

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



\* UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA \*

FACULTE DES SCIENCES

- DEPARTEMENT DE BIOLOGIE -



**THESE DE DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES NATURELLES  
(BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALE)  
Option: Eco-Toxicologie**

**Dynamique des sels et de la végétation halophile en milieux arides et semi-arides au niveau  
des chotts (Melghir, Merouane et Bendjelloul) et Oued Djeddi  
en fonction des conditions du milieu**

Présentée par :

**Mme LARAFA-REZAGUI MESSAOUDA**

**Membres du Jury :**

<b>Directeurs de Thèse :</b>	<b>M. SEMADI A M. VALLES V.</b>	<b>Pr. Université - Annaba Pr. Université de Provence Aix-Marseille I</b>
<b>Président :</b>	<b>M. DJEBAR M R</b>	<b>Pr. Université - Annaba</b>
<b>Examineurs :</b>	<b>M. BOUAZZA M. M. BENABADJI N. M. LOISEL R</b>	<b>Pr. Université -Tlemcen Pr. Université -Tlemcen Pr. Université Aix--Marseille III</b>

**2004**

## *Dédicace*

*A l'âme de mon père qui avait manifesté tous ses vœux à conquérir l'empire de la science là où elle existe.*

*A l'âme du défunt Mr le professeur Ammar Semadi qui n'a jamais hésité à éclaircir le chemin de la recherche scientifique.*

*A ma très chère mère pour ses sacrifices.*

*A mon cher frère Ahcène qui n'a guère baissé ses bras pour me relever haute parmi mes coéquipières et me trouver un jour avec un diplôme suprême.*

# AVANT PROPOS

Nombreux sont ceux qui m'ont aidé à établir le présent ouvrage.

A tous merci et particulièrement :

**Monsieur Ammar SEMADI**, professeur à l'institut des sciences de la nature (Université d' Annaba), qui a suivi rigoureusement ces recherches, ses conseils précieux, ses commentaires, ses orientations judicieuses et son soutien moral ont été pour moi un solide appui. Je le prie de trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude et ce à titre posthume.

**Monsieur le Professeur Vincent VALLES**, (Université de Provence, AIX Marseille I, qui m'a orienté dans cette voie. Il a permis l'aboutissement de ce travail en le dirigeant avec compétence, disponibilité et gentillesse. Je lui exprime ici, ma plus grande reconnaissance.

**Monsieur R. DJEBAR**, Professeur à l'institut des sciences de la nature (Université d' Annaba), pour l'honneur qu'il me fait en président ce jury. J'exprime mes plus vifs remerciements.

**Monsieur BENABADJI et Monsieur BOUAZZA**, Professeurs à l'institut des sciences de la nature ( Université de Tlemcen), qui ont suivi le déroulement de ces recherches avec compétence, disponibilité et gentillesse.

Leur Aide sur le terrain et au laboratoire m'ont été d'un très grand apport, quant à l'élaboration de cette thèse. Qu'ils soient assurés de ma reconnaissance pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et avoir bien voulu accepter de faire partie de ce jury.

**Monsieur le Professeur R. LOISEL** (Université Aix Marseille III), pour l' accueil qu'il m'a réservé dans son laboratoire, et qui a bien voulu juger ce travail qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

**Madame Annick REGEARD**, laboratoire science du sol INRA de Rennes, pour les analyses qu'elle a effectuées pour cette étude.

**Monsieur Sylvain CHARPENTIER**, de l' ENITHP d'Angers pour sa contribution dans l'étude du potentiel osmotique et les mesures d'abaissement du point de congélation qu'il a réalisé.

**Monsieur A. GAOUAR**, Directeur du C.R.S.T.R.A, pour nous avoir autorisé à faire partie de ses équipes de recherche en zones arides et semi arides.

**Monsieur Azzeddine CHEFROUR**, Maître assistant à la Faculté de médecine d'Annaba, qui a bien voulu fournir son aide sur le terrain, ses conseils et son aide amicale ont été pour moi un précieux encouragement.

**Monsieur Khalfa BOUDELAA et Mademoiselle Rachida KERKOUB**, respectivement Ingénieurs informaticien et géologue, qui ont consacré un temps énorme pour la mise en forme et la réalisation de cette thèse. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

# S O M M A I R E

## AVANT PROPOS

## INTRODUCTION

### PREMIERE PARTIE : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

Page

### CHAPITRE 1 : THERMODYNAMIQUE DES SOLUTIONS AQUEUSES ET

#### MODELISATION

I / FONDEMENT THERMODYNAMIQUE... ..	06
II/ ALCALIMITE ET ALCALIMITE RESIDUELLE.....	06
III/ LES MODELES THERMODYNAMIQUES.....	15

### CHAPITRE 2 : RELATION PLANTE –SOL

I/ LES CORRELATIONS INTER-ELEMENT DANS LES PLANTES.....	18
II/ LES PROPRIETES D'ECHANGES CATIONIQUES ET DES SELECTIVITES CATIONIQUES DES RACINES.....	19

### CHAPITRE 3 : APERCU SUR LES PLANTES HALOPHYTES

I/ NOTION D'HALOPHILIE.....	22
II/ CARACTERISTIQUES DES HALOPHYTES... ..	23
III/ SENSIBILITE OU TOLERANCE DES PLANTES AUX SELS... ..	26
IV/ ADAPTATION DES PLANTES AU NaCl.....	26
V/ EFFET DE NaCl SUR LES PLANTES.....	27
VI/ EFFET DE LA SALINITE ET DE LA TEMPERATURE SUR LA GERMINATION...28	

VII/ LES ASSOCIATIONS D'HALOPHYTES.....	29
VIII/ INTERET ECONOMIQUE DES PLANTES HALOPHYTES .....	30

**CHAPITRE 4 : SOLS AFFECTES PAR LE SEL**

I/ NOTION DE SOL SALE .....	31
II/ TYPE DE SOL SALE.....	32
III/ REPARTITION GEOGRAPHIQUE... ..	34
IV/ VEGETATION NATURELLE... ..	35
V/ UTILISATION ET MISE EN VALEUR... ..	35

**CHAPITRE 5 : DEVELOPPEMENT DES SALICORNES**

I/ SYSTEMATIQUE.....	37
II/ CARACTERISTIQUES BOTANIQUES... ..	37
III/ ECOLOGIE.....	38

**CHAPITRE 6 : LE FLUOR DANS L'ENVIRONNEMENT**

I/ GENERALITES SUR LE FLUOR... ..	39
II/ ETAT NATUREL ET PREPARATIONS... ..	39
III/ PROPRIETES PHYSIQUES... ..	40
IV/ PROPRIETES CHIMIQUES... ..	40
V/ ACTION PHYSIOLOGIQUE... ..	42
VI/ APPLICATIONS .....	43
VII/ IMPACT DU FLUOR SUR L'ENVIRONNEMENT .....	44

**DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES**

**CHAPITRE 1 : LOCALISATION ZONALE**

I/ CARACTERISTIQUES BIOTIQUES DES MILIEUX.....	49
--	----

II/ CLIMATOLOGIE DES ZONES D'ETUDE.....	50
---	----

## **CHAPITRE 2 : ZONE D'ETUDE ET SITES DE PRELEVEMENT**

I/ CHOTTS.....	58
II/ LES OUEDS.....	59
III/LES NAPPES.....	62
IV/ LES EAUX THERMALES.....	63

## **CHAPITRE 3 : NATURE DES ECHANTILLONS PRELEVES ET MESURE EFFECTUEES SUR TERRAIN.**

I/ LES SOLUTIONS.....	64
II/ LES EFFLORESCENCES ET LES MINERAUX.....	65
III/ LA VEGETATION .....	65
IV/ LE SOL.....	73

## **CHAPITRE 4 : TECHNIQUES ANALYTIQUES UTILISEES**

I/ LES EAUX NATURELLES.....	73
II/ LES EFFLORESCENCES ET LES SEDIMENTS.....	75
III/ Analyse Physico-Chimique DES SOLUTIONS.....	75
IV/ PREPARATION ET ANALYSE DES VEGETAUX.....	76
V/ PREPARATION ET ANALYSE DU SOL .....	79

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION**

<b><u>CHAPITRE 1</u> : RESULTATS RAYONS- X .....</b>	<b>87</b>
--	-----------

<b><u>CHAPITRE 2</u> : M.E.B.....</b>	<b>91</b>
---------------------------------------	-----------

<b><u>CHAPITRE 3</u> : ANALYSE DES SOLUTIONS.....</b>	<b>91</b>
---	-----------

I/ DENSITE DES SOLUTES... ..	91
II/ CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES EAUX NATURELLES.....	95
III/ GEOCHIMIE DES SOLUTIONS NATURELLES... ..	97
IV/ POTENTIEL OSMOTIQUE... ..	110

#### **CHAPITRE 4 : ANALYSE DES VEGETAUX**

I/ RAPPORT MATIERE FRAICHE/ MATIERE SECHE ET  
MATIERE MINERALE/

MATIERE SECHE CHEZ *Salicornia fruticosa* ..... 111

II/ TENEUR EN CALCIUM DANS LES ECHANTILLONS VEGETAUX... . 112

III/ CAPACITE DES PLANTES A FIXER LES DUNES DE SABLE ..... 113

#### **CHAPITRE 5 : RESULTATS D'ANALYSE DE SOL**

I/ CARACTERISTIQUES DES SOLS POUR LA PREMIERE PERIODE. ....119

II/ CARACTERISTIQUES DES SOLS POUR LA DEUXIEME PERIODE. 132

**CHAPITRE 6 : TYPOLGIE DES STEPPES SALEES..... 40**

**CONCLUSION GENERALE.....146**

**BIBLIOGRAPHIE ..... 149**

**TABLE DES MATIERES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**ANNEXES**

# INTRODUCTION

Les zones arides couvrent une part importante de la planète et l'essentiel du territoire algérien.

Dans ces régions, les eaux naturelles se concentrent sous l'effet de l'évaporation due au climat et de la transpiration par la végétation.

Des mécanismes chimiques complexes conduisent à des modifications des solutions qui s'enrichissent en sodium et chlore ou bicarbonates ou sulfates et autres sels solubles. Les sols sont alors salés.

Ce problème affecte 954 832 milliers d'hectares dans le monde dont 80 538 milliers ha pour l'Afrique et 3 150 milliers ha pour l'Algérie ( Szabolcs, 1979).

Les écosystèmes dans les zones arides et semi-arides connaissent un déséquilibre délicat et très fragile. La mise en valeur des terres dans ces régions (Sud de Biskra, Chott Melghir), la productivité par unité de surface, leur conservation exige ici plus qu'ailleurs des études détaillées. Le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et entraîne les conséquences les plus graves à court et long terme (Halitim, 1985). Chaque année des millions d'hectares sont soustraits à une utilisation agro-pastorale par la désertification. Ce dernier phénomène est un processus de dégradation des terres résultant la plupart du temps d'une interaction complexe entre les facteurs du milieu:

- . Homme,
- . Végétation,
- . Animaux,
- . Sol,
- . Climat.

Cette situation se traduit dans la plupart des cas par la formation d'un paysage désertique.

Dans les sols salés, l'eau présente un potentiel osmotique bas et les plantes ont des difficultés à l'absorber. Une végétation spécialisée halophile se développe. Les cultures plus sensibles poussent mal ou pas du tout.

- Les problèmes de toxicité les plus fréquents concernent le chlore, le sodium et parfois le bore.

Le risque de toxicité sodique augmente avec le rapport Na/Ca dans la solution du sol, comme le taux du Na /T de sodium échangeable. Le dernier critère est d'ailleurs retenu pour apprécier le risque. La toxicité sodique est parfois le facteur limitant pour les plantes dans les sols sodiques non salés. La toxicité au chlorure se traduit dans les sols salés riches en cet élément. Cependant dans ces sols, le problème de potentiel osmotique s'exprime avant celui de la toxicité pour la plupart des plantes et il ne constitue pas le facteur limitant.

La toxicité au bore est plus rare et ne se concentre que pour des eaux bien particulières.

Les risques de dégradations des propriétés physiques des sols sont essentiellement liés au phénomène de défloculation des argiles. Lorsque le taux de Na/T est élevé et que la solution du sol est peu saline, les argiles déflocculent notamment lors d'apport d'eau douce. Elles migrent dans les pores et les colmatent. Le sol devient alors imperméable, les cultures ne peuvent le coloniser et elles souffrent de la sécheresse même avec des irrigations fréquentes.

Les sols de la région de Biskra présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1965). La destruction du couvert végétal et du sol dans ces contrées est reconnue par tous les spécialistes. Ce phénomène est souvent irréversible, particulièrement dans les zones très sèches (précipitations inférieures à 200 mm de pluie par an). Il n'est pas dû uniquement à un changement de climat général (Dubief, 1963; Le-Houerou, 1971) ou à une conjoncture climatique (sécheresse du Sahel et au Nord du Sahara). Il est connu que la végétation depuis 1926 de la zone d'étude appartient aux steppes (Maire, 1926). Plus tard des travaux essentiellement floristiques ont amené tour à tour les chercheurs à procéder à des subdivisions en sous secteurs dans les plaines comme suit:

- Domaine maghrébin méditerranéen, domaine steppique avec les séries de chênes verts, les steppes arborées climatiques, les steppes climatiques à *Stipa tenacissima* et à *Lygeum spartum*.

- Domaine saharo méditerranéen (étage méditerranéen aride) formé par les steppes buissonnantes à *Arthrophytum scopium*, *Anabasis articulata* situées au Sud de l'Oued Djedi, les steppes des terrains salés, à Salicornes diverses représentant en grande partie la zone d'étude en question, situées à l'extrémité nord-est de la Tunisie, en frontière avec l'Algérie, les plaines ainsi que les montagnes entre Batna et le Sud de Biskra font partie de l'étroite frange méditerranéenne de la Tunisie occidentale qui tant sur le plan physique que sur le plan humain, s'oppose d'une façon nette, par sa richesse et la variété de ses paysages, à l'aridité et à la monotonie relative des vastes plaines et plateaux semi-désertiques qui s'étendent plus au Sud.

- Dans ces plaines, les sols contenant du calcaire sont présents partout.

Certaines interprétations pédogénétiques ont, généralement conduit certains auteurs à classer ces sols comme suit:

- Une partie, parmi les sols rouges méditerranéens,

- La plupart, parmi les sols steppiques, ces sols dont l'extension est grande dans la majorité des plaines et des vallées peuvent rappeler les plaines steppiques de Russie. Ces sols steppiques en Algérie en particulier sont classés parmi les sols isohumiques. Il s'agit là d'une répartition profonde d'une matière organique bien évoluée. La teneur en humus décroît régulièrement et lentement avec la profondeur: c'est l'isohumisme. Ces sols considérés comme typiques des zones climatiques à saison sèche accentuée, depuis le sub-humide frais ou froid jusqu'à l'aride chaud, sont actuellement situés le plus souvent sous une végétation de steppe où dominant les graminées. Les mécanismes responsables de l'isohumisme sont dans ces sols, les plus importants. Les autres mécanismes de différenciation en dépendent étroitement; il s'agit surtout du lessivage du calcaire des horizons de surface et de son accumulation en profondeur, de la structuration de l'horizon B et de la rubéfaction de l'horizon B.

Les sols salés sodiques appelés aussi sols halomorphes sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse. Ces sols ont une grande extension dans les trois pays du Maghreb. Elle est due aux conditions arides ou semi-arides d'une grande partie de cette région où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales limitées, à la présence fréquente de dépôts géologiques salifères par exemple le Trias du Miocène, du Pliocène ou même du

Quaternaire aussi des nappes phréatiques ou artésiennes salées à la succession des évènements, variations climatiques, sédimentation au cours des temps quaternaires, etc.

La richesse du sol en sels solubles ou en ions défloculants tels que le sodium se répercute dans sa morphologie en surface et plus ou moins en profondeur. La surface des sols sodiques est parfois couverte d'une véritable croûte saline. Cela a été décrit par Durand (1958). Elles ne sont épaisses que dans les régions des Chott (Chott Melghir), aussi dans certaines dépressions endoréiques comme au Sud de Sousse et au Sud en Tunisie ou dans les Oasis des zones sahariennes.

Le travail que nous présenterons dans le cadre de cette thèse fait suite à un ensemble de travaux en Algérie en général et les steppes en particulier: Gaucher (1947), Durand (1958), Dresh (1960), Simonneau (1961), Aubert Georges (1965), Ruellan (1971), Duchauffour (1977), Pouget (1980), Halitim (1985), Benabadji (1995), Bouazza (1995), Ghezlaoui (2001).

Le but de ce travail est d'étudier la réaction de quelques plantes très tolérantes au sel. Ces plantes parviennent-elles à maintenir une composition chimique intérieure constante (lutte les phénomènes de toxicité) ou bien laissent-elles pénétrer les sels massivement au gré des caractéristiques du milieu.

Le potentiel osmotique de la solution du sol (effet de salure) influence-t-il sur l'absorption des éléments ?

Pour cela il importe d'une part de préciser les mécanismes qui déterminent les caractéristiques chimiques des solutions de sols salés et d'étudier d'autre part la relation entre la composition des sols et la composition du végétal.

Ceci nécessite d'une part :

D'étudier certains caractères physique et physico-chimiques des sols et les relations qui les lient dans une région aride. De mener une étude phytosociologique des relevés floristiques dans la région de Biskra d'autre part. Ainsi le travail proposé intéresse-t-il de nombreux domaines tels que la physiologie végétale, la phytosociologie, la pédologie, la géochimie pour ne citer que les plus importants, ce qui impose une approche pluridisciplinaire.

Après avoir réaliser un bilan des connaissances sur ce thème par une étude bibliographique dans la première partie, la deuxième partie abordera la présentation de la zone d'étude et du protocole expérimental et la troisième partie sera consacrée aux résultats et discussions.

## PREMIERE PARTIE : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

### CHAPITRE 1 : THERMODYNAMIQUE DES SOLUTIONS AQUEUSES ET MODELISATION

#### I. FONDEMENT THERMODYNAMIQUE

##### Echelles de concentration

Les échelles de concentration servent à caractériser la quantité de matière présente dans le système.

Si  $V$  est le volume, et  $n_i$  le nombre de moles du constituant  $i$ , on définit la

$$\text{Molarité : } C_i = \frac{n_i}{V}$$

$C_i$  = nombre de moles de  $i$  par litre de solution.

$$\text{Molalité : } m_i = \frac{n_i}{n_w M_w 10^{-3}}$$

$n_w$  est le nombre de moles de solvant

$M_w$  est la masse molaire en gramme

La molarité étant dépendante de la température et de la pression, on préfère utiliser la molalité (Creuly, 1984).

- Molalité totale : la molalité totale correspond à l'actuelle valeur déterminée analytiquement pour la solution nutritive (Gueddari, 1980). Elle est définie par la

relation suivante : 
$$m_i(t) = \sum_{i=1}^n n_i m_i$$

où  $m_i(t)$  est la molalité totale :

$\sum_{i=1}^n$  représente toutes les espèces contenant  $i$

$$G = \frac{\partial G}{(\partial n_i)_{j,p,t}}$$

### Potentiel chimique et activité :

Le terme de potentiel chimique  $\mu$  a été défini par Gibbs comme égal à l'enthalpie libre partielle :

G : Fonction enthalpie libre

$n_i, n_j$  : nombre de moles de composés  $i, j$

T et P : température et pression constantes.

Pour une espèce chimique donnée  $i$ , dans une phase  $\phi_i$ , le potentiel chimique représente la variation d'enthalpie libre (ou énergie libre de Gibbs).

A température et pression constantes la relation ci-dessus s'écrit :

$$dG = \sum \mu_i dn_i = 0$$

Cette équation n'est valable que lorsque seul, le potentiel chimique intervient s'il existe un autre potentiel de l'enthalpie libre est alors la somme des différents potentiels (Bernadac, 1989).

Le potentiel chimique d'un constituant  $i$  dans une solution quelconque peut s'écrire sous la forme :

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i$$

$\mu_0$  = Potentiel chimique standard

R = Constante des gaz parfaits

T = Température

Pour introduire la fugacité, on va prendre le cas des gaz parfaits pour lesquels la variation d'enthalpie libre ( $\Delta G$ ), dans un système fermé et à température constante

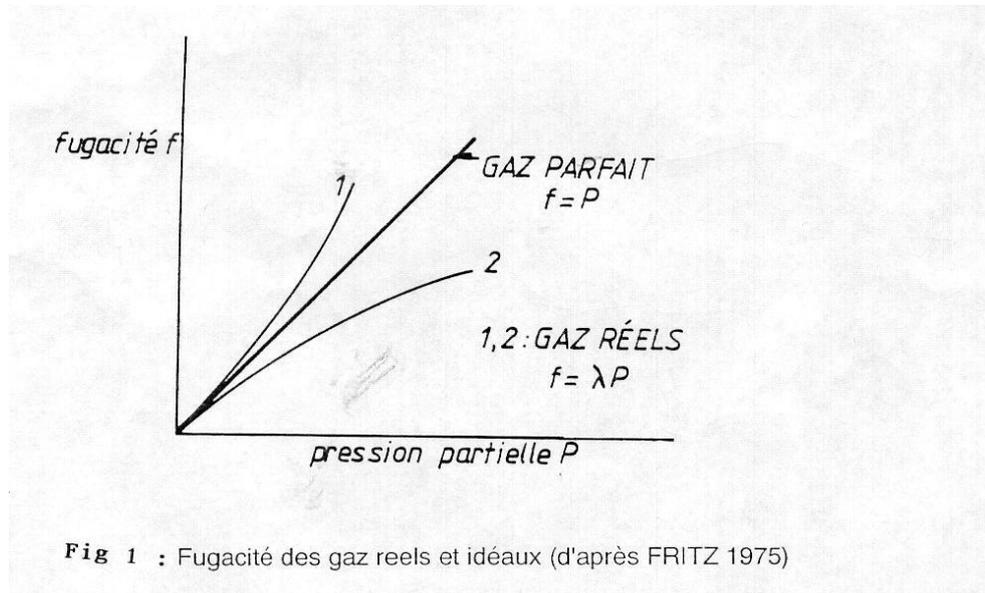
ne dépend que de la pression :  $\Delta G = \int_{p_0}^{p_1} V dp = nRT \ln (P_1 / P_0)$

Et de la variation du potentiel chimique pour un gaz parfait est :

$$\mu_1 - \mu_0 = RT \ln (P_1 / P_0)$$

Dans le cas du gaz parfait, la variation du potentiel chimique est donc directement fonction de la variation de pression.

Pour un gaz, la fugacité exprimant la pression partielle qu'il exercerait dans les mêmes conditions que s'il était parfait (fig. 1)



$$F = \lambda p$$

P = La pression du gaz (atmosphère)

F = La fugacité du gaz (atmosphère)

$\lambda$  = Le coefficient de fugacité du gaz

La relation entre le potentiel chimique et la pression peut être généralisée pour tous les gaz..

$$\mu_1 - \mu_0 = RT \ln(F_1 / F_0)$$

$\mu_0$  est le potentiel chimique du composé dans l'état standard :

$$\mu = \mu_0 + RT \ln F$$

Dans ce cas F est sans dimension

Selon la formule ci-dessous on peut introduire l'activité du constituant i comme le rapport :

$a_i = f_i / f_0$  et on peut écrire

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i$$

L'activité, appelée concentration efficace ou concentration thermodynamique, correspond à la concentration d'un produit ou un réactif d'une réaction chimique dans une solution idéale. Le concept de l'activité tient compte de l'interaction des molécules du solvant, de l'effet d'hydratation et de l'attraction électrostatique entre les ions.

L'activité sert à distinguer une solution réelle d'une solution idéale.

A une température et une pression donnée, la relation entre l'activité ( $a_i$ ) et la molalité ( $m_i$ ) est la suivante :(Gueddari, 1980)

$$a_i = \gamma_i m_i$$

où,  $\gamma_i$  = le coefficient d'activité qui mesure la déviation par rapport à l'état idéal.

$a_i$  = activité

$m_i$  = molalité

### **Coefficient d'activité**

On définit un coefficient d'activité  $\gamma_i$  comme le rapport entre l'activité  $a_i$  et la concentration  $m_i$  du constituant  $i$  dans l'échelle de concentration :

En molalité :

$$\gamma_i = \frac{a_i}{m_i}$$

En fraction molaire :

$$\lambda_i = \frac{a_i(x)}{x_i}$$

En remplaçant l'expression de  $a_i$  en fonction de  $m_i$  et  $\gamma_i$  et de  $x_i$  et  $\lambda_i$  dans l'équation on obtient l'expression du potentiel chimique suivante :

en molalité :  $\mu_i = \mu_i^0(m) + RT \ln m_i + RT \ln \gamma_i$

en fraction molaire :  $\mu_i = \mu_i^0(m) + RT \ln x_i + RT \ln \lambda_i$

$\mu_i^0$  = potentiel chimique standard à  $p$  et  $t$  données

Dans les solutions aqueuses d'électrolytes on distingue :

- L'état standard du soluté dans une solution fictive pour laquelle :

$$m_i = a_i = 1$$

- L'état standard du solvant : état du liquide pour une atmosphère et à Température donnée.

- Le coefficient d'activité dans la grande majorité des cas est inférieur à 1 et l'activité reste inférieure à la molalité.

Lorsque la solution devient très diluée, le coefficient d'activité se rapproche de l'unité et l'activité devient égale à la molalité (solution idéale ). Ceci conduit à un changement de variables et à l'adaptation du coefficient osmotique de la solution ( *in* Laborde Debat, 1986 ).

En supposant la dissociation complète des électrolytes et en passant dans l'échelle de molalité, on définit le coefficient osmotique molal :

$$\Phi = \frac{1000}{M_w} \cdot \frac{\ln \partial w}{\sum m_i}$$

$M_w$  = masse molaire de l'eau si  $i$  se réfère à un ion.

Lorsqu'une solution est idéale  $\Phi^{id} = 1$ , l'écart à l'idéalité du solvant (l'eau) sera évalué par la quantité  $\Phi - 1$ .

### **Activité de l'eau**

Dans les solutions diluées, la phase eau est pratiquement pure et son activité est voisine de 1. Dans l'expression de la loi de masse, tout se passe comme si l'eau n'intervenait pas, par contre dans les solutions concentrées, le nombre de molécules d'eau est lié aux ions présents devient important et la fraction molaire de l'eau dans la solution diminue. L'eau n'a plus les caractéristiques d'une phase pure, son activité est différente de 1.

D'après Fritz (1981), l'activité de l'eau est calculée en utilisant le coefficient osmotique ( $\Phi$ ) d'une solution de chlorure de sodium en considérant que l'activité de l'eau dans une solution complexe est la même que dans une solution de ce sel, et de même force ionique.

Pour une solution d'un électrolyte donné :

$$\ln [H_2O] = - 0,018v_{\pm} m \Phi$$

Où 0,018 représente l'inverse du nombre de moles d'eau par kg H<sub>2</sub>O.

$v_{\pm}$  est le nombre d'ions constituant l'électrolyte.

M et  $\Phi$  sont respectivement la molalité et le coefficient osmotique de l'électrolyte dans la solution.

Après le calcul de l'activité de l'eau, la formule devient :

$$\ln [H_2O] = - 0,036 m \Phi$$

Pour NaCl, les valeurs de ( $\Phi$ ) sont données pour différentes forces ioniques et différentes Températures (Tab.1)

**TABLEAU I : Valeurs de coefficient osmotique en fonction de la Température et de la force ionique (D'après Helgeson, 1969)**

<i>FORCE IONIQUE</i>	<i>TEMPERATURE</i>		
	<b>25°C</b>	<b>50°C</b>	<b>100°C</b>
<b>1,0</b>	0,935	0,940	0,935
<b>2,0</b>	0,983	0,996	0,986
<b>3,0</b>	1,050	1,059	1,048

### **1. 5 Potentiel de l'eau, potentiel osmotique et potentiel de pression**

En milieu salé l'état énergétique de l'eau est modifié par l'abondance des sels solubles ; c'est l'effet osmotique qui s'ajoute aux forces capillaires de rétention de l'eau par la porosité des sols.

## Potentiel de l'eau

D'après Charpentier (1987), le potentiel de l'eau correspond à la différence du potentiel chimique de l'eau  $\mu_w$  entre l'état considéré et l'état de référence qui est celui d'une eau pure libre c'est à dire dont la surface de contact avec une phase gazeuse à la pression de référence (1 atm) et à la température (25°C) est plane.

$$\psi = \mu_w - \mu_{ow} = \Delta G$$

$\mu$  = Potentiel chimique (i.mole<sup>-1</sup>) de l'eau représente l'Enthalpie libre molaire partielle de l'eau. Le potentiel de l'eau est représenté par Bourrié (1983) sous la forme d'un cycle de Hess :

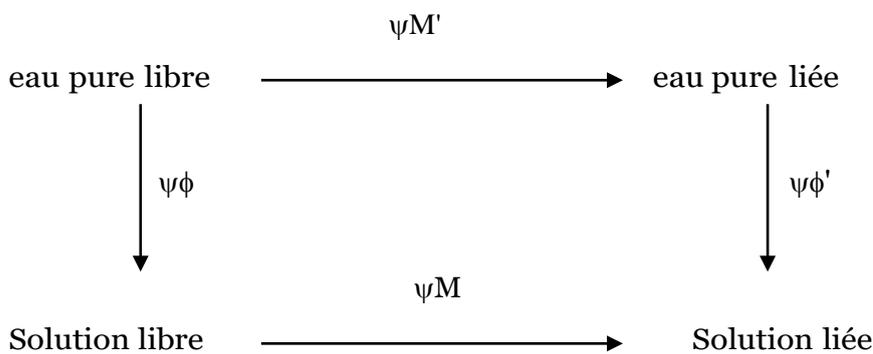


Fig 2 : Cycle de Hess appliqué à l'eau du sol (d'après Bourrié, 1983)

### Potentiel osmotique et potentiel de pression

Dans un milieu poreux, l'eau d'une solution peut être caractérisée par son potentiel total, c'est à dire par la somme de deux quantités :

1. le potentiel osmotique qui rend compte des interactions eau /électrolyte
2. le potentiel de pression qui rend compte des interactions eau/solide  
(Vallés *et al.*, 1990)

$$\psi = \mu_3 - \mu_0 = RT \ln a_w = \psi\phi' + \psi p = \psi\phi + \psi p$$

Avec  $a_w$  = activité de l'eau

$\mu$  = potentiel de l'eau

$\psi\phi$  = potentiel osmotique,  $\psi\phi = \mu_2 - \mu_0$

$\psi_p$  = potentiel dépression,  $\psi_p = \mu_1 - \mu_0$

Le potentiel osmotique peut être calculé par la relation :

$$\psi_p = RT \frac{M_w}{1000} \Phi \sum m_i$$

Avec  $\Phi$  =coefficient osmotique de la solution

$m_i$  = molalité de l'électrolyte i

$M_w$  = masse molaire de l'eau

$$\psi_p = \int_{p_0}^p V \cdot dp$$

Avec  $V$  = volume molaire de l'eau.

si l'eau est considérée comme incompressible l'équation ci-dessus se simplifie :

$$\psi_p = V \cdot \Delta p \quad \text{avec } \Delta p = p - p_0$$

Dans le cas de l'eau pure (volume molaire de l'eau égal à celui de l'eau pure

$$\psi'_p = V \cdot \Delta p'$$

Dans le cas contraire (volume molaire de l'eau dans la solution salée), la différence entre  $P$  et  $p'$  est liée à la pression d'extraction nécessaire pour obtenir une quantité d'eau donnée dans la pâte. Elle sera différente selon la salinité de la solution .

## II. ALCALINITE ET ALCALINITE RESIDUELLE

### 2. 1 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau est définie par la quantité d'ions  $H^+$  qu'il faut ajouter à une solution jusqu'à ce que toute nouvelle diminution du pH correspond à toute nouvelle addition d'ions  $H^+$ .

Elle est également définie par (Bourrié , 1976 ) comme étant la somme algébrique des équivalents de cations conjugués de bases faibles et d'anions conjugués d'acides faibles.

L'alcalinité a donc pour expression :

$$(Alc) = 2(CO_3^{2-})_t + (HCO_3^-)_t + (OH^-)_t - (H^+)_t$$

$( )_t$  : désigne la molalité des ions en solution

Si l'on est en présence d'un système qui contient en plus des carbonates, des éléments majeurs comme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$  et  $\text{Cl}^-$ , la balance des charges donne :

$$(\text{Na}^+) + (\text{K}^+) + 2(\text{Ca}^{++}) + 2(\text{Mg}^{++}) - 2(\text{SO}_4^{-}) - (\text{Cl}^-) = (\text{HCO}_3^-) + 2(\text{CO}_3^{--}) - (\text{H}^+) + (\text{OH}^-)$$

Le deuxième terme de cette équation regroupe tous les éléments ayant des propriétés très acido-basiques, alors que le premier rassemble les éléments qui n'interviennent que par leur charge globale auquel on donne le nom de l'alcalinité exprimée en équivalent par litre.

On a donc :

$$\begin{aligned} \text{Alcalinité} &= (\text{HCO}_3^-)_t + (2\text{CO}_3^{--})_t + (\text{OH}^-)_t - (\text{H}^+)_t \\ &= (\text{Na}^+)_t + (\text{K}^+)_t + 2(\text{Ca}^{++})_t + 2(\text{Mg}^{++}) - 2(\text{SO}_4^{-}) - (\text{Cl}^-)_t \end{aligned}$$

D'une façon générale les ions tels que  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ,  $\text{B}(\text{OH})^{-4}$ ,  $\text{NH}_3^-$ ... entrent dans la définition de l'alcalinité mais on les néglige dans la mesure où ils se trouvent en faible concentration, ce qui est le cas dans ce travail.

### 2.1.1 Alcalinité résiduelle

L'alcalinité résiduelle est définie par l'expression :

$$\begin{aligned} (\text{alc.rés.}) &= (\text{alc.}) - 2(\text{Ca}) - 2(\text{Mg}) \\ &= (\text{Na}) - 2(\text{SO}_4) - (\text{Cl}) \end{aligned}$$

L'alcalinité résiduelle diminue lorsqu'on dissout ou on précipite un sel d'acide fort et de cation divalent ( $\text{SO}_4$  par exemple) et reste constante lorsqu'on dissout ou on précipite des sels d'acides faibles et de cations divalents ( $\text{CaCO}_3$  par exemple) (Al-Droubi,1976 ; Bernadac,1989).

Si l'alcalinité résiduelle est positive, c'est à dire si les carbonates composantes de l'alcalinité sont supérieurs au calcium, l'alcalinité va croître et la molalité du calcium décroît lors de la concentration par évaporation, par contre si l'alcalinité résiduelle est négative l'activité du calcium au cours de l'évaporation croît et celle des carbonates diminue (Valles, 1985 ; Eaton,1950 ; Van Beek et Van Breemen, 1973 ; Droubi,1976).

### III. LES MODELES THERMODYNAMIQUES

Les modèles thermodynamiques de calcul d'équilibre en solution trouvent leur principale application en chimie minérale ; ils concernent la plupart du temps des solutions naturelles dépourvues de matière organique ( Valles *et al*, 1990).

Tout modèle devra permettre le calcul des coefficients d'activité des solutés et du coefficient osmotique.

#### Loi de Debye-Huckel

Debye et Hückel (1923) ont proposé une théorie permettant de connaître l'écart à l'état idéal d'une solution donnée qui est du entièrement aux forces électrostatiques produites entre deux ions de charge de signe opposé, par contre elle considère que les autres forces intermoléculaires sont négligeables.

L'équation qui permet le calcul du coefficient d'activité est la suivante :

$$-\log \gamma_i = \frac{AZ_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_{oi} B \sqrt{I}}$$

A et B sont deux constantes universelles qui dépendent de la température.

$a_{oi}$  est un coefficient qui tient compte du diamètre de l'ion hydraté i.

I est la force ionique de la solution.

$Z_i$  est la charge de l'ion i.

L'équation de Debye-Huckel n'est valable que pour des solutions diluées (Force ionique  $< 0,1$ ). Cependant, pour tenter d'étendre cette équation à des concentrations plus élevées ( $I > 0,1$ ), il a été proposé une équation qui fait intervenir un coefficient  $B_o$  de correction : (Helgeson, 1969 in Al-Droubi, 1976 )

$$-\log \gamma_i = \frac{AZ_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_{oi} B \sqrt{I}} - B_o I$$

A,  $a_{oi}$  et B sont des coefficients de Debye-Huckel

$B_o$  est un coefficient qui dépend de la température des ions en solution.

Les coefficients A, B,  $B_o$  sont donnés dans le tableau II :

## Modèle d'association ionique

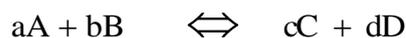
Le modèle d'association ionique qui reconnaît l'existence des entités moléculaires comme les ions en solution libres et les complexes ligand métalliques a été validé, d'autre côté à des forces ioniques plus de 0.5 Kmole /m<sup>3</sup> (Sposito, 1984).

Il a été conclu que le modèle d'association ionique ne peut pas être utilisé pour prédire la solubilité des minéraux ou l'activité des électrolytes à force ionique de l'eau de mer (0,6 Kmole /m<sup>3</sup>) (Sposito et Traina, 1987).

Il existe des raisons de préférer le modèle d'association ionique pour décrire les solutions aqueuses dans les sols environnementaux (Sposito, 1985). Les études de Pavan *et al.* (1982) et Bingham *et al.* (1984) montrent que la concentration par les métaux toxiques comme Al<sub>3+</sub> et Cd<sub>2+</sub> dans la récolte des plantes ont une corrélation significative avec l'activité des espèces chimiques Al<sup>3+</sup> et Cd<sup>2+</sup> dans l'extrait de sol saturé .

### - Aspect théorique du modèle: ( Brondino, 1991)

Tout minéral constitutif d'une roche peut se dissoudre dans une eau, tant qu'il n'a pas atteint l'équilibre correspondant à la saturation.



Cet équilibre se traduit par la loi d'action de masse :

**TABLEAU II : Valeurs des coefficients A, B et Bo en fonction de la Température, D'après Helgeson, 1969 )**

T°	COEFFICIENTS		
	A	B	Bo
0	0,4884	0,3241	0,0174
25	0,5095	0,3284	0,041
60	0,5471	0,3347	0,044
100	0,6019	0,3425	0,046

$$K(T,P) = \frac{C^c D^d}{A^a B^b}$$

- **Théorie des solutions :**

- **Activité ionique :**

L'activité ionique est la possibilité pour une solution saline que le sel dissout se trouve dissocié. Ce phénomène montre que les ions en solutions ne sont pas totalement indépendants, ils existent entre eux des interactions qui sont d'autant plus importantes que les ions sont plus proches, donc que la concentration de la solution est plus élevée.

Dans une solution concentrée tout se passe comme si la concentration efficace était différente de la concentration réelle.

- **Force ionique :**

La force ionique d'une solution caractérise la quantité totale d'ions de concentration  $c_i$  et de la charge  $z_i$ , présente dans la solution.

Elle s'exprime par la relation :

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$$

$z_i$  = charge de l'ion correspondant

La force ionique permet de comparer la concentration globale de différentes solutions, mais cette force ionique ne peut être calculée que lorsqu'on connaît la distribution de tous les ions en solution en tenant compte de toutes les interactions entre les ions simples et complexes.

- **Exemple du modèle :**

Modèle VEGACT 2 :

Le modèle VEGACT 2 est un modèle type association ionique, il nécessite la mesure du pH-Eh et de la température, et l'analyse des molalités : en EDTA, K, Na, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo. Comme la plupart des modèles de ce type, VEGACT 2 suppose l'équilibre instantané entre les différentes espèces au sein de la solution aqueuse.

Ce modèle calcule les molalités et activités des différentes espèces en solution, ainsi que les pressions partielles en gaz carbonique et en oxygène, il permet de calculer aussi l'état de saturation de la solution par rapport à différents minéraux (Vallès *et al*, 1990).

### **Modèle d'interaction ionique spécifique**

Le modèle d'interaction spécifique de Pizer est plus facile à utiliser et est plus rapide que le modèle d'association ionique (Vallès, 1985). Il a été appliqué avec succès pour prédire. Les minéraux solubles dans les eaux naturelles salées à force ionique de plusieurs Kmoles/m<sup>3</sup> (Sposito et Traina , 1987).

Le modèle d'interaction ionique reconnaît un ensemble d'interactions diverses affectant les ions non appariés mais pas la formation de paires, s'adaptant parfaitement au cas des saumures grâce à un jeu important de coefficients d'ajustement, mais présente des faiblesses dans le cas d'éléments complexants.

## **CHAPITRE 2 : RELATION PLANTE-SOL**

Le comportement écologique des végétaux est pour une part importante, lié à la spécificité de l'absorption minérale préférentielle. Les mécanismes de cette absorption spécifique semblent en rapport avec les propriétés d'échange cationique des membranes racinaires (Wacquant, 1969).

### **I. LES CORRELATIONS INTER-ELEMENTS DANS LES PLANTES**

Les interactions entre les éléments chimiques peuvent être marquées par un antagonisme ou une synergie. Dans cette connexion, trois possibilités de corrélations inter-éléments dans les systèmes des plantes sont à noter :

#### **Les interactions sol-sol**

A titre d'exemple Golley *et al.*(1978) ont examiné l'élément par la comparaison d'un autre élément dans les forêts tropicales et les sols dans le Nord-Ouest de la Colombie, dans laquelle une analyse de corrélation a été utilisée pour déterminer s'il y avait des modèles similaires dans les concentrations entre les éléments dans la

végétation et les sols. On a remarqué des corrélations inter-éléments très importantes par exemple le calcium est positivement corrélé avec le magnésium, le sodium et le strontium. De même, le cobalt et le fer sont corrélés d'une manière significative, il en est de même pour le plomb et le manganèse.

#### **Les interactions sol-plante**

La présence d'un ion dans la solution en présence d'autres ions de même signe peut intervenir dans le processus d'absorption au niveau du sol. Par exemple, une influence majeure sur la disponibilité du Mo au niveau des plantes (Adriano, 1986 ; Stout *et al.*, 1951 ; Markert, 1987).

#### **Les interactions plante-plante**

Les interactions entre les éléments dans les plantes peuvent augmenter, quand une plante absorbe de grandes quantités d'un élément disponible et sa concentration dans la plante atteint les niveaux excessifs, ce qui va interférer sur les fonctions métaboliques normales d'un autre élément.

Ainsi, La présence du Zn au niveau d'une plante peut déranger la fonction métabolique du Fe et la plante peut souffrir d'une chlorose du Fe même si ce dernier est présent à des concentrations normales dans la plante. Dans ce cas, il peut y avoir une interaction antagoniste entre le Fe et le Zn (Olson, 1972).

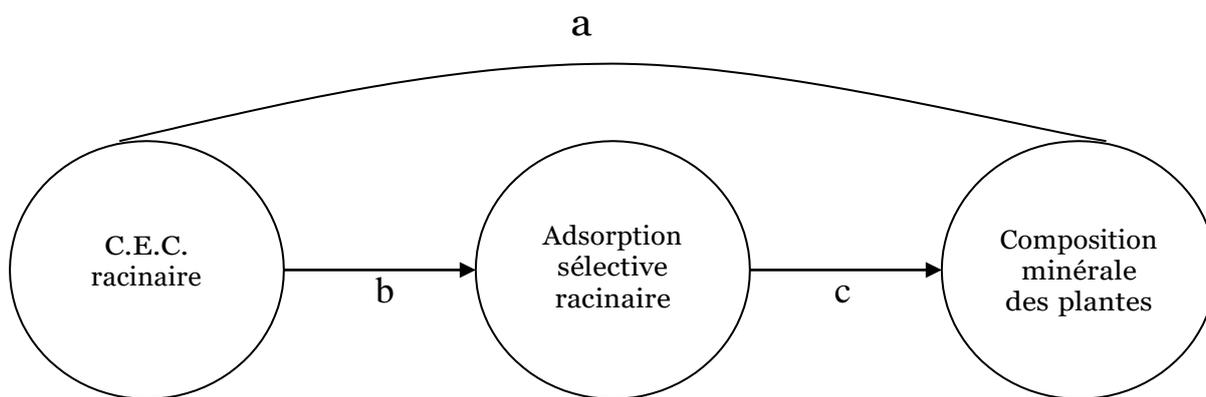
## **II. LES PROPRIETES D'ECHANGES ET DESSELECTIVITES CATIONIQUES DES RACINES**

Parmi les propriétés remarquables d'échange d'ions par les racines : la capacité d'échange cationique racinaire (C.E.C.R), qui exprime la densité de charges négatives des membranes racinaires, et l'émission normale d'ion H<sup>+</sup>, produite par la respiration, à la surface des membranes racinaires.

La première phase de l'absorption cationique, correspond à un flux de cations orienté vers la racine s'explique, d'une part par l'attraction électrochimique exercée par les charges négatives racinaires et, d'autre part par l'échange des ions H<sup>+</sup> des racines, régulièrement renouvelés contre des cations du milieu (Wacquant, 1969).

Par ailleurs le même auteur (WACQUANT ; 1977) considère que la capacité d'échange cationique racinaire (C.E.C.R) est un facteur sélectif qui autorise la composition minérale des plantes pour être contrôlée.

Cette supposition exige :premièrement que la C.E.C.R contrôle l'adsorption sélective dans l'espace libre des racines durant le premier pas de l'adsorption.



**Fig. 3 : Les mécanismes de transfert cationique (d'après Wacquant, 1977).**

Si la C.E.C racinaire agit sur la composition minérale (a), elle peut le faire indirectement en contrôlant l'adsorption sélective ionique (b et c).Deuxièmement, l'adsorption sélective affecte la composition minérale durant le second pas (c).

### **CHAPITRE 3 : APERCU SUR LES PLANTES HALOPHYTES**

Venant du grec *halos* (sel) et *phyton* (plante), le terme d'halophyte a été introduit en 1809 par Pierre Simon Pallas et attribué aux végétaux vivant sur des sols salés, c'est-à-dire contenant une solution trop riche en sels solubles et par là impropres à recevoir des cultures. Actuellement, on appelle halophyte toute plante qui est en contact avec une partie quelconque de son organisme avec des concentrations anormalement fortes de sel, c'est le cas de la végétation marine; des plantes de bords de mer, de déserts, des marais ou de lacs salés.

D'une manière rigoureuse, «halophyte» n'est pas synonyme de «plante halophile»

qui étymologiquement signifie «plante aimant le sel». En effet certaines halophytes, bien que pouvant résister à d'importantes accumulations de sels dans le milieu extérieur, se comportent normalement sur des sols non salés et ne sont donc que des «halophytes facultatives» auxquelles il est difficile d'attribuer la qualité d'halophilie (certaines espèces d'*Atriplex* par exemple). Par contre, d'autres halophytes ne peuvent se développer complètement qu'en présence de fortes concentrations salines; ce sont des «halophytes obligatoires», qui doivent être considérées comme étant «halophiles» (salicornes par exemple).

Les halophytes s'opposent aux glycophytes, plantes des milieux non salés, par leur morphologie proche de celles des xérophytes (succulence des tiges ou des feuilles, réduction des appareils foliaires) et par des caractères physiologiques: pression osmotique, résistance à la nature et à la concentration des sels; ce degré de résistance conduit souvent du reste à la formation de ceintures de végétation caractéristiques.

Les végétaux qui poussent spontanément dans les milieux salés ont été désignés sous le terme d'halophyte. Le comportement physiologique des halophytes vis à vis de NaCl permet de les diviser en deux catégories, l'une qui absorbe les sels de l'habitat sale et l'autre qui s'accorde avec une grande salinité, mais n'absorbe pas les sels (Abdul-Halim, 1986).

Ainsi que toutes les espèces halophytes sont classées dans deux groupes :

- Les halophytes chlorurées avec la composition ionique dominée par le sodium et le Chlorure (*Atriplex patula*, *Chenopodium rubrum*, *Salicornia rubra* et *Suaeda depressa*) et les halophytes alcalins avec relativement une augmentation de potassium, de magnésium, de calcium et une faible teneur en Chlorure (*Chenopodium salinium*, *Kochia scoparia* et *Salsola pestifer*) (Redmann et Fedec, 1987).

En effet, il est généralement admis que seul un petit nombre d'espèces atteignent leur optimum de croissance en présence de fortes teneurs en sels : ce sont les halophytes obligatoires, toutes les autres ne sont que des halophytes facultatives encore appelées pseudo-halophytes ou miohalophytes qui ne se trouvent dans les milieux halomorphes que parce qu'elles sont évincées des sols non salés où pourtant leur rendement est meilleur (Brun, 1988).

## I. NOTION D'HALOPHILIE

Les halophytes sont caractérisées par une forte capacité d'absorption ionique (Ayadi, 1980). Ainsi *Suaeda*, en absence de NaCl, absorbe en grande quantité les ions calcium qui deviennent toxiques pour la plante. Dans la gamme de salinité (0--> 129 mM de NaCl, le *Suaeda* a un comportement halophile, la teneur en calcium est fortement diminuée par le sel (le saos et Binet, 1987), ainsi que sur le milieu hydroponique.

Cette espèce exige des concentrations en NaCl 130 Mm. pour présenter une croissance optimale et produire des semences viables (Hagège, 1988). Mais, entre 129 et 390Mm, *Suaeda* a un comportement halorésistant, la teneur en calcium des tissus est très fortement diminuée par le sel ( Saos et Binet, 1987 ), ainsi que sur le milieu hydroponique.. Quand on cultive *Salicornia enropea* sur un milieu sans NaCl ., les plantes sont riches en calcium mais également en acide oxalique.

Ainsi, en milieu peu salé, les salicornes se comportent comme une espèce calciphobe (suivant la terminologie de Iijin, 1936, 1944 in le Saos et Binet, 1987) contenant peu de calcium en solution et fabriquant des composés précipitant le calcium. En milieu salé, le NaCl réduit l'entrée du calcium.

En outre, *Halopeplis amplexicaulis* présente une nette halophilie puisque la formation de matière végétale est la meilleure en présence de fortes concentrations en NaCl (100 à 200 mM). De plus sur milieu sans NaCl, la mortalité est très forte (85% pendant les 50 premiers jours de culture) (Tremblin et Binet, 1984).

## II. CARACTERISTIQUES DES HALOPHYTES

### Le milieu

Les relations des plantes «halophiles» avec le milieu permettent de définir des *halophytes submergées*, plongées entièrement dans de l'eau salée (algues et plantes marines); des *halophytes terrestres* dont seuls les organes souterrains sont en contact avec des teneurs importantes de sel; des *aérohalophytes* recevant sur leurs parties aériennes des embruns ou des poussières salées (végétation des falaises, dunes littorales, déserts). Mais, le plus souvent, une même espèce végétale appartient tantôt à l'une, tantôt à l'autre de ces catégories ou à plusieurs de ces catégories à la fois. Ainsi les salicornes qui se développent à la limite des hautes mers moyennes sont des halophytes terrestres puisque leurs racines baignent constamment dans une vase salée; elles deviennent des halophytes submergées au moment des fortes marées et des aérohalophytes à marée basse.

Il faut encore constater que l'hétérogénéité des halophytes est augmentée du fait de la diversité des sels solubles présents. Si, au bord de la mer, les eaux et les sols salés sont surtout riches en chlorure de sodium, il n'en est pas de même à l'intérieur des terres où de fortes concentrations salines peuvent être créées par l'accumulation de sulfates, de carbonates ou d'un mélange de plusieurs sels.

Les halophytes sont le plus souvent installées dans des milieux alcalins. Elles ne constituent cependant pas l'ensemble des végétaux «alcalinophiles» car un sol peut être fortement alcalin sans contenir une solution riche en sel. C'est le cas par exemple lorsque de fortes proportions de sodium et de potassium sont fixées sur les colloïdes du sol.

### Données biologiques

Parmi les végétaux supérieurs tels que le *Tamarix* et l'*Atriplex* qui présentent un port buissonnant, la plupart des halophytes sont herbacées (salicorne et diverses graminées) et présentent des organes aériens charnus. Cette succulence est due soit à une hypertrophie de certaines cellules qui, gorgées d'eau, forment un «tissu aquifère», soit à la formation d'un grand nombre d'assises cellulaires, soit aux deux phénomènes à la fois.

Sur les sables et les falaises littorales, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer, la succulence disparaît et les caractères morphologiques et anatomiques les plus couramment rencontrés (racines très développées, organes aériens protégés par une cuticule épaisse, un revêtement pileux abondant) sont ceux que l'on observe en général chez les espèces des milieux secs (xérophytes).

L'implantation des halophytes dans les divers milieux salés se fait à partir de semences ou par bouturage naturel. Il est fréquent de constater que l'aptitude des semences à germer en milieu salé dépend de la température, du degré d'humidification du sol, de la nature des sels présents et surtout des conditions subies avant leur germination par les graines. Souvent leur séjour dans un milieu froid et humide pendant un ou deux mois augmente fortement leurs possibilités de germination en présence de sels, une fois la température devenue plus clémente. Ce séjour au froid des semences a d'ailleurs un effet très prolongé car il améliore ultérieurement la croissance des jeunes plantes.

Le bouturage naturel est fréquent chez diverses halophytes terrestres par fragmentation des rhizomes. Le transport de ces fragments par les courants côtiers entraîne l'extension de telles espèces.

#### **Stress dû à la salinité**

Du point de vue biochimique, les halophytes se caractérisent en général par une forte richesse de leurs tissus en sels. Une grande partie de ces sels étant dissoute dans le suc vacuolaire, il en résulte une pression osmotique élevée (jusqu'à 100 atmosphères chez des halophytes sahariennes, 60 à 70 atmosphères dans les cellules épidermiques des feuilles de palétuviers, 30 à 40 atmosphères chez divers *Atriplex*). Cette pression peut subir des variations rapides si la salinité du milieu extérieur est modifiée. Dans des conditions de vie normale, le suc vacuolaire demeure ainsi toujours légèrement hypertonique par rapport au milieu extérieur. L'absorption d'eau reste donc possible et la perte d'eau par transpiration, si elle peut paraître forte quand on la rapporte à l'unité de surface, est d'autant plus faible exprimée en fonction de l'unité de masse du végétal que celui-ci présente des organes plus charnus.

Bien que limitée, et cela grâce à des mécanismes divers (perméabilité réduite des cellules vis-à-vis des sels, faible mouillabilité des surfaces végétales par les solutions salines, sécrétion de sels au niveau de glandes spécialisées), l'accumulation des sels

dans les tissus des halophytes est en général importante. Par conséquent la principale caractéristique des halophytes est de posséder une matière vivante capable de fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines. C'est là l'aspect essentiel de leur résistance au sel dont la signification profonde reste mal connue. En comparant l'action du chlorure de sodium sur le comportement biochimique d'espèces résistantes aux sels et sur celui d'espèces non résistantes, il semble ressortir que chez les halophytes les matière vivante – sont peu touchées par la présence d'ions tels que le sodium, acides nucléiques – dont dépend la synthèse des protides. La présence de ces ions déclenche une rapide destruction des acides nucléiques. La résistance au sel est, en tout état de cause, une propriété qui se détermine à l'échelle moléculaire.

La salinité empêche la croissance des plantes, essentiellement à travers les effets osmotiques (Green Way et Muns, 1980). Les halophytes qui ont été naturellement sélectionnées pour croître dans les environnements salins (Flowers *et al*, 1986) peuvent s'accorder avec ces effets nuisibles jusqu'à un certain point de régulation du transport d'ions. La plupart des plantes halophytes limitent strictement l'assimilation du sel du sous-sol ou limitent l'influx du sel dans les pousses.

Les halophytes sont des modèles pour comprendre la tolérance extrême du sel et contiennent des gènes de mares de grande valeur pour l'utilisation dans l'amélioration de la récolte (Wang *et al.*, 1992).

On note une large variation inter et intra-spécifique dans la tolérance du sel surtout chez les espèces naturelles.

*Hordeum jubatum* est une vivace éphémère s'adaptant à une large gamme de salinité, supportant des sols non salins à hautement salins (Best *et al*, 1978). Un travail récent de Suhayda *et al* (1992) a montré qu'une population de *Hordeum jubatum* à partir d'un site non salin dans le centre de Saskatchewan a exposé un haut degré d'une tolérance relative du sel jusqu'à l'orge commercial (*Hordeum. vulgare*). Ces résultats poussent cette investigation de la tolérance du sel dans les populations du *Hordeum jubatum* se trouvant naturellement sur les sols hautement salés dans la région.

Les effets d'un mélange du  $MgSO_4$  sur la croissance et relation d'ions de deux populations de *Hordeum jubatum* à partir des habitats des prairies salines et un site de haute terre non saline dans le central de Saskatchewan ont été étudiées dans un

environnement contrôlé. Les objectifs ont consisté à voir si la variabilité dans la tolérance du sel existe ou non entre les populations du *Hordeum jubatum*.

### III. SENSIBILITE OU TOLERANCE DES PLANTES AUX SELS

Le flux ionique contrôle depuis les racines jusqu'aux cellules parenchymateuses des plantes, et l'accumulation des sels dans la vacuole centrale sont d'importants facteurs de la tolérance des plantes vasculaires vis à vis des sels (Flowers, 1986). Comme les glycophytes ont une tolérance à exclure le Na<sup>+</sup> et le Cl<sup>-</sup> quand elles sont exposées à un environnement salin, les halophytes développent un influx contrôlé de ces ions. Ainsi, la concentration moyenne en sel de 3 à 10% de la concentration externe est maintenue dans le Xylème (Brügemann et Janiesch, 1987).

Il a été proposé que cette différence dans la réaction pour le traitement des sels peut être dû aux différents systèmes de transport ionique dans la membrane plasmique des cellules racinaires (Yeo et Flowers, 1986).

Les cellules spécialisées du parenchyme et du Xylème peuvent jouer un important rôle dans cette hypothèse. Il est maintenant largement admis que le potentiel énergétique de la membrane plasmique de la cellule de la plante pour le transport des solutés est accompli par la création de la maintenance du gradient du proton par la translocation du H<sup>+</sup> -ATPase (Serrano, 1984 a). Cette ATPase a été caractérisée dans un nombre d'espèces de plantes cultivées spécialement dans les céréales et les betteraves cultivées. Les rapports sur la caractérisation de l'ATPase de la membrane plasmique chez les espèces végétales qui n'ont pas été élevées sont rares dans un milieu nutritif (Yoshida *et al.*, 1983).

### IV. ADAPTATION DES PLANTES AU NaCl

Beaucoup d'espèces végétales, notamment les halophytes sont capables d'accumuler de grandes quantités de sels dans leurs tissus (Redmann et Fedec, 1987). L'espèce *Suaeda fruticosa* au Pakistan accumule 2695 Kg/ha de sel du sol (Chaudhri *et al.* 1964). Un traitement progressif au NaCl a été fait par Pua et Thorpe (1986) sur des cals de *Beta vulgaris* adaptés à 500 mM en les exposant, à chaque subculture, à des concentrations de 70, 210, 560 mM, alors que les cas non adaptés meurent pour 260 mM.

Pour les plantes glycophytes aussi bien que pour les halophytes, l'adaptation à salinité du milieu résulte de leur possibilité d'ajustement osmotique (Flowers *et al.*, 1977 ; Green Way et Munns, 1980). Celle-ci implique en premier lieu une régulation des phénomènes de transport et d'accumulation des ions. L'ajustement osmotique fait intervenir des modifications physiologiques et biochimiques au niveau membranaire (Sheffer *et al.*, 1986).

D'une manière générale, le chlorure de sodium exerce une action dépressive sur l'absorption et la migration du calcium. Ceci a été montré aussi bien chez des halophytes : *Salicornia europaea* (Van Eijk, 1934), *Cochlearia anglica* (Le Saos, 1974, 1976a) que chez des glycophytes tolérantes : betterave (Khoury, 1966), cotonnier (Slama, 1974), luzerne (Lessani, 1969), laurier rose (Hadji, 1976) ou bien encore chez des glycophytes sensibles au sel : haricot (Slama, 1974).

Cependant aux faibles concentrations calciques, pour des halophytes telles que *Atriplex spongiosa*, *Atriplex inflata* (Osmand, 1966). La présence du chlorure de sodium ne modifie pas l'absorption du calcium, il en va autrement pour les glycophytes étudiées par Johansen *et al.* (1968). Dans le cadre d'un antagonisme (ions monovalents – calcium), l'absorption du calcium est fortement diminuée.

La résistance à la salinité apparaît associée au maintien d'un certain taux de calcium racinaire : Ainsi la croissance d'*Agropyrum elongatum* et d'*Agropyrum intermedium* cultivé sur des solutions diversement salées et étroitement liée à la teneur en calcium de leurs racines (Elzam et Epstein, 1969 a et b), Par ailleurs, la nocivité d'une eau d'irrigation salée est souvent liée au fait que cette eau appauvrit le sol en calcium assimilable par les racines (Kelley, 1963 ; Bigot *et al.*, 1983).

## V. EFFET DE NaCl SUR LES PLANTES

De façon générale, les halophytes absorbent de grandes quantités de Na<sup>+</sup> et le transportent largement vers les parties aériennes (Fowers *et al.*, 1977; Hamza, 1980). En présence de quantités suffisantes de NaCl et quelque soit l'intensité de l'éclairement, les plantes présentent toujours des teneurs voisines en sodium et en chlore, mais qui augmentent sensiblement avec la salinité (Tremblin et Coudret, 1986).

L'étude de Brun (1988) sur *Canavalia obtusifolia* DC. a montré qu'en présence de NaCl, la teneur en Na<sup>+</sup> de tous les organes augmente sensiblement avec le taux de

salinité externe, mais la distribution varie selon la concentration du milieu et l'âge des plantes. Cependant l'étude de Gerard *et al.*(1988) a montré que l'absence de NaCl dans le milieu de culture du *Suaeda maritima* (L.) Dum. Var. macrocarpa Moq. entraîne une baisse des teneurs des feuilles en lipides totaux par rapport au témoin cultivé en présence de 130 mM de NaCl.

Si on compare les effets des deux sels, NaCl et Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> étudiés par Houchi *et al.* (1989) à concentration égale en micro-équivalent par litre de solution nutritive, on observe que NaCl a un effet bénéfique sur *Plantago maritima* et il est moins nuisible que Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> chez sur *Plantago lanceolata*.

En outre, les fortes concentrations de NaCl inhibent la croissance chez les glycophytes (Haji, 1978 ; Gren way et Munns, 1980) que chez les halophytes (Gleen et O'leary, 1984). Ainsi le pourcentage de germination reste élevé tant que la concentration du milieu extérieur en NaCl ne dépasse pas 300 mM, au dessus de cette valeur la vitesse et la capacité de germination décroissent fortement pour s'annuler au dessus de 500 mM (Tremblin et Binet, 1982).

## **VI. EFFET DE LA SALINITE ET DE LA TEMPERATURE SUR LA GERMINATION**

Les travaux de Macke et Ungar (1966) et Williams et Ungar (1972) ont démontré que dans la salinité de plus 40 ppm, les sels totaux ne sont pas toxiques pour la germination des semences de plusieurs espèces halophytes, quoique la salinité peut être un inhibiteur.

La salinité élevée n'est pas toxique pour la plupart des semences des halophytes et n'est pas obligatoire pour la germination. Plusieurs halophytes semblent exiger un milieu salin pour la germination optimale (Stumpf *et al*, 1986). En outre, la dormance des grains est un mécanisme qui empêche la germanisation dans un environnement non approprié (Badger et Unger ,1989).

Le nombre de chercheurs qui étudient les marais salants côtiers et intérieurs ont mis une hypothèse, la mortalité dans les populations des halophytes est due à l'augmentation de la salinité (Stress) pendant la période de croissance (Ungar, 1987 b). Cependant la germination et la croissance postérieure des jeunes plantes ne sont pas

affectées que par les facteurs exogènes comme la salinité, température et la lumière mais aussi par les constituants chimiques et les réserves nutritives (Austenfeld, 1986, 1988).

## VII. LES ASSOCIATIONS D'HALOPHYTES

Les halophytes sont représentées par de très nombreuses algues et par quelques espèces appartenant aux autres groupes végétaux. Dans les milieux salés, en dehors des Algues, seules les Phanérogames appartenant à quelques familles (Chénopodiacées, Plumbaginacées, Graminées, Composées, Crucifères) forment des ensembles importants et caractéristiques dont on étudiera quelques exemples :

- Une population végétale ouverte, c'est-à-dire formée de touffes (salicornes ou spartine) ne couvrant pas la totalité du sol,
- Un tapis continu dominé par l'obione, mais dans le quel on trouve quelques pieds de salicornes et de spartines,
- Une véritable prairie salée formée par une graminée (*Puccinellia maritima*) accompagnée par des espèces variées dont certaines ne se trouvent que dans les points les plus humides (*Triglochin maritimum*) alors que d'autres (*Festuca arenaria*) caractérisent les endroits secs.
- Les dunes embryonnaires, petits amas de sable constamment modifiés par le vent et quelque peu consolidés par une graminée du genre *Agropyrum*,
- Les dunes mobiles constamment soumises à un décapage ou à un ensablement sont domaine d'une graminée, l'Oyat.

Enfin à l'intérieur des terres, au bord des lacs et sources salés, dans les zones désertiques où l'évaporation est plus importante que le lessivage (*solontchak* de l'Asie, *chott* et *sebkha* sahariens, *salt-pans* australiens) s'observent des ensembles très variés liés au climat, à la diversité des sols (argileux, sableux, rocailleux) et à la nature des sels présents dans ces sols (chlorures, sulfates, carbonates). Il est remarquable que sur sol chloruré on retrouve comme sur le littoral de nombreuses espèces succulentes alors que les plantes développées sur milieux sulfatés présentent toutes des organes non charnus souvent fortement lignifiés (type *Frankenia*).

## VIII. INTERET ECONOMIQUE DES PLANTES HALOPHYTES

L'intérêt économique des halophytes n'est pas négligeable. Une halophyte submergée comme la zostère peut être utilisée comme matériau d'isolation phonique ou thermique, comme garniture de matelas, ou pour fabriquer du papier. Aux Indes, les feuilles d'*Enalus* fournissent des fibres textiles, tandis que les tubercules et les fruits sont comestibles. En Israël, le jonc maritime, dont la matière sèche contient jusqu'à 55 p. 100 de cellulose, est cultivée pour fabriquer du papier.

Par ailleurs, la prairie à *Puccinellia maritima* sert de prairie de fauche ou de pâturage pour les moutons, les chèvres, les vaches, les oies, à condition de veiller à ce qu'il y ait un bon équilibre entre les possibilités de croissance de la végétation et les prélèvements qu'on y opère; ceux-ci ne s'effectueront qu'après le départ des oiseaux migrateurs pour lesquels les prairies littorales sont un lieu de repos indispensable. Si la spartine (*Spartina Townsendi*) risque, par sa croissance exubérante, de perturber l'embouchure de certaines rivières au point que son élimination à l'aide d'herbicides (dalapon, fenuron, 2-4 D par exemple) doit être envisagée, elle n'en reste pas moins une espèce précieuse pour stabiliser les vases tout juste exondées et pour faciliter ainsi la conquête de nouvelles terres sur la mer.

Les plantes halophiles présentent surtout un intérêt économique dans la récupération et l'utilisation des sols salés. Si une fois mis à l'abri des incursions marines, un sol salé peut perdre ses sels solubles par lessivage à l'eau douce et le sodium adsorbé sur ses colloïdes par addition de gypse ou de soufre et de calcaire, il n'en faudra pas moins commencer par cultiver sur un tel sol (polder par exemple) des espèces peu sensibles au sel (palmier dattier, betterave, cotonnier) pour passer ensuite à des espèces de moins en moins résistantes (céréales, colza, eucalyptus, puis laitue, haricot, lin, enfin lentille, fraisier, pêcher). Fort heureusement, il existe, entre les halophytes et les glycophytes toute une série de plantes intermédiaires dont dépend la mise en culture de sols salés.

Dans de nombreuses régions désertiques, l'eau disponible pour l'irrigation contient des quantités assez importantes de sels dissous, quantités qui risquent d'être d'autant plus dangereuses que cette eau, une fois utilisée, va subir une évaporation souvent intense. Son emploi nécessite donc un certain nombre de précautions: déverser de grandes quantités d'eau pour limiter la concentration des sels dans le sol, maintenir la nappe phréatique à une profondeur assez grande pour

empêcher la remontée des sels en surface, apporter des ions calcium si l'eau utilisée est sodique afin d'éviter la formation d'argile sodique, etc., et surtout cultiver des espèces résistantes aux sels.

Ces quelques exemples montrent l'importance économique des halophytes. Les sols et les eaux salés sont très répandus à la surface du globe et leur existence nuit beaucoup au développement agricole de certains pays (régions désertiques en général). De plus certaines espèces vivant en milieu salé sont très abondantes et peuvent être des sources de matières premières: par exemple, sur les côtes hollandaises, 1 500 ha sont recouverts de zostères; au Danemark, ces mêmes zostères fournissent chaque année 24 millions de tonnes de matière végétale fraîche, quantité supérieure à la production annuelle des herbages de ce pays.

## **CHAPITRE 4 : SOLS AFFECTES PAR LE SEL**

### **I. NOTION DE SOL SALE**

Un sol est dit salé dès lors qu'il renferme 70 moles de NaCl par mètre cube, il est alors impropre aux cultures vivrières, essentiellement glycophyles, dont le seuil de tolérance est de 2 à 3 de sel (Heller, 1969 ; Duthil, 1973 ; Guerrier, 1983a).

Les sels chlorurés sont des sels solubles en général prédominants dans la plupart des plaines irriguées. Le gypse est trouvé dans les sols des lieux affectés par le sel d'une haute concentration (au delà de 10 %) comme les amorphes et sélénite cristallisé ou micro-cristalite finement granulés. Ces sols, aussi contiennent 20-30% des minéraux calciques dans de différentes formes. L'accumulation des sels dans les lieux irrigués était attribuée à l'addition des sels dans l'eau d'irrigation, l'augmentation de teneur en sels prenante capillaire, l'inondation de la terre par l'eau marine et le transport du sel de la mer par le vent et autres sources contribuant à l'envahissement des eaux continentales en sels (Abdul-Halim, 1986).

Les sols salins des plaines alluviales, habituellement ont une croûte saline, les anions dominants sur les chlorures et les sulfates, dans peu de cas, les nitrates et de petites quantités de bicarbonates apparaissent.

Les sols affectés par le sel ont une tendance à devenir granulaire à cause de la haute salinité et ceci favorise l'érosion éolienne. Les niveaux du pH de saturation des

sols salins généralement se rangent entre 2 pour les sols salés acides et 10 pour les sols carbonatés sodiques et plus fréquemment de 7,1 à 8,4. Cette réaction alcaline est due à la présence de calcaire et autres carbonates dans l'argile, limon ou particule de sable. Les concentrations des matières organiques du sol, rarement dépassent 1% et les oxydes de fer libre, moyenne de 0,14%.

Il est connu que tous les continents sont affectés par la salinité : l'Europe (Espagne, France et Europe centrale), l'Afrique et principalement les régions du Maghreb. En Egypte, 12000 ha sont devenus salés à la suite de l'irrigation par le Nil qui ne contient pourtant que 150 ppm de sodium. L'Amérique du Nord où 01% des terres cultivables sont perdues chaque année, 89% des terres irrigables du continent asiatique (dont 10 millions d'hectares recensés en Inde et au Pakistan), 55% de la surface totale de l'Océanie et de l'Australie (Russell, 1973; Ramade, 1974 ; Carter, 1975 ; Binet, 1978, Guerrier et Bourget, 1989 ; Szabolcs , 1979).

## II. TYPES DE SOLS SALES

### Les Salisols

Les salisols, sols salins ou saliques (*solontchaks* des auteurs soviétiques), possèdent un horizon dont la conductivité de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 15 ou 8 déci Siemens par mètre à 25 °C, selon la nature anionique des sels présents (chlorurés, sulfatés, ou bien carbonatés, respectivement). Ils se forment souvent à partir d'une nappe phréatique salée et peu profonde, d'origine naturelle ou anthropique. Le climat, la topographie et la texture des sols influencent le sens, la vitesse et l'intensité des redistributions salines dans les profils et dans les toposéquences selon les solubilités respectives des différents sels. Les saisons chaudes et sèches favorisent l'ascension capillaire des sels à la surface des sols, où ils se concentrent sous l'effet de l'évaporation et s'y expriment en efflorescences, poudres ocre ou brunes, croûtes du « salant blanc ». En zone continentale, la concentration de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) et le pH élevé qui en résulte provoquent une dissolution de la matière organique des sols, différenciant des tâches superficielles de « salant noir ».

Les sels, par définition plus solubles que le gypse, peuvent avoir diverses origines: marine actuelle ou ancienne, dans les plaines littorales, les estuaires ou à

l'intérieur des terres sous l'effet d'embruns; pétrographique quand ils sont concentrés dans certains matériaux et parfois exploités comme mines de sels; volcanique ou hydrothermale; hydrogéologique quand l'eau des aquifères est contaminée. Dans les mangroves tropicales, qui souffrent d'un déficit pluviométrique, chlorure de sodium (NaCl) est associé à des sulfates mixtes comme les aluns, sels caractéristiques des «sols sulfatés acides», et formés par oxydation du soufre présent dans ces formations à palétuviers.

La salinisation des sols due aux activités humaines est induite par certains aménagements ou de mauvaises pratiques agricoles (utilisation d'eaux d'irrigation, de drainage, d'engrais, création de barrages, implantations de serres, épandages d'effluents agricoles ou urbains, etc.).

Sur la planète, d'immenses superficies de sols sont affectées par les sels: de 500 à 800 millions d'hectares selon les estimations. Ils sont, selon le degré de salure, soit nus, soit occupés par une végétation d'espèces adaptées dites halophytes: ce sont des salsodisols ou sols salsodiques, appelés auparavant en 1967 sols halomorphes. Génétiquement, ils sont constitués par deux unités très différentes: les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium, sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes; les sodisols, à complexe sodique, dans lesquels les cations, essentiellement le sodium, sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants.

Les sols salsodiques se différencient naturellement sous les climats plus ou moins arides, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire. Par ailleurs, de nombreuses zones où l'homme a développé ses activités hydro-agricoles – plaines, terrasses alluviales, dépressions endoréiques, oasis – sont affectées par une salinité secondaire induite par l'irrigation. Ces pratiques nécessitent en effet une bonne maîtrise de l'eau et des sels afin d'éviter la dégradation des sols dont la récupération est généralement coûteuse, précaire et rarement satisfaisante.

### **Les Sodisols**

Ces sols à complexe sodique sont aussi dénommés sols sodiques, ou sols alcalisés. Une partie des charges électronégatives du complexe adsorbant des sols est occupée par le sodium échangeable. Celui-ci provient d'eaux alcalines ou de l'altération de roches sodiques (certains granites). Lorsque l'ion sodium (Na<sup>+</sup>) occupe

plus de 15 p. 100 de la capacité d'échange cationique du sol, l'argile devient sodique. Elle s'hydrolyse et se floccule sous l'effet de l'eau douce (pluie ou irrigation), élevant le pH à 8,7. Les caractéristiques physiques des sols se dégradent, ils sont très compacts et à faible microporosité à l'état sec, ils sont totalement dispersés et à structure continue et fluente à l'état humide. Les sels solubles, qui maintiendraient un état flocculé, sont ici absents. Ce sont des sodisols sodiques ou indifférenciés, caractéristiques des climats arides et semi-arides. La teneur en sodium, qui provoque cette dégradation, varie selon le type d'argile et son environnement cationique; la présence de calcaire, en particulier, freine cette évolution. Le magnésium, en milieu pauvre en calcium, joue un rôle analogue à celui du sodium. Sous des conditions climatiques plus humides, une certaine désaturation du complexe échangeable intervient, ainsi qu'un lessivage d'argile, différenciant un horizon éluvial éclairci, parfois discontinu; son pH s'abaisse, devenant proche de la neutralité. Il lui succède en profondeur un horizon d'accumulation à structure prismatique ou en colonnettes dont la porosité intra-agrégats est très faible; il s'est enrichi en argile et en sodium échangeable; son pH est élevé (pH = 9, parfois). Ce sont des sodisols lessivés ou solonetz.

Les termes ultimes de cette séquence évolutive résultant de conditions encore plus humides sont les sodisols dégradés, ou solods. Leur horizon supérieur a subi une désaturation complète de son complexe adsorbant, qui se traduit par une acidification poussée (pH = 5, parfois). L'action conjointe de cette acidité et des phénomènes de réduction dus à un mauvais drainage interne déclenche une acidolyse qui dégrade les argiles elles-mêmes. Cet horizon, devenu squelettique du fait de la persistance d'une trame siliceuse, apparaît cendreuse et blanchi. L'horizon inférieur, enrichi en argile et en sodium, est au contraire extrêmement compact, peu poreux et nettement structuré en colonnettes; son pH est élevé (9 à 10).

### **III. Répartition géographique**

Les sols salsodiques couvrent une partie considérable du territoire australien. Ils sont largement représentés dans les régions continentales de l'ex-U.R.S.S., en bordure de la mer Caspienne et en Europe centrale, où ils ont envahi de nombreuses terrasses et dépressions alluviales comme la plaine hongroise. En Asie, ces sols sont distribués dans les parties nord et ouest de Chine, où des eaux salées s'accumulent faute de drainage. En Inde et en Iran, plus de 2 millions d'hectares de sols sont contaminés; ils occupent d'importantes superficies en Indonésie, au Pakistan, et en

Irak dans une grande partie de la Mésopotamie. Le fossé est africain, la vallée du Nil, la dépression du lac Tchad, les régions arides d'Afrique du Sud présentent de vastes étendues de sols touchées par la salure en général, ainsi que, de façon plus ponctuelle, les plaines, sebkhas et oasis méditerranéennes. En Amérique du Nord, depuis les grandes plaines canadiennes, le nord des États-Unis, où les sols noirs de prairie sont interrompus par des dépressions salées, la vallée du Colorado, l'Arizona et jusqu'aux lagunas nord mexicaines, les salsodisols occupent près de 20 000 kilomètres carrés. En Amérique du Sud, le Nord-est brésilien, la pampa argentine et les vieilles plaines du Paraguay sont en partie occupés par des sodisols; en altitude, les *salares* de la cordillère des Andes, par des salisols. En Europe occidentale, les manifestations salines sont plus limitées, et ce sont surtout les plaines littorales du Sud qui sont en partie touchées: plaines du Pô, Camargue, Èbre, Guadalquivir. Les appellations de ces sols varient selon les pays (chotts , sebkhas , lagunas , playas , salares , enganes , sansouires , etc.).

#### **IV. Végétation naturelle**

La richesse en sels solubles ou les mauvaises qualités physiques des sols salsodiques conduisent à une spécialisation de la végétation, et même à sa disparition totale lorsque, dans la solution du sol, la pression osmotique ou la toxicité spécifique de certains ions devient trop élevée. Les plantes résistantes appartiennent à un nombre limité d'espèces et occupent assez peu le sol. Le paysage qui en résulte est tout à fait typique. Les halophytes les plus caractéristiques sont les salsolacées (*Arthrocnemum* , *Salicornia* , *Suaeda* , *Salsola* , *Atriplex* , *Obione* ) formant les enganes de Camargue par exemple, à côté de zones encore plus salées, les sansouires , sans végétation. Les plombaginées, les plantaginées, les composées et les graminées fournissent bon nombre d'espèces moins résistantes, qui sont souvent qualifiées de pré-halophytes.

#### **V. Utilisation et mise en valeur**

La mise en valeur de ces sols est délicate. Les méthodes diffèrent selon le type de salure identifié: salinité ou alcalinité; un bon diagnostic s'avère indispensable avant toute intervention.

En régime pluvial, la quantité et la répartition des précipitations annuelles sont déterminantes selon qu'elles permettent ou non un dessalement saisonnier des sols salins. Sous climats tempérés et méditerranéens, à pluies hivernales, l'introduction

d'arbres forestiers résistants, d'arbustes fourragers (*Atriplex* ) ou de pâturages tolérants, ainsi que de certaines céréalicultures (orge, blé), est réalisable. Dans les régions tropicales suffisamment humides, les pluies de saison chaude permettent la culture de riz ou de coton.

Sous les climats plus secs, l'irrigation constitue la seule possibilité de mise en valeur de ces sols; elle solubilise et entraîne les sels, abaisse la pression osmotique de la solution du sol et assure une bonne alimentation hydrique des plantes. Il est vivement recommandé de mettre en place un système de drainage qui permette le maintien de la nappe phréatique à une certaine profondeur et l'évacuation des eaux de drainage hors des périmètres. L'utilisation d'eaux saumâtres à l'origine ou le réemploi d'eaux déjà utilisées sont même possibles, à condition d'éviter le réflexe fréquent de moins arroser, mais au contraire d'ajouter une quantité d'eau supérieure aux besoins des cultures, dites fraction de lessivage. En région méditerranéenne, la riziculture irriguée donne de bons résultats sur sols salés; elle assure un lessivage d'été dont les effets s'ajoutent à ceux des pluies d'hiver. Parmi les plantes cultivées, certaines cultures maraîchères sont sensibles, par exemple les radis, les fraisiers et surtout les haricots verts. La plupart des arbres fruitiers tant à pépins qu'à noyaux, excepté le palmier dattier, et surtout les agrumes, sont très peu tolérants.

En ce qui concerne les sodisols, leur mise en valeur est plus difficile, car il ne s'agit pas de sels facilement mobilisables. Il est nécessaire de déplacer le sodium échangeable et de le remplacer par du calcium. On a recours à des amendements calciques (gypse, chaux, phosphates, etc.), parfois apportés par les eaux d'irrigation. Lorsque le milieu est déjà calcaire, on utilise directement le soufre et même l'acide sulfurique, dilués dans les eaux d'irrigation.

La dégradation saline ou alcaline secondaire des sols, provoquée par l'irrigation, constitue un risque qui va croissant sur la planète avec la forte augmentation des superficies irriguées destinées à couvrir les besoins des populations, en complément des cultures pluviales. Les méthodes de récupération sont toujours délicates et onéreuses; elles nécessitent plusieurs années de travail pour un résultat souvent précaire. Des solutions techniques existent pour chaque situation particulière qui nécessite un diagnostic précis et, par la suite, un suivi continu de son évolution. Il est essentiel, sur le plan économique, de procéder en outre à une étude préalable de rentabilité à long terme.

## CHAPITRE 5: DEVELOPPEMENT DES SALICORNES

### I. SYSTEMATIQUE

Pour réaliser cette étude systématique nous nous sommes référés aux travaux de Gaussen *et al.* (1982) :

Classe : Dicotylédonae  
Sous-classe : Caryophyllidae  
Ordre : caryophyllales  
Famille : Chenopodiaceae  
Genre : *Salicornia*  
Espèce : *fruticosa*

### II. CARACTERISTIQUES BOTANIQUES :

Les salicornes sont des plantes très rameuses, rameaux charnus d'un vert sombre, souvent retombant ou couchés, terminés par des épis floraux étroits et allongés, deux étamines par fleur (Ozenda, 1983). Fruits ovoïdes et membraneux, renfermés dans le calice accrescent, graines verticales (Quezel et Santa, 1962).

#### 2.1 *Salicornia fruticosa* L.

*Salicornia fruticosa* L. ou *Salicornia arabica* L. est une plante vivace à tiges ligneuses radicales ou non. Epis florifères long de 1,9 cm. Fleurs en général ternées laissant sur l'axe trois logettes contigues, (la médiane plus grande que les latérales) (Figure 4).



Fig.4 : *Salicornia fruticosa* près de l'Oued N'sigha

## 2.2. *Salicornia herbacea* L.

*Salicornia herbacea* L. ou *Salicornia europea* L. est une plante herbacée, annuelle dans la famille des salicorniaceae, anciennement chénopodiaceae (Scott, 1977), couvre une large distance dans les marais côtiers. La maturité des semences intervient en fin Septembre (Ball et Brown, 1970). Les réserves se conservent dans des cotylédons, mais pas dans les tissus spéciaux.

Pour les inflorescences, *Salicornia herbacea* porte une seule inflorescence et deux fleurs latérales (Ungar, 1979 ; Philipupilai et Ungar, 1984).

### III. ECOLOGIE

Les population des halophytes croissent dans le désert salin, les marais salants, ou autres habitats salins résultant des activités humaines (irrigation par exemple) sont soumises à une mortalité élevée parce que l'action directe de la forte salinité ou autres variables biotiques et abiotiques sont associées avec ces habitats (Ungar, 1987 b).

Des populations de *Salicornia europea*, situées dans les portions les plus salines d'un sel du bassin d'Ohio (Ungar *et al.*, 1979) ont fait l'objet de nombreuses études. La variation génotype et la plasticité phénotypique de cette halophyte annuelle ont été étudiées sur les populations et parmi les individus de divers groupes singuliers (Jefferies et Gottlieb, 1982 ; Huiskes *et al.*, 1985). Ainsi, les plantes observées poussant dans le champ peuvent avoir soit des pousses sans branches quand elles croissent sur des surfaces denses et d'une salinité marquée, ou des pousses avec multi-branches quand elles croissent sur les surface moins denses et sous des conditions moins salines (Jefferies *et al.*, 1981 ; Wilkon – Michalska, 1985).

Un nombre de facteurs biotiques et abiotiques, comprenant la compétition, la salinité, l'action de marais et l'aération, ont été considérés comme significatifs en causant la mort des plantes dans les habitats côtiers (Ungar, 1987 a).

## CHAPITRE 6 : LE FLUOR DANS L'ENVIRONNEMENT

### I. GENERALITES SUR LE FLUOR

Elément chimique de symbole F et de numéro atomique 9, le premier de la famille des halogènes, le fluor est le plus électronégatif et le plus réactif de tous les éléments chimiques. C'est un gaz faiblement coloré en jaune verdâtre dont l'odeur très forte et irritante rappelle celle de l'ozone. Son inhalation, très nocive, et la brutalité avec laquelle il réagit avec les composés organiques et certains dérivés minéraux en font un produit dangereux que l'on fabrique le plus souvent sur les lieux d'utilisation (usines de séparation isotopique des hexafluorures d'uranium).

Les recherches sur les dérivés du fluor, et notamment les composés organofluorés, sont cependant très activement poursuivies, car ces dérivés ont souvent une extraordinaire stabilité thermique et chimique.

### II. ETAT NATUREL ET PREPARATIONS

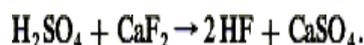
Le fluor est un élément relativement abondant dans l'écorce terrestre. Il serait plus abondant que le cuivre, par exemple. On le trouve toujours à l'état combiné. Il est présent sous forme de fluorure de silicium gazeux dans les fumerolles des volcans ainsi que dissout dans les eaux thermales. La source essentielle de fluor est constituée, cependant, par des minerais dont les principaux sont la cryolite ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) et la fluorine, ou spath-fluor ( $\text{CaF}_2$ ). Le mot «fluor», qui en latin signifie écoulement, provient d'ailleurs de l'utilisation de la fluorine en métallurgie pour la fluidification des scories. On le rencontre également combiné à un grand nombre d'oxydes sous forme de fluosilicates ou de fluorapatites.

Le fluor est aussi présent dans les végétaux, et principalement dans les graminées. Il joue un rôle important dans le règne animal, où il se trouve essentiellement dans les os et les dents.

Bien que sa présence ait été soupçonnée dans les sels depuis longtemps, la préparation du fluor est relativement récente. La difficulté de cette préparation provient surtout de la réactivité du fluor qui, mis en liberté, réagit immédiatement avec la vapeur d'eau atmosphérique. C'est Henri Moissan qui, en 1886, réussit pour la première fois à l'isoler en électrolysant une solution de fluorure de potassium dans le fluorure d'hydrogène anhydre à l'aide d'électrodes de platine iridié auxquelles il appliquait une

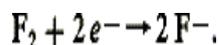
différence de potentiel de 50 V. Il maintenait son appareil à basse température pour éviter l'évaporation du gaz fluorhydrique, celui-ci peut bouillir à 19 °C. Moissan obtenait ainsi du fluor au pôle positif et de l'hydrogène au pôle négatif. L'utilisation d'une membrane évitait la recombinaison des deux gaz.

Le fluorure d'hydrogène utilisé pour préparer les fluorures acides de potassium provient de l'attaque de la fluorine par l'acide sulfurique:



### III. PROPRIETES PHYSIQUES

Premier élément du groupe VII du tableau de Mendeleïev, celui des halogènes, le fluor a pour masse atomique 18,998 4. Sa structure électronique fondamentale,  $1s^2, 2s^2, 2p^5$ , entraîne une grande aptitude à capter un électron pour prendre la structure à octet de son voisin, le néon. Cette propriété donne la possibilité au fluor d'établir un lien de covalence avec un autre atome de fluor, les deux atomes se prêtant chacun un électron pour conduire à la molécule  $\text{F}_2$ . Cette molécule se dissocie cependant facilement, ce qui procure au fluor une grande réactivité. En effet, sa forme la plus stable est l'état ionique  $\text{F}^-$  acquis en prenant un électron à un autre atome:



Le fluor naturel ne possède qu'un seul type nucléaire ( $^{19}\text{F}$ ). Des isotopes artificiels de masse atomique 17 à 22 ont pu cependant être obtenus.

### IV. PROPRIETES CHIMIQUES

Le développement de la chimie du fluor est relativement récent. Il a commencé pendant la Seconde Guerre mondiale, en Allemagne, où le fluor était utilisé pour la préparation de fluorures de chlore aux propriétés incendiaires, et aux Etats-Unis, pour la synthèse de l'hexafluorure d'uranium destiné à la séparation isotopique de l'uranium.

L'extrême réactivité du fluor, due partiellement à sa grande électronégativité et à la relative facilité avec laquelle se dissocie la molécule  $\text{F}_2$ , procure à cet élément des propriétés chimiques exceptionnelles. Il réagit avec presque tous les éléments du tableau périodique, y compris certains gaz rares, ainsi qu'avec la plupart des substances organiques. Cette réactivité particulière explique la difficulté de sa manipulation, qui nécessite l'emploi à basse température de hauts polymères fluorés ou de métaux comme

le cuivre ou l'aluminium. Au-delà de 300 °C, seuls des alliages à base de nickel ou des métaux précieux comme le platine ou l'iridium peuvent être utilisés.

Le mélange d'hydrogène et de fluor brûle quelle que soit sa composition. Tous les métaux sont attaqués en donnant naissance à des fluorures dans lesquels le métal possède un degré d'oxydation élevé. Un certain nombre d'entre eux, dans lesquels la liaison métal-fluor est essentiellement covalente, sont gazeux, comme le tri fluorure de bore, le tétra fluorure de silicium ou l'hexafluorure d'uranium.

Le fluor réagit également avec les autres halogènes pour donner des combinaisons telles que IF<sub>3</sub>, BrF<sub>3</sub>, ClF<sub>3</sub>. Ces composés à liaisons essentiellement covalentes peuvent présenter, cependant, un caractère ionique qui leur confère une certaine conductibilité à l'état liquide. Le fluor se combine à l'oxygène; dans l'oxyde F<sub>2</sub>O, l'oxygène fournit un lien de covalence à chaque atome de fluor (F — O — F). Dans l'oxyde F<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, c'est au contraire la molécule de fluor qui donne deux électrons à chaque atome d'oxygène (O — F — F — O).

Les composés fluorés organiques jouent un rôle considérable. Leur stabilité particulière contraste avec l'instabilité du fluor lui-même. Dans ces composés, le fluor complète sa couche *p* en y admettant un autre électron d'un radical organique.

Les réactions de fluoration des composés organiques utilisent généralement l'hydrogène fluoré lui-même ou un de ses composés d'addition:



La substitution des hydrogènes des fonctions carbure peut être totale. Elle conduira à des composés d'une stabilité exceptionnelle tels que CF<sub>4</sub> ou CF<sub>3</sub> — (CF<sub>2</sub>)<sub>2</sub> — CF<sub>3</sub>. Elle peut également être partielle comme dans CH<sub>3</sub> — CHF<sub>2</sub>.

Une classe importante de composés organiques chlorofluorés a pris le nom commercial de Fréon. On les note au moyen de trois indices: *Fabc*; *c* indique le nombre d'atomes de fluor dans la molécule, *b* le nombre plus un d'atomes d'hydrogène et *a* le nombre moins un d'atomes de carbone. Lorsque *a* est nul, on ne le représente pas.

Les composés organiques fluorés sont susceptibles d'être polymérisés. Ainsi la polymérisation du tétrafluoroéthylène conduit au Téflon. Celle du fluorotrichloroéthylène donne des lubrifiants qui résistent mieux à la chaleur que les hydrocarbures correspondants.

**TABLEAU III : Récapitulation des principaux rejets fluorés (SEMADI, 1989)**

Source de pollution fluorée	Cause	Nature des rejets
Roches volcaniques	Eruption (phénomène naturel)	-Fluorine ( $\text{CaF}_2$ ) -Cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) -Fluorapatites = $\text{CaF}_2$ , $3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$ -Silico-fluorure de sodium ( $\text{NaSiF}_6$ ) -Silico-bifluorure d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$
Industries de l'aluminium	Emploi de la cryolithe comme fondant	Cryolithe ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) Acide fluorhydrique (HF) Fluorure de silicium ( $\text{SiF}_4$ ) Trifluorure d'aluminium ( $\text{AlF}_3$ )
Industries des phosphates	Attaque sulfurique	Tétrafluorure de silicium ( $\text{SiF}_4$ ) Acide hydro-fluosilicique ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ) Acide fluorhydrique (HF)
Industries cuisant de l'argile	Cuisson	Acide fluorhydrique (HF) Fluorure de silicium ( $\text{SiF}_4$ ) Acide fluosilicique ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ )
La sidérurgie	Agglomération des minerais. Affinage de la fonte.	Acide fluorhydrique (HF) Tétrafluorure de silicium ( $\text{SiF}_4$ ) Fluorure de calcium ( $\text{CaF}_2$ )
Gravure chimique sur verre	Attaque de verre	Acide fluorhydrique (HF) Fluorure de silicium ( $\text{SiF}_4$ )

#### IV. ACTION PHYSIOLOGIQUE

Le fluor présente une très grande toxicité. Sa présence dans l'air pour des teneurs inférieures à deux parties par million provoque de graves troubles respiratoires; on doit les combattre par l'inhalation d'oxygène, qui évite le développement d'œdèmes pulmonaires. Ce danger est cependant minimisé, car son odeur pénétrante permet de le détecter à des concentrations de 0,02 p.p.m. Le fluor ainsi que l'acide fluorhydrique provoquent de graves brûlures de la peau.

## V. APPLICATIONS

Le fluor et surtout ses dérivés connaissent de multiples applications dans des domaines variés.

Le fluor est utilisé en thérapeutique. Son emploi le plus courant est la prophylaxie de la carie dentaire. A cet effet, certains pays introduisent systématiquement du fluor dans les eaux de consommation. Le fluorure de sodium sert pour le traitement des retards de calcification. Le fluor est également utilisé dans des médicaments de nature organique, où il peut, selon les cas, exalter ou diminuer certaines actions biologiques. Citons entre autres exemples la 9 a-fluorohydrocortisone, anti-inflammatoire puissant, dont l'action est dix fois plus forte que celle de l'hydrocortisone.

La plus ancienne utilisation d'un composé fluoré est sans doute la gravure sur verre réalisée à l'aide d'acide fluorhydrique dès le XVII<sup>e</sup> siècle. Cet acide sert actuellement à de nombreuses synthèses organiques et en particulier à l'alkylation de l'essence.

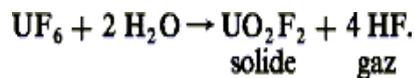
Les dérivés fluorés les plus utilisés sont les Fréons: ils constituent avec l'ammoniac les principaux fluides frigorigènes. En effet, ces composés possèdent des points d'ébullition extrêmement différents suivant leur composition. Les Fréons servent à la fabrication de mousses synthétiques et sont utilisés comme gaz propulseurs dans les aérosols. Ils exercent une action nocive sur leur environnement: le chlore libéré réagit avec l'ozone et contribue à la destruction de celui-ci.

Les hauts polymères fluorés huileux ou solides, dont le plus commun a pris le nom commercial de Téflon, ont une importance industrielle considérable en raison de leur remarquable résistance à la corrosion.

Certains composés fluorés sont de puissants catalyseurs industriels. C'est le cas de  $\text{BF}_3$  qui, employé dans la condensation des hydrocarbures éthyléniques avec les hydrocarbures saturés, permet l'obtention d'hydrocarbures à indice d'octane élevé.

La séparation de l'uranium 235, isotope dont la fission est à l'origine de l'énergie nucléaire, de son isotope l'uranium 238 nécessite, quel que soit le procédé utilisé (diffusion ou ultracentrifugation), l'emploi d'un composé gazeux de l'uranium. Seul le fluorure  $\text{UF}_6$  possède cette propriété, ce qui explique l'étroite liaison de la chimie du fluor avec les techniques nucléaires. La manipulation de l'hexafluorure d'uranium pose de

nombreux problèmes en raison de son hygroscopicité, qui entraîne la formation d'oxydes ou d'oxyfluorures d'uranium solides diminuant le rendement de la séparation et d'acide fluorhydrique provoquant d'importantes corrosions:



Le fluor peut être également utilisé dans le domaine spatial. En effet, la réaction du fluor sur l'hydrogène, qui provoque la formation d'hydrogène fluoré, libère une énergie considérable. Le mélange fluor-hydrogène présente une impulsion spécifique supérieure à celle obtenue avec les mélanges oxygène-hydrogène actuellement employés pour la propulsion des fusées. Si l'utilisation du fluor liquide est limitée par les problèmes de corrosion, il semble cependant que le fluorure d'oxygène  $\text{F}_2\text{O}$ , moins corrosif que le fluor, soit actuellement utilisé.

Le dépôt de films minces de fluorures métalliques, comme le fluorure de magnésium sur les lentilles d'appareillages optiques, diminue l'intensité de la lumière réfléchie et augmente donc la luminosité. La cryolite  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  sert de fondant de l'alumine dans la métallurgie de l'aluminium.

Le fluor représente un tonnage relativement faible dans la production de l'industrie chimique. La chimie du fluor, élément exceptionnel par ses propriétés, est riche de promesses par la diversité de ses applications.

## V.II. IMPACT DU FLUOR SUR L'ENVIRONNEMENT

La pollution fluorée est très localisée, ses effets sont spectaculaires aussi bien chez l'homme que chez la faune et la flore.

### Effets sur l'homme

Plus de 12 m<sup>3</sup> d'air passent quotidiennement par notre organisme et les phénomènes d'échanges respiratoires sont à la base de notre métabolisme cellulaire. Un certain nombre de faits rend la pollution de l'air des zones urbaines et industrielles très importantes (Chovin et Roussel, 1973).

L'homme est moins sensible que les plantes et les animaux au fluor. Il peut supporter une concentration maximale de 0.1 p.p.m. pour le fluore et de 03 p.p.m. par HF (Djelal, 1985).

Dans le cas d'intoxication aiguë mortelle, tous les organes sont en général touchés. Les fluorures inhibent les enzymes, notamment ceux intervenant dans les processus essentiels d'où l'arrêt des fonctions vitales (génération et transmission des impulsions nerveuses, perturbation des fonctions vitales régulées par le calcium). Les fluorures peuvent être également combinés à d'autres ions métalliques bloquant ainsi divers mécanismes biochimiques.

Le fluor et les fluorures gazeux peuvent provoquer des lésions considérables au niveau de la peau et des voies respiratoires. A dose élevée, ils provoquent la toux, une suffocation et des frissons, de la fièvre et une oppression thoracique.

Un apport élevé de fluorures pendant une longue durée peut aboutir à une fluorose du squelette (accumulation des fluorures dans les tissus osseux). La fluorose squelettique atteint principalement les ouvriers travaillant dans les fabriques d'aluminium et de superphosphates.

Les reins semblent être la cible préférentielle des fluorures (CHOVIN et ROUSSEL, 1973). Les divers groupes professionnels exposés aux fluorures sont sujets à des cas de cancers (cancers du pancréas et des voies uro-génitales).

#### **Effets sur les animaux**

L'exposition des animaux à une source de pollution fluorée peut conduire à leur affection (fluorose). Leurs dents deviennent moins résistantes et présentent des marbrures, douleurs dentaires, troubles d'ordre digestif. Apparition de lésions osseuses. Les animaux intoxiqués présentent une fourrure terne, une peau sèche et adhérente aux os, un poil hérissé et des sabots démesurément longs. Ces animaux ont tendance à perdre l'appétit, ils maigrissent et la lactation est inhibée, leur démarche est troublée.

Les principales voies d'élimination des fluorures sont les reins, l'intestin et les glandes. En général, la pollution fluorée conduit à un appauvrissement considérable de l'entomofaune (Ramade, 1979). Le fluor est très toxique notamment pour les insectes et surtout les abeilles qui sont les plus vulnérables.

## Effets sur les végétaux

### Effets sur les Phanérogames

Les plantes fixent le fluor dans l'air et le sol aussi bien par les feuilles que par les racines. Le fluor alimentant la plante par voie racinaire se trouve rarement en quantité toxique (Djelal, 1985).

Contrairement au soufre, le fluor n'intervient pas dans le métabolisme de la plante. Le fluor est phytotoxique par accumulation (Viallet, 1975). Les symptômes sont très caractéristiques chez les végétaux. Les plus sensibles peuvent être affectés au bout d'une semaine d'exposition à une concentration variant entre 0.4 et 0.1  $\mu\text{g}$  de Fluor / $\text{m}^3$  (1 ppb de fluor correspond à 0.8  $\mu\text{g}$  de F/ $\text{m}^3$  d'air), soit environ 1 ppb de cet élément chimique (Mc Cune et Hithcock, 1969). Les espèces les plus tolérantes ne présentent des nécroses qu'à des concentrations vingt trois fois supérieures à ce seuil. Le poirier est une espèce relativement sensible aux composés fluorés au même titre que la plupart des arbres fruitiers. On souligne que des concentrations aussi faibles que 0.015 à 0.040  $\text{mg}/\text{m}^3$  ont des effets néfastes sur les conifères et les arbres fruitiers (Ferrah, 1983).

De nombreux auteurs ont montré que la pénétration des fluorures gazeux (acide fluorhydrique, tétra fluorure de silicium, acide hydrofluosilicique) et/ou solides (cryolithe, trifluorure d'aluminium, fluorine ou spath-fluor, fluorure de sodium, fluorapatite) se fait par voie stomatique ou par translocation foliaire directe. Néanmoins, il faut signaler que l'absorption radiculaire est enregistrée également dans les sols fortement pollués par ces composés chimiques (Garrek et Vavasseur, 1978). Les composés fluorés absorbés sont alors entraînés dans le courant de la sève brute, vers les zones apicales et marginales des feuilles où ils vont s'accumuler.

#### Le fluor agit sur les constituants cellulaires :

En agissant sur les hormones de croissance (notamment l'auxine), le fluor peut perturber d'une façon visible le développement des feuilles, des déformations anatomiques apparaissent suite à la vitesse de multiplication des cellules marginales et de celles du limbe central (enroulement en étui pour le cerisier, gaufrures pour le pêcher et l'amandier).

Au niveau microscopique, les cellules parenchymateuses affectées présentent des granulations, une vacuolisation et finalement une plasmolyse totale. C'est dans le chloroplaste, que s'accumule principalement le fluor (Neffar, 1990).

L'augmentation du taux de fluor entraîne d'une part une diminution de la concentration en Mg et en Mn et d'autre part un accroissement de la concentration en calcium (GARREC *et al.*, 1977).

Les atteintes au processus de floraison (dégâts causés aux fleurs apparents sur les pétales, les stigmates, les étamines qui avortent et se dessèchent) et de fructification (apparition de lésions qui varient selon les espèces végétales, de sclérose, un blocage de cations nécessaires à la maturation des fruits) se manifestent par une inhibition de la germination « in vivo » des grains de pollen.

N'étant pas métabolisable, le fluor va s'accumuler à des taux considérables, en particulier dans le système foliaire. Quand la concentration en fluorures atteint un certain seuil, variable avec l'espèce végétale considérée, apparaissent des lésions foliaires présentant un aspect chlorotique. L'ensemble du limbe foliaire prend une couleur brunâtre avec une ligne plus foncée marquant la limite entre la zone altérée et le reste de la feuille.

Les lésions foliaires se localisent au début à la périphérie puis avancent progressivement vers le centre ou du sommet vers la base (suivant les espèces végétales) sous forme de halos concentriques (Barnea et Ursu, 1974).

**TABLEAU IV : Sensibilité relative de certaines plantes aux composés fluorés (d'après VIALLET, 1975).**

<b>Espèces végétales et autres groupes taxinomiques</b>	<b>Très sensibles</b>	<b>sensibles</b>	<b>Semi-résistantes</b>	<b>Résistantes</b>
<i>Betula verrucosa</i>			X	
<i>Castanea sativa</i>			X	
<i>Cedrus atlantica</i>		X		X
<i>Chrysanthemum sp.</i>				
<i>Crataegus monogyna</i>		X		
<i>Fagus sylvatica</i>			X	
<i>Ficus sp.</i>				X
<i>Fraxinus communis</i>		X		
<i>Oxalis sp.</i>	X			
<i>Pinus pinaster</i>	X			
<i>Pinus sylvestris</i>	X			
<i>Populus nigra</i>		X		
<i>Prunus armeniaca</i>	X			
<i>Prunus domestica</i>	X			
<i>Prunus laurocesarus</i>			X	
<i>Pyrus communis</i>		X		
<i>Rosa sp.</i>		X		
<i>Salix sp.</i>			X	
<i>Solanum tuberosum</i>				X
<i>Vitis vinifera</i>	X			
Graminées				X
Légumineuses				X

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES**

### **CHAPITRE 1 : LOCALISATION ZONALE**

#### **I. CARACTERISTIQUES BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES MILIEUX**

La région de Biskra, objet de notre étude fait partie de l'étage aride, couvrant une très grande partie du territoire algérien et constitue une bande charnière entre le Nord et le Sud.

La wilaya de Biskra, située au piémont Sud de l'atlas saharien en fait partie (Anonyme, 1984).

##### **Le relief**

Il est caractérisé par deux ensembles morphologiques distincts :

- au Nord : une partie montagneuse qui englobe les monts du Mزاب, des Aurès et des Nememchas,
- au Sud : un plateau saharien présentant une topographie plane, légèrement inclinée vers le sud.

##### **Les sols**

On distingue une diversité de sols. En général, on rencontre des croûtes calcaires ou gypseuses. La plupart du temps, les sols sont salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960 et Halitim, 1985).

##### **Le réseau hydrographique**

Ce réseau se caractérise par la présence de nombreuses nappes aquifères avec des variations dans l'importance, la profondeur et le degré de salinité. On distingue:

- la nappe phréatique du quaternaire,
- la nappe des sables du miopléocène,
- la nappe calcaire de l'éocène inférieur et sénonien,
- la nappe continentale intercalaire (Anonyme, 1980).

##### **la flore naturelle**

La végétation dans cette région est peu dense, caractérisant bien les zones arides.

En général, on distingue :

- une strate herbacée représentée essentiellement par l'armoise, l'alfa, l'*Atriplex* et l'astragale. La plupart de ces espèces sont utilisées pour le pâturage, l'artisanat ou l'alimentation humaine (condiments et aromates),
- une strate arbustive marquée par le genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie,
- enfin on rencontre certaines espèces introduites et adaptées localement, c'est le cas de l'Acacia, l'Eucalyptus, le Pin d'Alep et le filao (Djebaili, 1978).

## II. CLIMATOLOGIE DES ZONES D'ETUDE

La région de Biskra est caractérisée par deux types de climat :

- Au Nord, un climat de type semi-aride à aride,
- Au Sud, un climat saharien dominant type aride. Nous nous sommes basée sur une moyenne de 25 ans (1971 – 1996, source O.N.M. Biskra) pour l'étude de la synthèse climatique de notre région.

### Régime thermique

La température constitue un des facteurs déterminant du composant des végétaux dans leurs milieux. Les paramètres thermiques mensuels :

- Température maximale : M,
- Température moyenne  $(M + m)/2$
- Amplitude thermique :  $(M - m)$ , sont consignés dans le tableau III.

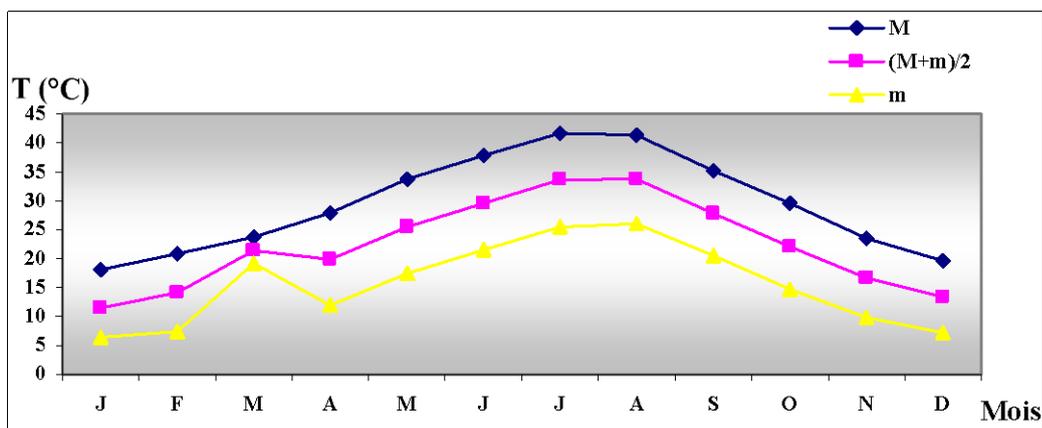


Fig. 5 : Variations mensuelles de la température de la région de Biskra (1971-1996)

La température moyenne annuelle est de 22.51°C, une température maximale moyenne de 29.41 et une température minimale de 15.62.

L'amplitude thermique moyenne annuelle  $(M - m)$  est de 13.79

### Régime pluviométrique

Il ressort que la pluviométrie annuelle est de 126,3 mm avec un régime pluvial saisonnier du type APHE, le maximum se situant en automne (47.9 mm) et un minimum en été (13.8 mm)( Fig. 6).



Fig. 6 : Evolution mensuelle de la pluviométrie de la région de Biskra (1971-1996)

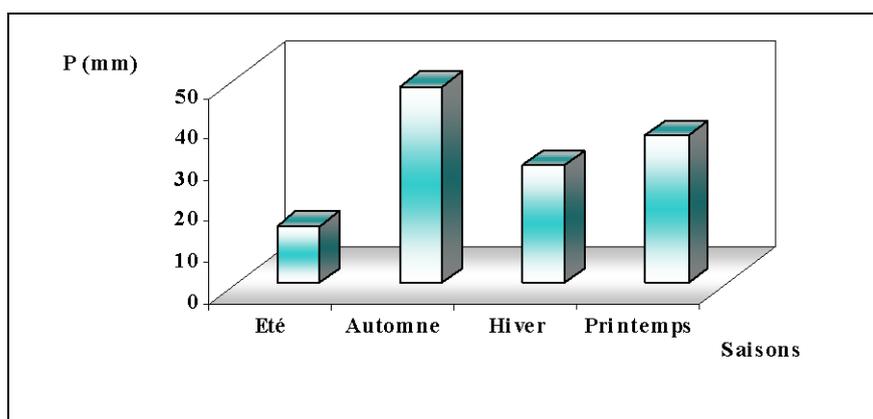
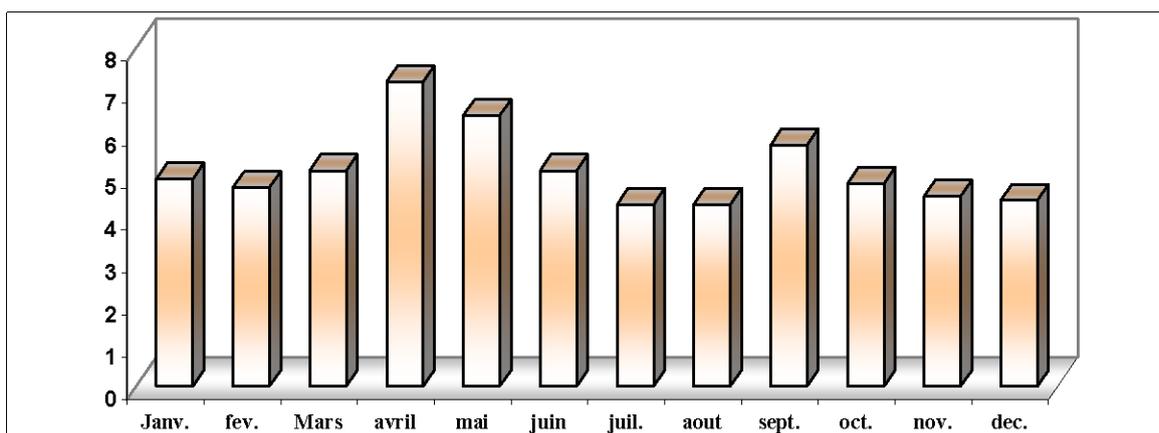


Fig. 7 : Transect pluvial saisonnier de la région de Biskra (1971-1996)

### Le vent

Le vent, caractérisé par sa fréquence, son intensité, la dominance de sa direction est un facteur météorologique non négligeable.

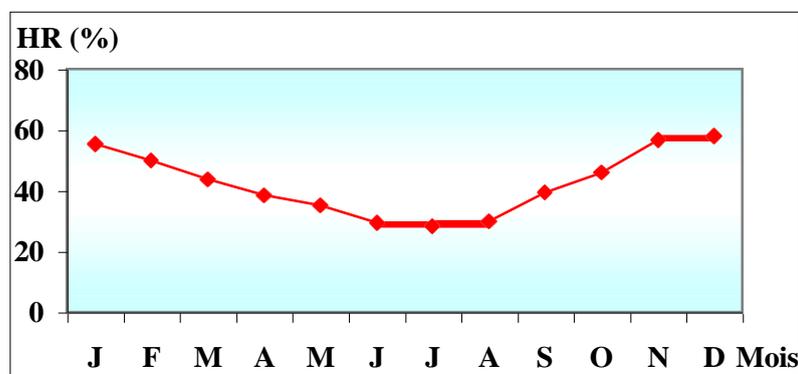


**Fig. 8 : Variations de la vitesse moyenne des vents de la région de Biskra (1971-1996)**

Les vents les plus dominants sont ceux du Nord-West en hiver, cependant ceux du Sud, soufflant au printemps et en été (Sirocco) sont plus secs. La vitesse maximale des vents est enregistrée courant mois d'Avril (7,2 m/s), quant à la vitesse minimale, elle est de 4,3 m/s aux mois de Juillet et Août (Fig.8 ).

### HUMIDITE RELATIVE

Dans la région de Biskra, le degré hydrométrique est en général bas tout le long de l'année (moyenne annuelle de 42,53%) avec un maximum au mois de Décembre (57.9 %) et un minimum au mois de Juillet de 28,2% (Fig.9).



**Fig. 9 : Variations mensuelles de l'hygrométrie de La région de Biskra (1971-1996)**

### Evaporation

Si nous prenons en considération une moyenne sur les 25 ans, nous enregistrons une moyenne annuelle de 264,16 mm avec un maximum au mois de Août (57.9 mm) et un minimum au mois de Janvier de 105 mm (Fig.10).

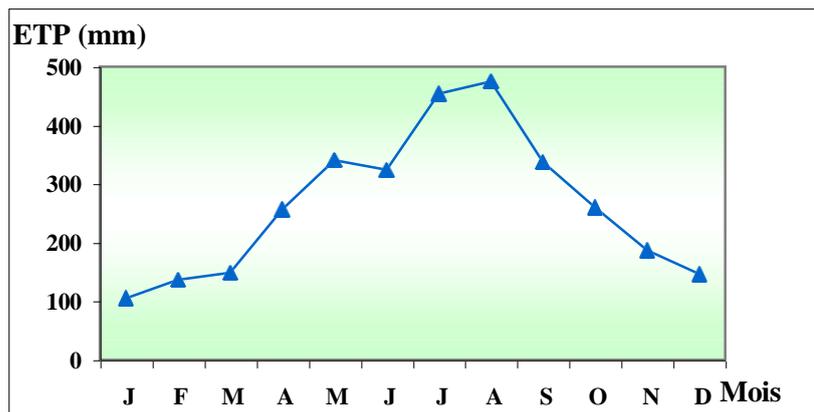


Fig. 10 : Régime mensuel de l'évaporation de la région de Biskra (1971-1996)

### Synthèse climatique

#### Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen

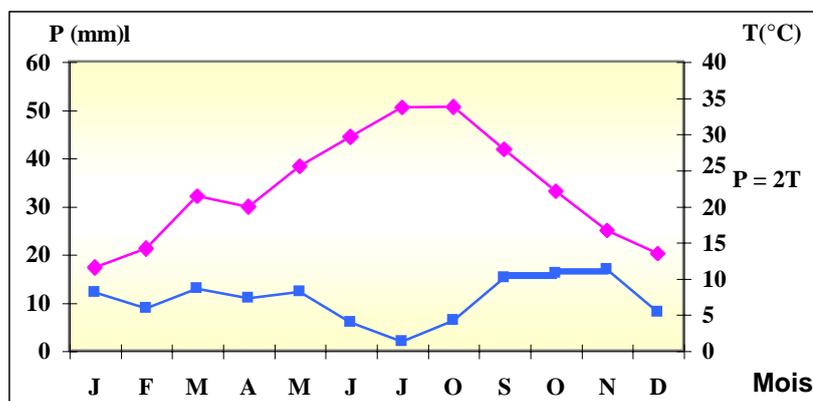


Fig. 11 : Diagramme ombrothermique de la région de Biskra (1971-1996)

Le diagramme ombrothermique proposé par Gaussen (1954) est utilisable dans le monde entier. Il est construit à partir des courbes des moyennes mensuelles des températures et des précipitations. Il permet d'évaluer la durée de sécheresse. L'échelle des précipitations étant doublée par rapport à celle des températures.

- La période de sécheresse ( c'est celle où la courbe des précipitations si situe sous celle des températures, P étant inférieur à 2 T).
- Sa durée est délimitée par les points d'intersection des deux courbes, et son intensité qui est proportionnelle à la surface est comprise entre les courbes.

Ce diagramme fait ressortir une sécheresse estivale très importante dans la mesure où les deux courbes n'arrivent pas à se recouper (Fig. 11).

### L'indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne (1927) est aussi basé sur les valeurs de précipitations et des températures (Huetz De Lemps, 1970).

Cet indice est donné par la formule suivante :

$$I_a = P_a / (T_a + 10) = 3,88$$

$P_a$  = Pluviométrie annuelle (mm)

$T_a$  = Température moyenne annuelle (°C)

$I_a$  = Indice d'aridité annuelle.

Cet indice peut se calculer mensuellement :

$$I_m = (P_m \times 12) / (T_m + 10)$$

**TABLEAU V : Variations des indices mensuels d'aridité de De Martonne appliquée à la région de Biskra**

mm	$P_m$	$T_m$	$I_m$
J	12,1	11,5	6,75
F	14,1	14,1	4,38
M	21,4	21,4	4,89
A	19,9	19,9	4,33
M	25,5	25,5	4,12
J	25,6	25,6	1,75
J	33,6	33,6	0,49
A	33,7	33,7	1,70
S	27,8	27,8	4,79
O	22,1	22,1	5,98
N	16,6	16,6	7,57
D	13,4	13,4	4,05

$P_m$  = Pluviométrie mensuelle (mm)

$T_m$  = Température mensuelle (°C)

$I_m$  = Indice d'aridité mensuelle

Les valeurs sont d'autant plus basses que le climat est aride. Un indice supérieur à 20 indique une humidité suffisante ; la tendance à la sécheresse s'affirme entre 20 et 10 ; au dessous de 10, c'est l'aridité et au dessous de 5, le climat est hyper-aride.

Pour la région de Biskra, l'indice d'aridité annuel de De Martonne est de 3,89, ce qui correspond à un climat hyper-aride.

Pour ce qui est des indices d'aridité mensuels, on a une hyper-aridité pour toute l'année (09 mois). Les trois autres mois (octobre, novembre et janvier) sont caractérisés par un climat aride (Tab. V).

### **Déficit hydrique**

Nous remarquons que la pluviométrie annuelle est de 126.3 mm, en deça de l'évaporation qui est de 264.16 mm d'où un déficit hydrique annuel de 137.86 mm.

Nous enregistrons un déficit hydrique étalé sur toute l'année.

### **Etage bioclimatique des zones étudiées**

L'étage bioclimatique de chaque région se détermine par l'indice pluviothermique de STEWART. Autrefois, on l'utilisait qui s'écrit :

$$Q3 = \frac{P \times 100}{\frac{M+m}{2} \times (M-m)}$$

P = pluviométrie annuelle (mm)

M = Température maximale du mois le plus chaud (°C)

m = Température minimale du mois le plus froid (°C)

Cet indice mis au point par EMBERGER pour l'étude du climat méditerranéen, a été repris par STEWART :  $Is = 3,43 \times P / (M - m) = 12,27$   
Nous allons donc caractériser le climat de notre région d'étude en utilisant l'indice pluviothermique de STEWART.

Le coefficient 100 sert à éviter les chiffres fractionnaires. Emberger a utilisé  $(M+m)/2$  (moyenne extrême) car la vie végétale oscille entre ces deux moyennes. IL est corrigé par  $M-m$  (amplitude extrême). Le quotient  $Q_3$  caractérise la sécheresse du climat dont dépend toute vie végétale en pays méditerranéen. Une région est d'autant plus sèche que sa moyenne extrême  $(M+m)/2$  est plus élevée, et que l'amplitude extrême  $(M-m)$  est plus grande, et  $Q_3$  est d'autant plus faible que le climat est plus sec.

Pour définir les étages bio-climatiques méditerranéens et mettre au point le climagramme correspondant, Emberger (1930) prend en compte simultanément le quotient  $Q$  (en ordonnée) et le facteur «  $m$  », température du mois le plus froid(en abscisse).

Le quotient pluviothermique d'Emberger et du facteur «  $m$  » nous amène à situer la région de Biskra (pour les données récentes) dans l'étage méditerranéen aride (Fig. 12).

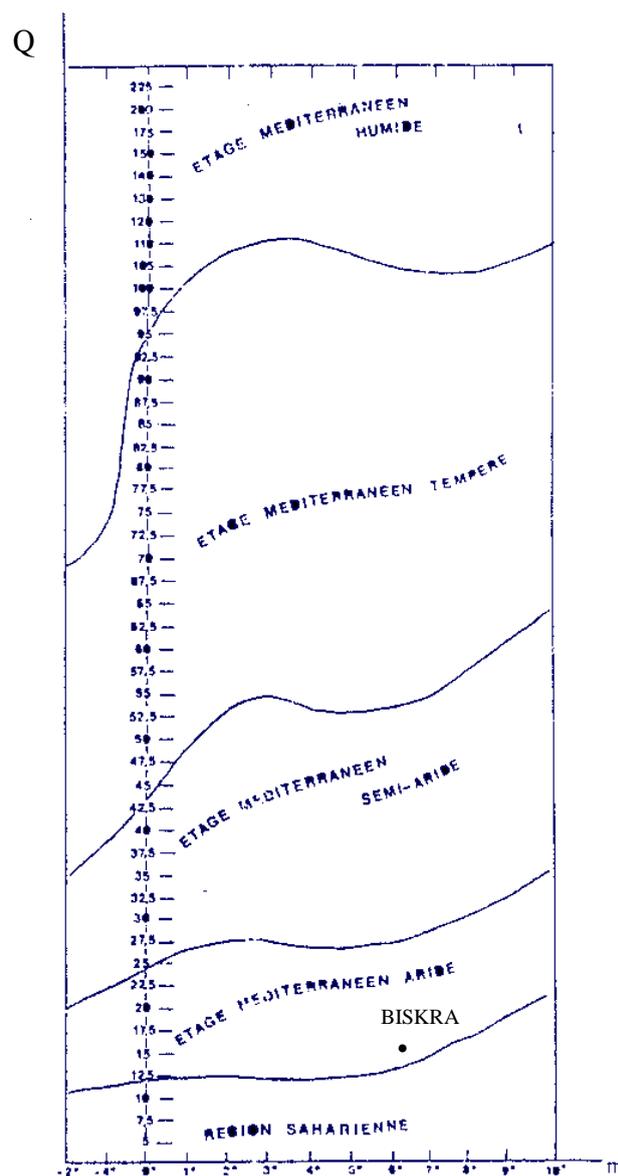


Fig. 12 : Climagramme d'Emberger

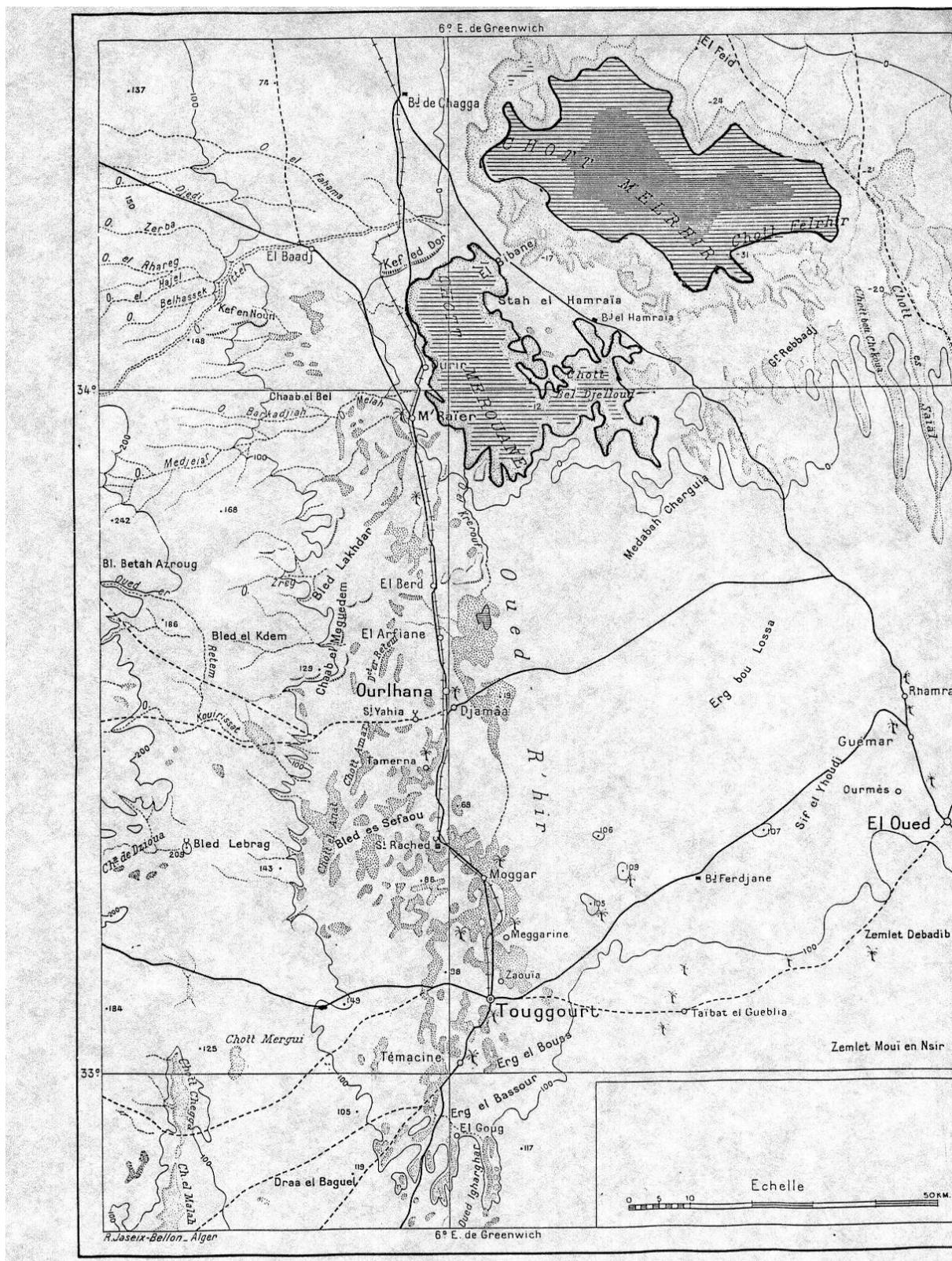


Fig. 13: Localisation des zones étudiées (chotts) au niveau de la région de Biskra.

## CHAPITRE 2 : ZONES D'ETUDE ET SITES DE PRELEVEMENT

### I. CHOTTS

Les chotts étudiés sont mentionnés sur la carte suivante (Fig.13).

Les trois chotts prospectés par ordre d'importance du point de vue superficielle sont comme suit :

- **Chott Melghir** : Situé à 137 km au N.NE de Touggourt et s'étendant en moyenne sur 62 km de long et 31 de large (Fig.13).
- **Chott Mérouane** : Situé à 103 km au Nord de Touggourt et s'étendant sur 37 km de long et 18 km de large et 18 km de large (Fig.13).
- **Chott Bendjelloul** : Se trouve à 100 Km au N.NE de Touggourt et s'étend sur 21 Km de long et de 12 Km de l2 Km de large.ce dernier communique avec le chott Mérouane (Fig.14).



**Fig. 14 : Vue générale du Chott Bendjelloul**

Le chott Ben Djelloul situé dans la partie Nord du chott Mérouane et la partie Sud du chott Melghir ont été les lieux principaux de prélèvements.

Dans le chott Ben Djelloul, des solutions ont été prélevées dans le Chott à divers endroits (Nord, Ouest et Sud), ainsi que dans des flaques des mêmes rives. Au niveau des zones à réduction très marquée, quelques échantillons de solution ont été prélevés avec difficulté. En effet, les saumures en contact avec l'air ont toujours tendance à se faufler jusqu'au point de prélèvement du fait de la dépression créée.

Les efflorescences proviennent du fond du Chott, des flaques, des cônes d'épandages des oueds de la rive et des sédiments noirs réduits.

Les chotts Melghir et Merouane reçoivent des eaux d'origines différentes, à savoir oueds, nappes, thermalisme, réseaux de drainage des oasis, et il convient d'étudier d'éventuels processus particuliers à chacune d'entre elles (Fig. 15, Tab.VI).

## II. LES OUEDS

Les échantillons d'eau des oueds ont été prélevés à différents niveaux. Les oueds de la chaîne des Aurès. Un prélèvement a été réalisé dans l'oued Fedhala en amont d' El-Kantara, deux jours après une période pluvieuse. La végétation des rives n'est pas halophile.

L'oued Djeddi (Fig.16) est l'un des plus importants qui alimente l'un des Chotts à partir des Aurès. Un échantillon a été recueilli dans le glacié à mi-chemin entre la montagne et la zone dépressionnaire des chotts, au Sud des Oumaches. A ce niveau, la végétation caractérisée par des *Tamarix* et quelques *Salicornes* indiquent une salinité modérée des berges.

Au niveau de cet oued (berges et lit), des prélèvements d'eau, de sol et de plantes ont été effectués.

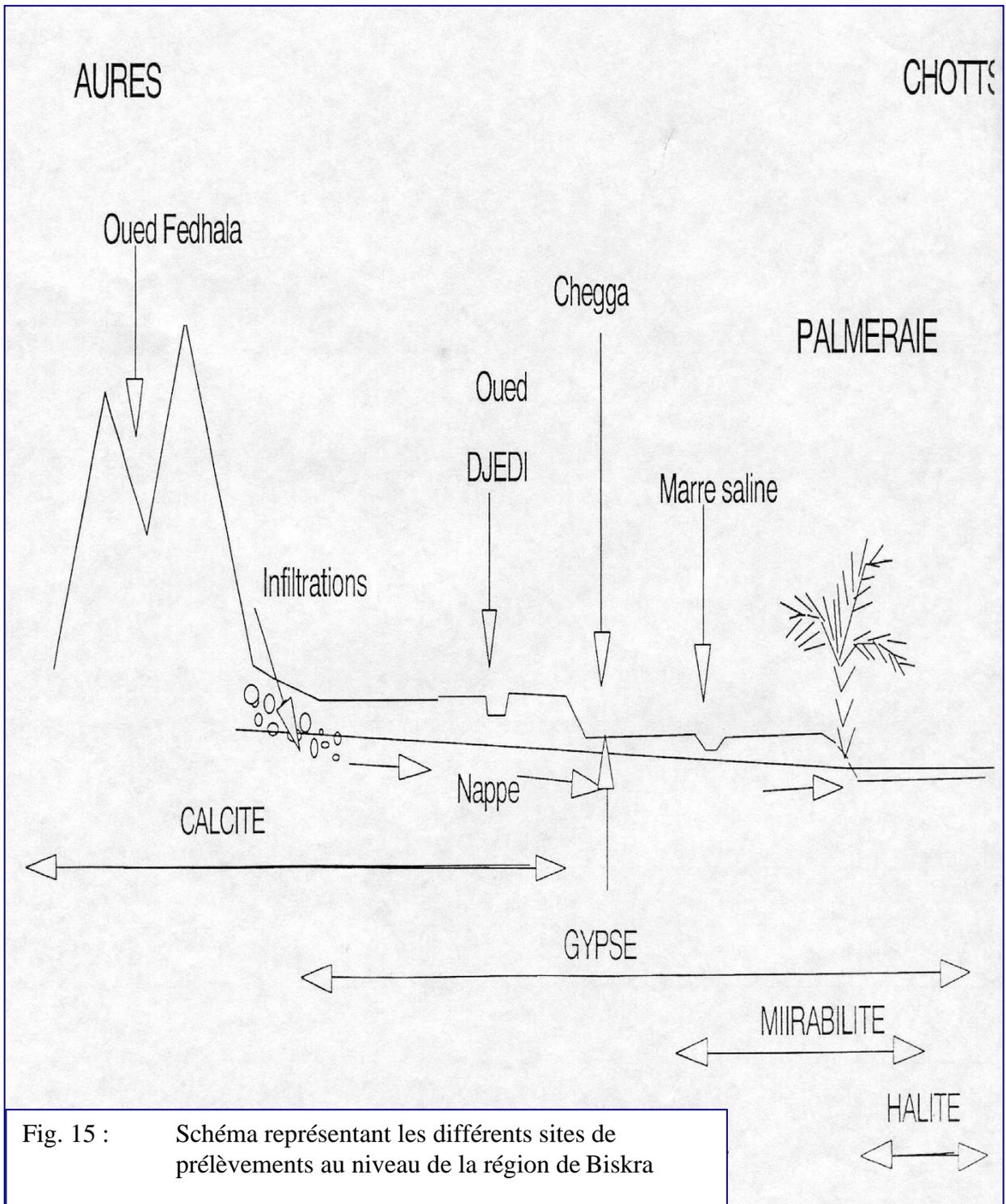


Fig. 15 : Schéma représentant les différents sites de prélèvements au niveau de la région de Biskra

**TABLEAU VI : Localisation des solutions prélevées**

<b>Ech. 1</b>	Oued Righ
<b>Ech. 2</b>	Oued N'Sigha
<b>Ech. 3</b>	Eau de marre à proximité de l'oued N'Sigha
<b>Ech. 4</b>	Zone ferrug.noire de la marre (oued N'Sigha )
<b>Ech. 5</b>	Chott Melghir (Hamraia )
<b>Ech. 6</b>	Hamraia
<b>Ech. 7</b>	Hamraia
<b>Ech. 8</b>	Hamraia
<b>Ech. 9</b>	Hamraia
<b>Ech. 10</b>	Chott Melghir (prélèvement en bordures de flaques)
<b>Ech. 11</b>	Sud chott Ben Djelloul
<b>Ecg. 12</b>	Front d'écoulement d'oued 7 Km avant oued Djedei
<b>Ech. 13</b>	Oued Djedei
<b>Ech. 14</b>	Eau thermale de Chegga
<b>Ech. 15</b>	Eau de puits à 30 Km de L'Mghaier
<b>Ech. 16</b>	Petite marre saline à 20 Km de L'Mghaier
<b>Ech. 17</b>	El- Yamma : source côté ouest palmeraie L'Mghaier
<b>Ech. 18</b>	Milieu palmeraie de L'Mghaier
<b>Ech. 19</b>	Puits plateau Oum El Tyour (près de DZ 1001)
<b>Ech. 20</b>	Chott Melghir au contact du chott Merouane
<b>Ech. 21</b>	Idem précédent, plus en périphérie du chott
<b>Ech. 22</b>	Idem précédent, à la périphérie du chott
<b>Ech. 23</b>	Oued El Haei ( Dans les Aurès )
<b>Ech. 24</b>	El oued en amont d'El Kantara (Aurès )



**Fig. 16 : Vue Générale de l'Oued Djeddi**

Un autre prélèvement a été réalisé dans un oued très petit dans les rives blanchies par des efflorescences gypseuses abritant des salicornes. Il s'agit de la partie terminale d'un petit cours d'eau qui s'évapore et s'infiltré dans le glacis.

Nous avons échantillonné au niveau de l'oued N'sigha s'écoulant au niveau de la dépression vers le Chott Mérouane ainsi qu'au niveau d'une mare voisine de quelques mètres.

### **III. LES NAPPES**

Cet ensemble fortement hétérogène comporte à la fois des eaux de nappes concentrées par évaporation et provenant directement de la nappe et aussi des eaux de nappes affleurantes, reprise partiellement par l'évaporation.

- Les premiers prélèvements ont été réalisés grâce à des forages destinés à l'agriculture, ils se situent sur le glacis entre Biskra et Stilla.
  
- Un échantillon a pu être prélevé dans une petite mare située elle aussi sur le glacis. L'une des mannes était remplie de sulfate de sodium hydraté (mirabilite)
- Plusieurs prélèvements ont été réalisés au contact entre le glacis et les oasis, au niveau du talus de raccordement. L'essentiel de ces échantillons proviennent des oasis de El-Mghaier et de N'sigha.

- Deux prélèvements d'eau de mare situées dans l'oasis de El-Mghaier ont aussi été effectués entre l'oasis et le Chott.

A ce niveau, la nappe affleure en faveur de légères dépressions, mais il est probable que cette eau soit influencée par les irrigations.

#### **IV. LES EAUX THERMALES**

Un seul site a été rencontré lors de la campagne de terrain. Il est situé dans l'oasis de Chegga (Fig. 17).



**Fig. 17 : L'eau thermale de Chegga**

### CHAPITRE 3 : NATURE DES ECHANTILLONS PRELEVES ET MESURES EFFECTUEES SUR TERRAIN

Un des buts principaux de la campagne de prélèvements a été de découvrir une gamme de salinité aussi large que possible pour deux raisons essentielles :

- 1 Etudier la succession des mécanismes naturels d'acquisition de la composition chimique des eaux salées à partir des eaux douces (du début du processus).
- 2 Obtenir une diversité de salinité pour mieux étudier les réactions du végétal.

De même, la diversité des faciès chimiques des régions étudiées permettra de comparer des situations différentes.

Les prélèvements concernent des solutions, des efflorescences salines et des végétaux..

#### I. LES SOLUTIONS

En général, les solutions prélevées sont des eaux de surface en contact avec l'air. De ce fait il est permis d'espérer, à priori, que leur teneur en gaz dissout et leur pH sont proches des valeurs d'équilibre avec l'atmosphère d'où les modifications lors du filtrage, du transport et du stockage seront limités.

Quelques échantillons correspondants à des solutions réductrices ont fait l'objet de soins particulier (mesures sur place plus nombreuses).

Toutefois, afin d'obtenir un maximum de précision de Eh a été mesuré sur le terrain avant toute filtration ainsi que le pH et la température in situ., ce qui permet de recalculer les équilibres carbonatés.

La filtration a été réalisée sur filtres de 0,4 micron sauf pour de rares échantillons qui ont été filtrés sur papier lents (sans cendre) à cause d'un manque d'ultrafiltre sur le terrain.

L'alcalinité totale et l'alcalinité carbonatée ont été dosées sur place dans les solutions filtrées, selon le protocole indiqué dans l'annexe A1 et A2

En revanche, les relations Eh/pH ont été déterminées sur le terrain avant l'équilibre redox actif et prédominant dans la solution.

Les flacons utilisés pour le transport et le stockage ont été remplis jusqu'au sommet, afin d'éviter d'emprisonner de l'air au dessus de la solution. Le stockage s'est effectué à l'abri de la lumière.

Au niveau de l'Oued Djedi, nous avons prélevé des échantillons d'eau représentatifs du lit d'oued afin de doser les éléments suivants : le fluor et le calcium.

## II. LES EFFLORESCENCES ET LES MINERAUX

Les efflorescences ont été prélevées avec le souci de ne pas les mélanger aux matériaux sous-jacents. Elles ont été stockées soit dans des sacs de polyéthylène, soit dans des flacons, afin d'éviter toutes déshydratation. Cependant, il n'a pas été possible d'éviter le contact avec l'air, ce qui peut être gênant pour les minéraux des milieux réducteurs.

## III. LA VEGETATION

Notre prospection a été effectuée au niveau de 05 stations localisées au Sud de Biskra (Fig.18).

### Station 1

Cette station est située à 17 Km au S-W de Biskra. Au niveau de cette station, deux transects ont été effectués :

- Le premier, long de 100 m est orienté E- W (Fig.19) avec une dénivelée de 2 m.

La défectivité est forte, elle est de 1,10 m, puis une partie plane de 70 m de long. On remarque la présence de nombreuses buttes d'origine éoliennes, elles parsèment le transect, permettant ainsi aux espèces de s'y installer. Les plus importantes sont *Salsola vermiculata* et *Salsola tetragona* qui occupent la partie plane du transect..

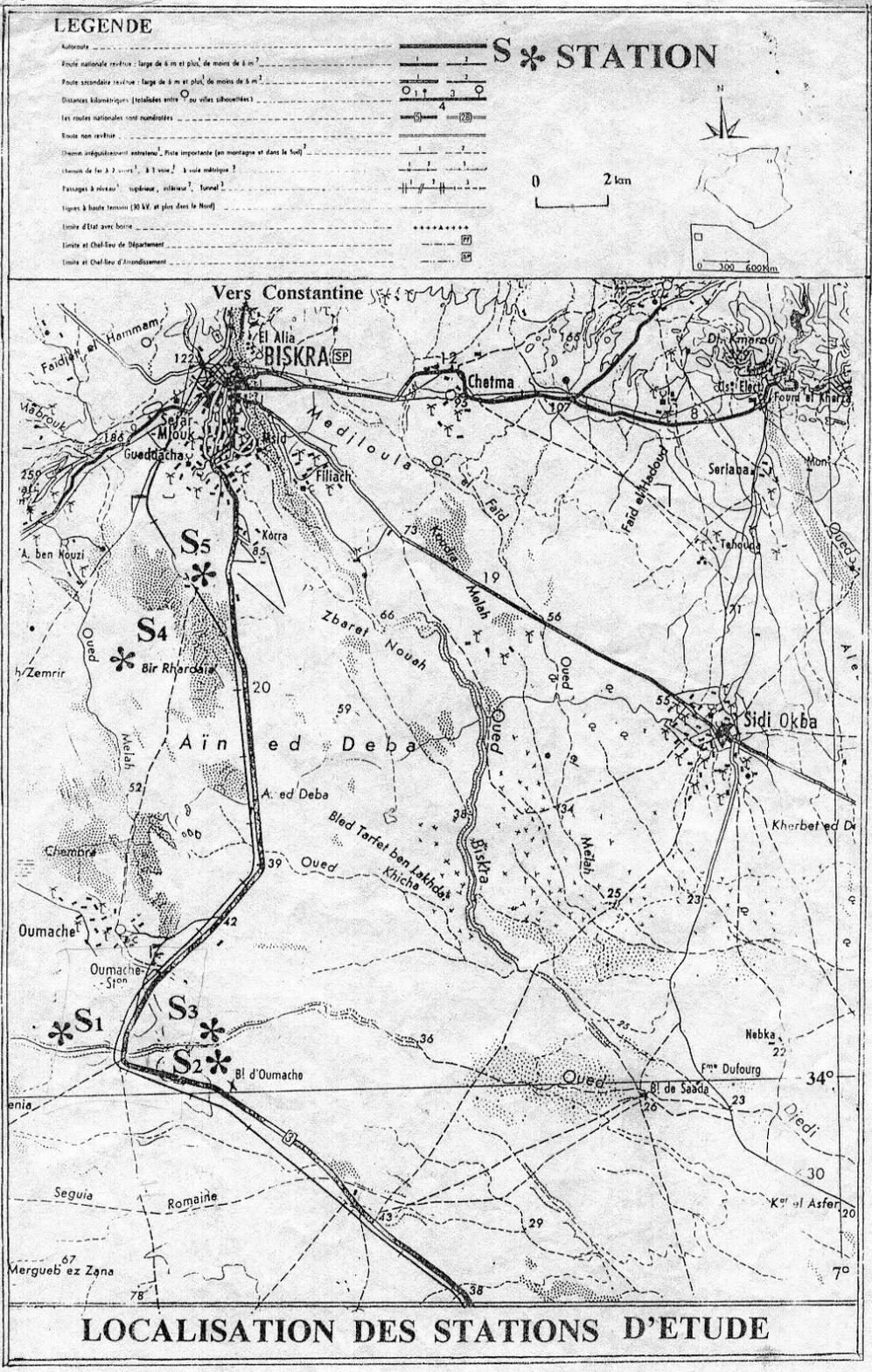


Fig.18

*Limoniastrum guyonianum* |

Sol nu |

*Salsola vermiculata*

*Trigonella maritima*

*Plantago akkensis*

*Salsola tetragona*

*Anabasis articulata*

Matière organique

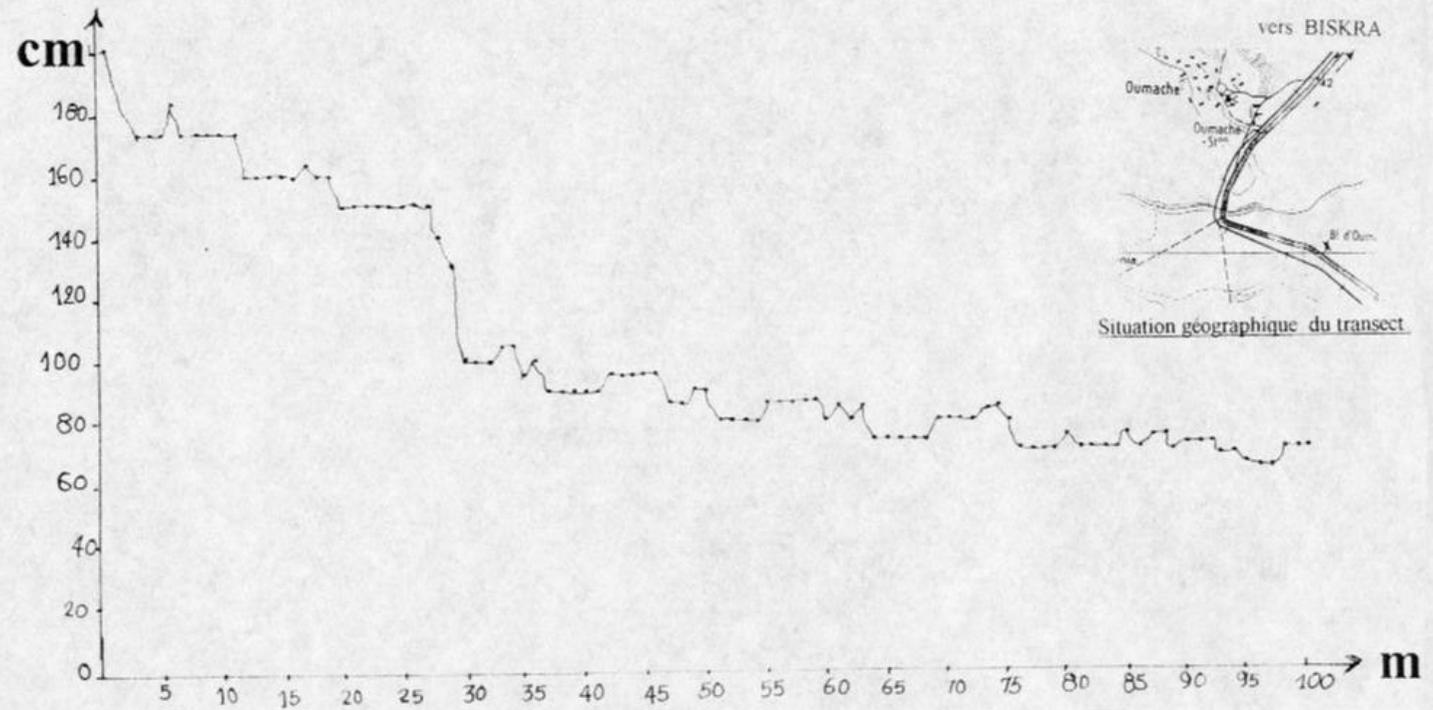


Fig. 19: STATION 1 TRANSECT 1 Est-Ouest

- Le second transect de 100 m de long également est orienté N-S (Fig.20 ) pour un dénivelé de 1m. La défectivité est égale à 0,50 m. La microtopographie est parsemée de buttes sur le transect. Au niveau du premier rançon, s'étendant sur 50 m, on note la dominance de *Salsola vermiculata* et *Piluranthus scoparius*. *Limonastrum guyanianum* et *Aristida pungens* apparaissent vers la fin du transect. Des touffes de *Salsola* et de *Limonastrum guyanianum* se rencontrent souvent sur des touffes de sable ( apport éolien).

### **Station 2**

Elle se trouve à 18 Km au Sud de Biskra. Au niveau de cette station, le transect effectué s'étend sur 130 m selon l'orientation N-S (Fig.21) avec une altitude de 220 m.

Une partie plane de ce transect couvre 90 m. Sur les premiers 100 m, domine *Tamarix articulata*.. Ce taxon occupe les parties somitales du profil et réalise une succession avec le sol nu, puis *Aristida pungens*. *Salsola tetragona* se développent davantage sur la seconde partie du transect (90 à 130 m).

### **Station 3**

Cette station se situe à 17 Km au Sud de Biskra. Le transect effectué dans cette station s'étend sur 110 m selon une orientation N-S (Fig.22) à une altitude de 242 m. La dénivelée est de 100 m. *Limonastrum guyanianum* et *Salsola tetragona* dominant sur le transect. Elles représentent plus de 70% du taux d'occupation.

### **Station 4**

Située à 8 Km au S. W. de Biskra, cette station nous a permis d'effectuer un transect s'allongeant sur une longueur de 110 m selon une orientation N-S. (Fig.23). Le dénivelé est de 1 m. La végétation est moins dense : *Salsola* et *Peganum harmala* forment l'essentiel du cortège floristique.

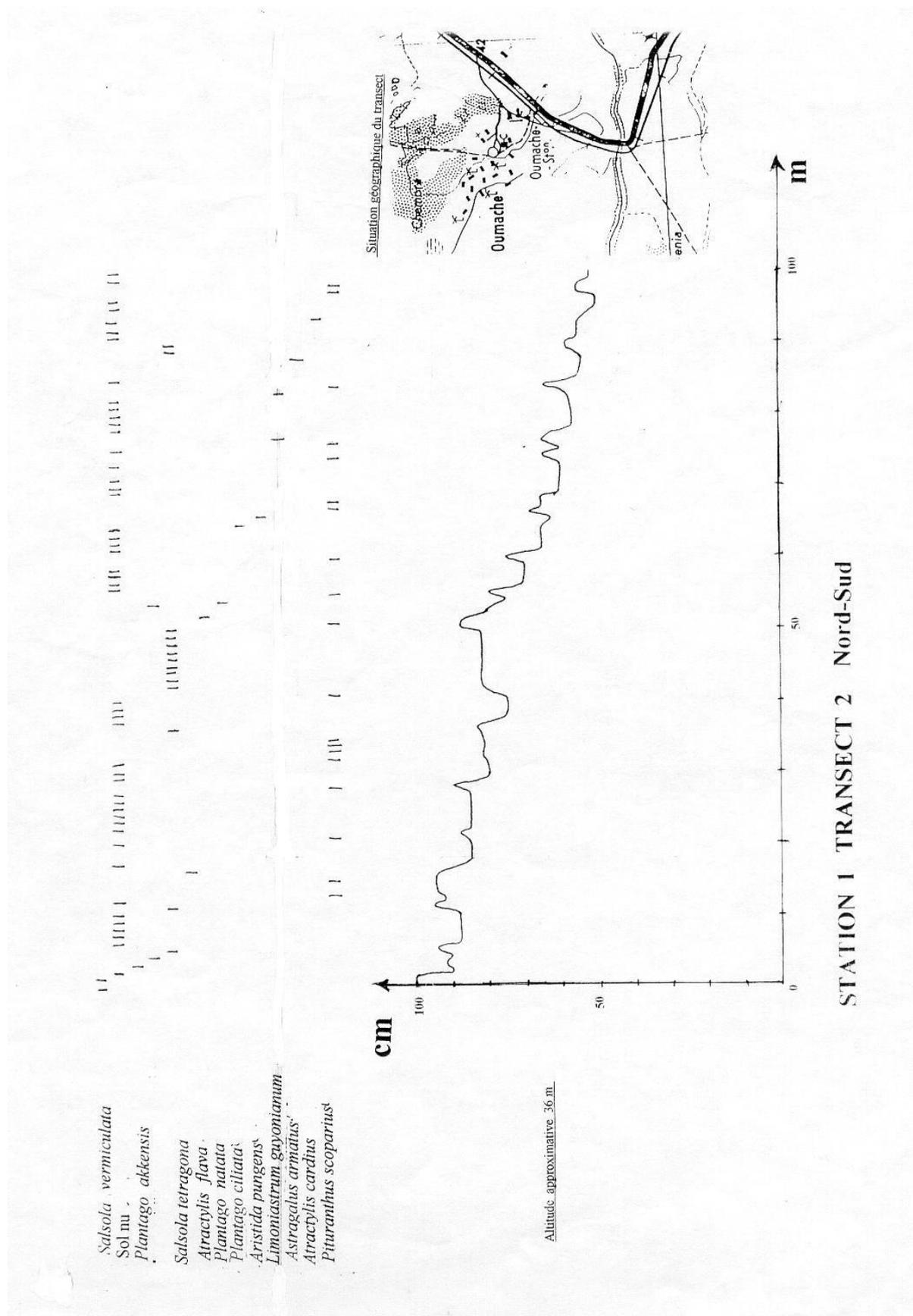


Fig.20

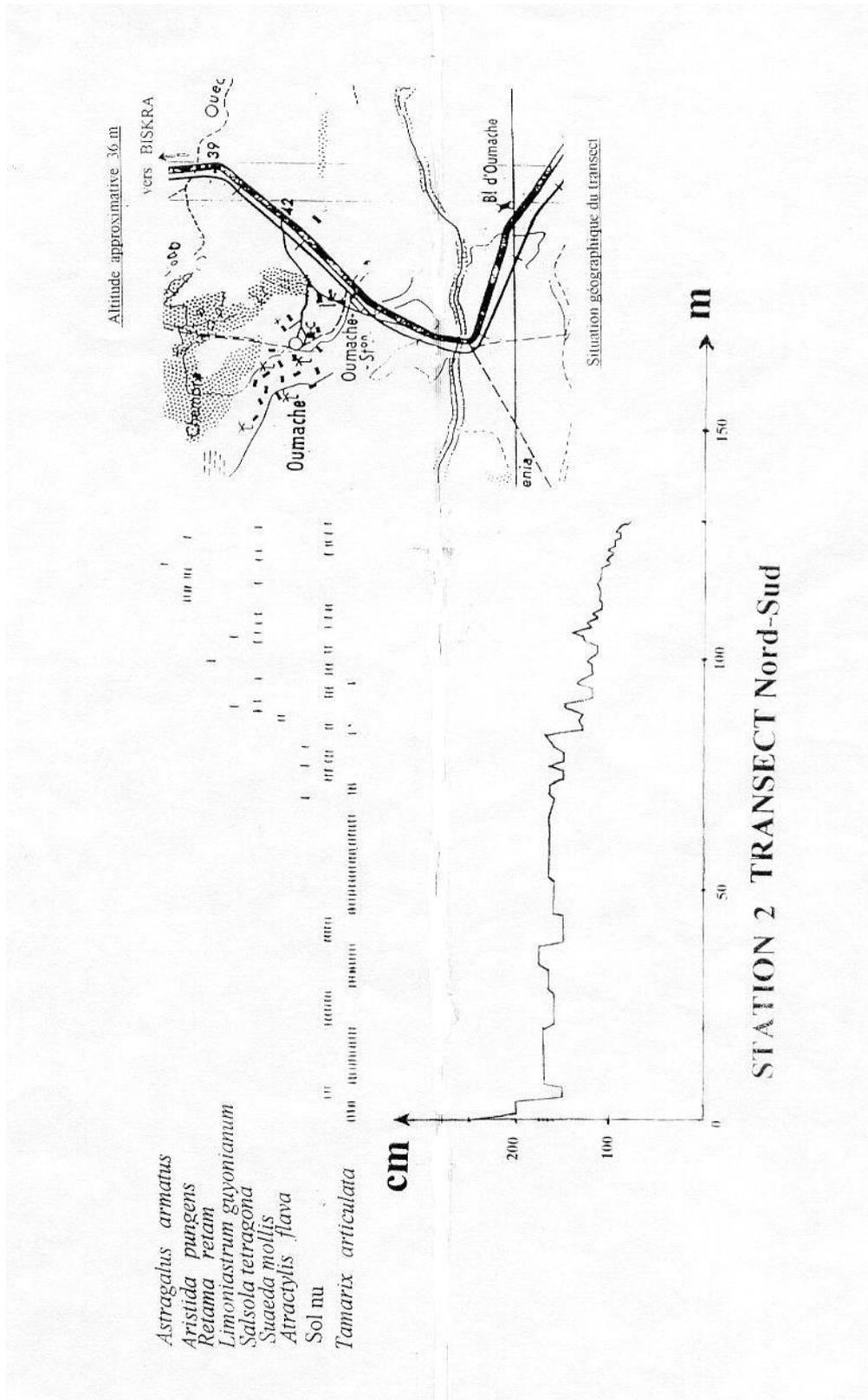


Fig.21 :

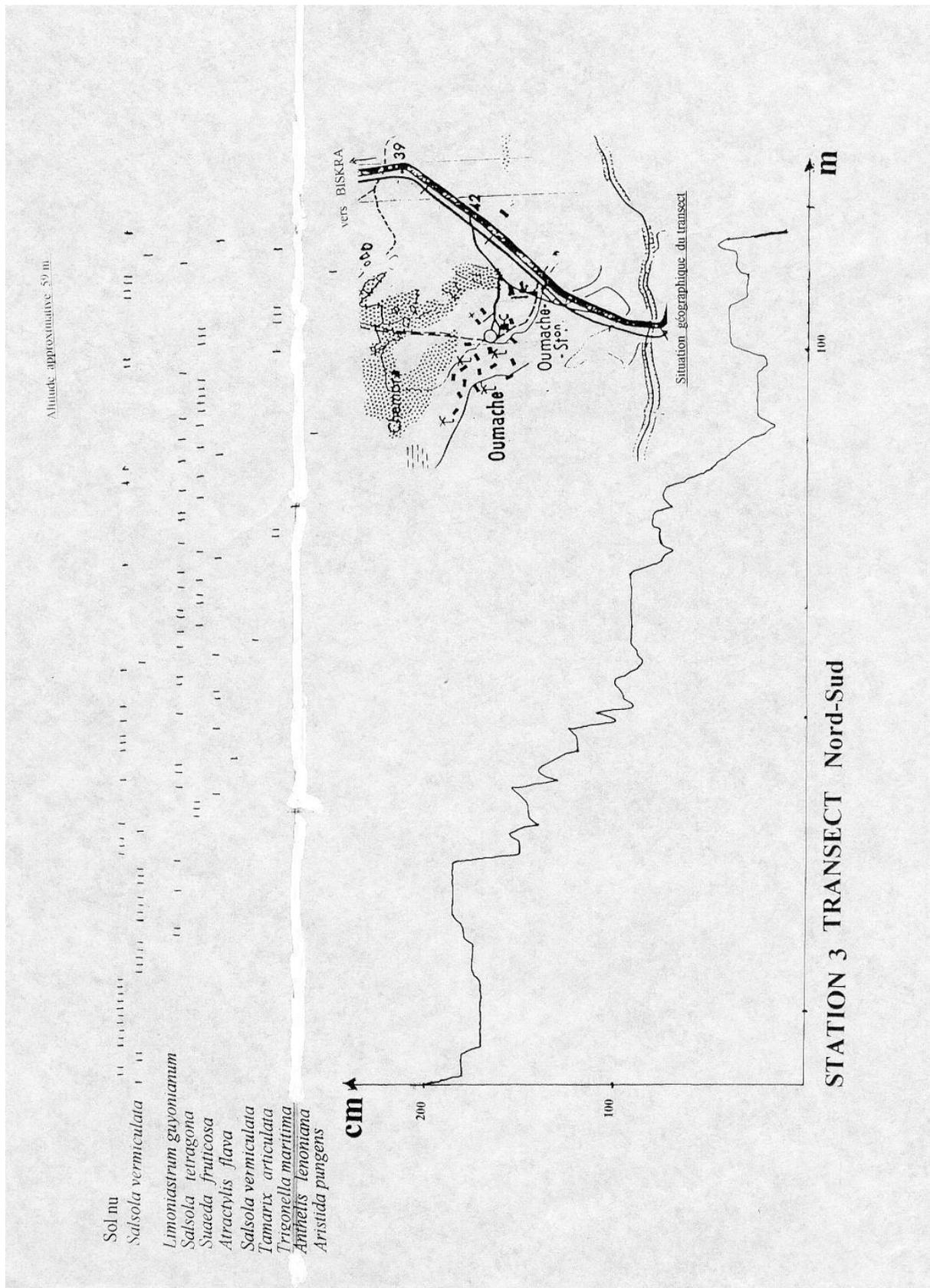


Fig.22 :

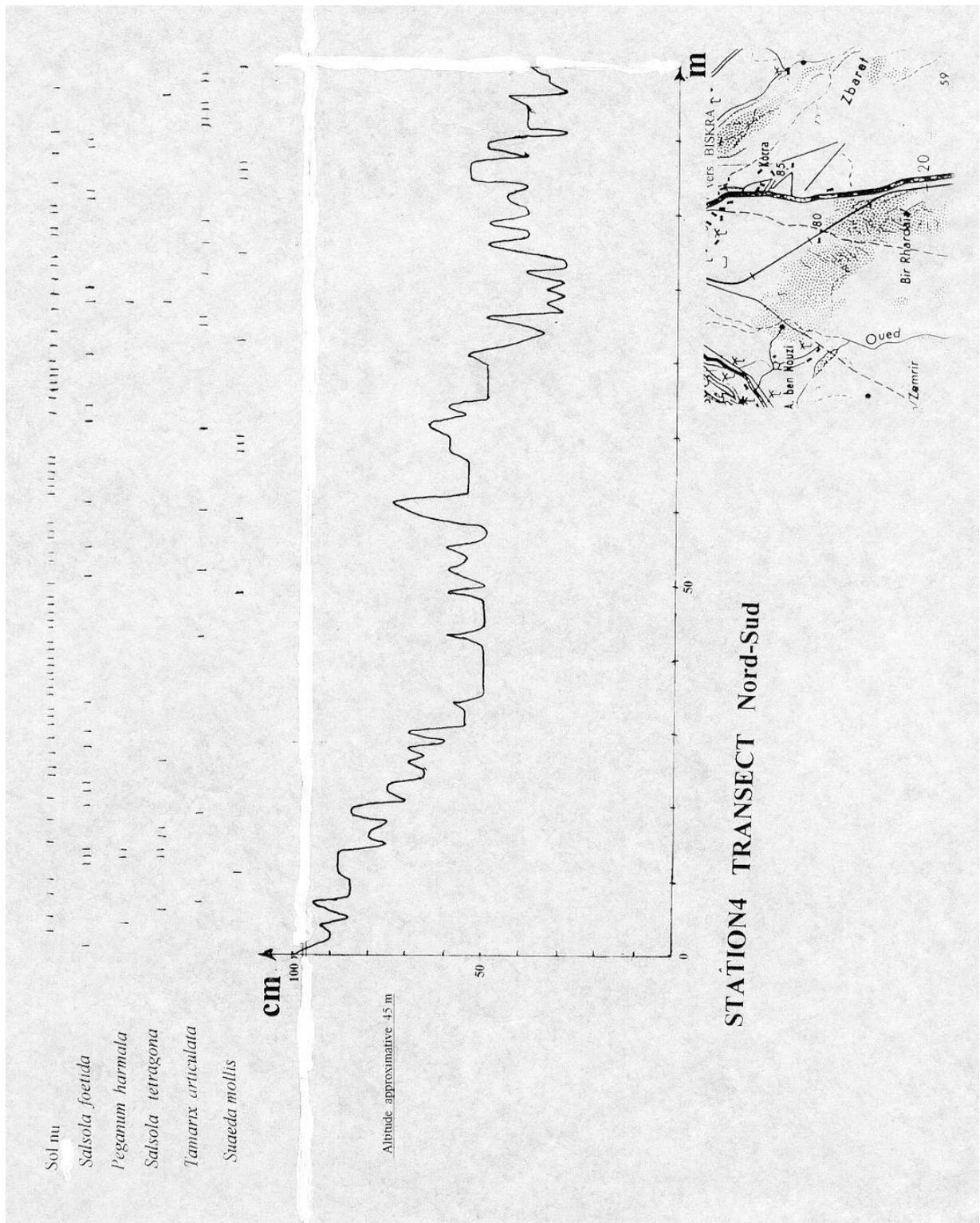


Fig.23 :

## Station 5

Située à 5,5 Km au Sud de Biskra, au niveau de cette station, le transect est orienté N-S (Fig.24) et s'allonge sur une distance de 105 m. le dénivelé est de 1,50 m. Il descend en pente régulière. Le cortège floristique est formé essentiellement de *Salsola vermiculata*, *Salsola foetida* et *suaeda mollis*. Les deux premières espèces s'installent sur de petites buttes d'origine éolienne.

Les prélèvements ont concerné les parties vertes des tiges de certaines espèces végétales y compris de *Salicornia*.

En effet, le but est d'apprécier les mécanismes globaux de la plante pour la résistance au sel et au sodium. Le prélèvement des racines poserait des problèmes délicats de lavage compte tenu des échanges racines /eau distillée (Exsorption).

Les échantillons ont été conservés dans des sachets en polyéthylène soigneusement fermés afin d'éviter toute déshydratation.

### IV. Le sol

Au niveau des stations où les transects ont été effectués pour le prélèvement de la végétation, des échantillons de sols ont été prélevés en vue d'apprécier la variabilité en matière de granulométrie et caractéristiques physico-chimiques (bases échangeables : Na, Ca et Mg, anions et cations solubles, conductivité électrique, pH, matière organique, carbone, etc..)

## CHAPITRE 4 : TECHNIQUES ANALYTIQUES UTILISEES

### I. LES EAUX NATURELLES

Les eaux naturelles ont été analysées par chromatographie ionique pour les éléments suivants : Na, K, Ca, NH<sub>4</sub>, Li, Sr, Rb, Ba, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, F et Br

\*\*\*\*\*

L'absorption atomique sera requise pour Fe, Cu, Mn et Zn.

La conductivité électrique a été mesurée à 25°C par un appareil de type CRISON 522. La densité a été mesurée à la même température sur des volumes de l'ordre de 20 millilitres.

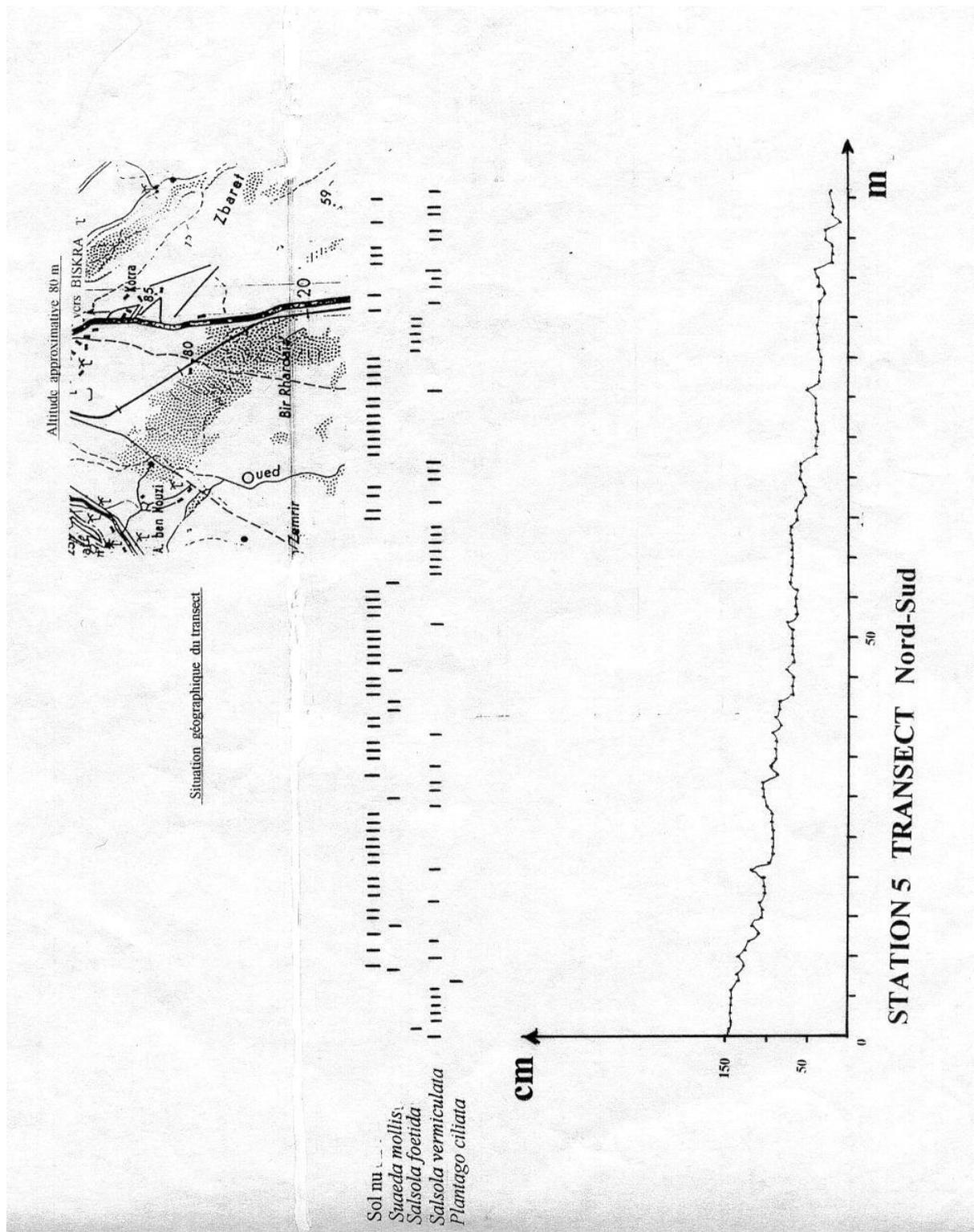


Fig.24 :

Du fait des fortes salinités étudiées, le résidu sec a été déterminé par séchage à l'étuve à 105°C, sur des quantités de l'ordre du millilitre.

## **II. LES EFFLORESCENCES ET LES SEDIMENTS**

L'étude des efflorescences et des sédiments a été réalisée par le biais de deux techniques : La diffraction des rayons X et la Microscopie électronique à Balayage. L'appareil de rayons- X est constitué d'une alimentation RIGAKU, d'un tube et d'un goniomètre CGR. L'anticathode au cobalt délivre une lumière de longueur d'onde 1,7903 Å. La mesure est effectuée par un compteur proportionnel scellé.

Aucune précaution particulière n'a été prise pour éviter le séchage des échantillons lors de la mesure, ce qui a provoqué la déshydratation de divers sels (mirabilite,...). Un balayage rapide des distances réticulaires caractéristiques a cependant permis de connaître le nombre d'hydratation.

Le microscope électronique à Balayage (M.E.B) utilisé est de type JEOL JSM T300, couplé avec une microsonde (Spectromètre Dispersive Energy) de type Link System série 2.

La préparation des échantillons pour le M.E.B. a consisté en une déshydratation suivie d'une métallisation au carbone. Les échantillons ainsi traités ont pu être analysés. La métallisation à l'or a aussi été utilisée afin d'obtenir des contours plus nets des clichés dans quelques cas.

L'analyse des constituants a été réalisée en de nombreux points, mais afin de limiter le volume des données, seuls les résultats jugés intéressants ont été enregistrés.

## **III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLUTIONS**

Cette analyse se base sur la chromatographie ionique dont l'élément principal est constitué d'une colonne contenant des résines qui fixent les cations. L'échantillon injecté circule, poussé par un fluide.

La colonne sépare les ions qui sortent les uns après les autres. A la sortie, détecteur des sels mesure la quantité des ions (conductivité électronique). Une colonne permet de doser les cations et une les anions.

#### **IV. PREPARATION ET ANALYSE DES VEGETAUX**

##### **Relation matière fraîche – matière sèche**

On collecte sur le terrain (sur site restreint) pour éviter de mélanger les plantes qui sont dans des conditions différentes, on les lave très rapidement (quelques secondes) avec l'eau distillée pour enlever des racines, les restes des particules solides. Ensuite à l'aide des ciseaux on coupe les racines des parties anciennes. On pèse séparément les racines et les parties aériennes fraîches, ensuite on les met dans une étuve jusqu'à stabilisation du poids. Ce matériel végétal sec, étant hygroscopique, on le refroidit dans un dessiccateur et on le pèse ensuite à l'état sec.

Après broyage fin de ces végétaux séparément, on les met pendant 24 heures dans une étuve à 70°C jusqu'à obtention d'une matière sèche (MS). Après, on pèse 300 mg de MS et on les met dans un flacon hermétique, on y ajoute 50 ml d'eau distillée et on agite pendant 1 heure. On laisse reposer la solution pendant 24 heures et après on filtre sur un papier sans cendre (Watman 1) la solution dans une fiole de 200 ml ou 250 ml. On met le filtre dans un creuset en platine au four et on augmente très lentement la température jusqu'à 500 °C (le creuset doit rester 4 h à 500°C).

Une fois sorti du four, on solubilise le résidu à l'acide nitrique concentré (2 ml) et à l'eau (2 ml) jusqu'à évaporation de l'acide sous la hotte. On reprend à l'eau permutée, on filtre dans la même fiole (200 ou 250 ml) et ensuite on fait la calcination du filtre et enfin on pèse les cendres restantes (MM).

##### **- Remarques :**

Les échantillons (extraits) sont stockés à 4°C.

Une difficulté importante spécifique à la salicorne. La poudre végétale est hygroscopique, ce qui rend difficile la pesée. Ceci peut être à l'origine d'une toute petite source d'erreur.

## Technique analytique du fluor

Pour ce qui est de la technique analytique adoptée pour le dosage du fluor dans les échantillons prélevés, nous retraçons en détail les différentes étapes :

## Principes du dosage du fluor

En dehors des différentes méthodes analytiques classiques connues (titrimétrie, polarographie, fluorescimétrie, etc..), nous avons pris en considération dans notre travail la méthode dite au T.I.S.A.B. – C.D.T.A.

Le T.I.S.A.B. (Total Ionic Strength Adjustment Buffer) permet le maintien d'une force ionique et un pH constants (quel que soit l'échantillon pris).

Le C.D.T.A. (Acide cyclohexane diaminotétracétique) forme avec les cations  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) des complexes très stables. Les complexes fluorés peu stables vont être détruits pour libérer les ions fluorures qui vont être dosés par ionométrie.

Le T.I.S.A.B. est constitué par les éléments suivants :

- l'acide acétique et l'acétate de sodium qui constituent un tampon acido-basique maintenant le pH constant (5.5) afin d'éviter les interférences avec les ions  $\text{OH}^-$  et le masquage des ions  $\text{F}^-$  par les ions  $\text{H}^+$ ,
- l'acétate de sodium et le chlorure de sodium assurent une force ionique et un coefficient d'activité des ions fluorures constants, précaution indispensable dans ce contexte de salinité très variable.

L'électrode spécifique au fluor permet le dosage potentiométrique direct des ions  $\text{F}^-$ . Un potentiel d'électrode se développe à travers la membrane dès que cette dernière entre en contact avec une solution contenant des fluorures. Le potentiel dépend linéairement du logarithme de l'activité des ions fluorures mesuré, par rapport à une électrode de référence, à l'aide d'un ionomètre.

### Méthode de dosage utilisée (T.I.S.A.B. – C.D.T.A. modifiée)

La méthode au T.I.S.A.B. – C.D.T.A. modifiée (Deviliers et Semadi, 1989) diffère de la méthode classique initialement décrite en modifiant la composition de la solution de T.I.S.A.B.

Pour doser le fluor dans les échantillons de lichens traités, on doit impérativement passer par trois étapes :

- Séchage et broyage des échantillons,
- Dosage ionométrique,
- Traitement des résultats par le biais d'une courbe d'étalonnage.

#### **- Séchage des échantillons**

Les échantillons traités sont mis à sécher dans une étuve à 105°C pendant 48 h puis finement broyés. On prélève de chaque échantillon 0.4 g que l'on place dans des creusets en nickel à l'intérieur d'un four à moufle pour calcination à 550°C pendant 2 h (Semadi, 1989).

#### **- Préparation du T.I.S.A.B.**

On met 500 ml d'eau distillée dans un bécher d'un litre, auquel on ajoute 30 g d'acide acétique (1/2 mole), 68 g d'acétate de sodium (1/2 mole), 58 g de chlorure de sodium (01 mole) et 04 g de C.D.T.A. On mélange le tout jusqu'à dissolution complète. On laisse refroidir puis on transvase le tout dans une fiole d'un litre et on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

#### **- Solutions fluorées étalons**

On prélève 100 ml de solution de T.I.S.A.B. concentré et 150 ml d'eau distillée qu'on mélange pour l'obtention d'une solution de T.I.S.A.B. diluée.

Pour la préparation des solutions étalons on doit respecter la proportion : 10 pour le T.I.S.A.B. et 15 pour l'eau distillée pour qu'elles possèdent une force ionique identique à celles des échantillons à concentrations inconnues. On dissout ensuite 0.21 g de fluorure de sodium (masse molaire de NaF = 42 g) dans 50 ml de T.I.S.A.B. dilué, ensuite on dilue avec du T.I.S.A.B. dilué par prélèvement de 05 ml (rapport 1/10) pour l'obtention des solutions étalons suivantes :  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M,  $10^{-4}$  M,  $10^{-5}$  M et  $10^{-6}$  M.

Les échantillons calcinés vont séjourner pendant une demi-journée dans un tube en plastique contenant 10 ml de T.I.S.A.B. afin de solubiliser tous les ions fluorures, on verse ensuite le contenu du tube dans un bécher en polypropylène et on le rince avec

15 ml d'eau distillée. On plonge alors les deux électrodes dans la solution obtenue (25 ml) pour le dosage potentiométrique.

Le calcul de la teneur en ions fluorures de l'échantillon se fait à l'aide de l'équation suivante :  $F (\mu\text{g F}^-/\text{g. M.S.}) = X (\mu\text{g F}^-/\text{ml}) \times 62.5 (\text{ml/g})$

F = teneur en ions fluorures de l'échantillon ( $\mu\text{g/g M.S.}$ )

X = quantité de fluorures de la solution ( $\mu\text{g/ml}$ )

$62.5 = (25/0.4) = \text{volume (ml/g) correspondant à 25 ml de solution obtenue (10 ml de T.I.S.A.B. diluée versée dans un bécher rincé avec 15 ml d'eau distillée) pour 0.4 g de l'échantillon calciné, soit 62.5 ml de solution pour un échantillon de 01 g (Zaafour, 1993).}$

## V. PREPARATION ET ANALYSE DU SOL

### Echantillonnage et prélèvement

Les échantillons sont au nombre de 34 répartis dans 5 stations et alignés sur des transects (Fig.25 et 26). Les analyses ont été effectuées soit au laboratoire du département de Biologie de l'Université de Annaba, soit au laboratoire des services forestiers de la wilaya de Annaba.

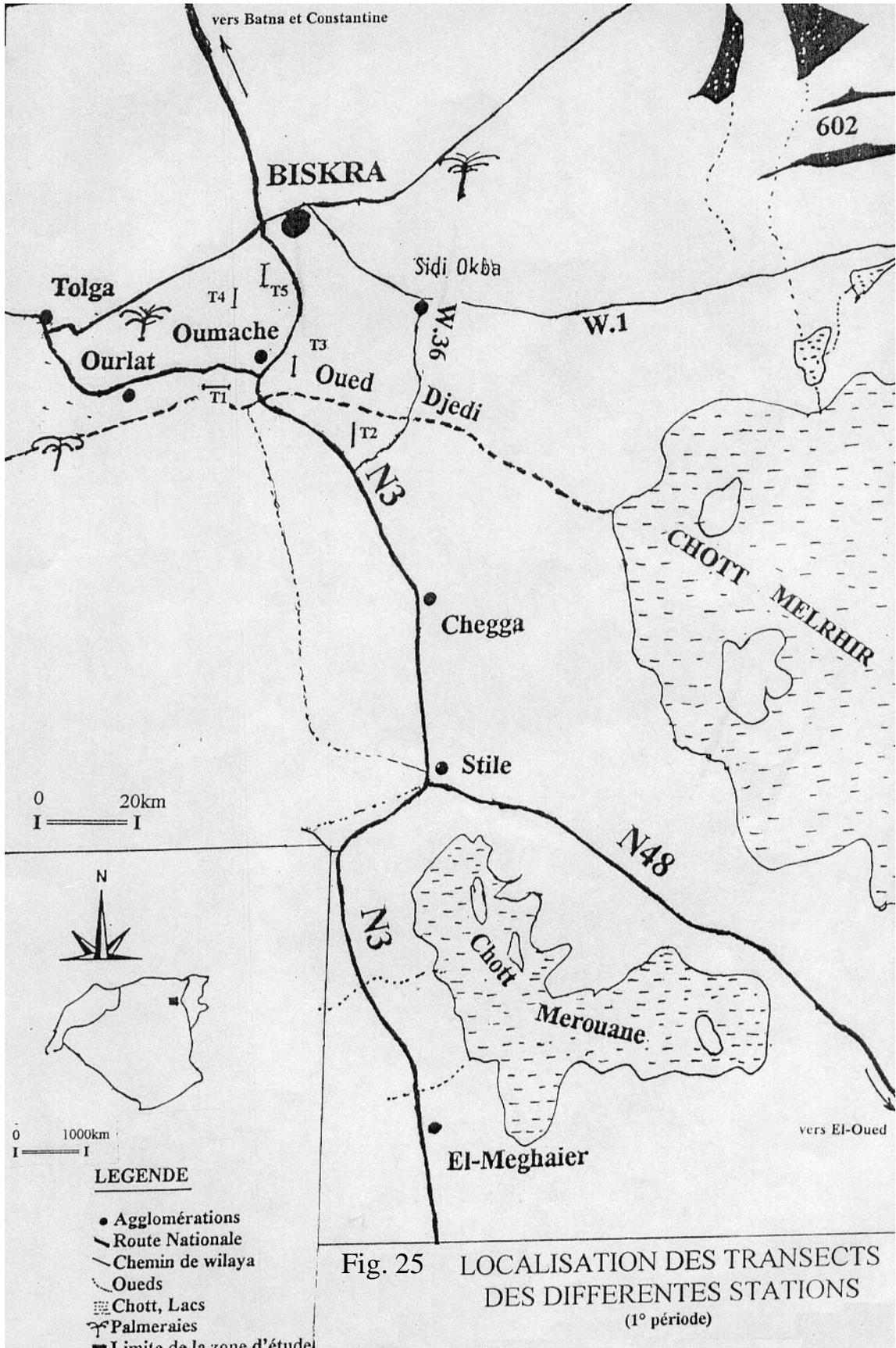
Les échantillons de sol ont été prélevés durant 2 périodes différentes de l'année (automne et printemps) sous les peuplements de *Tamarix* et de Chénopodiacées plus précisément au niveau de la rhizosphère.

Par ailleurs nous avons utilisé pour ce travail les échantillons perturbés. Les analyses ont été effectuées sur la terre fine (Tab. VII et VIII).

### Analyses

#### Granulométrie

Nous avons utilisé la méthode internationale (emploi de la Pipette de Robinson.). L'analyse granulométrique s'effectue sur une prise d'essai de terre fine (éléments inférieurs ou égales à 2 mm). Le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constitue les agrégats.



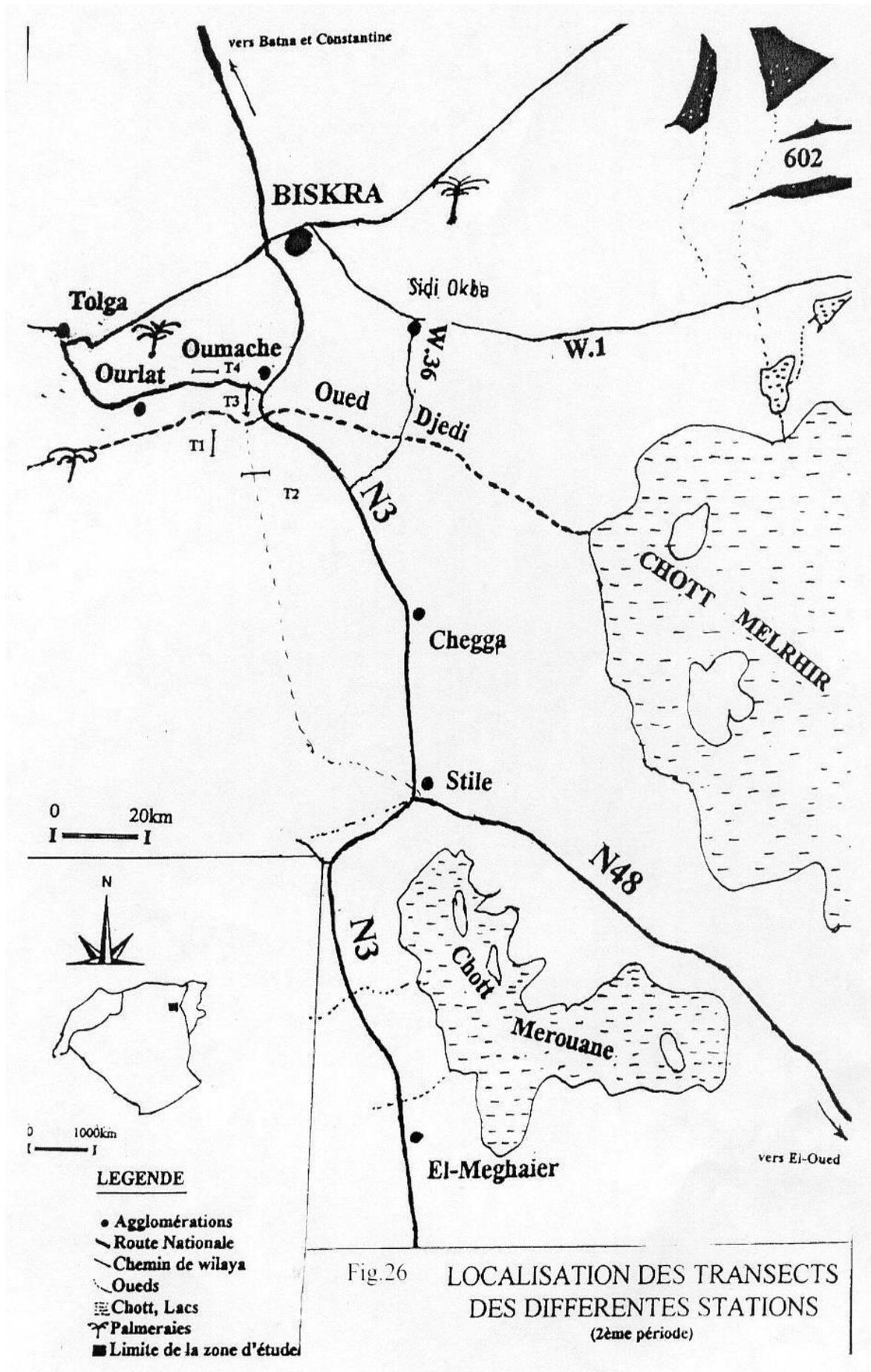


Fig.26 LOCALISATION DES TRANSECTS  
DES DIFFERENTES STATIONS  
(2ème période)

**TABLEAU VII : Description des échantillons (1<sup>ère</sup> période)**

Stations	Ech.	Localisation	Couleur du sol selon MUNSBL	CaCO <sub>3</sub>	Observation
Station 1	E 1	A 17 Km au S.O. de Biskra	10 Y R 7/4	0,23	Sol
	E2	A 20 Km de E 1			Sol
	E3	A 40 Km de E1			Sol
	E4	A 60 Km de E1			Sol sous pied d'un Salsola
	E5	A 80 Km de E1			Sol exposé au vent. Exposition w
	E6	A 100 Km de E1			Sol de la butte côté opposé au vent
Station 2	E 1	A 18 Km au Sud de Biskra	10 Y R 8/6	0,30	Sol
	E2	A 20 KM DE E1			Sol sous Salsola
	E3	A 30 KM DE E1			Sol
	E4	A 40 KM DE E1			Sol
	E5	A 50 KM DE E1			Sol
	E6	A 60 KM DE E1			Sol sous Salsola
	E 7	A 80 KM DE E1			Sol
	E8	A 100 KM DE E1			Sol
	E9	A 130 KM DE E1			Sol sous Salicornia
Station 3	E 1	A 17 Km au Sud de Biskra	10 Y R 7/6	0,20	Sol sous souche sec
	E2	A 17 Km au Sud de Biskra			Sol sous souche humide
	E3	A 20 Km de E1			Sol nu
	E4	A 40 Km de E1			Sol nu sableux
	E5	A 50 Km de E1			Sol
	E6	A 60 Km de E1			Sol
	E 7	A 70 Km de E1			Sol
	E8	A 80 Km de E1			Sol
	E9	A 90 Km de E1			Sol
	E 10	A 100 Km de E1			Sol
	E11	A 110 Km de E1			Sol
Station 4	E 1	A 8 Km au S.O. de Biskra	10 Y R 8/6	0,25	Sol
	E2	A 20 Km de E1			Sol sous Salosola
	E3	A 40 Km de E1			Sol
	E4	A 60 Km de E1			Sol sous Salsola
	E5	A 80 Km de E1			Sol sous Salicornia
	E6	A 110 Km de E1			Sol sous Tamarix
Station 5	E 1	A 5,5 Km de Biskra	10 Y R 8/4	0,30	Sol nu
	E2	A 40 Km de E1			Sol nu
	E3	A 80 Km de E1	10 Y R 7/3	0,24	Sol sans couvert végétal
	E4	A 105 Km de E1	10 Y R 7/6	0,417	Sol nu croûte de battance
	E5	A 105 Km de E1			Sol croûte de battance

**TABLEAU VIII : Description des échantillons (2<sup>ème</sup> période)**

<b>Transects</b>	<b>Echan.</b>		<b>Localisation</b>	<b>Observations</b>
<b>Transect Nord – Sud</b> P <sub>1</sub>	E1		100m à partir de l'oued	Sol sous <i>Limonium</i>
	E2		200 m de E1	Sol sous <i>Salicornia</i>
	E3		250 m de E1	Sol nu
	E4		300 m de E1	Sol nu
	E5		350 m de E1	Sol nu
<b>Transect Ouest - Est</b> P <sub>2</sub>	E1		50 m à E4 de T.N.S	Sol sous <i>Salicornia</i>
	E2		100 m de E1	
	E3		200 m de E1	Sol nu
	E4		250 m de E1	Sol sous <i>Tamarix</i>
<b>Transect Sud – Nord</b> P <sub>3</sub>	E1		50 m en bordure de la route	
	E2		100 m de E1	Sol nu ( lit d'oued asséché)
	E3		150 m de E1	Sol nu ( lit d'oued avec présence de <i>Tamarix</i> )
	E4		250 m de E1	Sol
<b>Transect Est – Ouest</b> P <sub>4</sub>	E1		100 m de E4 de T.S.N	Sol nu
	E2		200 m de E4 de T.S.N	Sols sous couvert végétale ( <i>Tame, Lim, Salic</i> )
<b>Relevée de L'Oued Djedi</b> P <sub>5</sub>	S1	EA	Sol à l'intérieur de l'eau	Eau claire
	S2	EB	Sol d'une partie sèche d'oued	Eau trouble
		EA	Sol à l'intérieur de l'eau	Eau claire
		EB	Sol d'une partie sèche rocailleuse	Eau trouble

Les différentes fractions sont déterminées à des profondeurs et à des moments déterminés (loi de Stokes), loi de sédimentation des particules dans un liquide. Cependant, en sol calcaire et surtout gypseux, la détermination de la granulométrie est délicate à cause de la forte teneur en  $\text{Ca}^{=+}$ , cation flocculant les argiles.

#### **pH (eau)**

La mesure du pH a été effectuée sur une suspension de terre fine, 20 g. de terre dans 50 ml d'eau distillée. Le rapport liquide/poids est constant. La lecture des résultats est obtenue après étalonnage de l'appareil en plongeant l'électrode du pH mètre dans la solution à analyser.

#### **pH (KCl)**

On prend 20 g de terre fine séchée, puis on ajoute 50 ml de solution normale (KCl) dans un bécher de 100 ml, ensuite on mesure le pH en utilisant la méthode électrométrique à électrode de verre.

#### **Dosage du carbone organique (méthode d'Anne)**

Le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès du bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert.

#### **Matière organique**

Connaissant le pourcentage du carbone organique, le taux de matière organique peut être calculé par la formule:

$$\text{M.O \%} = \% \text{ C} \times 1.72$$

#### **Bases échangeables: méthode Bower-Toujan**

Dans les sols salés, la solution d'acétate d' $\text{NH}_4$  entraîne tous les sels solubles y compris la fraction  $\text{CaCO}_3$  soluble et les éléments échangeables.

Les cations solubles et les éléments carbonatés sont séparés à l'aide de la solution d'acétate d'ammonium.

Les dosages du potassium et du sodium ont été effectués par la méthode spectrophotométrique à flamme.

Les dosages de calcium et du magnésium par la méthode spectrophotométrique d'émission.

### Capacité d'échange cationique

Elle a été mesurée par la méthode Metson. Le complexe absorbant est saturé par de l'ammonium à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium normale et neutre. L'excès d'ammonium est éliminé par l'alcool éthylique quant à l'ammonium fixé sur le complexe absorbant, il est déplacé par une solution de KCl.

#### E.S.P. (Pourcentage de sodium échangeable)

Il existe une relation entre le pourcentage de sodium échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et celui de cette solution. Cette relation dépend du rapport d'absorption du sodium appelé S.A.R. donné par la relation:

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}^+}{\text{V Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} / 2}$$

Les cations sont donnés en méq/l. Le rapport d'absorption est relié au pourcentage de sodium échangeable (ESP) d'un sol en équilibre avec sa solution par la relation:

$$\text{E.S.P.} = \frac{100 (-0.0126 + 0.01445 \cdot \text{SAR})}{1 + (-0.0126 + 0.01445 \cdot \text{SAR})}$$

Cependant cette relation dépend de la nature minéralogique des argiles.

### **Conductivité électrique**

On détermine sur une solution d'extraction aqueuse au 1/5 la conductivité qui se mesure à partir d'un conductivimètre,. Ce paramètre est fonction de la concentration en électrolytes et s'exprime en millimhos par centimètre (mmhos./cm) ou en milli Siemens par centimètres (mS/cm).

### **Chlorures**

Ils sont dosés par la méthode argentométrique. On extrait les ions Cl<sup>-</sup> dans l'eau chaude puis on les dose suivant la méthode argentométrique de Mohr. Ces ions précipitent sous forme de AgCl en présence de nitrate d'argent.

### **Anions solubles (méq / l) CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Ces 2 anions sont dosés à partir de la méthode spectrophotométrique.

### **Cations solubles (méq / l) Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>**

Les cations solubles Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont dosés par spectrophotométrie d'émission. L'intensité des radiations caractéristiques d'un élément est proportionnelle à la concentration de celui-ci, il suffit d'évaluer quantitativement l'intensité des raies caractéristiques à l'aide de cellules photo-électriques pour connaître la teneur de l'élément dosé. Ce dernier est dissout dans une solution adéquate et vaporisé sous une flamme. Les atomes excités émettent un rayonnement. Le calcium et le magnésium sont analysés à partir de la méthode spectrophotométrique d'absorption atomique. Le dosage du calcium et du magnésium s'effectue en solution aqueuse et à l'aide du brûleur à acétylène.

### **Sulfates**

La présence de gypse faiblement soluble nous amène à utiliser l'eau acidulée pour l'extraction des sulfates. Le dosage ne peut se faire qu'après l'élimination des ions gênants (Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>), il consiste à précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum en présence de BaCl<sub>2</sub>.

## TROISIEME PARTIE : RESULTAS ET DISCUSSIONS :

La dynamique de l'ion fluorure est habituellement, fortement conditionnée par la température (eaux thermales) et surtout par la solubilité des minéraux calciques (calcite, gypse,...).

Ainsi, il convient d'avoir une connaissance des variations de la minéralogie des sols de la séquence étudiée.

### CHAPITRE 1 : RESULTATS RAYONS-X

Les résultats sont représentés de façon synthétique dans le tableau IX. Le gypse et la calcite caractérisent les efflorescences des zones les moins confinées. Ce sont les seuls constituants des efflorescences se développant sur les tiges des *Phragmites* situées aux débouchés des oueds dans le Chott Ben Djelloul. On les trouve aussi dans les zones de remontées d'eau douce du même Chott.

A proximité des Chotts, aux débouchés des oueds salés ou dans la mare proche de L'Emghaier, la thénardite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , a été formellement identifiée parfois en forte proportion en hivers. Cependant, à cause du temps nécessaire au balayage angulaire choisi, des essais ont montré que la mirabilite  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10(\text{H}_2\text{O})$  a le temps de se transformer en thénardite durant la mesure. Aussi, le minéral trouvé est soit la mirabilite soit la thénardite. Pour les échantillons des oueds Righ et N'Sigha, la bloedite ( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ ) a été identifiée avec une certaine abondance.

La halite est le minéral le plus abondant des chotts. A ce niveau, la calcite n'est pas fréquente et il semblerait que ce minéral laisse la place à l'aragonite, en particulier dans le Chott Melghir. Toutefois la présence de l'aragonite est douteuse.

En résumé, les diffractogrammes de rayonsX effectués sur 20 échantillons représentatifs des zones salées ont relevé la présence de calcite, de gypse, de mirabilite ou thénardite, de bloedite et de halite, selon des salinités croissantes. C'est à dire selon la position dans le paysage. Des pics non identifiés existent aussi ce qui indique la présence d'autres minéraux. La présence de l'aragonite et de bishofite ( $\text{MgCl}_2$ ) est douteuse.

**TABLEAU IX : Composition minéralogique des efflorescences salines déterminées à partir de diffractogrammes Rayons X**

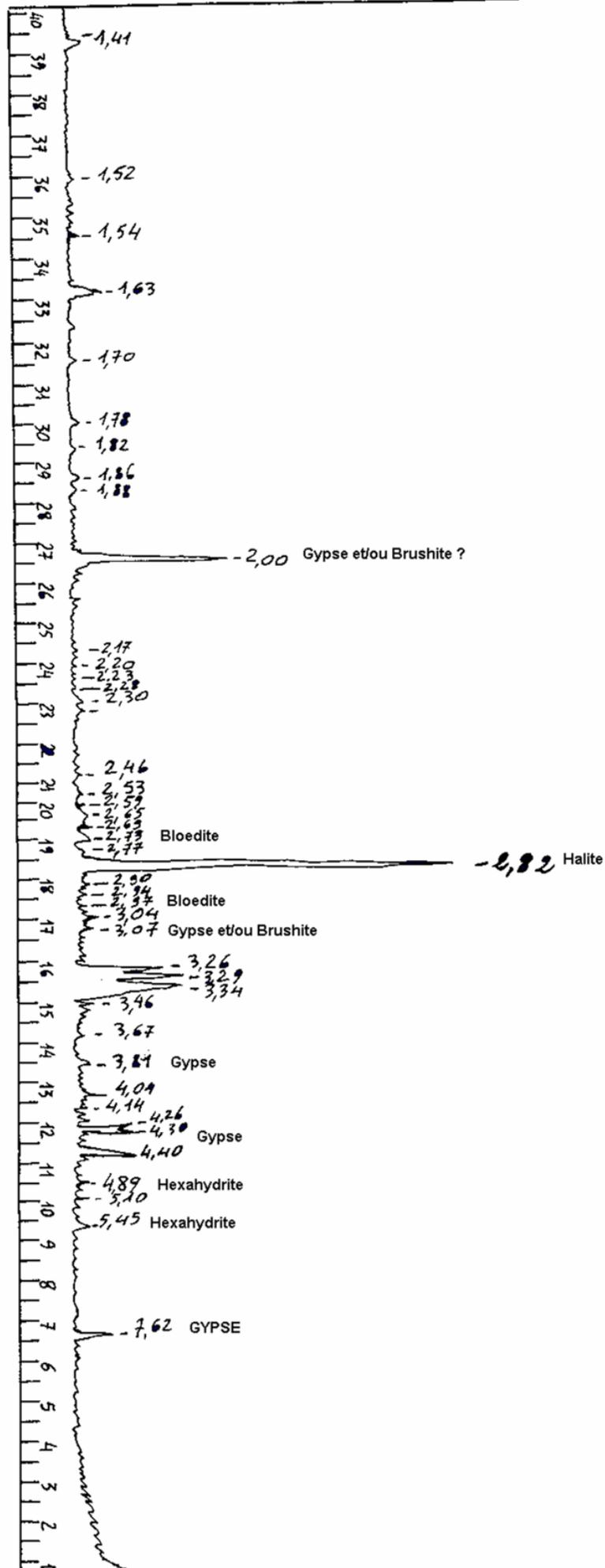
	<i>Halite</i>	<i>Gypse</i>	<i>Guartz</i>	<i>Calcite</i>	<i>Thenardite</i>
Mghaier	+++	e	-	-	-
Marre 20Km Mghaier (int.)	+++	-	-	-	++
Marre 20Km Mghaier (ext.)	+++	+++	-	-	++
Ben Djelloul	-	+++	-	++	-
Melghir (boue)	+++	++	e	e	-
Hamraia ( halite rose)	+++	-	-	-	-
Hamraia (ouest )	++	+++	e	-	-
Hamraia (nord )	+++	-	-	-	-
Hamraia (chott)	+	+++	-	-	e
Hamraia	+++	-	-	-	-
Hamraia	+++	e	-	-	-
Melghir	+++	+	-	-	-
Oued N'Sigha	+	++	++	-	-
Oued N'Sigha (mare )	++	+	+	-	++
Oued Righ	+++	+	+	-	-
Oued Righ	++	+	+++	e	-
Melghir	+++	-	-	-	-
Melghir	+++	+	-	-	-
Melghir	+++	++	e	-	-
Melghir	+++	++	+	e	-
Melghir	+++	++	+	e	-

**+++ = très abondant, ++ = abondant, + = présent, - = absent, e = quantité faible**

**TABLEAU IX bis : Composition minéralogique des efflorescences salines déterminées à partir de diffractogrammes Rayons X**

	<i>Bleodite</i>	<i>Hexahydrite</i>	<i>Bishofite</i>	<i>Brushite</i>
Mghaier	-	-	-	-
Marre 20Km Mghaier (int.)	-	-	-	-
Marre 20Km Mghaier (ext.)	-	-	-	-
Ben Djelloul	-	-	-	-
Melghir (boue)	-	-	-	-
Hamraia ( halite rose)	-	-	-	-
Hamraia (ouest )	-	-	-	-
Hamraia (nord )	-	-	-	-
Hamraia (chott)	-	-	-	-
Hamraia	-	-	-	-
Hamraia	-	-	-	-
Melghir	-	-	-	-
Oued N'Sigha	-	-	-	-
Oued N'Sigha (mare )	++	-	-	-
Oued Righ	+	+	-	+
Oued Righ	-	-	-	+
Melghir	-	-	-	-
Melghir	-	-	-	-
Melghir	-	-	e	-
Melghir	-	-	-	-
<b>+++ = très abondant, ++ = abondant, + = présent, - = abscent, e = quantité faible</b>				

Fig. 27 : Pics représentant la composition minéralogique d' une efflorescence saline d' El Oued Righ déterminée à partir de diffractogrammes rayons



La calcite est principalement présente dans le début de la séquence, dès les Aurès et est abondante jusqu'à l'arrivée des eaux dans les chotts. A ce niveau, elle est peu abondante et serait remplacée par l'aragonite. Le gypse apparaît sur le plateau au pied des Aurès et constitue un des minéraux les plus fréquents jusque dans les chotts. Enfin la halite est le minéral le plus abondant dans les sels des chotts.

On observe donc une chromatographie des sels dans le paysage. La région est marquée par la prédominance de la halite (NaCl) et du gypse. On trouve d'autres minéraux, en particulier la thernadite, bloedite, etc...(Tab. IX, Tab. IX bis, Fig. 27, et Annexe B1).

On a trouvé la célestite (sulfate de Strontium) au niveau du chott Melghir. En conclusion, les minéraux identifiés par les rayons X montrent que le gypse apparaît dès le début de la séquence (Valles et al., 1997).

## **CHAPITRE 2 : M.E.B**

Les analyses et photographies réalisées au M.E.B. montrent l'abondance du gypse et de la halite dans la zone d'étude, ce qui confirme les résultats des diffractogrammes des rayons X (Tab. X, Fig. 28, 29).

Les photographies réalisées attestent du fort degré de cristallinité des minéraux. Les macles du gypse sont généralement grandes et la halite présente une structure cubique habituelle. Ceci nous permet de penser que leur solubilité sera proche des valeurs issues de la littérature et déterminées sur des minéraux purs.

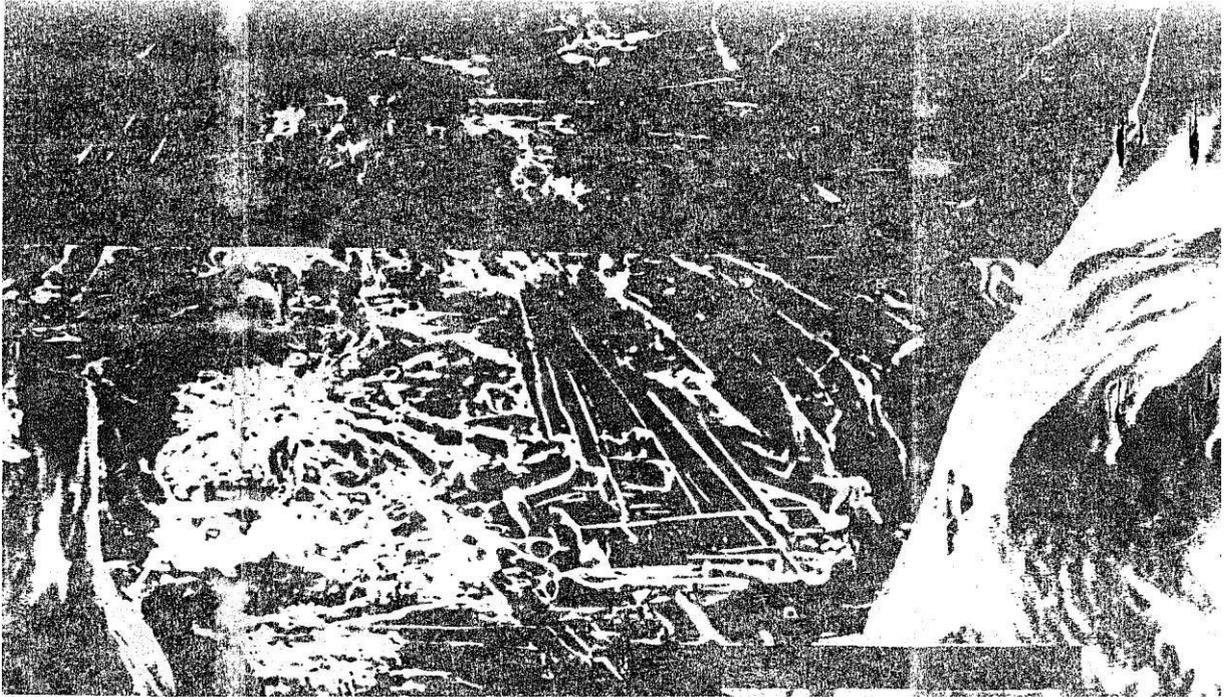
## **CHAPITRE 3 : ANALYSES DES SOLUTIONS**

### **I. DENSITE DES SOLUTES**

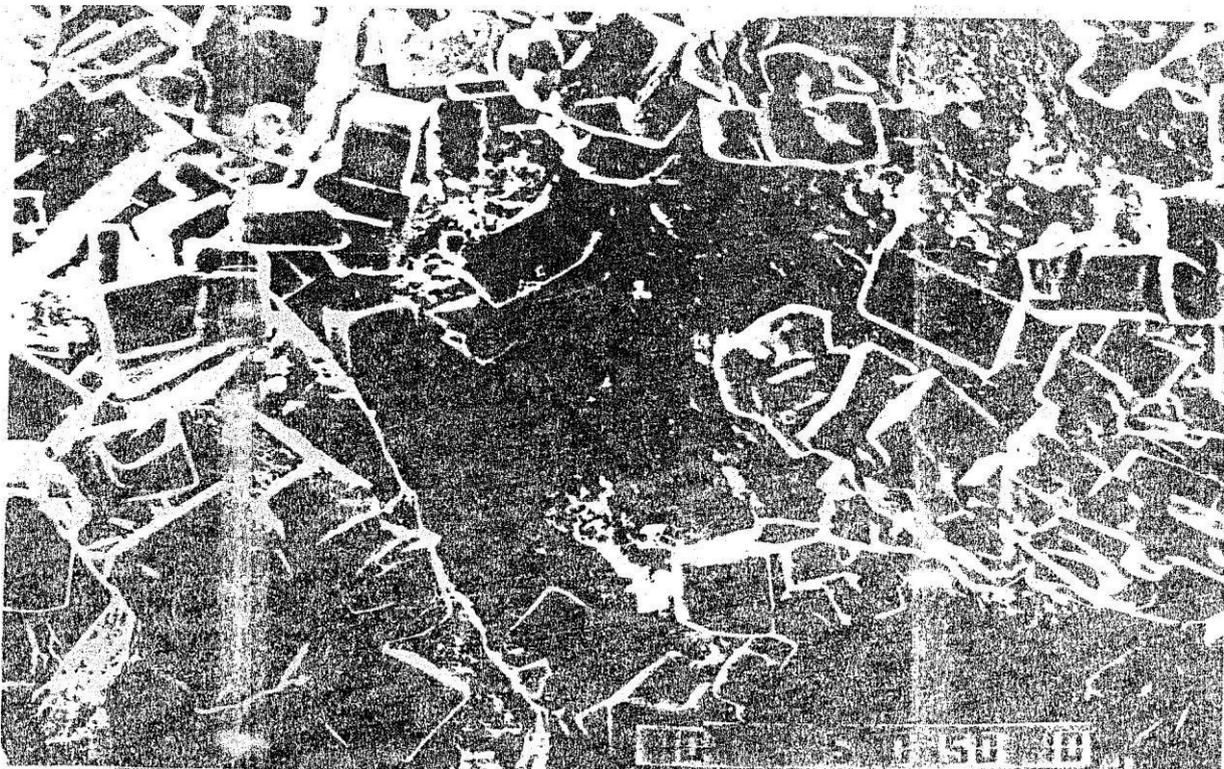
La mesure de la densité des solutions et de leur résidu sec a permis de convertir les molarités mesurées en molalités. Lorsque l'écart entre la somme cationique et la somme anionique est supérieure à 10%, l'analyse a été considérée comme non fiable et éliminée de tout calcul. En dessous d'un écart de 10%, les données ont été corrigées au pro rata afin d'éliminer le défaut de balance électrique (Tab. XI, Annexe C1).

**TABLEAU X : Résultats d'analyse à la micro-sonde (M.E.B) des efflorescences salines**

	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>	<b>Sr</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>
<b>1</b>	<b>29,01</b>	<b>1,41</b>	<b>0,13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,54</b>	<b>46,89</b>	<b>0,11</b>	<b>3,28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>9,55</b>	<b>2,84</b>	<b>0,97</b>	<b>0,27</b>	<b>27,29</b>	<b>4,38</b>	<b>0,46</b>	<b>0,83</b>	<b>23,54</b>	<b>0,28</b>	<b>5,97</b>	<b>0</b>	<b>0,18</b>
<b>3</b>	<b>12,24</b>	<b>0,15</b>	<b>0</b>	<b>1,91</b>	<b>0,52</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,23</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>54,40</b>	<b>0,29</b>	<b>0</b>
<b>4</b>	<b>16,33</b>	<b>0,65</b>	<b>0,39</b>	<b>0,47</b>	<b>0</b>	<b>53,14</b>	<b>0</b>	<b>0,68</b>	<b>2,88</b>	<b>0</b>	<b>5,78</b>	<b>0</b>	<b>0,47</b>
<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,30</b>	<b>0,22</b>	<b>22,15</b>	<b>2,47</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>44,11</b>	<b>0</b>	<b>2,08</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>6</b>	<b>6,11</b>	<b>11,13</b>	<b>0,37</b>	<b>0,47</b>	<b>13,96</b>	<b>24,36</b>	<b>0,09</b>	<b>2,80</b>	<b>1,74</b>	<b>0,35</b>	<b>12,69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>7</b>	<b>4,20</b>	<b>1,11</b>	<b>5,12</b>	<b>19,65</b>	<b>3,11</b>	<b>5,32</b>	<b>5,42</b>	<b>0,87</b>	<b>5,49</b>	<b>0,13</b>	<b>2,10</b>	<b>0</b>	<b>6,38</b>
<b>8</b>	<b>18,60</b>	<b>4,41</b>	<b>0,70</b>	<b>1,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,46</b>	<b>44,50</b>	<b>0,27</b>	<b>0</b>	<b>0,86</b>	<b>4,78</b>	<b>0</b>	<b>0,31</b>
<b>9</b>	<b>0</b>	<b>15,63</b>	<b>0,26</b>	<b>0</b>	<b>39,04</b>	<b>2,77</b>	<b>1,83</b>	<b>0,28</b>	<b>0</b>	<b>0,06</b>	<b>8,73</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



**Fig. N° 28 :** Photo représentant l'abondance du gypse dans les efflorescences salines :  
Observation au M.E.B (X 2000).



**Fig. N° 29 :** Photo représentant l'abondance de la halite dans les efflorescences saline :  
Observation au M.E.B (X 2000).

**TABLEAU IX : Composition chimique des solutions (valeurs exprimées en moles/Kg d'eau)**

	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>++</sup></b>	<b>Mg<sup>++</sup></b>	<b>pH</b>	<b>Alcalinité carbonatée</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>tp (deg.C)</b>	<b>Eh (V)</b>
<b>Ech. 13</b>	0,002665	0,074711	0,014364	0,032327	8,50	0,003592	0,063714	0,051727	9,2	*
<b>Ech. 23</b>	0,00349	0,007722	0,005501	0,003049	8,79	0,02392	0,005727	0,008526	15,2	*
<b>Ech. 24</b>	0,00284	0,003928	0,003741	0,001900	8,86	0,002690	0,001487	0,005659	12,6	*
<b>Ech. 01</b>	0,009223	0,426486	0,020132	0,078919	9,12	0,002656	0,417867	0,106644	22,9	0,280
<b>Ech. 02</b>	0,002572	0,141362	0,14251	0,019038	8,26	0,005538	0,128472	0,038252	23,9	0,290
<b>Ech. 04</b>	0,008851	0,444517	0,017492	0,076144	7,59	0,008399	0,422976	0,104633	22,0	0,140
<b>Ech. 03</b>	0,154240	0,806903	0,020692	0,0134340	8,58	0,144107	0,786862	0,170119	23,2	0,320
<b>Ech. 12</b>	0,013408	1,351463	0,023259	0,195015	8,76	0,006474	1,175068	0,309938	8,2	*
<b>Ech. 16</b>	0,021184	2,916946	0,025029	0,078253	8,56	0,007150	1,844357	0,646594	16,3	*
<b>Ech. 14</b>	0,001661	0,108322	0,017336	0,011093	6,80	0,002000	0,111885	0,026479	40,7	*
<b>Ech. 15</b>	0,000996	0,067685	0,015043	0,009156	7,26	0,001927	0,052746	0,031202	15,1	*
<b>Ech. 19</b>	0,000547	0,028724	0,011774	0,005238	7,24	0,002544	0,019883	0,020434	21,4	*
<b>Ech. 18</b>	0,004093	0,367862	0,015407	0,029660	8,10	0,007233	0,259007	0,097924	15,6	*
<b>Ech. 22</b>	0,010797	6,682757	0,029502	0,217934	7,23	0,001408	5,635713	0,775652	24,5	*
<b>Ech. 05</b>	0,137153	5,860680	0,024418	0,261176	7,23	0,003434	5,983962	0,290812	29,0	*
<b>Ech. 09</b>	0,044745	5,941600	0,060986	0,376283	7,23	0,003997	6,119850	0,368518	22,4	*
<b>Ech. 06</b>	0,066847	5,266150	0,053365	0,107265	7,26	0,001815	5,184110	0,234166	22,4	0,310

## II. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES EAUX NATURELLES

La comparaison de la relation liant la conductivité des eaux au résidu sec (Fig. 30) montre une très bonne corrélation entre ces deux paramètres.

Dans le domaine des faibles forces ioniques, les données ne forment qu'un seul nuage. Lorsque la charge en sel est élevée, la conductivité électrique des eaux est importante. Ceci doit être attribué à la différence de faciès chimique. Les eaux des Chotts sont chlorurées. Cet anion ne forme pas facilement de complexe et la conductivité électrique augmente proportionnellement à la teneur en sel.

Ainsi, la conductivité n'augmente pas proportionnellement au résidu sec et la pente de la relation diminue avec la teneur en sel. Cette différence de comportement traduit aussi une différence au niveau osmotique.

Conformément à la littérature et à nos résultats, on peut penser que les salicornes toléreront plus facilement des saumures sulfatées que les eaux chlorurées du type de celles rencontrées dans les Chotts (Rezagui, 1993).

Cette conclusion confirme des travaux sur l'effet de la microflore des sols salés conduits au Maroc (Soudi, 1988 et Amrani, 1990). A salure égale, le chlorure de sodium affecte plus les processus micro biologiques de transformation de l'azote, que les sulfates.

Différentes méthodes d'estimation de la conductivité électrique ont été proposées dans la littérature. Les travaux de Job (1985), Job *et al.* (1987) effectuent une synthèse, des travaux de Mac Neal (1970) et Tanji (1969).

Pour cette étude nous retiendrons les méthodes suivantes :

- Méthode exponentielle simple,
- Méthode polynomiale du 3<sup>ème</sup> ordre,
- Méthode polynomiale corrigée,
- Méthode linéaire par segments,
- Méthode linéaire simple.

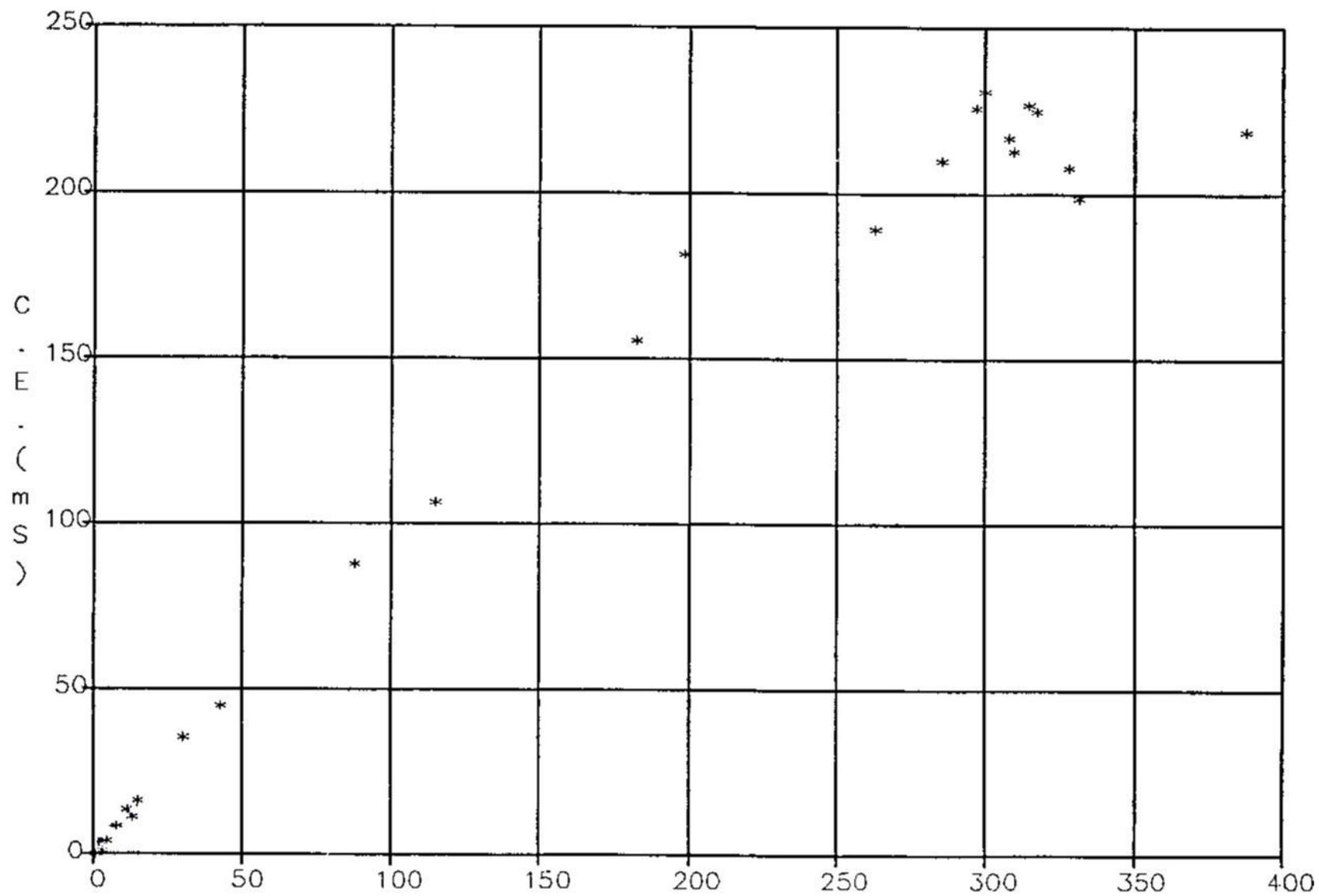


Fig. 30 : **Relation liant la conductivité électrique au résidu sec pour les échantillons d'eau.**

**TABLEAU XII : Matrice des corrélations entre les différents type d'approche du potentiel osmotique**

	R. Sec.	R. Sim	Exp. S.	Pol. 3	Pol. C.	Lin. S	Aba. C.
<b>Residu Sec</b>	1,000	0,9915	0,9911	0,9254	-0,9234	0,9894	0,9938
<b>Regr. Simple</b>	0,9915	1,000	0,9996	0,9631	-0,8972	0,9993	0,9898
<b>Expo. Simple</b>	0,9911	0,9996	1,000	0,9626	-0,8944	0,9999	0,9902
<b>Pol. 3 ordre</b>	0,9254	0,9631	0,9626	1,000	-0,7749	0,9653	0,9176
<b>Pol. Corrigé</b>	- 0,9234	- 0,8972	- 0,8944	-0,7749	1,000	-0,8893	-0,9328
<b>Lin. Segment</b>	0,9894	0,9993	0,9999	0,9653	-0,8893	1,000	0,9888
<b>Abais.Cong.</b>	0,9938	0,9898	0,9902	0,9176	-0,9328	0,9888	1,000

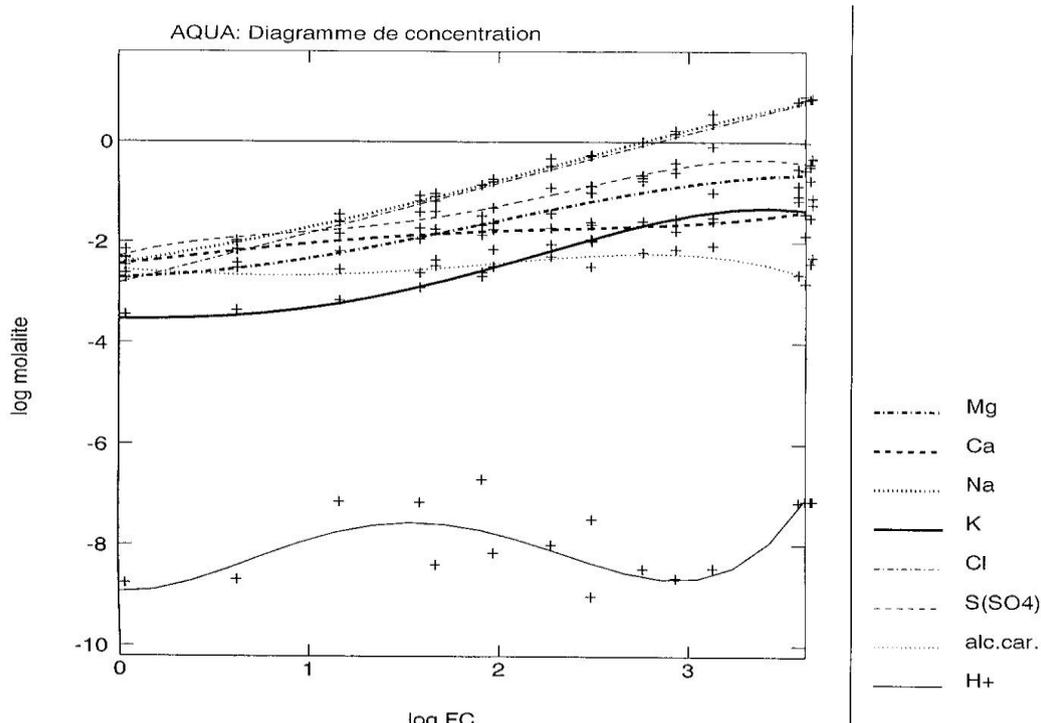
La matrice des corrélations (Tab. XII) et les différentes relations les liant à l'abaissement du point de congélation, montrent que les estimations n'ont pas toutes la même qualité. Pour les salures faibles, la plupart des méthodes donnent des résultats cohérents. En revanche, pour les saumures, les différentes estimations divergent totalement et donnent parfois des valeurs aberrantes. Aussi, devra t- on être prudent dans l'utilisation de ces méthodes d'estimations surtout aux fortes concentrations. Dans la mesure du possible, il sera préférable de relier le comportement végétal à des mesures directes de potentiel osmotique, ou à la limite de résidu sec, plutôt que d'utiliser des estimations.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre le résidu sec et l'Abais. Cong. ne donne pas une corrélation parfaite, ce qui confirmerait que le faciès chimique varie avec la concentration des eaux. Ceci est cohérent avec les résultats chimiques et l'effet variable de la température sur la composition des eaux (précipitation des sulfates en % de sodium en hiver). Augmentation de la proportion de chlore dans les saumures pendant cette période avec augmentation du rapport CE/ RS car les chlorures sont peu complexés contrairement aux  $\text{SO}_4^{2-}$ /  $\text{Na}_2\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CaSO}_4^-$ ,  $\text{MgSO}_4^-$ , ...)

### III. GEOCHIMIE DES SOLUTIONS NATURELLES

#### Diagramme de concentration

Lorsque les eaux se concentrent, la concentrations en calcium et surtout en carbonates augmentent moins que celle du chlore (Fig.31). Ceci indique une précipitation probable de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) dès le départ, qu'il faudra confirmer par le diagramme d'équilibre. Cette précipitation de calcite conduit à une stabilité de l'alcalinité (et donc du pH voir courbe H+), alors que le calcium continue à augmenter. C'est ce qui ce passe lorsque  $\text{Ca} > \text{Alcalinité}$  (loi de l'alcalinité résiduelle).



**Fig. 31 Evolution simulée de la composition chimique  
Des échantillons d'eau au cours de leur concentration**

Vers un facteur de concentration de 1,7 (en Log), le calcium n'augmente presque plus, ceci est lié à la précipitation de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ), précipitation que l'on confirmera par les diagrammes d'équilibre. Ceci conduit à une augmentation moins forte du sulfate que du chlorure ou du sodium (Cas de  $\text{Ca} < \text{SO}_4 + \text{Alcalinité}$  conformément à la loi de l'alcalinité résiduelle généralisée).

Le magnésium augmente moins que le chlorure ce qui indique un mécanisme de contrôle. Ce dernier est certainement la fixation par le complexe argilo-humique. En effet, on n'observe pas de brusque rupture de pente dans sa courbe.

Le sodium et le magnésium se concentrent de façon équivalentes (droites parallèles) : Aucun sel sodique ou chloruré ne précipite.

Le potassium est très intéressant : Dans un premier temps (eaux diluées), il fait l'objet d'un contrôle, certainement par fixation sur le complexe adsorbant réputée très sélective pour cet élément. En effet, il est peu probable que la végétation très éparse puisse être à l'origine de ce contrôle. Au delà de  $\text{Log}(\text{FC}) = 1 (\text{FC} = 10)$ , le potassium se concentre proportionnellement au facteur de concentration, ce qui indique l'absence de mécanisme de fixation.

En résumé, les eaux sulfatées / carbonatées calciques / sodiques au départ deviennent chlorurées sodiques après concentration. On remarquera la gamme très ouverte de concentration des eaux de surfaces. Il existe un facteur 1000 entre les oueds des Aurès et celles des oueds ou mares près du Chott. Le processus de concentration est très fort même avant d'avoir atteint les Chotts.

Entre les Aurès et les Chotts, les eaux se concentrent d'un facteur minimum de 3000 environ. Durant tout leur trajet, elles subissent des changements importants de composition chimique. Plutôt riches en calcium et en bicarbonates au départ, elles sont franchement chlorurées sodiques dans les Chotts.

Dès le début dans les Aurès, et jusqu'au débouché des Oueds hors des montagnes, C'est à dire pour Log (FC) compris entre 0 et 0,3, les eaux atteignent l'équilibre avec la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ). Dès lors, quand les eaux se concentrent, la teneur en Ca augmente moins vite que celle des chlorures du fait de la précipitation de la calcite qui soustrait des ions Ca à la solution. L'alcalinité carbonatée est contrôlée plus sévèrement encore car  $\text{Ca} > \text{Alcalinité carbonatée}$ . C'est ainsi que le pH est stable ; les variations du pH sont dues en fait aux différences des solutions, c'est à dire de leur aération.

Durant cette première étape du processus de concentration, la molalité en potassium n'augmente que très peu. Ceci doit être attribué à la fixation sur le complexe adsorbant qui est réputée très sélective pour cet élément. Bien que plus abondant, le magnésium subit, le même sort, alors que le chlorure, le sodium et le sulfate ne subissent aucun contrôle : leur molalité augmente proportionnellement au facteur de concentration.

Aussitôt sorties des Aurès, c'est à dire à partir de Log (FC) = 0,6, les eaux évoluent de façon homogène jusqu'à Log(FC) = 2,7. Ceci couvre l'essentiel des eaux à l'exception des saumures des Chotts et de la mare saline près de l'El-Mghaier. Durant tout leur parcours souterrain ou en surface sol par l'oued, seules les concentrations en sodium, chlorure et potassium augmentent proportionnellement au facteur de concentration. Le sulfate augmente moins que les chlorures ce qui est probablement lié à la précipitation du gypse.  $\text{Alc} + \text{SO}_4 > \text{Ca}$  (en meq) et la molalité en sulfate continue à augmenter contrairement à celle du calcium qui plafonne à quelques dizaines de millimoles /Kg d'eau. Le potassium, alcalinité carbonatée et magnésium présentent le même comportement que dans l'étape précédente. Il convient de remarquer que l'eau

thermale de l'oasis de Chegga ne se distingue pas de l'ensemble des eaux de concentrations comparables. Il semblerait que cette eau ne soit qu'une eau d'origine locale, réchauffée en profondeur.

A partir de  $\text{Log (FC)} = 2,7$  c'est à dire dans les saumures, seuls Na et Cl paraissent non contrôlés. Les molalités de tous les autres éléments plafonnent. Ainsi le potassium, le magnésium et le sulfate sont alors impliqués par les précipitations d'un ou plusieurs minéraux. A ce niveau, le chlorure et le sodium atteignent les limites de leur utilisation en tant que traceur car leur molalité atteint l'équilibre avec la halite. Comme leurs molalités sont quasiment égales, la précipitation de ce minéral ne se remarquerait pas sur ce diagramme. A ce niveau, il conviendrait de passer à un autre traceur, le lithium par exemple. Il conviendra ultérieurement de préciser quel minéral ou quels minéraux sont impliqués dans cette étape. Ce sera l'objet de l'étude des diagrammes d'équilibre entre les solutions et les minéraux.

#### **Traitement des données par AFC et ACP**

L'axe principal (7) de l'AFC oppose les eaux diluées (23 et 24) aux eaux concentrées. Le processus global de concentration des eaux est le processus principal (plus de la moitié de la variance).

Les eaux diluées se caractérisent par les fortes teneurs relatives en Ca et alcalinité et les eaux concentrées par Cl et Na,  $\text{SO}_4$  et Mg présentent un comportement intermédiaire. Ceci confirme les conclusions obtenues par le diagramme de concentration.

L'ACP permet de retrouver un axe principal 6 traduisant l'effet de concentration. Il porte 55 % de la variance. Ainsi, le mécanisme de concentration progressif des eaux d'amont vers l'aval est responsable à lui seul de plus de la moitié de la variance observée. C'est le phénomène majeur (Tab.XIII et XIV, Annexes D1 et D2 ).

**TABLEAU XIII : Résultats de l'ACP sur les eaux**

AXE	VALEUR	VARIANCE ( EXPLIQUEE) en %	CUMUL
1	0,57608	7,20102	7,20102
2	1,4859	18,57403	25,77505
3	0,39422	4,92775	30,70280
4	0,15404E-04	0,00019	30,70299
5	0,83432	10,42897	41,13196
6	4,3986	54,98280	96,11476
7	0,11909	1,48867	97,60342
8	0,19173	2,39658	100,00000

**TABLEAU XIV : Analyse des correspondances effectuées sur les Solutions**

AXE	VALEUR	VARIANCE ( EXPLIQUEE) en %	CUMUL
1	071627 E- 07	0,00007	0,00007
2	0,27026 E- 02	2 768015	2,68010
3	0,14722 E- 01	14 759988	17,28010
4	0,179556 - 14	0,0000	17,28010
5	0,23283 E -01	23 ,08939	40,36950
6	0,65837 E - 05	0,00653	40,37603
7	0,53523 E- 01	53,07786	93,45388
8	0,66011 E - 02	6,54612	100,00000

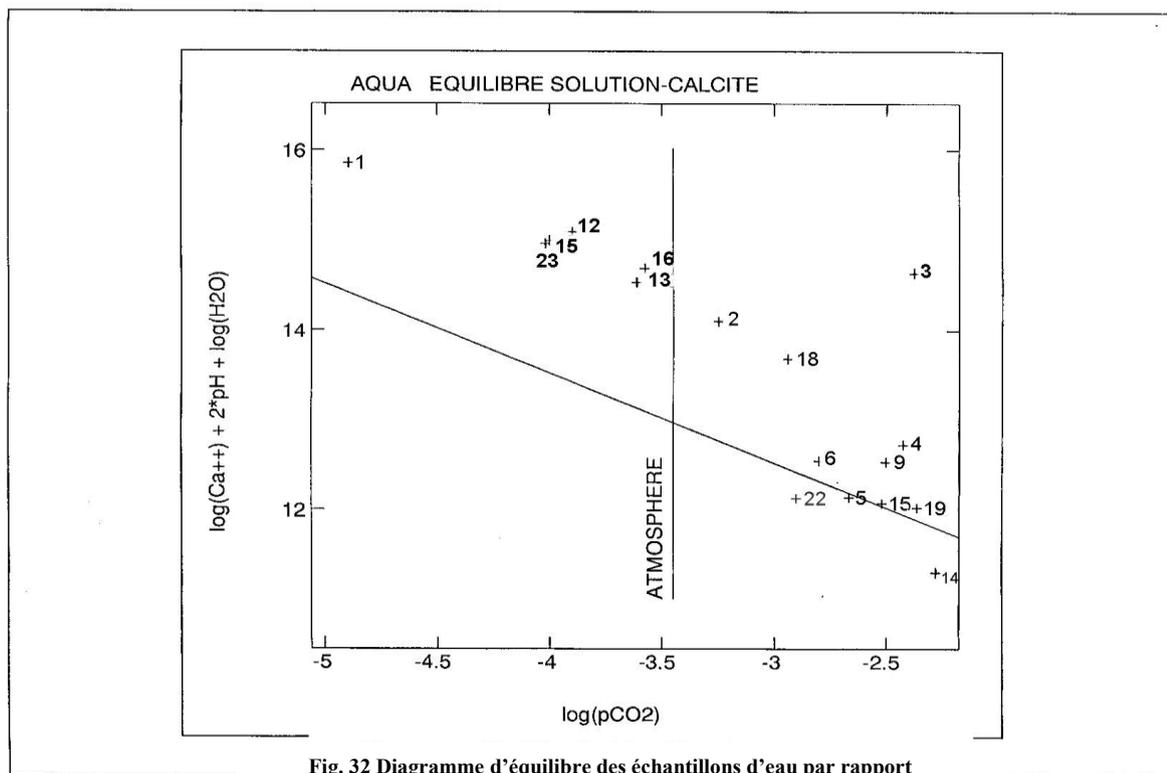
### **Etude de l'équilibre avec différents minéraux**

Les calculs ont été réalisés sur l'ensemble des analyses fiables. Lorsque les résultats d'analyses sont aberrants ( molalité supérieure à 20 moles /l; ou bien défaut de balance électrique non admissible), l'analyse est tout simplement négligée. Les calculs d'activités ont été réalisés avec le modèle AQUA dérivant le gypsol (Vallés, 1985). c'est un modèle d'association ionique.

## Diagrammes d'équilibre avec la calcite et pression Partielle équilibrante en CO<sub>2</sub>

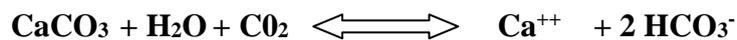
Les eaux des oueds des Aurès et le front d'avancement de l'oued sur le plateau présentant des Log(pco<sub>2</sub>) exceptionnellement faibles. Ceci est remarquable et habituel car les pH ont été mesurés sur le terrain et la pCO<sub>2</sub> est plus faible que celle de l'air (Log(Pco<sub>2</sub>)= - 3,45 dans l'air). En revanche dès que les eaux ne circulent pas, elles deviennent mal aérées et leur pCO<sub>2</sub> augmentent traduisant des processus biologique de dégradation de matière organique. Les valeurs obtenues sont alors très élevées (log(Pco<sub>2</sub>) = - 2.3) ce qui est nettement plus fort que celles des sols sains (Log(Pco<sub>2</sub>) = - 1.8). Ceci s'explique facilement par des questions cinétiques :

Ces eaux douces, récemment arrivées au contact du sol, sont en phase de dissolution de la calcite (Fig.32).



La plupart des points (Ech. 14, 19, 15, 05, 22, 04 et 18) sont en équilibre avec la calcite. Les pressions partielles en CO<sub>2</sub> sont comprises entre 10<sup>-2</sup> et 10<sup>-3</sup> atmosphère c'est à dire voisines de celles des sols (10<sup>-1,8</sup>) Ces points correspondent à

des eaux profondes (puits, forages, sources) ou des eaux stagnantes (mares). De nombreux points présentent des valeurs de  $P_{CO_2}$  voisines de celles de l'air. Ce sont essentiellement des eaux de surfaces (chotts et mare salée près d'El-Maghaier). Enfin, un groupe de points se caractérisent par de faibles valeurs de  $P_{CO_2}$  : Ce sont les échantillons 23 et 24 correspondant à des eaux en crue juste après une pluie. Ces eaux en équilibre avec l'air ( $P_{CO_2} = 10^{-3.45}$ ) à l'origine, sont entrées en contact avec du calcaire. La dissolution de ce minéral consomme du  $CO_2$  :



Les eaux se trouvent ainsi dans une situation provisoire  $\log(pCO_2) < - 3.45$ . Les eaux les plus concentrées ne semblent pas exactement en équilibre avec la calcite, mais pour des forces ioniques de 2 (Ech. 12 et 16), les modèles d'association ionique présentent des faiblesses.

Ces saumures sont très magnésiennes, aussi convient-il d'étudier l'équilibre des solutions avec des calcites magnésiennes. A titre d'exemple, le diagramme de la Huntite ( $CaMg_3(CO_3)_4$ ) a été représenté bien que ce minéral ne précipite pas habituellement dans conditions. Cependant, le diagramme montre que les saumures pourraient être contrôlées par un minéral de type calcite plu sou moins magnésienne. L'étude détaillée des pcs caractéristiques de la calcite dans les diffractogrammes des rayons X devrait pouvoir indiquer la présence du magnésium dans le réseau de la calcite, mais les sels prélevés dans les saumures étaient constitués presque exclusivement de calcite.

### **Diagramme d'équilibre avec le gypse et l'anhydrite**

Les eaux les plus diluées, correspondant aux échantillons des oueds des Aurès, sont sous-saturées par rapport du gypse. L'équilibre avec ce minéral est atteint dès la sortie des Aurès. Ceci confirme les hypothèses avancées à partir du diagramme de concentration (Fig.33 et 34).

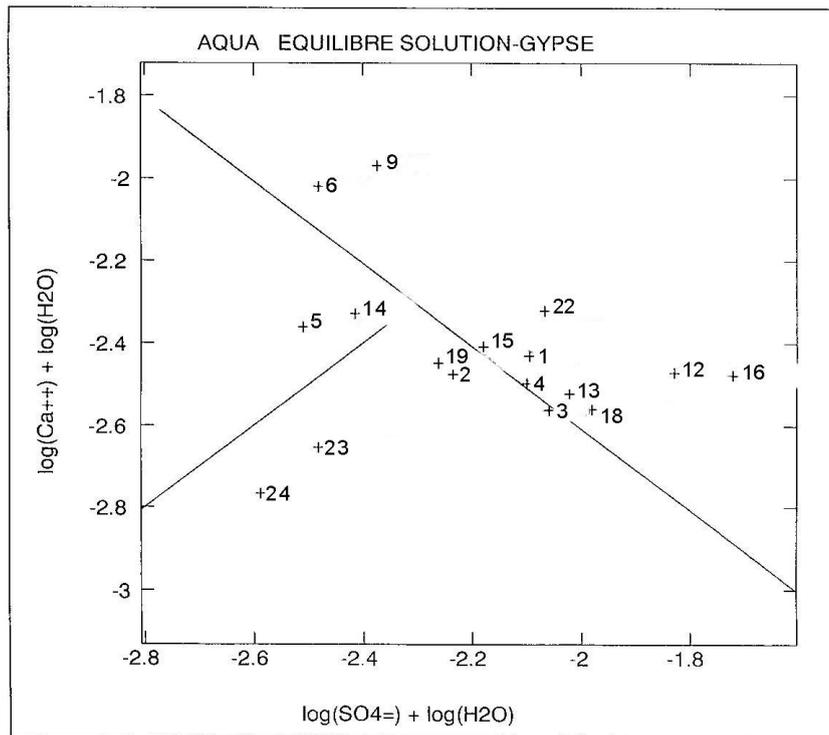


Fig. 33 Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport au gypse

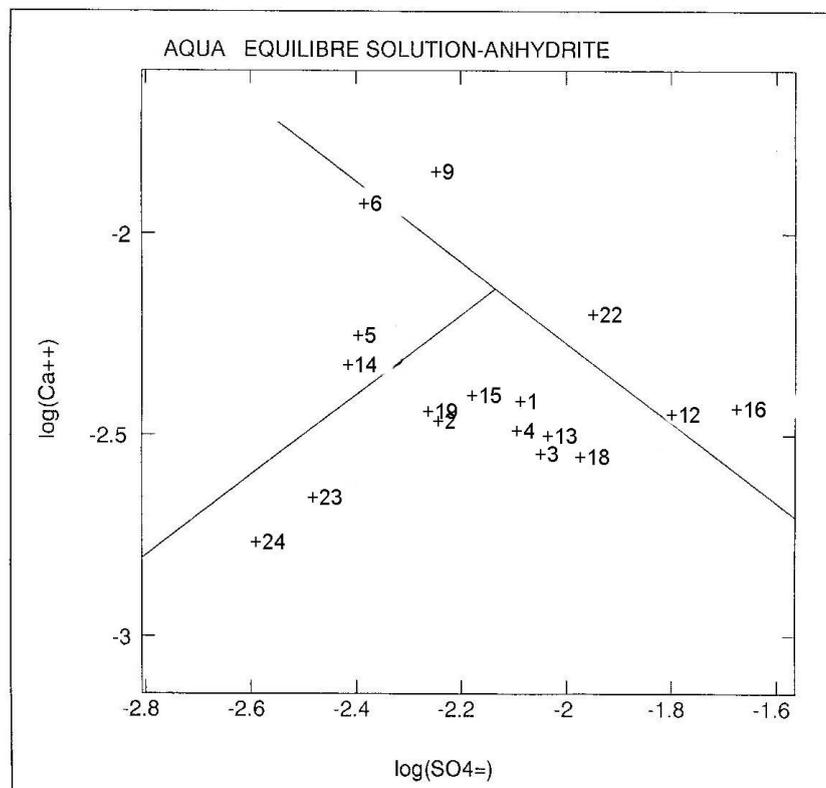


Fig. 34 Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à l'anhydrite.

Les solutions se maintiennent en équilibre avec le gypse jusqu'à des forces ioniques élevées. Cependant, pour les saumures, les eaux apparaissent tout d'abord sur-saturées (les échantillons 12 et 16), puis sous-saturées pour des forces ioniques plus élevées (Ech. 05). Pour ce dernier, les faiblesses des modèles d'association ionique sont vraisemblablement en cause (Gueddari, 1880). En revanche, pour les saumures, moins concentrées, l'équilibre avec l'anhydrite est atteint.. En effet, dans les saumures, l'activité de l'eau est nettement inférieure à 1 et l'anhydrite est plus stable surtout au delà de 25° C. Cependant, si les diffractogrammes de rayons X ont montré fréquemment la présence de gypse, ils n'ont jamais montré la présence d'anhydrite.

### Diagrammes d'équilibre avec la mirabilite, la glauberite et la bloedite

La plupart des solutions sont sous-saturées par rapport à la mirabilite. L'équilibre avec ce minéral est obtenu pour les saumures des chotts mais aussi de la mare des environs d'El-Maghaier dans laquelle la mirabilite a été identifiée formellement par rayons X. La molalité en sodium étant nettement plus forte que celle du sulfate, les eaux évoluent selon la branche  $\text{Na}^+ < \text{SO}_4^{--}$ . Ceci est conforme à la loi de l'alcalinité résiduelle généralisée :  $\text{Na} + \text{Ca} > \text{Alc} + \text{SO}_4$

Cependant, cet équilibre ne peut expliquer les variations concomitantes des molalités en magnésium, potassium, sodium et sulfate.

Il est probable qu'un minéral de type bloedite ( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) est impliqué (Fig. 35,36 et 37).

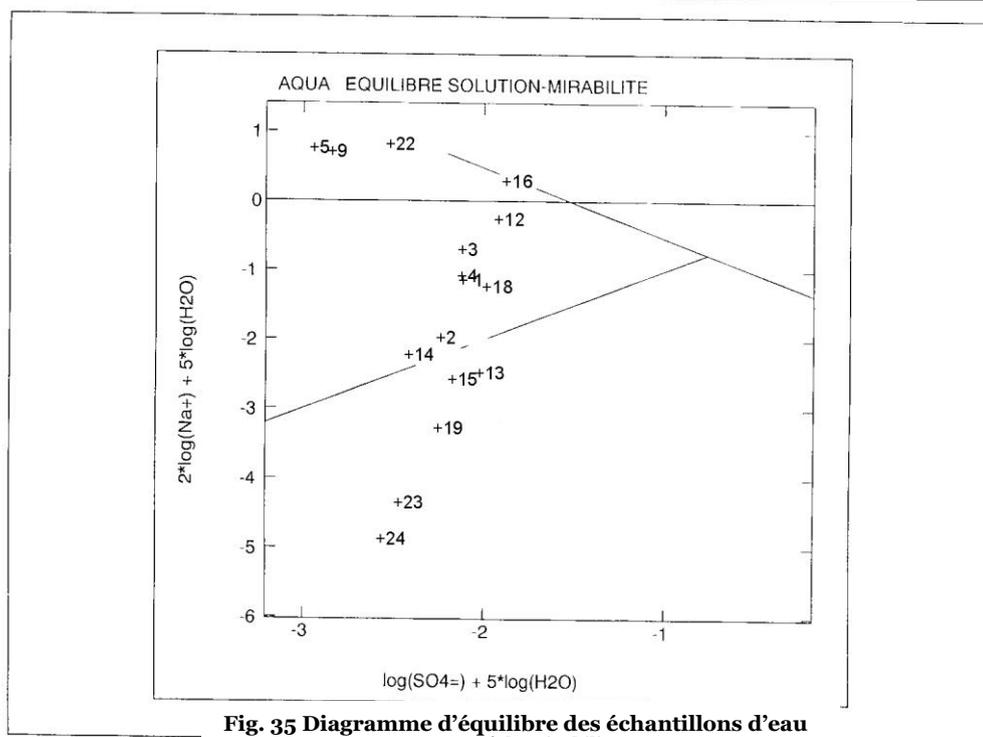
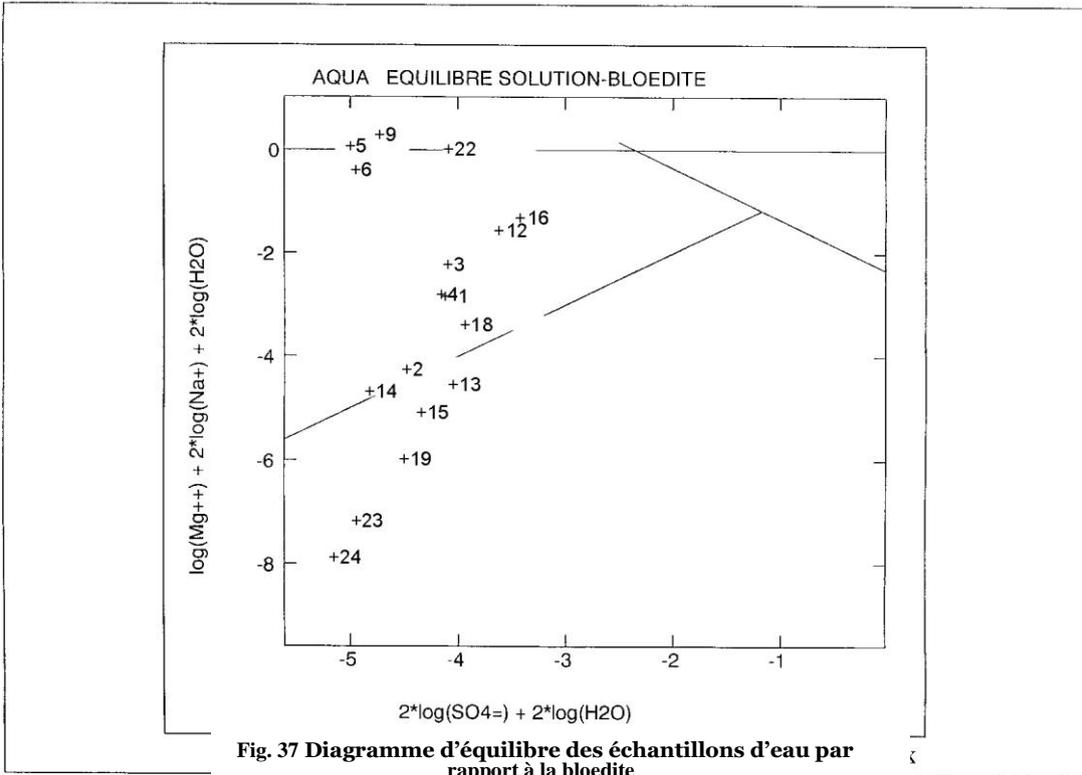
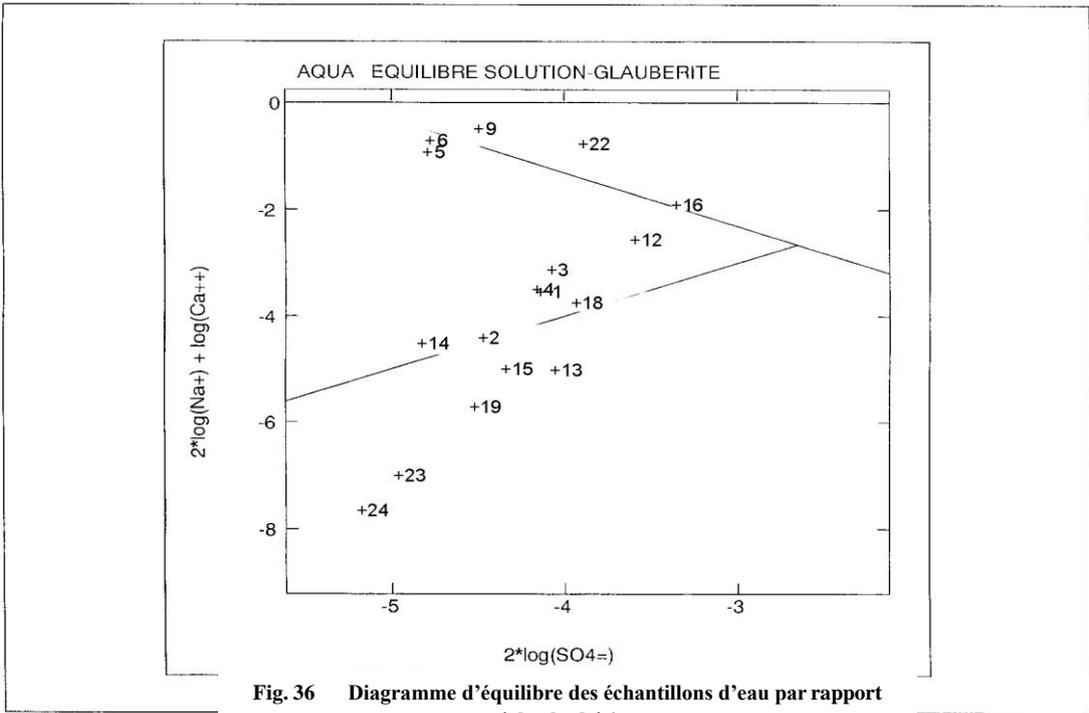


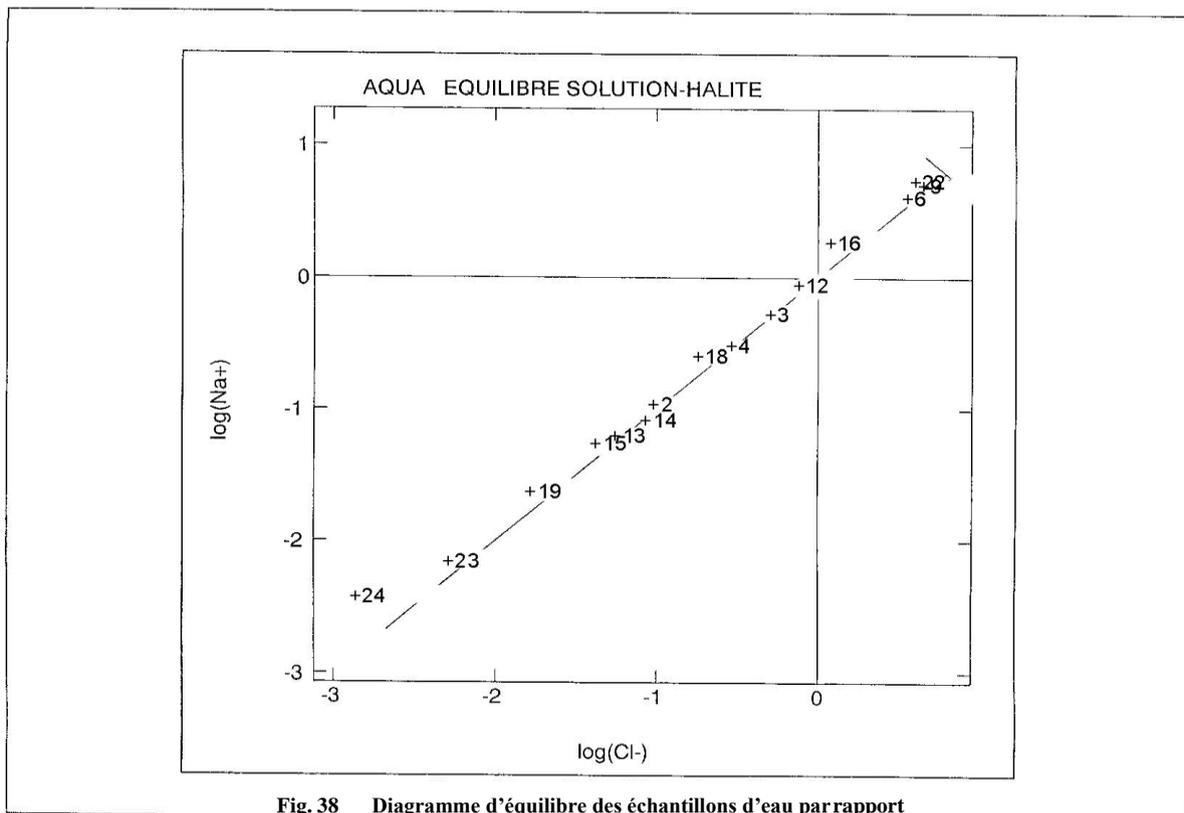
Fig. 35 Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la mirabilite



### 3.7. Diagramme d'équilibre avec la halite

Les eaux se concentrent depuis les Aurès jusque dans les chotts en conservant l'égalité des concentrations de chlorure et de sodium. Les saumures semblent légèrement sou-saturées par rapport à la halite, mais ce léger écart est certainement lié aux limites des modèles d'association ionique (Gueddari, 1880). La présence de ce minéral peut faire l'objet d'une exploitation industrielle dans les Chotts. Les diffractogrammes des rayons X ont montré sa pureté (Fig. 38).

En revanche, à partir de ce stade, il n'est plus possible de continuer à utiliser le chlorure comme estimateur du facteur de concentration car cet élément est impliqué dans une précipitation. Il conviendrait d'utiliser dès lors un élément tel que le lithium.



En résumé, les eaux carbonatées calciques atteignent l'équilibre avec la calcite dès le début dans les Aurès. Lorsqu'elles se concentrent, leur teneur relative en carbonates diminue par précipitation de la calcite et même chose pour le calcium. A leur arrivée sur le plateau, elles continuent à se concentrer et elles atteignent l'équilibre avec le gypse. Alc ; Ca et SO<sub>4</sub> n'augmentent pas beaucoup.

Bien aérées au départ et peu chargées en CO<sub>2</sub>, les eaux évoluent rapidement dans des conditions mal aérées lorsqu'elles circulent lentement ou plus du tout vers l'aval (faibles pentes).

#### **Comparaison avec le chott el Djerid (Tunisie)**

D'après Gueddari (1980), dans les eaux du Choot El-jérid, les minéraux présents se précipitent successivement comme suit : la calcite le gypse, la thernadite, la halite et la kaïnite. Cependant, nous retrouvons les mêmes minéraux mais dans un ordre de précipitation différent dans les Chotts Algériens à l'exception de la bloedite qui est absente dans le Chott El-jerid.

Le gypse et la halite sont les minéraux les plus abondants dans le Chott El-jerid, comme dans les chotts algériens. Ces derniers se distinguent par la présence parfois importante de mirabilite.

#### **Confrontation avec la minéralogie**

On a eu du gypse et de la halite en grandes quantités. Ceci est confirmé par les résultats obtenus par rayons X et microscope électronique (Fig.27).

On est donc sûr de la présence de ces éléments, la halite dans la partie Est du Chott Bendjelloul.

La présence de minéraux confirme les calculs d'équilibre et les diagrammes de concentration.

#### **Teneur en fluor dans les échantillons d'eau**

**TABLEAU XV : Variation spatiale de la teneur en fluor dans les échantillons D'eau prélevés dans l'Oued Djedi**

Sites d'échantillonnage	Teneur de l'eau en fluor (mg/l)
1	3,4
2	3,6
3	3,8
4	3,6
5	3,0
6	3,6
7	3,8
8	4,0
9	3,7
10	3,8

Tout le long du transect effectué d'Est en Ouest au niveau du lit de l'Oued Djeddi, nous avons prélevé 10 échantillons dans des sites espacés de 10 m. Le dosage du fluor réalisé par ionométrie nous montre que les valeurs se rapprochent tout en fluctuant entre 3.2 et 4 mg/l soit une moyenne de 3.63 mg/l (Tab. XV).

### Teneur en calcium dans les échantillons d'eau

**TABLEAU XVI : Variation spatiale de la teneur en calcium des échantillons d'eau de l'Oued Djeddi**

Sites d'échantillonnage	Teneur en calcium de l'eau (mg/l)
1	356.57
2	343.31
3	391.41
4	365.64
5	350.92
6	344.08
7	349.17
8	384.86
9	345.55
10	362.32

Nous remarquons qu'à travers les dix sites d'échantillonnage, la teneur en calcium de l'eau varie entre 343.31 et 384.86 mg/l. Autrement dit la différence inter-sites n'est pas significative, compte tenu des infimes variations d'un site à un autre (Tab. XVI).

### Conclusion partielle sur la chimie des eaux

Les eaux arrivent sur les Aurès, dissolvent la calcite, se chargent en quelques heures en CO<sub>2</sub> et débouchent dans le plateau au pieds des Aurès, où elles s'infiltreront et enrichissent le sol en CO<sub>2</sub>. Elles se concentrent progressivement jusqu'à atteindre l'équilibre avec le gypse. A ce moment, la [Ca] n'augmente pas très vite, seuls les éléments comme Cl, Na, Li et SO<sub>4</sub> dans une moindre mesure continuent à se concentrer.

Lorsqu'elles apparaissent dans les chotts, elles subissent une concentration très forte, perdent leur CO<sub>2</sub> atteignent l'équilibre avec la halite. A partir de ce moment là, le chlore et le sodium n'augmentent plus, quand au lithium, il continue à se concentrer.

#### IV. POTENTIEL OSMOTIQUE

En présence de grandes quantités de sels dans les sols, les plantes ne peuvent pas absorber de l'eau ; la teneur en sel augmente et la pression osmotique diminue.

Il convient de tester les différentes méthodes d'estimation des effets de la salinité électrique, le potentiel osmotique

##### 4.1 Relation entre la salinité et le potentiel osmotique

La relation entre le potentiel osmotique et la teneur en sel change d'un sel à un autre.

Quant on fait un mélange de plusieurs sels, le potentiel osmotique ne peut se déduire par la combinaison des données relatives aux sels purs qui composent le mélange, d'où la nécessité de faire la mesure pour établir la relation propre à chaque région [ potentiel osmotique = f(résidu sec)].

On évalue le potentiel osmotique par la détermination du point de congélation.

Nous remarquons qu'il y a une bonne relation entre le résidu sec et le point de congélation, cette relation ressemble beaucoup à celle obtenue par le NaCl pur. (Fig. 39).

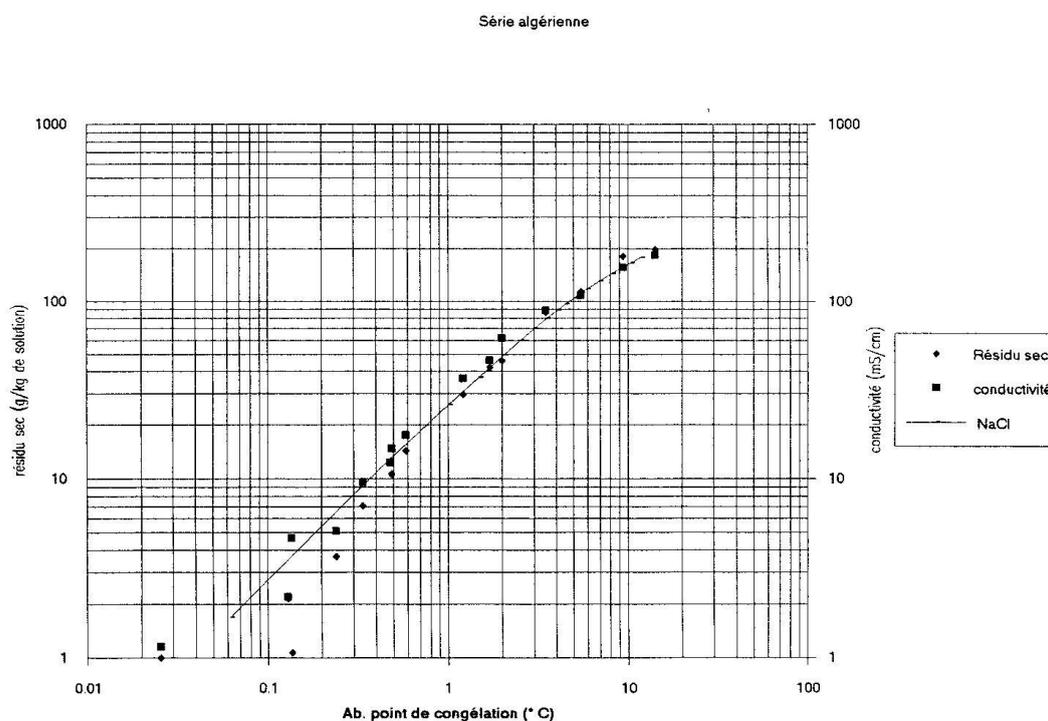


Fig.39 : Relation liant l'abaissement du point de congélation au résidu sec et à la conductivité électrique pour les échantillons d'eau.

En fait, il convient de rapprocher ces résultats des conclusions de l'étude géochimique. L'ensemble des eaux appartient au même groupe chimique. Malgré l'extension de la zone étudiée il s'agit d'un même système naturel et hydrique.

#### CHAPITRE 4 : ANALYSES DES VEGETAUX

##### I. Rapport Matière fraîche/Matière sèche et Matière minérale/Matière sèche chez *Salicornia fruticosa*

Les données concernent des moyennes sur un nombre de plantes compris entre 20 et 40. Ceci permettra d'éviter des effets individuels et assurera une représentativité certaine des résultats. Les échantillons couvrent la zone étudiée de façon homogène (Tab. XVII).

**TABLEAU XVII : Variation spatiale des rapports « Matière fraîche/Matière sèche et Matière minérale/Matière sèche » de *Salicornia fruticosa* dans le milieu d'étude**

LOCALISATION		MS/MF %	MM/MS %
Ech. 12	7 KM de l'oued Djeddi	27,78	5,38
Ech. 15	30 KM de l'Mghaier	30,35	4,27
Ech. 16	Mare saline 20 Km de l'Mghaier	18,43	2,23
Ech. 18	Milieu palmeraie l'Mghaier	12,61	1,63
Ech. 25	Bordure du chotte Melghir	26,04	7,83
Eh. 25/	Bordure du chotte Melghir	4,08	1,01
Hamraia		46,62	6,20
N'sigha		26,79	4,88
Oued Righ 1		40,04	7,80
Oued Righ 1/		35,278	16,05

Nous remarquons que la salure ne varie pas de façon aussi franche en un même lieu.

Les variations sont générales au niveau des grandes unités du paysage, c'est à dire à l'échelle déca kilométrique mais de façon plus modérée et aléatoire au niveau local.

Les taux de matières sèches les plus forts correspondent à l'échantillon de Hamraia, c'est à dire à la situation la plus salée. Les autres valeurs élevées se localisent dans la zone des Chotts : Melghir, Oued Righ et N'sigha.

Les valeurs les plus faibles sont dans la palmeraie d'El Mghaier et autour de la marre saline sur le glacis situé entre les Chotts et les Aurès. L'échantillon 25/ échappe à ce classement.

## II. Teneur en calcium dans les échantillons végétaux

Chez *Tamarix articulata*

**TABLEAU XVIII : Variation spatiale du calcium chez *Tamarix articulata***

Station	2	3	4
Teneur en calcium (mg Ca/g MS)	31	73	99

Il est à noter que les valeurs mentionnées constituent souvent une moyenne des résultats obtenus au niveau de deux à trois sites d'une même station. Si nous prenons le cas de la station 2 par exemple, la valeur en calcium chez le *Tamarix* varie du simple au double d'un site à un autre (20 mg/g à 42 mg/g).

Toutefois nous signalons une variation sensible inter-stations en matière de richesse en calcium de la plante.

Chez *Salsola vermiculata*

**TABLEAU XIX : Variation spatiale du calcium chez *Salsola vermiculata***

Stations	2	4
Teneur en calcium (mg/g)	66.7	68

Contrairement au *Tamarix*, nous remarquons que la teneur moyenne en calcium enregistrée chez *Salsola vermiculata* est presque homogène inter-sites et inter-stations (66.7 mg/g et 68 mg/g) (Tab.XIX ).

Chez *Salicornia fruticosa*

**TABLEAU XX : Variation spatiale du calcium chez *Salicornia fruticosa***

Stations	2	5
Teneur en calcium (mg/g)	63	42

A son tour, *Salicornia fruticosa* semble sensible aux caractéristiques physico-chimiques du milieu, d'où nous relevons une différence assez nette en matière de teneur en calcium entre les deux sites étudiés (63 mg/g au site 2 et 42 mg/g au site 5) (Tab.XX )

**Chez *Limonium guyanianum***

**TABLEAU XXI : Variation spatiale du calcium chez *Limonium guyanianum***

Stations	1	3
Teneur en calcium (mg/g)	150	75.50

Au même titre que le *Tamarix*, la teneur en calcium chez *Limonium* varie également souvent du simple au double en passant d'un site à un autre (75.50 mg/g au site 3 et 150 mg/g au site 1).

**III. Capacité des plantes à fixer les dunes de sable**

**Par *Suaeda***

Nous remarquons l'existence d'une relation positive entre la surface aérienne du couvert végétal et le diamètre du plant. Néanmoins la corrélation entre la S. A.C.V. et la H.P. reste très faible,. Ceci peut s'expliquer par l'adaptation de la plante à son milieu (Fig. 40).

Le développement de *Suaeda* se réalise par l'inhibition de son bourgeon terminal mais aussi par la manifestation des bourgeons latéraux qui augmentent sa surface aérienne par rapport à sa hauteur.

De ce fait la plante évite les vents, minimise le taux de déperdition d'humidité et en plus elle couvre une superficie très importante du sol. Elle sert aussi comme une barrière naturelle contre les vents de sable (mouvement des cristaux de sable), capteur naturel, et on peut déduire ce phénomène en comparant la H.B., S.A.C.V. et la H.P.. Ainsi un pied de *suaeda* ne dépassant pas 15 cm de hauteur peut donner une surface aérienne qui à l'habilité de fixer une superficie très importante des dunes de sable.

Avec un système racinaire très ramifié, cette espèce prospère parfaitement bien avec son cortège floristique ; mais reste moins efficace dans le maintien des dunes que *Astragalus* par exemple.

Cette espèce est pâturée généralement par le cheptel carne lin ; elle est aussi visitée par les troupeaux ovins et caprins. Malgré sa résistance, elle subie une pression humaine et animale abusive qui se traduit par sa régression alarmante et dans certains cas par une désertification du milieu. Au sein de notre zone d'étude où les caractères pluviométriques offrent peu de variations d'un point à un autre, *Suaeda* présente des aspects forts différents.

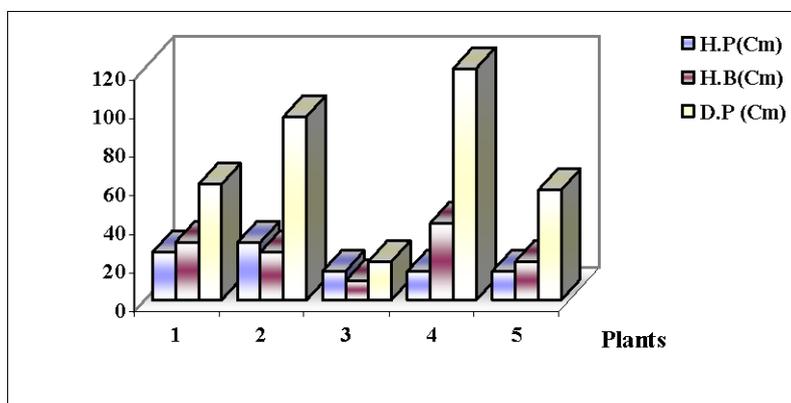


Fig. 40 : Capacité de *Suaeda* à fixer les dunes de sable

#### Par *Salsola*

Nous remarquons que cette plante à tige très ramifiée peut atteindre 70 cm de hauteur, très rigide par rapport à *Suaeda* (Triska, 1977).

Son développement aérien se réalise dans deux directions, par le biais du bourgeon apical et les bourgeons latéraux. Ce genre de développement favorise le recouvrement d'une grande superficie de sol qui sera favorisé par le nombre élevé des feuilles triangulaires.

La ramification de la tige et la formation des feuilles élargies vers la base jouent un rôle très important dans la fixation des dunes de sable, par rapport aux autres espèces de son cortège floristique.

D'après les résultats obtenus, il paraît que *Salsola*, croît sans contrainte des facteurs biotiques (compétition interspécifique notamment) et ne jouant nullement un rôle primordial.

Dans la région, la présence de sel ne constitue pas un obstacle à la croissance de cette espèce. En effet sur la figure 41, sa croissance domine nettement les autres espèces avec 110 cm et révèle des possibilités d'adaptation importante surtout en ce qui concerne l'humidité du sol. Elle peut se contenter d'une humidité faible pour sa croissance et n'apparaît pas ici comme un facteur limitant.

Ce mélange d'espèces et en outre avantageux dans le sens de la meilleure efficacité de l'utilisation des réserves nutritives et hydriques du sol. Ceci peut être lié aux décalages dans les cycles de vie mais aussi dans l'organisation structurale des systèmes aériens et racinaires.

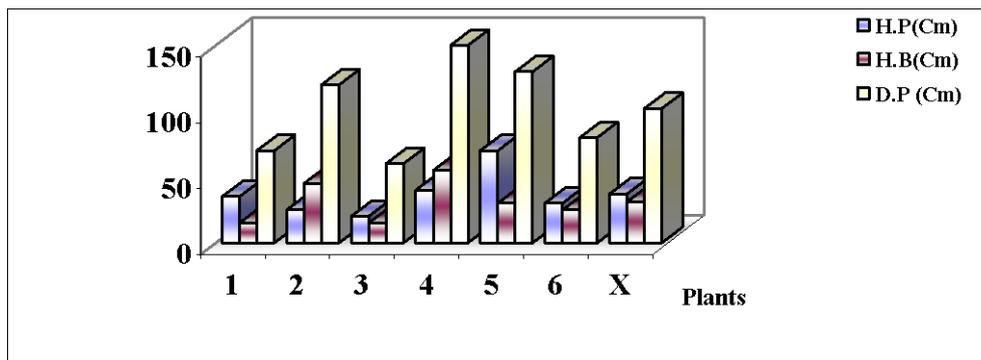


Fig. 41 : Capacité de *Salsola* à fixer les dunes de sable

#### Par différentes espèces végétales

La connaissance des structures et architectures de ces espèces steppiques est un élément déterminant non seulement d'un point de vue fondamental et théorique, mais aussi pour proposer aux aménageurs les actions de gestion raisonnée allant dans le sens d'une prévention qui diminue non seulement les déplacements mais qui en terme biologique débouche sur le maintien de la diversité spécifique.

L'approfondissement des recherches sur les structures (modèles d'occupation au sol des espèces majeurs) et architecture (modèles d'occupation volumique) apparaît comme un élément incontournable pour aboutir aux différents modèles, de fixation des sables de la région d'étude.

D'après nos résultats morphométriques le *limonium* espèce endémique de la région de Biskra est un bon exemple de la fixation des dunes. Sa forte production en biomasse et sa multiplication assure sa réussite spatiale (Fig. 42).

Cette espèce a une forte capacité à ajuster ces avantages aux ressources du milieu. En effet avec un système racinaire très développé et un appareil végétatif aérien qui peut couvrir une superficie de 2 m<sup>2</sup> sur une hauteur de butte qui peut atteindre 40 cm ; explique clairement sa présence dans ce milieu écologiquement stressant. Tout ceci est évidemment lié à sa croissance qui lui assure une forte occupation du biovolume.

Nos mesures (TAB. F3 en annexe) nous donnent des chiffres pertinents pour *Salsola*, *Astragalus*, *Suaeda*, *Retama*. Ces espèces conservent une bonne aptitude à l'occupation des dunes, mais leur évolution reste quand même faible par rapport au *limonium*.

Ces particularités assurent à ces écosystèmes st

En ce qui concerne *Salsola* ; elle reste une espèce excellente pour la fixation des dunes, avec une partie aérienne pouvant atteindre 1 m<sup>2</sup>.

En fait sa situation est beaucoup moins simple que le *li'monium*, car c'est une espèce palatale. Elle est confrontée à différentes perturbations exogènes comme par exemple les pressions humaines et animales.

Ajouter à ceci, les conditions climatiques contribuent à une discrimination de certaines espèces composant le cortège floristique à *Salsola*.

Ce phénomène est d'autant plus marqué que les reliefs accentuent les oppositions des versants et favorisent la mise en place de mosaïque de végétation éphémère à thérophytes.

Dans ce système exposé à des perturbations majeurs d'ensablement notamment à un stress climatique régulier; les espèces le composant restent plus aléatoires et imprévisibles. A chaque palier de la succession, certaines régressent et d'autres apparaissent.

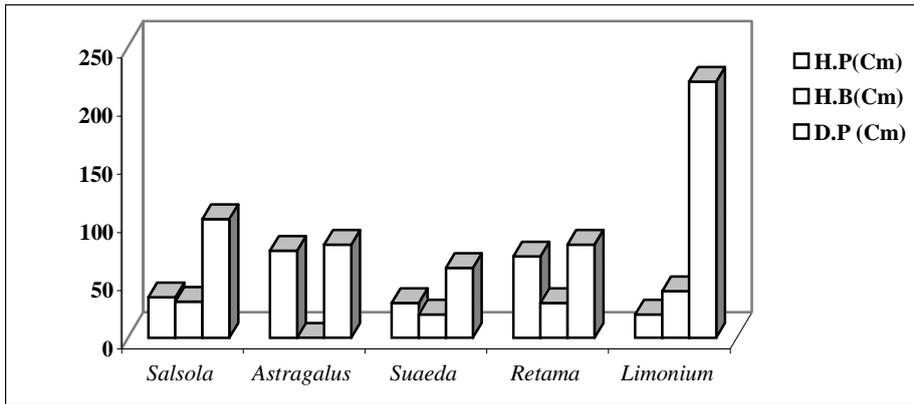


Fig. 42 : Fixation des dunes de sable par différentes espèces végétales



**Fig. 43 :** Fixation des dunes par *Suaeda*



**Fig.44 :** Fixation des dunes par *Salsola*

## Chapitre 5 : Résultats d'analyse du sol

### I Caractéristiques des sols pour le première période <<Automne>>

#### Caractéristiques physiques et physico-chimiques

##### Texture

Plus de 90 % des échantillons relevés durant la première période montrent une texture limoneuse. Le seuil est partagé entre les textures argileuses et équilibré.

Le pourcentage de limons fins oscille entre 1,5 et 56,65 %, celui des limons grossiers entre 2,33 et 82,62%. La texture en général comprend plus d'éléments fins que d'éléments grossiers ceci est d'ailleurs confirmé par l'emplacement des échantillons de l'aire limoneuse dans le triangle de texture. (Tab. XXII, Fig.45)

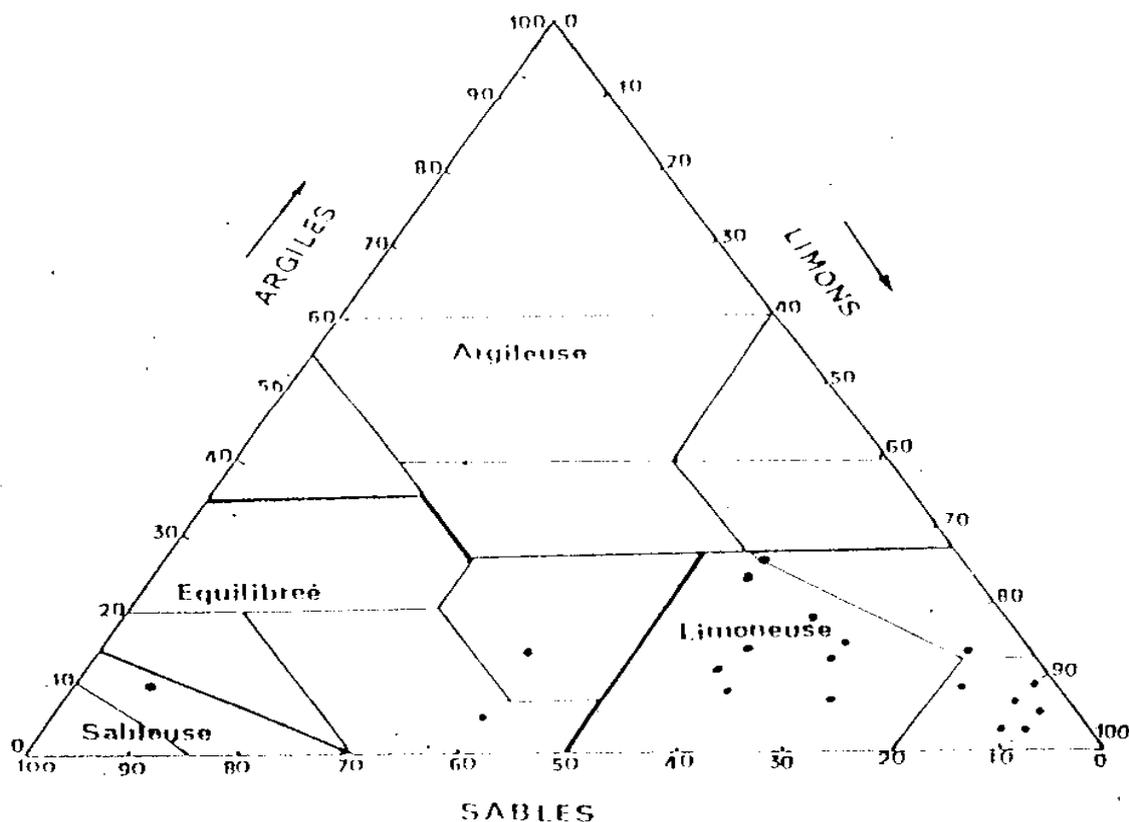


Fig. 45 : Les différentes classes de texture des sols de la première période d'après (U.S.S.L.,1954)

**TABLEAU XXII : Caractéristiques physiques des sols (1<sup>ère</sup> période)**

Stations	Ech.	% Granulométrie					Texture	Densité réelle
		A	LF	LG	SF	SG		
S <sub>1</sub>	1	20,25	22,45	26,56	10,49	0,25	L	2,45
	2	10,2	12,8	65,45	8,95	2,6	L	2,56
	3	9,5	2,5	56,9	24,75	6,34	L	2,48
	4	15,4	10,1	35,18	12,06	27,25	Equilibrée	2,39
	5	11,7	1,5	75,96	9,88	0,95	L	2,46
	6	9,85	2,15	46,92	21,88	1,2	L	2,73
S <sub>2</sub>	1	12,65	2,7	77,83	6,44	0,37	L	2,52
	2	10,8	9,8	61,97	15,54	1,88	L	2,71
	3	11,4	21,45	64,22	2	0,93	L	2,48
	4	20,05	2	55,89	15,32	6,73	L	2,61
	5	24	3,02	40,26	23,99	8,72	Equilibrée	2,64
	6	10	7,4	76,54	4,1	1,95	L	2,43
	7	10	23	38,23	11,8	16,97	L	2,74
	8	10,65	38,95	43,47	1,27	5,65	L	2,5
	9	11,4	21,45	65,29	1,97	0,93		2,6
S <sub>3</sub>	1	21,6	42,95	33,11	1,92	0,41	L	2,24
	2	8,55	77,5	72,51	0,35	1,09	L	2,24
	3	20,75	5,45	55,39	17,41	0,99	L	2,48
	4	8,55	2,5	73,95	14	1	L	2,42
	5	12,95	1,15	77,72	7,06	1,11	L	2,51
	6	9,8	0,25	82,62	7,06	0,26	L	2,43
	7	11,8	0,2	80,9	6,73	0,36	L	2,55
	8	9,5	1,45	80,6	8,25	0,2	L	2,67
	9	10,05	1,4	79,21	8,95	0,38	L	2,49
	10	5,85	7,35	53	12,95	20,85	L	2,37
	11	12,8	14,65	68,82	3,12	0,67	L	2,56
S <sub>4</sub>	1	32,9	12,9	53,25	0,19	0,75	A	2,42
	2	24,65	85,75	16,06	0,2	0,33	L	2,3
	3	45,7	51,75	2,33	0,18	0,035	A	2,07
	4	26,1	20,55	52,88	0,1	0,36	A-L	2,4
	5	12,15	66,7	20,43	0,26	0,45	L	2,33
	6	36,65	1,08	41,65	19,42	1,19	A	2,03
S <sub>5</sub>	1	10	23	38,23	11,8	16,97	L	2,5
	2	8,1	24,9	57,9	4,81	4,28	L	2,51
	3	25,35	26,9	37,13	8,19	2,42	A-L	2,42
	4	11,95	56,65	25,41	4,55	1,43	L	2,4
	5	9,6	25,4	53,58	8,23	3,19	L	2,41

**TABLEAU XXIII : Caractéristiques physico-chimiques du sol (1<sup>ère</sup> période)**

Stations	Ech.	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>kcl</sub>	C %	M.O %	Bases échangeables (meq / 100 g du sol)			(meq / 100g du sol)	S/T	ESP %
						Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	C.E.C		
<b>S<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	7,63	7,56	0,37	0,63	35,16	28,05	2,00	66,3	98,35	<b>53,03</b>
	<b>2</b>	7,51	7,39	1,04	1,78	/	/	/	/	/	/
	<b>3</b>	7,96	7,88	0,37	0,63	28,9	12,02	8,00	49,3	99	<b>58,62</b>
	<b>4</b>	7,27	7,09	2,16	3,61	/	/	/	/	/	/
	<b>5</b>	7,92	7,8	1,16	2,3	28,9	28,05	14,00	79,69	88,96	<b>48,41</b>
	<b>6</b>	8,14	7,89	0,16	0,3	23,36	8,01	12,00	45,37	95,56	<b>51,48</b>
<b>S<sub>2</sub></b>	<b>1</b>	7,63	7,6	0,06	0,1	26,47	22,04	5,80	55,38	95,7	<b>47,79</b>
	<b>2</b>	7,72	7,68	0,92	1,58	/	/	/	/	/	/
	<b>3</b>	7,37	7,24	1,9	3,26	20,39	18,03	2,00	40,77	97,58	<b>54,91</b>
	<b>4</b>	7,1	6,83	0,61	1,04	/	/	/	/	/	/
	<b>5</b>	7,27	7,13	0,3	0,51	34,41	34,06	6,00	62,15	99,57	<b>55,36</b>
	<b>6</b>	7,2	7,15	1,9	3,26	/	/	/	/	/	/
	<b>7</b>	7,12	7,06	0,49	0,84	/	/	/	/	/	/
	<b>8</b>	7,66	7,5	0,67	1,15	45,68	40,08	22,00	46,93	99,98	<b>97,33</b>
	<b>9</b>	7,91	7,64	0,61	1,04	44,87	32,06	4,00	91,85	88,04	<b>48,85</b>
<b>S<sub>3</sub></b>	<b>1</b>	8,4	7,9	1,96	3,37	52,85	40,08	14,00	96,93	99,78	<b>54,52</b>
	<b>2</b>	8,35	7,9	2,02	3,47	23,69	20,04	18,00	43,09	98,73	<b>54,74</b>
	<b>3</b>	8,3	8,05	1,23	2,11	/	/	/	/	/	/
	<b>4</b>	7,7	7,9	1,6	2,75	24,63	42,1	16,00	78,61	96,7	<b>31,33</b>
	<b>5</b>	7,9	7,95	1,1	1,89	/	/	/	/	/	/
	<b>6</b>	8,7	7,97	1,59	2,73	23,1	20,04	12,00	49,69	99,12	<b>46,48</b>
	<b>7</b>	8,35	7,95	1,29	2,21	/	/	/	/	/	/
	<b>8</b>	7,85	7,6	0,33	0,58	25,65	18,03	18,00	48,61	99,23	<b>52,76</b>
	<b>9</b>	8,8	8,05	0,18	0,3	/	/	/	/	/	/
	<b>10</b>	8,55	7,95	2,15	3,69	/	/	/	/	/	/
	<b>11</b>	8,65	8,45	0,86	1,47	19,57	8,01	10,00	56,46		<b>34,66</b>
<b>S<sub>4</sub></b>	<b>1</b>	7,09	6,95	1,9	3,26	15,68	12,02	14,00	44,64	91,84	<b>35,12</b>
	<b>2</b>	8,21	7,78	1,6	2,75	/	/	/	/	/	/
	<b>3</b>	7,52	7,08	1,41	2,42	29,92	26,05	10,00	54,64	95,3	<b>54,75</b>
	<b>4</b>	7,68	7,29	2,46	4,23	/	/	/	/	/	/
	<b>5</b>	7,23	6,98	1,29	2,21	/	/	/	/	/	/
	<b>6</b>	7,33	7,04	1,35	2,32	29,41	26,05	6,00	53,86	97,8	<b>54,6</b>
<b>S<sub>5</sub></b>	<b>1</b>	7,54	7,35	0,43	0,73	30,72	42,08	18,00	72,92	99,12	<b>42,12</b>
	<b>2</b>	7,27	7,08	0,67	1,15	/	/	/	/	/	/
	<b>3</b>	7,55	7,32	1,35	2,32	23,54	24,04	7,60	46,16	99,43	<b>50,99</b>
	<b>4</b>	8,36	7,81	0,67	1,15	/	/	/	/	/	/
	<b>5</b>	7,42	7,23	0,12	0,2	28,96	40,08	10,00	77,70	99,09	<b>34,27</b>

## pH

Le pH de l'ensemble des échantillons est aléatoire, les valeurs varient entre 7,09 et 8,8.(Tab. XXIII, Fig.46)

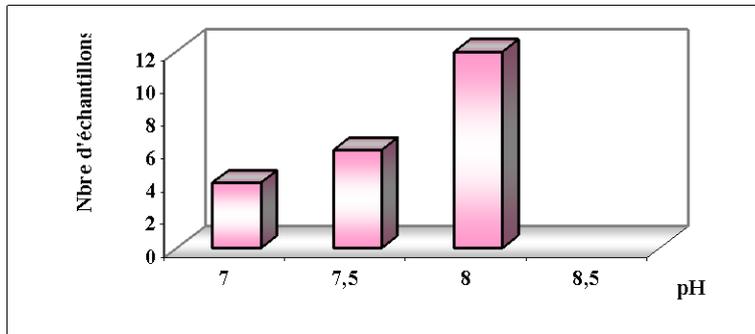


Fig. 46 : Les différentes classes du pH de la solution aqueuse du sol de la première période

## Carbone Organique

Les pourcentages oscillent entre 0,12 et 2,46 %. Les fortes teneurs sont atteintes respectivement aux niveaux des stations 3 et 4, c'est à dire des stations proches des zones cultivées.(Tab. XXIII)

## Matière Organique

Les résultats obtenus indiquent que la teneur de la M.O varie d'une station à l'autre. La quantité de la M.O dépend essentiellement des éléments grossiers, ces derniers ayant pour effet de concentrer les systèmes racinaires et les fractions organiques dans les interstices (Tab. XXIII, Fig.47).

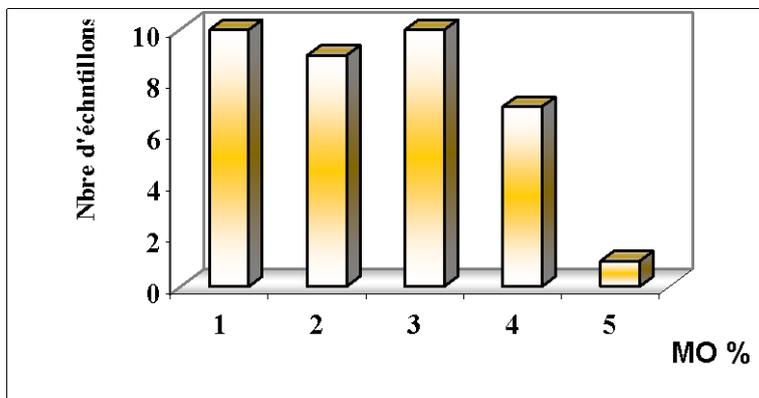


Fig. 47 : Les différentes classes de la matière organique Première période

### Bases Echangeables

Les valeurs varient du simple au double et restent relativement moyennes. Nous remarquons un déséquilibre entre les cations. Les valeurs de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  dans les échantillons dépassent ceux du  $\text{Mg}^{++}$ . Ce phénomène trouve son explication dans l'altération du niveau de salinité. La station 2 enregistre les taux les plus élevés en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  (45,68 et 0,08 meq/100g) (Tab. XXIII, Fig.48).

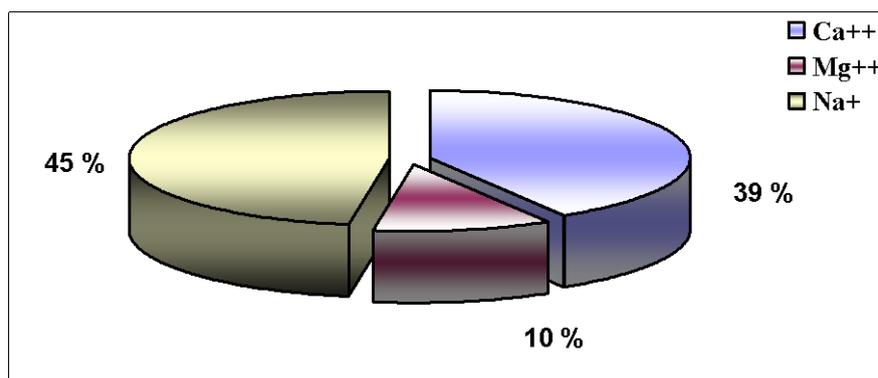


Fig. 48 : Disque de fréquences moyennes des bases échangeables de la première période

### C.E.C

L'examen des valeurs de la capacité d'échange cationique relève des seuils relativement élevés. Ils dépassent 40,77 meq/100g dans toutes les stations. Les stations 3 et 4 enregistrent les plus fortes valeurs (91,35 et 96,93 meq/100g). (Tab. XXIII, Fig.49)

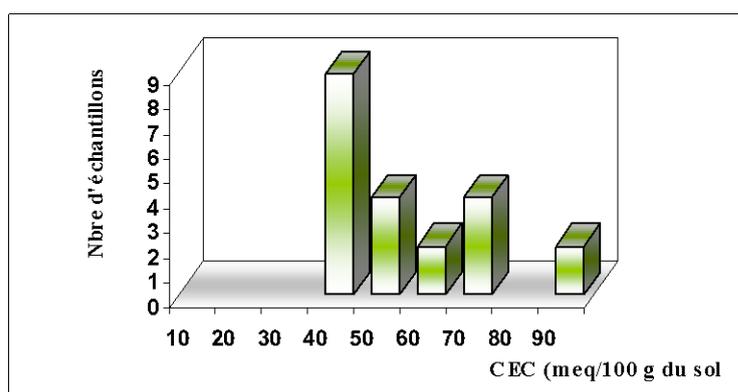


Fig. 49 : Les différentes classes de la capacité d'échange Cationique de la première période

**TABLEAU XXIII : Caractéristiques physico-chimiques de la solution aqueuse (1<sup>ère</sup> période)**

Stations	Ech.	pH	CE (m mhos/ cm) à 25° C	Anions solubles (meq /l)				Cations solubles (meq / l)				Résidu sec (g/ l)
				Cl <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	
S <sub>1</sub>	1	8,35	7,55	64,00	3,20	4,80	17,17	40,20	24,25	20,00	2,10	29,30
	3	8,25	7,73	60,00	3,20	0,80	32,52	40,80	29,42	29,47	5,30	5,40
	5	8,45	7,62	46,66	/	1,10	34,24	50,20	20,33	19,73	2,10	12,50
	6	8,20	5,79	100,00	/	/	29,57	60,40	45,90	29,47	10,70	2,71
S <sub>2</sub>	1	8,59	4,92	50,00	1,60	0,20	30,81	20,08	47,66	28,68	1,07	1,37
	3	7,35	8,42	102,85	/	2,78	34,24	40,08	31,30	39,47	3,20	20,02
	5	8,05	8,01	40,00	3,20	5,60	46,22	60,24	31,30	29,60	1,07	13,05
	8	7,80	8,01	80,00	/	4,00	31,67	60,12	32,95	38,68	2,10	15,60
	9	8,35	5,69	66,00	/	3,20	22,82	20,04	16,47	59,21	2,10	8,00
S <sub>3</sub>	1	7,65	9,89	52,30		4,00	20,54	30,08	37,66	38,81	10,70	23,65
	2	7,57	9,99	46,00	/	3,85	19,45	40,32	14,14	18,94	3,33	20,65
	4	7,55	4,68	50,00	/	8,97	26,45	10,02	51,07	19,07	1,07	5,80
	6	8,25	7,21	40,00	/	1,60	32,52	40,12	19,42	19,73	3,20	20,00
	8	8,20	7,28	80,00	1,60	5,44	35,95	50,12	39,42	38,42	1,07	19,00
	11	8,30	7,15	100,00	/	3,20	37,66	40,08	48,37	68,15	3,20	7,40
S <sub>4</sub>	1	7,70	8,30	12,00	1,60	4,40	9,41	10,08	15,90	19,47	10,70	10,40
	3	7,45	8,40	96,00	4,00	4,40	17,12	40,28	42,38	59,07	2,15	43,10
	6	7,50	8,84	101,26	4,80	1,60	34,24	40,12	68,85	39,47	2,10	27,30
S <sub>5</sub>	1	8,05	7,84	8,00	/	1,80	39,37	20,16	18,12	28,42	2,69	8,27
	3	7,30	7,95	24,00	/	6,00	14,78	20,12	19,42	18,42	4,84	23,80
	5	8,30	9,14	60,00	4,80	2,40	35,09	50,12	35,90	29,21	2,10	30,00

### ESP %

Le pourcentage du Sodium échangeable dépend de la concentration en  $\text{Na}^+$ , l'écart est très important en passant d'une station à une autre pour l'ensemble des stations, l'ESP varie de 34,27 (station 5) à 97,33 (station 2), cette dernière se situe de part et d'autre de l'Oued Djeddi qui peut en période de crue submerger les deux stations (1 et 2) par voie de conséquence déposer les sels solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) (Tab. XXIII).

### Anions Solubles

Les chlorures sont variables d'une station à une autre et d'un échantillon à l'autre. Les fortes teneurs sont relevées dans les différentes stations (1,2 et 3).

Les sulfates atteignent des seuils élevés en particulier dans la dernière station 5.

Les carbonates et bicarbonates accusent pour une faible présence dans la majorité des échantillons analysés (Tab. XXIV, Fig.50).

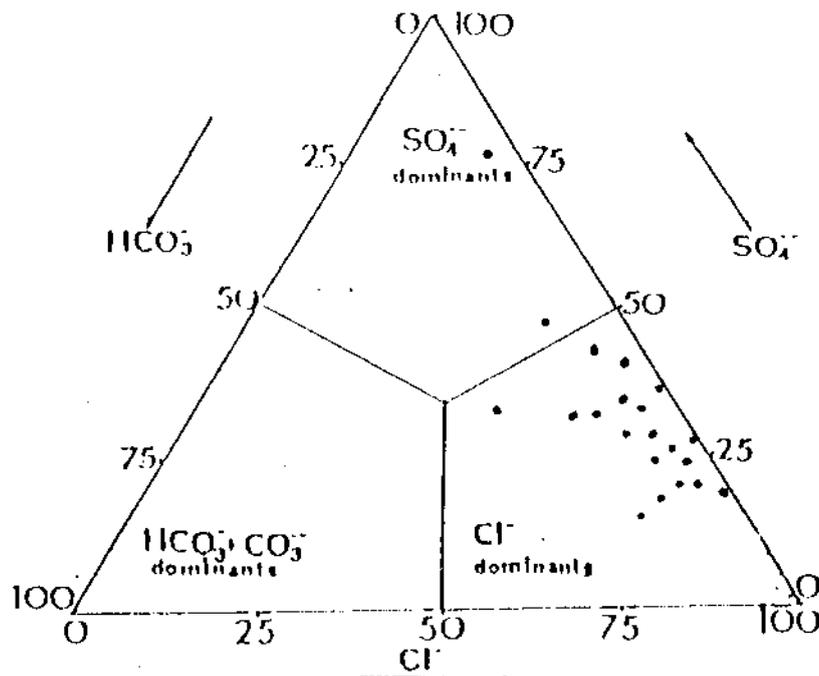


Fig.50 : Représentation sur diagramme de PIPER les différents anions solubles de la solution du sol (première période).

### Cations Solubles

Les taux de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  sont élevés pour ces trois cations (1,9 à 50 meq/ L).

Les éléments potassiques connaissent des teneurs basses (1,07 à 4,84 meq/L) (Tab. XXIV, Fig.51).

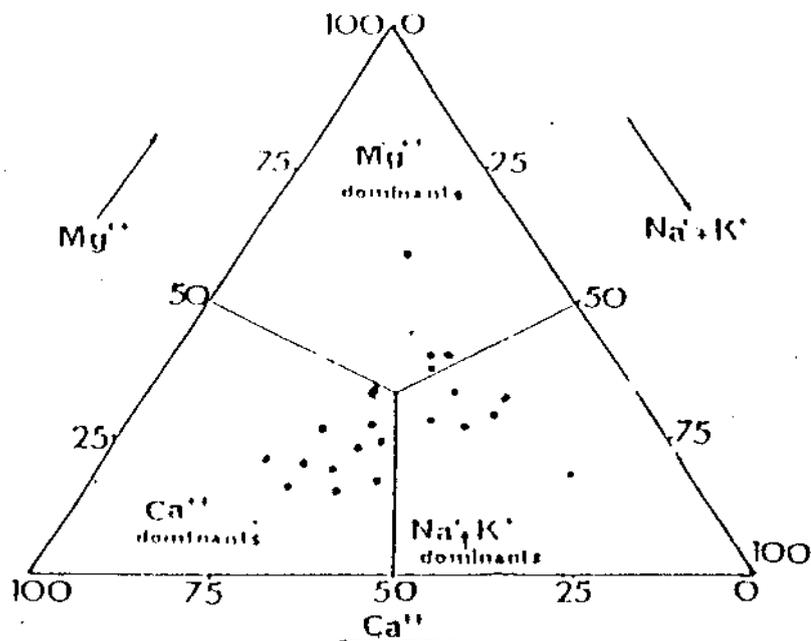


Fig.51 : Représentation sur diagramme de PIPER les différents cations solubles de la solution du sol de la première période

### Conductivité électrique

Tous les échantillons sont salés, les valeurs dépassent 6 m mhos/Cm, excepte pour quelques échantillons qui sont au nombre de trois répartis dans les stations 2 et 3 avec respectivement 4,92 , 5,69 et 4,68m mhos/ Cm).

(Tab. XXIV, Fig.52)

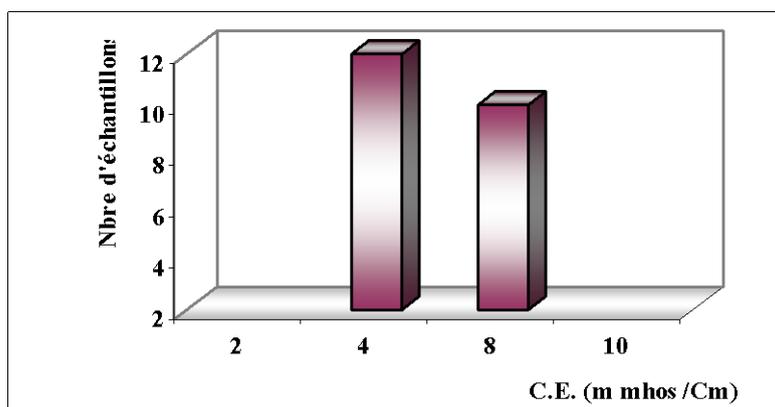


Fig. 52 : Les différentes classes de la conductivité électrique du sol de la première période

## Relations entre les différents caractères physico-chimiques

### Relation entre la conductivité électrique et l'ESP

D'après Halitim (1989), dans les zones arides, plus la salinisation des sols augmente et plus la sodisation et l'E.S.P sont grandes. D'une manière générale, les valeurs obtenues confirment les résultats annoncés, c'est à dire que lorsque l'E.S.P augmente la conductivité électrique le suit (Fig. 53).

Le sodium échangeable peut avoir des conséquences néfastes sur les propriétés physiques du sol, (Rhoades, 1972) en particulier la perméabilité.

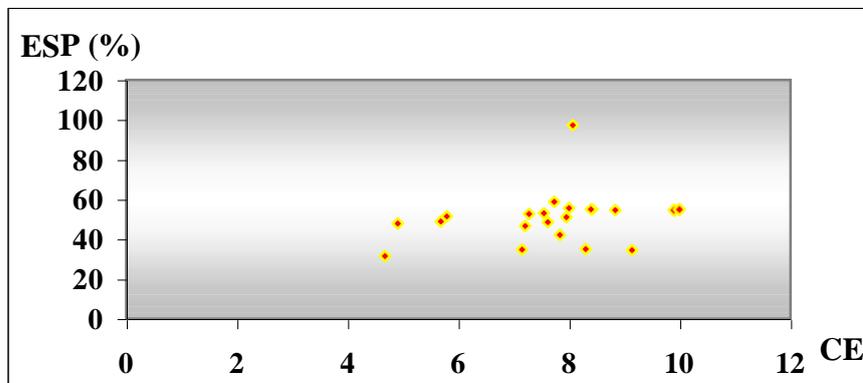


Fig. 53 : Relation entre la conductivité électrique et l'ESP de la première période

### Relations entre la conductivité électrique et le résidu sec

Cette figure est très intéressante, normalement pour une famille hydrochimique homogène, la relation RS/ CE est très bonne (faible dispersion des points autour d'une tendance moyenne). Ici il y a une certaine dispersion.

Ceci peut être dû à une légère variabilité chimique indépendante du niveau globale de salinité. Ceci peut provenir d'une variabilité du rapport  $Cl^-/So_4^{2-}$  et traduire une hétérogénéité spatiale du rapport entre l'effet osmotique et l'effet toxicité  $Cl^-$  (Fig.54).

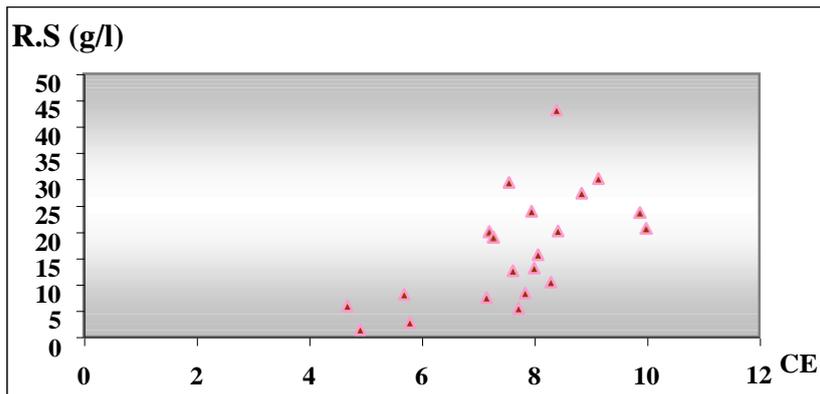


Fig. 54 : Relation entre la conductivité électrique et le résidu sec de la première période

### Relation entre la conductivité électrique et sodium soluble

Dans la majorité des sols, le sodium varie proportionnellement avec la C.E. à l'exception de quelques échantillons (Fig. 55), on remarque que les sols qui ont une C.E. très élevée possèdent des taux de sodium solubles appréciables. Toute diminution du taux de sodium a une action favorable sur la structure (Benaricha, 1982). Une concentration élevée du sodium provoque une forte dispersion des particules argileuses, sa grosse taille lui permet de combler les vides des pores.

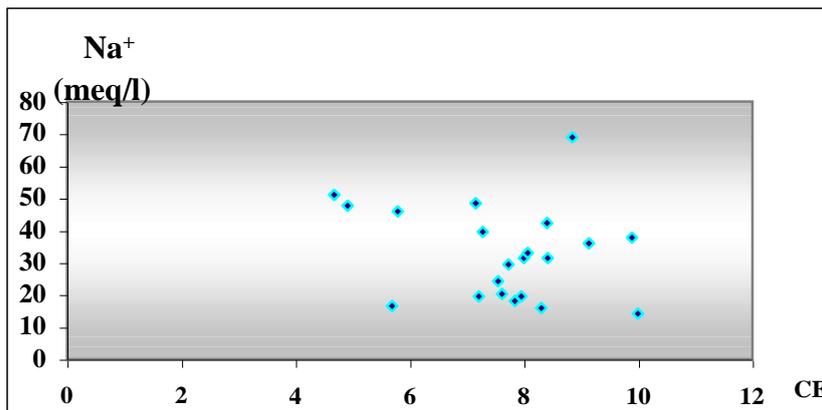


Fig. 55 : Relation entre la conductivité électrique et le sodium de la première période

### Relation entre la conductivité électrique et les chlorures

On remarque que dans la majorité des sols de notre zone d'étude, quelque soit la teneur en chlorures de la solution du sol, la conductivité électrique varie très peu (Fig. 56) ; à l'exception de quelques échantillons des deux premières stations où les chlorures atteignent des valeurs élevées ( $S_2$ ,  $E_3$ , à 102,85 meq/l, pour la conductivité électrique  $CE = 8,42$  mmhos/cm) varient dans le même sens que la conductivité

électrique. La non fixation des ions chlorures sur le complexe adsorbant leur permet de migrer facilement selon l'intensité du lessivage (Durand, 1953).

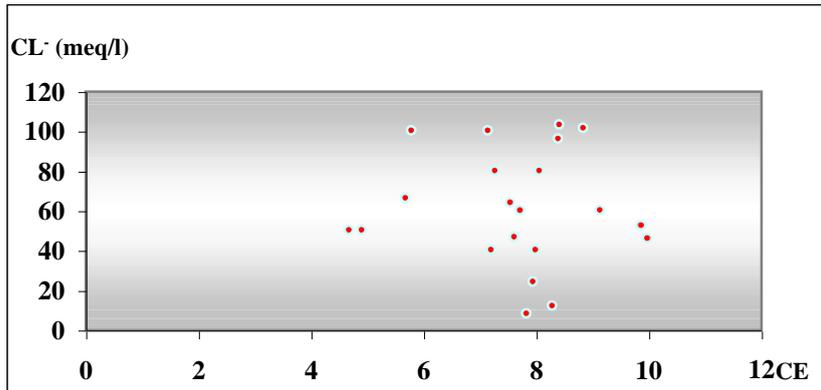


Fig. 56 : Relation entre la conductivité électrique et les chlorures de la première période

#### Relation entre le sodium et les chlorures

La relation entre le sodium et les chlorures fait apparaître un élément très abondant dans les régions arides (Halitim, 1988), c'est la halite qui a un comportement particulier dans la mesure où contrairement à beaucoup d'autres sels ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  etc...) sa précipitation dépend de la température (Servant, 1975) (Fig.57).

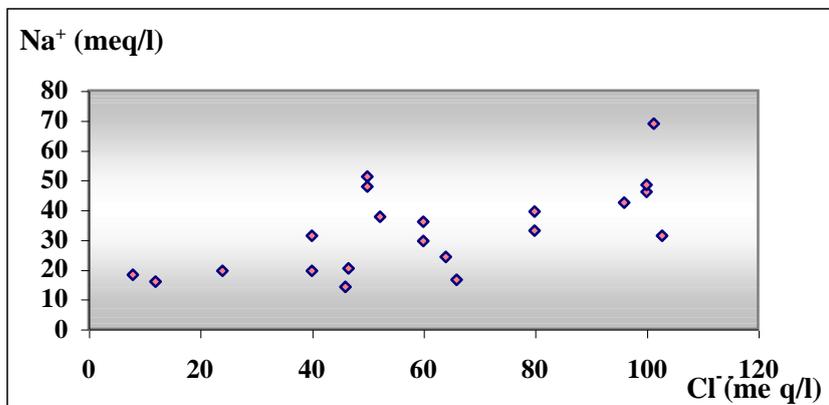


Fig. 57 : Relation entre le sodium et les chlorures de la première période

#### Relation entre le calcium et les chlorures

La liaison entre le calcium et les chlorures donne un sel qui caractérise les sols arides c'est le  $\text{CaCl}_2$ . Dans toutes les stations on observe d'après les nuages de la figure 58 qu'il n'y a pas une corrélation importante entre le calcium et les chlorures à

l'exception dans la station 4 où on a une augmentation du calcium et des chlorures dans le même sens.

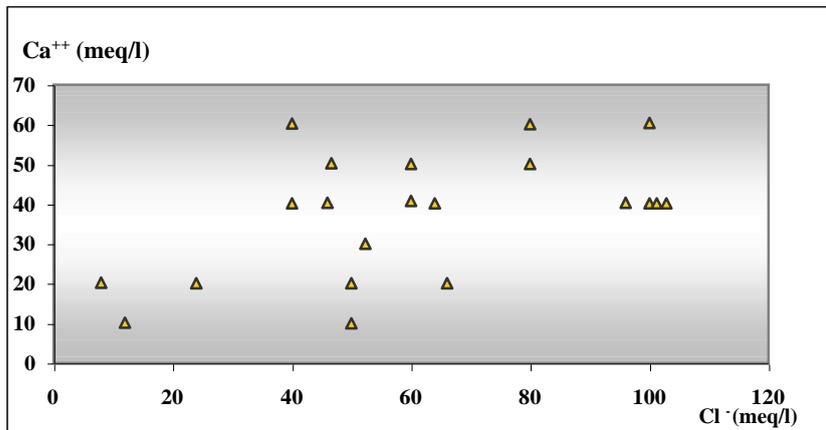


Fig. 58 : Relation entre le calcium et les chlorures de la première Période

#### Relation entre le calcium et les sulfates

Pour la majorité de nos sols, il existe une bonne corrélation entre le calcium et les sulfates ce qui indique une formation et une présence de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Fig.59).

Si dans les régions humides, le gypse d'origine pédogénétique existe uniquement dans les dépressions, dans les zones arides en revanche, il peut se localiser à différents niveaux du paysage et surtout dans les nappes de versant (Cocque, 1962). La formation de gypse est liée aussi au facteur de température (période estivale) où on a une précipitation forte d'ion  $\text{Ca}^{++}$  d'abord puis le  $\text{Mg}^{++}$  à des températures élevées (Djamai, 1993). Ce qui explique l'abondance de gypse dans nos sols arides avec des quantités appréciables.

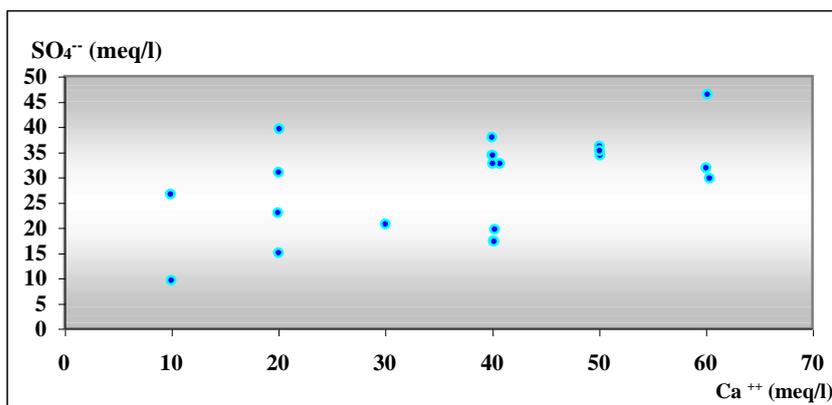


Fig. 59 : Relation entre le calcium et les sulfates de la première période

### Relation entre le sodium et les sulfates

Dans nos sols, le sodium varie dans le même sens que les sulfates (Fig. 60). La liaison liant le sodium avec les sulfates forme un sel, c'est la Thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$ ) qui sont présents dans les zones arides et dépendent de la température ; ces deux minéraux sont fixés à  $32\text{-}38^\circ\text{C}$  (Braith, 1971), par contre dans un système  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  ce point de transition est abaissé à  $18^\circ\text{C}$ . Dans les zones arides ou Sud Tunisien ou Algérien ( Pouget, 1980), les Températures maximales possibles à la surface du sol peuvent aller jusqu'à  $50^\circ\text{C}$  et même  $60^\circ\text{C}$ , donc il est indispensable de réaliser cette liaison ( $\text{Na-SO}_4^-$ ) d'une manière très élevée par rapport aux autres sels, seulement en raison hivernale, il y a la formation de Mirabilite à condition que le milieu est peu riche en NaCl (Halitim, 1988).

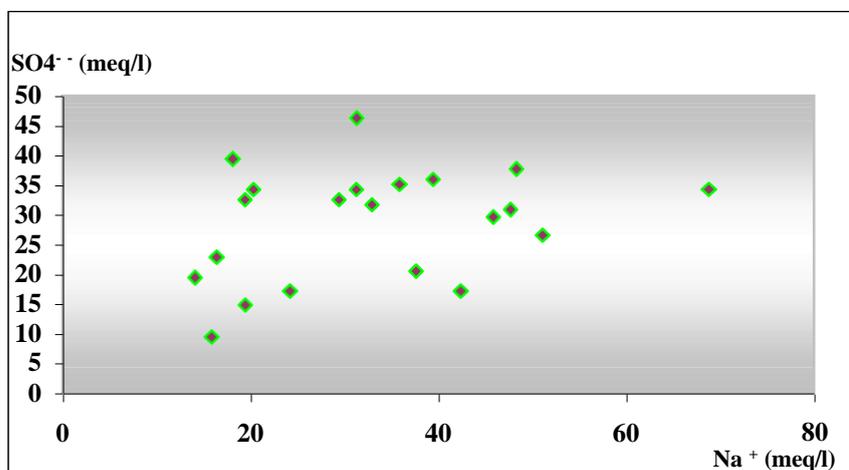


Fig. 60 : Relation entre le sodium et les sulfates de la première période

### Conclusion partielle

Les sols d'Oumache sont de texture limoneuse avec un faible pourcentage en argile, par contre les sols du Nord (Sud de la ville de Biskra) ont une texture argileuse à limoneuse, ce sont des sols pauvres en matière organique. Les valeurs de la capacité d'échanges cationiques sont presque équivalentes à la somme des bases échangeables, ceci indique un taux de saturation qui est proche de 100%, avec un pH élevé. Le complexe adsorbant est saturé par les ions de sodium et de calcium.

Les résultats de la conductivité électrique montrent que les sols se classent dans l'intervalle 4 à 10 m mhos/cm à  $25^\circ\text{C}$ , c'est à dire qu'on est en présence des sols salés à très salés.

Le faciès chimique est à dominance chloruré-calcique pour le Sud de la zone (Oumache) et vers le Nord, il est chloruré-sodique.

## II. Caractéristiques des sols pour la deuxième période << Printemps >>

### Caractéristiques physiques et physico-chimiques

#### Texture

16 échantillons de sol sur 19 sont limoneux. Les pourcentages d'argiles varient d'une valeur à l'autre et d'un échantillon à l'autre, les valeurs oscillent entre 3,2 % (station 3) et 16 % (station 1), les limons fins dominent dans la station 4. Les sables grossiers atteignent leur niveau optimum dans les stations 2 et 5, et les pourcentages les plus bas dans les autres stations. (TAB. XXV, Fig.61)

**TABLEAU XXV : Caractéristiques physiques du sol (2<sup>ème</sup> période)**

Station	Ech.		Granulométrie					Texture	Densité réelle
			A	LF	LG	SF	SG		
<b>P1</b> Transect Ouest -Est	1		5,75	4,25	80,82	8,58	0,60	L	2,53
	2		15,65	8,75	58,46	13,86	3,46	L	2,53
	3		16	9	63,8	11	0,2	L	2,56
	4		12,2	4,9	58,9	21	3	L	2,43
	5		4,6	1	80	13,15	1,2	L	2,37
<b>P2</b> Transect Ouest -Est	1		23,4	11,6	50,55	11,62	2,82	L	2,38
	2		3,5	1	91,81	3,30	0,38	L	2,61
	3		5,35	1,45	65,58	11,33	16,28	L	2,30
	4		13,55	2,05	73,45	10,48	0,47	L	2,33
<b>P3</b> Transect Ouest -Est	1		10	0,55	81,76	6,07	1,62	L	2,58
	2		6,9	26,35	65,96	0,65	0,134	L	2,48
	3		7,45	52,1	39,46	0,83	0,15	L	2,42
	4		3,2	1,8	89	5,31	0,68	L	2,39
<b>P4</b> Transect Ouest -Est	1		7,6	40,35	49,24	2,70	0,1	L	2,51
	2		9,6	16,26	60,10	13,7	2,29	L	2,45
<b>P5</b> <b>R.O</b>	S1	EA	12,8	16,65	22,66	27,67	20,24	Equilibrée	2,23
		EB	9,25	1,1	38,05	30,59	21	Equilibrée	2,47
	S2	EA	9,65	2,75	6,58	17,02	64	S	2,49
		EB	15,65	8,75	58,27	13,86	3,46	L	2,58

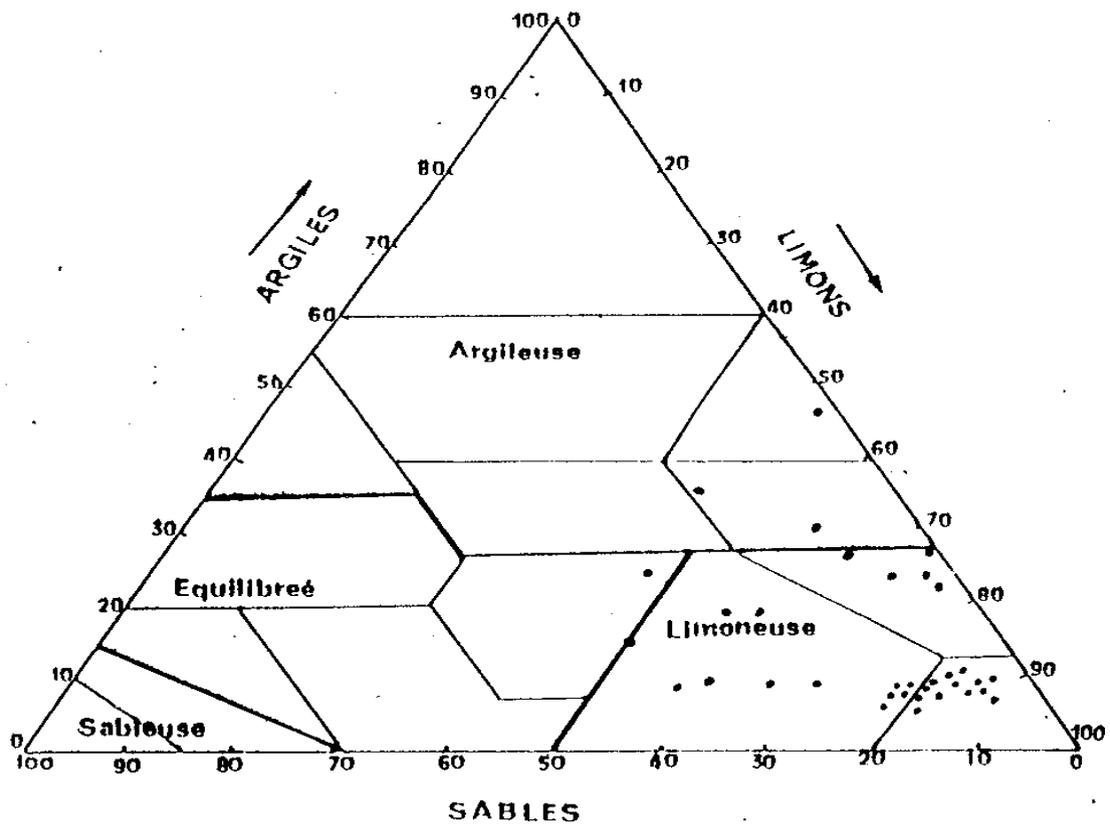


Fig.61 : Les différentes classes de texture des sols de la deuxième période (d'après U.S.S.L. ,1954)

### pH

Les pH mesurés sont alcalins, ils atteignent 8 et 9,11 dans certains échantillons (Tab. XXVI, Fig.62).

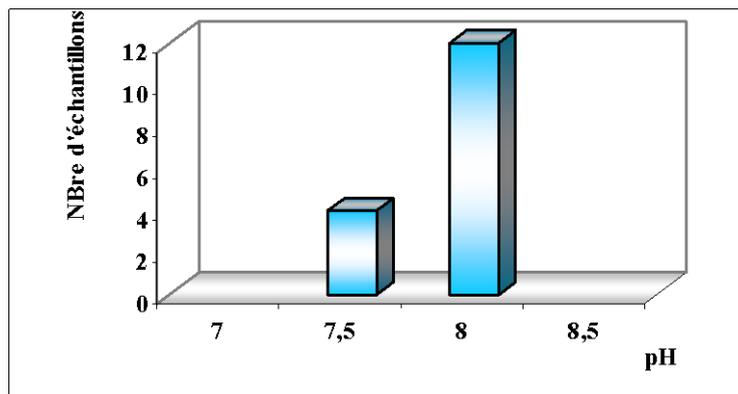


Fig. 62 : Les différentes classes du pH de la solution aqueuse du sol de la deuxième période

**TABLEAU XXVI : Caractéristiques physico-chimiques du sol (2<sup>ème</sup> période)**

Stations	Ech.	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>kcl</sub>	C %	M.O %	Bases échangeables (meq / 100 g du sol)			(meq / 100g du sol)	ESP %
						Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	C.E.C	
Transect Nord-Sud  P 1	1	8,77	8,70	0,50	0,84	13,01	6,01	2,00	22,15	58,73
	2	8,25	8,06	0,80	1,37					
	3	7,83	7,79	1,41	2,43	22,80	18,03	10,00	42,15	54,09
	4	8,48	8,45	2,21	1,29					
	5	8,32	8,02	1,16	2,01	1,97	16,03	12,00	55,38	35,57
Transect Est-Ouest P 2	1	7,51	7,47	0,55	0,95	18,90	10,02	4,00	30,77	61,42
	2	8,32	8,22	0,49	0,84					
	3	8,11	7,88	0,06	0,10	44,80	34,06	26,00	53,38	83,92
	4	8,70	8,54	1,16	2,01	26,40	16,03	16,00	47,49	55,59
Transect Sud - Nord P 3	1	7,92	7,75	0,80	1,37	39,70	30,06	18,00	71,54	55,49
	2	8,78	8,53	0,55	0,95	48,10	44,08	2,00	72,85	66,02
	3	8,31	8,19	0,80	1,37	48,05	30,06	10,00	79,69	60,29
	4	8,49	7,43	0,03	0,05	51,23	34,06	22,00	78,61	65,16
Transect Est-Ouest P 4	1	7,97	7,91	1,23	2,11	23,10	36,07	16,00	66,61	34,67
	2	8,33	8,25	1,29	2,22	29,70	19,03	11,00	46,10	64,42
Relevé Oued Djeddi P 5	S1 A	8,48	8,46	1,23	2,11	37,70	28,05	4,00	58,77	64,14
	S1 B	9,08	9,05	0,67	1,16	26,50	28,05	4,00	61,07	43,39
	S2 A	9,08	8,76	0,37	0,63	16,40	10,02	5,03	31,07	52,78
	S2 B	9,11	9,10	0,49	0,84	29,40	20,04	10,00	42,15	69,75

### Matière Organique

On relève des taux de M.O relativement bas. Les valeurs varient entre 0,1 % (station 2) et 4,23 % (station 4), la forte valeur dans la station 4 est restituée à proximité des zones urbaines (décharges des ordures) et des terres agricoles.(Tab. XXVI, Fig.63)

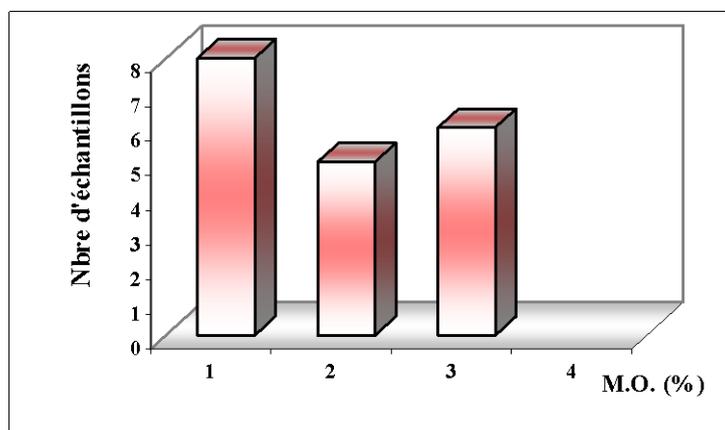


Fig. 63 : Les différentes classes de matière organique de la deuxième période

### Bases Echangeables

Le sodium connaît des oscillations importantes d'un échantillon du sol à l'autre, la station 1 enregistre la valeur la plus basse (1,97 meq/ 100g), les taux augmentent nettement dans les autres stations pour atteindre la valeur maximale (48,10 et 51,23 meq/ 100g) dans la station 3.

Le Calcium est relativement bas comparé au Sodium, il varie entre 6,01 meq/100g (station 1), à 44,08 meq/100g(station 3).

Le Magnésium est faible par rapport aux cations précédents, il fluctue entre 2 meq/100g (station 1) et 22 meq/100g (station 3) (Tab. XXVI, Fig.64).

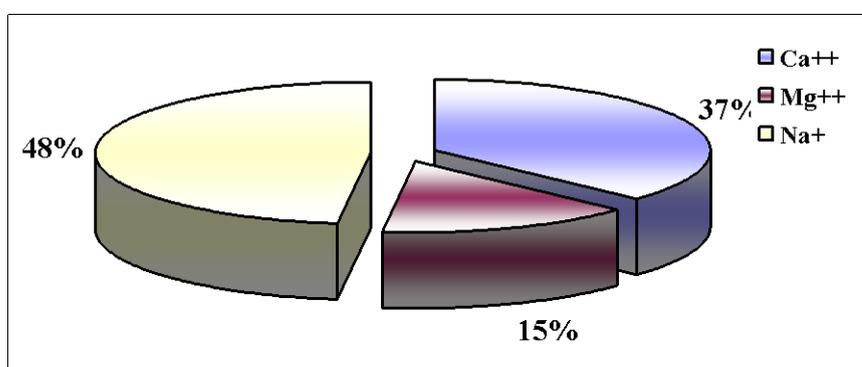


Fig. 64 : Disque de fréquences moyennes des bases échangeables de la deuxième période

La station 3 enregistre donc les valeurs les plus élevées de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, et Mg<sup>++</sup>. Cette station est une dépression qui se localise de ce fait en dessous des lits de l'Oued Djeddi.

### Capacité d'échange cationique

Elle dépasse 31,07 meq/ 100g, augmente dans les autres stations de 22,15 meq/100g (station 3) en passant par 53,38 meq/100g., 66,61 meq/ 100g (station 2) et 78,61 meq/ 100g (station 4) (Tab. XXVI, Fig.65).

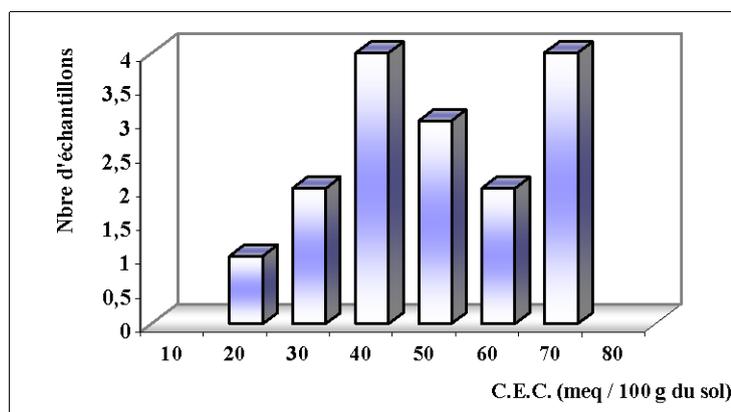


Fig. 65 : Les différentes classes de capacité d'échange cationique De la deuxième période

### ESP %

Ce paramètre connaît de forts pourcentages dans les différents échantillons du sol, le pourcentage minimum est de 34,67 (station 4) et s'élève au dessus de 43,39 % pour enfin atteindre le pourcentage maximum de 83,92 (station 2) (Tab. XXVI)

**TABLEAU XXVI : Caractéristiques physico-chimiques de la solution aqueuse du sol (2<sup>ème</sup> période)**

Stations	Ech.	pH	CE (m mhos/ cm) à 25° C	Anions solubles (meq /l)				Cations solubles (meq / l)				Résidu sec (g/ l)
				Cl <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	
<b>Transect Nord-Sud P1</b>	1	8,05	8,85	43,00	2,00	7,20	23,05	40,40	30,61	19,73	1,07	33,9
	3	7,95	7,48	4,00	0,80	5,60	14,88	20,40	11,19	19,73	2,1	12,4
	5	7,90	8,97	70,00	1,60	5,20	20,41	16,03	8,23	19,21	6,4	12,5
<b>Transect Ouest-Est P2</b>	1	7,90	7,93	20,00	1,60	0,80	45,36	30,04	19,77	20,00	8,6	6,39
	3	7,80	9,91	13,00	3,20	10,00	41,94	40,05	35,18	29,47	2,1	15
	5	8,15	6,80	90,00		0,98	21,40	80,16	18,12	19,73	1,07	6,25
<b>Transect Nord-Sud P 3</b>	1	8,45	5,25	2,97	1,60	8,40	31,38	30,12	9,77	17,50	1,07	3,25
	2	8,20	2,52	6,00	2,40	3,60	11,98	10,16	6,52	9,86	9,6	0,95
	3	3,05	2,52	3,00	3,20	2,40	22,82	16,32	14,71	19,47	1,07	1,25
	4	8,05	9,16	80,00	3,20	6,00	44,70	60,12	65,90	68,00	4,07	28,55
<b>Transect Est-Ouest P 4</b>	1	8,15	8,05	12,00	1,60	4,40	37,66	30,20	13,18	19,47	2,1	13,6
	2	8,09	8,44	65,53	3,84	4,63	23,18	56,84	32,40	38,94	1,4	14,3
<b>Relevé Oued Djeddi P 5</b>	S1 A	8,15	5,77	70,00		7,20	33,28	40,08	16,47	18,94	1,07	16,65
	S1 B	8,35	8,27	99,92		2,80	35,58	50,16	51,07	37,34	1,02	5,83
	S2 A	8,20	2,77	16,00	4,80	2,40	23,11	30,16	14,82	29,66	1,07	2,75
	S2 B	8,50	10,07	52,00	4,80	0,80	23,96	20,04	47,55	38,15	1,05	16,6

### Anions Solubles

Les Chlorures sont fortement présents, ils varient considérablement entre 4 meq/l (station 1) et 99,92 meq/l (station 5).

Les Carbonates sont faibles par rapport aux chlorures, les valeurs oscillent entre 1,6 meq/L (station 2) et 4,8 meq/L (station 5).

Les Bicarbonates sont légèrement supérieurs aux carbonates, les teneurs vont de 0,8 meq/L (station 5) à 10 meq/L (station 2).

Les Sulfates sont aussi importants que les chlorures, ils varient entre 11,98 meq/L (station 3) à 45,36 meq/L (station 2) (Tab. XXVII, Fig.66).

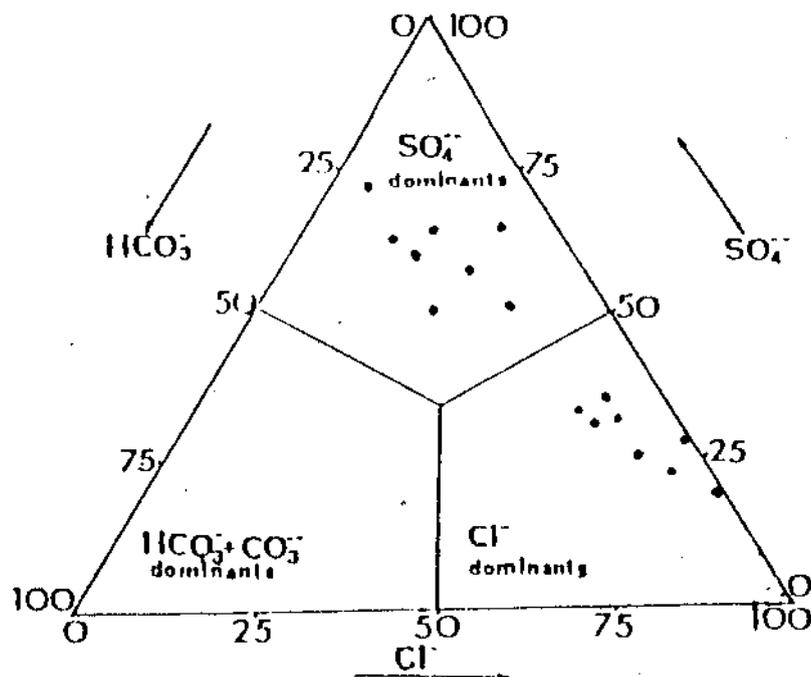


Fig.66 : Représentation sur diagramme de PIPER les différents anions solubles de la solution du sol (deuxième période).

### Cations Solubles

Le calcium varie du simple au triple 10,16 méq /l (station 3) à 56,84 méq/l (station 4). Les valeurs de sodium sont plus basses que le calcium, elles varient

de 6.52 méq/l (station 3) à 65.9 méq/100g (station 4). Le magnésium connaît les mêmes variations que le sodium, les taux oscillent entre 9.86 méq/l et 68 méq/l.

Enfin le potassium connaît les concentrations les plus faibles, les taux varient entre 1.02 méq/ 100g (station 5) et 4.07 méq/l (station 3).

(Tab. XXVII, Fig.67).

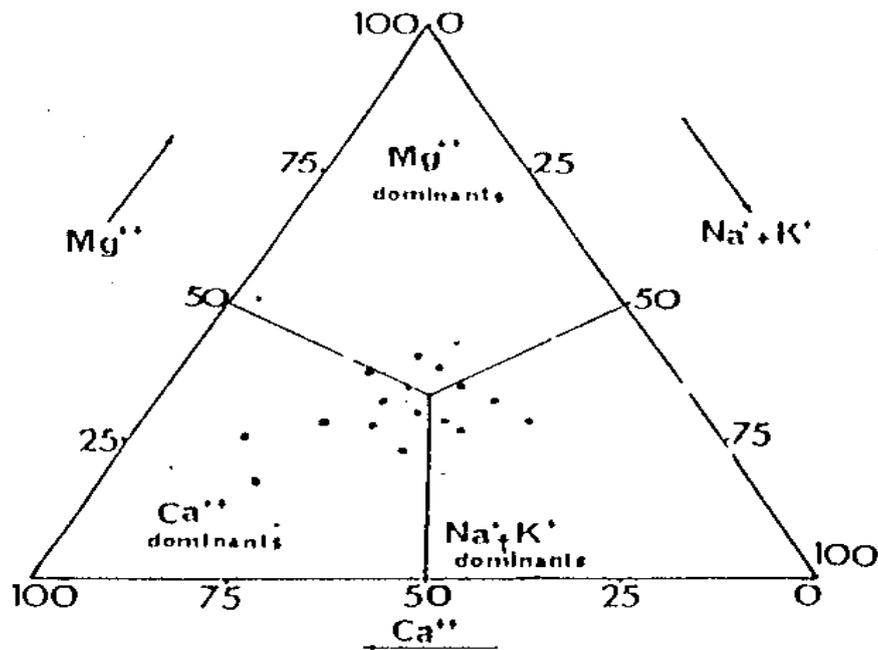
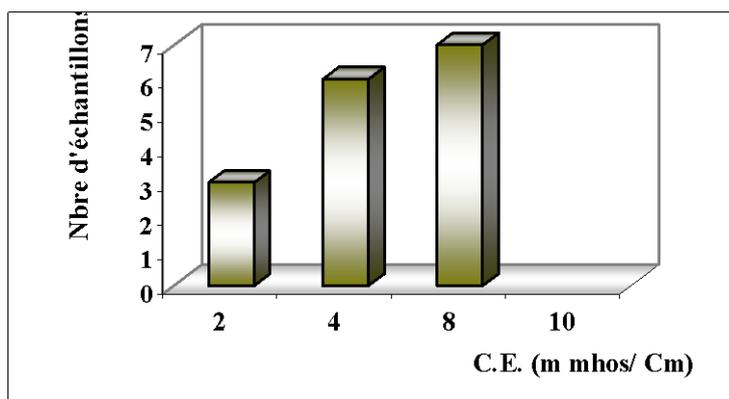


Fig. 67 : Représentation sur diagramme de PIPER les différents cations solubles de la solution du sol (deuxième période).

#### Conductivité électrique

Les sols sont salés pour la plupart sauf dans la station 3 (C.E = 2,52 mm hos/ cm) et la station 5 (2,77 mm hos / cm). Dans les autres stations la C.E s'élève pour osciller entre 5,25 mm hos/cm (station 3) et 10,07 mm hos/ cm (station 5) (Tab. XXVII, Fig .68).



**Fig. 68 : Les différentes classes de la conductivité électrique de la deuxième période**

## 2. 2 Conclusion partielle

Les sols de la région d'Oumache et ceux qui sont à proximité du lit de l'Oued Djedi sont à texture limoneuse ; les sédiments de l'Oued Djedi sont de texture équilibrée dans les terrasses de l'Oued et sableuses au fond de l'Oued. Ils sont aussi pauvres en matière organique avec des pH élevés ; le complexe adsorbant est saturé particulièrement en sodium ensuite pour le calcium et le magnésium.

La conductivité électrique est élevée par rapport à la première période, donc les sols de cette période sont salés à très salés, au contraire les sols sont peu salés à l'intérieur de l'Oued et dans les parties du lit.

Le faciès chimique n'est pas différent de celui de la première période, il est chloruré- calcique, mais pour les parties proches de l'Oued, il est sulfaté-calcique. Les sédiments de l'Oued sont chlorurés-calcique à chloruré-sodique dans la partie sèche.

## CHAPITRE 6 : TYPOLOGIE DES STEPPES SALEES

L'étude de la végétation des zones salées a montré certaines caractéristiques notamment dans sa composition floristique. Les pressions anthropiques qui s'exercent sur ces zones depuis très longtemps, marquées par des décalages importants d'une station à une autre, sont souvent très significatives du point de vue richesse floristique.

L'analyse écofloristique entamée est basée avant tout sur des observations de terrain, d'autant plus que tous les facteurs écologiques n'ont pas une importance égale pour cette communauté végétale (degré de salinité, texture structure, etc...).

Pour une analyse fine et une meilleure compréhension des facteurs écologiques intervenant directement sur la diversité végétale, il est nécessaire de passer par un certain nombre de relevés (au total 100). La réalisation sur terrain de ces 100 relevés sur l'ensemble de la zone d'étude, relevés réalisés par la méthode de Braun Blanquet. et par la méthode des transects nous ont permis de mettre en évidence l'organisation et la structure de ces steppes salées.

De cette analyse, il ressort que ce n'est nullement le bioclimat qui distingue l'originalité de ces steppes, mais plutôt la composition floristique pour l'essentiel, mais aussi et surtout la pression anthropozoïque qui s'exerce sur ces zones et qui devient de plus en plus forte d'année en année.

Nous distinguons :

\* Les steppes moyennement salées où l'*Atriplex* et le *Tamarix* existent en éléments remarquables avec une aire qui s'étend jusqu'au Nord de Biskra. Ces steppes sont associées aux pelouses xériques méditerranéennes à base de *Plantago* et d'*Atractylis*.

\* Les steppes fortement salées où *Limoniastrum guyanianum* apparaît dans certains cas et surtout dans les stations situées plus au Sud (1, 2 et 3).

Ces deux steppes sont caractérisées par un même bioclimat et leur répartition obéit au gradient salinité.

\* Au Sud, *Salsola vermiculata* et *Salicornia fruticosa* dominant indiscutablement.

\* Au Nord, le couvert végétal se présente avec une nette dominance

Au niveau de la zone d'étude, les espèces indicatrices jouent un rôle capital dans le choix des stations. En effet, elles sont peu nombreuses, mais dans la majorité des cas très informatives.

Une espèce indicatrice n'est pas forcément dominante ni abondante, ce qui est notre cas.

Généralement, *Aristida pungens* occupe les sommets des dunes avec ses longues racines traçantes (station 2), cependant les parties basses des dunes, là où la texture devient grossière, avec par moment une couche de battance, apparaissent les *Salsola* et les *Salicornia*.

L'importance de l'aire de cette zone (35200 ha ) nous a imposé un nombre important de relevés (linéaires et par placettes) afin d'avoir une appréciation objective de l'impact de l'homme et de son troupeau sur les différents faciès observés (steppes salées et steppes moyennement salées). En plus du climat qui est rude dans cette zone, mais identique dans les stations prospectées, les facteurs écologiques influant énormément dans la différenciation des stations sont la pression anthropozogène et la salinité du terrain.

#### **- Les steppes à *Salsola* et *Salicornia***

Les premières observations qui ont été réalisées sur ces steppes ont clairement montré la nette dominance de *Salsola* et *Salicornia*. En effet, elles sont constituées de touffes retenant le sable, laissant la place dans les petites dépressions aux pelouses à chamaephytes (*trigonella maritima*, *Plantago notata*, *Helianthemum kahiricum* ....).

Quelques rares pieds d'*Atriplex* et de *Limoniastrum* apparaissent encore et complètent le cortège Floristique des Salicornetea. Ces dites espèces caractéristiques ont pu se développer dans la partie la plus chaude de notre zone d'étude. A l'intérieur de la zone (stations 1,2 et 3) se développent sans dominer *Retama retam*, *Aristia pungens*, *Astragalus armatus* ; Les plantes annuelles, par contre n'y dominent pas en nombre, à la différence de *Plantago notata* et de *Crepis aculeata*. Cette végétation caractéristique est constante dans le Sud et l'Ouest de la zone étudiée et de la part et d'autre de l'Oued Djeddi. S'agissant de véritables groupements de zones salées, la présence de *Limoniastrum guyanianum* dans ces milieux très dégradés confèrent à ces formations un caractère typique.

Nous pensons que la zone étudiée où m est compris entre et où les précipitations oscillent entre et a pour association *Atriplico halimi-Suaedetum fructicisae*, accompagnée de deux alliances :

- *Suaedenion fructicisae*
- *Salsolo-peganio*

Cette association et ces deux alliances ont été décrites par AIME en 1991 dans les zones salées de l'Ouest algérien et nous retrouvons dans nos listes la plupart des espèces caractéristiques retenues par cet auteur.

Notons que *Limoniastrum* est absent de la liste de Aimé (1991) (Ouest algérien), alors qu'il existe dans un grand nombre de nos relevés. Ceci s'explique par la sévérité du milieu de vie associée évidemment à l'effet anthropozogène croissant.

Beaucoup plus vers le Sud de notre zone d'étude, nous remarquons une banalisation de la diversité végétale où *Salsola vermiculata* considérée comme gypsicole domine le paysage. Cette espèce a tendance à s'installer sur un substrat purement sablonneux. Dans la plupart de nos relevés (station 1, 2 et 3) la forte évaporation permet la remontée des sels (nitrates et gypses) et où *Salsola vermiculata* et *Salicornia fruticosa* se développent d'une manière harmonieuse avec de très belles touffes.

L'un des facteurs important et qui conditionne la répartition de ces deux espèces est bien sûr la nature lithologique de la zone, liée à l'importance de la pente. Ainsi ces deux espèces se partagent plus au moins le terrain vers le Sud.

#### **- Les steppes à *Atriplex***

Vers le Nord de la zone d'étude, la dominance incontestable de *Atriplex halimus* est une forme de steppe à part entière (station 4 et 5). Il est pour le moment difficile de dire si cette steppe à *Atriplex* constitue un niveau de dégradation ou pas. L'*Atriplex* qui devient de plus en plus abondant en allant vers le Nord, s'associe avec *Peganum harmala* et le *Tamarix* sans qu'elles ne dominent. Ces trois espèces jouent un rôle physionomiquement important.

Les espèces les mieux représentées avec *Atriplex* sont *Peganum harmala* et *Salsola vermiculata*. Elles sont essentiellement caractérisées par la nature d'un substrat

particulièrement compact qui nous laisse penser à une certaine dominance d'éléments fins. A ce niveau, les menaces d'origine anthropique restent aujourd'hui presque irréversibles. Les pelouses existantes présentent un mélange d'espèces appartenant les unes aux pelouses sèches des *Thero-brachypodietea* et les autres à celles des nitrophiles des *Stellarietea mediae*. Ces paillasons de pelouses sont rares et sont protégés dans certaines stations (1 et 3) par *Astragalus armatus* qui par son caractère épineux crée une forme de protection contre le troupeau.

Il convient, pour être en mesure d'apporter des réponses pertinentes et appropriées à la protection de ces steppes utiles à notre société d'entreprendre dès à présent sur le << comment protéger >>.

En ce qui concerne les deux périodes étudiées, nous avons présenté les résultats à caractères édaphiques dans une région (Sud de Biskra), parcourue par l'Oued Djedi dans un étage bioclimatique aride à hiver frais, les précipitations sont inférieures à 250 mm. Les peuplements inventoriés sont essentiellement halophytes (diverses Chénopodiacées) sont liées à la nature et à la composition biochimique des substrats. Les résultats édaphiques montrent fort bien la complexité de ces sols (milieux steppiques et sahariens).

Une composition texturale limoneuse dominante durant les deux périodes de l'année. La texture est composée de plus d'éléments fins que grossiers dans la majorité des échantillons.

Un pH alcalin dépassant 7 dans la majorité d'échantillons des sols analysés. Il n'existe pas de différence entre les 2 périodes.

La matière organique connaît les valeurs élevées surtout dans les stations proches des zones de cultures.

Les bases échangeables varient d'un élément à l'autre, d'un échantillon à l'autre et aussi d'une station à l'autre, cependant on n'enregistre aucune différence significative d'une période à l'autre.

La capacité d'échange cationique est très élevée dans les stations 3 et 4 (plus de 40.77 méq /100 g.) durant les 2 périodes.

Les valeurs de la conductivité électrique sont très prononcées dans la plupart des échantillons du sol.

Les ions chlorures et sulfates connaissent des teneurs élevées justifiant en général l'élévation significative de la conductivité électrique. On remarque de fortes teneurs de calcium et magnésium. Les ions sodium et potassium sont plus faibles.

Afin de mettre l'accent sur l'importance de ces écosystèmes et dans l'esprit d'un travail de recherche, nous avons apporté une contribution dans l'étude édaphique en relation directe avec le dynamisme de la végétation des rives de l'Oued Djeddi et de ses alentours.

Est-il nécessaire de préciser que le sol constitue le facteur essentiel de la remontée biologique ?.

Dans des conditions d'aridité de nos régions sud de Biskra, Oued Djeddi, le couvert végétal à croissance très élevée par endroit demeure très sensible aux influences mécaniques, tels le pâturage et le défrichage. La réduction du couvert végétal laisse les couches de terre meubles, sans protection exposées au vent et à l'eau. L'érosion d'origine atmosphérique devient effective dans les piémonts où le sol souvent friable et peu épais risque de vite disparaître. La végétation subit des modifications et on parle ainsi de stades de dégradation des ligneux aux herbacées en passant par les broussailles.

# CONCLUSION GENERALE

Le climat méditerranéen en général et celui de notre zone d'étude se caractérise par un fort déficit pluviométrique pendant l'été, et par un hiver trop froid pour valoriser les précipitations qui tombent à cette saison. Il exerce de fortes contraintes sur le milieu naturel. Ce régime hydrique favorise les phénomènes d'érosion. Ces espaces sont habités çà et là par l'homme. Sa présence dans ces régions depuis l'apparition du climat méditerranéen est à l'origine de la création de plusieurs paysages marqués par une certaine biodiversité. La surexploitation du milieu engendre d'une façon marquée les dynamiques de dégradation voire d'érosion.

L'évolution de cet écosystème méditerranéen aride reste lié aux modes d'utilisation, d'exploitation et d'occupation des sols. Le Sud des Aurès, l'exode rural a conduit à une dynamique spontanée de recolonisation par certaines essences de matorrals ou d'Atriplexaies. La pression anthropique pose des problèmes de régénération des formations Chamaephytiques (*Atriplex* et certaines Chenopodiacées) entraînant des dégradations à l'origine de la fertilité des sols.

La zone étudiée présente un climat aride à désertique avec un déficit hydrique important et un réseau hydrographique endoréique. Ces conditions générales conduisent à la formation de sols salés et de saumures de type chloruré/sulfaté sodique.

Tout au long de leur cheminement dans le paysage, le faciès chimique des eaux change. De carbonaté/sulfaté calcique, elles deviennent chlorurées sodiques. Les séquences de précipitations des eaux sont comme suit : calcite, gypse mirabilité et halite, ainsi la concentration des eaux conduit à une chromatographie des éléments dans le paysage.

L'organisation des écoulements et des sols dans le paysage présente un système de grande taille (150 Km) sans lequel la chimie des eaux évolue progressivement et de façon homogène des monts des Aurès vers les Chotts, c'est à dire selon un gradient Nord-Sud. Le thermalisme ponctuel ne semble pas ponctuel par cette organisation.

Les différentes espèces végétales se distribuent de manière ordonnée par rapport au sel: développement important tant que la salure est modérée et diminution de la taille lorsque la salinité est élevée. Avec l'augmentation de la salinité, *les Salicornes* en pleine croissance contiennent moins d'eau. Ces matières sèches contiennent moins de minéraux. insolubles signe de difficulté d'absorption.

En ce qui concerne les deux périodes étudiées, nous avons présenté les résultats à caractères édaphiques dans une région (Sud de Biskra), parcourue par Oued Djeddi dans un étage bioclimatique aride à hivers frais, les précipitations sont inférieures à 250 mm. Les peuplements inventoriés sont essentiellement halophytes (diverses Chénopodiacées) sont liées à la nature et à la composition biochimique des substrats, les résultats édaphiques montrent fort bien la complexité de ces sols (milieux steppiques et sahariens).

Une composition texturale limoneuse dominante durant les deux périodes de l'année. la texture est composée plus d'éléments fins que grossiers dans la majorité des échantillons. Un pH alcalin dépasse 7 dans la majorité d'échantillons des sols analysés. Il n'existe pas de différence entre les 2 périodes.

La matière organique connaît les valeurs élevées surtout dans les stations proches des zones de cultures. Les bases échangeables varient d'un élément à l'autre, d'un échantillon à l'autre et aussi d'une station à l'autre, cependant on n'enregistre aucune différence significative d'une période à l'autre.

La capacité d'échange cationique est très élevée dans les stations 3 et 4 (plus de 40,77 méq/100 g) durant les deux périodes. Les valeurs de la conductivité électrique sont très prononcées dans la plupart des échantillons du soi.

Les ions chlorures et sulfates connaissent des teneurs élevées justifiant en général l'élévation significative de la conductivité électrique. On remarque de fortes teneurs de calcium et magnésium, Les ions sodium et potassium sont plus faibles.

Afin de mettre l'accent sur l'importance de ces écosystèmes et dans l'esprit d'un travail de recherche, nous avons apporté une contribution dans l'étude édaphique en relation directe avec le dynamisme de la végétation des rives de Oued Djeddi et de ses alentours.

Est- il nécessaire de préciser que le sol constitue le facteur essentiel de la remontée biologique ?

Par ailleurs U est connu que lorsque l'influence de l'homme s'arrête, la dynamique naturelle reprend le dessus. Elle peut être difficile à prévoir, car l'action de l'homme a souvent été longue et intense. Les changements à venir dans la composition des populations vivant dans ces régions pourront induire une modification de la perception et des attentes vis à vis de ces espèces.

Les orientations choisies pour la gestion et la préservation de patrimoine ne peuvent pas être universelles. Le type de steppes de prè-forêt souhaité doit être alors déterminé. Actuellement les critères de protection prédominants sont la diversité paysagère et la biodiversité.

Dans les conditions d'aridité de nos régions Sud de Biskra, Oued Djeddi, le couvert végétal à croissance très élevée par endroit demeure très sensible aux influences mécaniques, tels le pâturage et le défrichement , la réduction du couvert végétal laisse les couches de terre meubles, sans protection exposées au vent et à l'eau, l'érosion d'origine atmosphérique devient effective dans les piémonts où le sol souvent friable et peu épais risque de vite disparaître. La végétation subit des modifications et on parle ainsi de stades de dégradation des ligneux aux herbacées en passant par les broussailles.

# BIBLIOGRAPHIE

1. **ABDUL HALIM R.K.,1986.** Soil salinization and the use of halophytes for forage production in Iraq. Reclam. Reveg. Res., 5 : 75- 82.
2. **ADRIANO DC., 1986.** Trace Elements in the terrestrial environment .Springer, New York, p 533.
3. **AL –DROUBI A ., 1976.** Géochimie des sols et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sels salés du Tchad. Thèse Doct. Ing., Université Strasbourg, 177 p.
4. **AMRANI M., 1990.** Evaluation de l'effet de la salure globale et de la nature des sels sur l'ammonification et la nitrification. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, institut agronomique et vétérinaire Hassan , Rabat, Maroc. 117 p.
5. **ANGLARD M.P., 1984.** Modélisation de l'absorption racinaire des éléments à l'aide du calcul des activités chimiques dans les solutions nutritives. D.E.A., ENSA Toulouse, 110 p.
6. **ANONYME, 1980.** Acide fluorhydrique et fluorures polluants divers. Les odeurs. pp : 258-263, 272-273.
7. **ANONYME , 1984.** Pigments foliaires. Photosynthèse. Polycop. Cours pratique. 8 p.
8. **AUBERT GEORGE, 1965.** Classification des sols et classes, s/ classes s/ groupes des sols utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM, serv. Péd. III, 269-288.
9. **AUSTENFELD F. A, 1986.** Nutrient reserves of *Salicornia europea* Seeds. Physio. Plant., 68 : 446- 450.
10. **AUSTENFELD F. A, 1988.** Seed dimorphism in *Salicornia europea* : Nutrient reserves. Physiol. Plant., 73 : 502-504.

11. **AYADI A., MONNIER A., DEMARTY M. et THELLIER M., 1980.** Echanges ioniques cellulaires : Cas des plantes en milieu salé. Rôle particulier des parois cellulaires. *Physiol.vég.*, 18 : 898-104.
  
12. **BADGER K.S. and UNGAR I.A., 1989.** The effects of salinity and temperature on the germination of the inland halophyte *Hordeum jubatum*. *Can. J. Bot.*, 67 : 1420-1425.
  
13. **BALL P.W. and MROWN K. G., 1970.** Abiosystematic and ecological study of *Salicornia* in the Dee Estuary. *Watsonia.*, 8 : 27-40.
  
14. **BARNEA M. et U.R.S.U.P., 1974.** Pollution et protection de l'atmosphère. Ed. Eyrolles, Paris, Edutira, Technica, Bucarest.
  
15. **BEEK C.G.E. VAN et BREEMEN N. VAN , 1973.** The alcalinity of alcali soils . *J.Soil sci.*, 24 (1) :129- 136.
  
16. **BENABADJI N., 1995.** Etude phyto-écologique des steppes à *Atemisia herba-alba* Asso. Et *Salsola vermiculata* L. au Sud-Ouest de Sebdou (Oranie- Algérie). Thèse doct. Es-Sci. Univ. Tlemcen 225 p.
  
17. **BENABADJI N. et BOUAZZA M., 2000.** Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba*. Asso. Dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Rev. Int. Sci. Sèch. Et chang. Plant.* N°20, 117-124.
  
18. **BENARICHA, 1982.** Génèse et évolution des deux toposéquences de sols tropicaux au Tchad. Interprétation biogéo. Dynamique Thèse d'état, Strasbourg ; 364 p.
  
19. **BERNADAC A., 1989.** Contribution à l'étude de la sélectivité de l'absorption des macro-éléments par le Sorgho. Thèse Doct.INP Toulouse, ....P.
  
20. **BEST K., BANTING J.D. and BOWES G.G., 1978.** The biology of Canadian Weeds. 31. *Hordeum jubatum* L. *Can. Plant Sci.* , 58 : 699-708.
  
21. **BINET P. , 1978.** Définition et Variabilités de L'halophilie et de la resistance aux Sels . *Soc. Bot. France , Acte . Bot. , 3-4 :73-93 .*

22. **BINGHAM F. T., SPOSITO G. and STRONG J.E., 1984.** The effects of chloride the availability of *candnium*. J. Environ. Qual., 13 : 71-74.
23. **BIGOT J., LE SAOS J. et BIVET P., 1983.** Effet du NaCl sur la composition cationique de quelques fractions subcellulaires des racines des haricots et de *Cochlearia anglica*. Physiol. Veg. 1983, 21(1), 3-13.
24. **BOUAZZA M., 1995.** Etude phyto-écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et à *Lygeum spartum* L. au Sud-Ouest de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse doct. Es-Sci. Univ. Tlemcen 220 p.
25. **BOUAZZA M. et BENABADJI N. 1998.** Composition floristique et pression anthropozoïque au Sud-Ouest de Tlemcen. Rev. Sci. Tech. Univ. Mentouri, Constantine ; N° 10, 93-97.
26. **BOURRIE G., 1976.** Relation entre le pH, l'alcalinité, le pouvoir tampon et les équilibres de CO<sub>2</sub> dans les eaux naturelles. Science du sol, 3,141 : 159.
27. **BOURRIE G., 1983.** Potentiel osmotique et potentiel matriciel. Bull. G.F.H.N., 14 : 39-46.
28. **BRAITCH, 1971.** Salt deposits. Their origine and composition *suprringer Verlay*, Berlin ; 297 p.
29. **BRONDINO Ch., 1991.** Utilisation d'un modèle d'association ionique. Rapport de 1<sup>ère</sup> année, E.N.S.C. Montpellier, 23 p.
30. **BRÜGGEMANN W. and JANIESCH P., 1987.** Characterization of plasma-membrane H<sup>+</sup> - ATPase from Salt-tolerant and Salt- sensitive *Plantago* species. J.Plant. Physiol., 130 : 395-411.
31. **BRUN A., 1988.** Effet de NaCl sur une halophyte tropicale (*Carnavalia obusifolia* DC. ) : croissance, distribution de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> état hydrique. Acta Oecologica, Oecol. Plant., 9,2 : 173-186.

32. **CARTER D.L .,1975 .** Problems of salinity in agriculture . In « Plants in saline Environments. Springer édit . : 25-35 .
33. **CHARPENTIER S.,1987.** Modélisation de la variation des composantes matricielle et osmotique du potentiel de l'eau. Milieu poreux et transferts hydriques. Bull. du G.F.H.N., n° 21 : 45-64.
34. **CHAUDRII.I.,SHAHB.G.,NAQVIN.and MALICKI.A.,1964.** Investigation on the role of *Suaeda fruticosa* Forsk. In the reclamation of saline and alkaline soil in West Pakistan plains. Plant Soil, 21 : 17.
35. **CHOVIN P. et ROUSSEL A., 1973.** Acide fluorhydrique et fluorures. Physico-chimique et physiopatho. des polluants atmos. Ed. Masson, Paris, pp. 257-263.
36. **COSTE H., 1980.** Flore descriptive et illustrée de la France. De la Corse et des centrées limitrophes. Second tirage, Tome III, librairie scientifique et technique Albert Blanchard (Ed.), Paris, 807 p.
37. **CREULY F., 1984.** La prédiction de la solubilité des minéraux dans les solutions naturelles concentrées à 25°C. Etude du système Na-K-Mg-Ca-H-CL-SO<sub>4</sub><sup>-</sup> OH- HCO<sub>3</sub> – CO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O. D.E.A., Université Paul Sabatier, Toulouse.79.
38. **DEMARTONNE E., 1927.**Traité de géographie physique, Paris, Ed. Colin, T. 3.
39. **DJAMAI R., 1993.** Contribution à l'étude de la salinité des sols des eaux du lac Fetzara. Thèse Magis. Agro. ; I.N.A. ; Alger ; 10-50 p.p.
40. **DJELAL H.F., 1985.** Etude préliminaire sur la dispersion des polluants fluorés émis par le complexe asmidal d'Annaba. Projet de fin d'études, E.N.P., (Ecole Nationale Polytech.), Dept., Génie de l'environnement, pp. 1-39.
41. **DRESH J., 1960.** Les changements du climat et les mouvements du sol en Afrique du Nord au Plio quaternaire, info. Géo. 107-113.

42. **DUBIEF J., 1963.** Le climat du sahara. Mém ; Inst. Rech. Saha. Alger, 2 tomes, 314 p –275 p.
43. **DUCHAUFFOUR PH., 1977.** Pédologie, Tome I, Pédogénèse et classification, éd. Mass. Cie, Paris, 477 p.
44. **DURAND J., 1953.** Etude hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. S.E.S. – Alger, 269 p.
45. **DURAND J., 1958.** Du nouveau au sujet de la formation des croûtes calcaires. Bull. Soc. Hit. Nat. Afri. Nord, 196-203.
46. **DUTHIL J. , 1973.** Eléments d'écologie et d'agronomie J.B. Baillere édit., T3 : 511-515.
47. **EATON F..M. , 1950.** Significance of carbonates in irrigation waters . Soil science , 69 : 123 \_ 133.
48. **EIJK (Van). M., 1934.** Versuche über den Einfluss des Kochsalz-gehaltes in den Nährlösung auf die. Entwicklung Von Salicornia Hbacea und auf die Zusammensetzung der Salze in ZelinneZn dieser pflaze. Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch., 37, 556 – 561.
49. **ELZAM O. E. et EPSTEÏN E., 1969 a.** – Salt relations of two grass species differing in salt tolerance I. Growth and Salt contents et different salt concentrations. Agrochium., 13,187-195.
50. **ELZAM O. E. et EPSTEÏN E., 1969 b.** – Salt relations of two grass species differing in salt tolerance II. Kenetics of the absorption of  $K^+$  ,  $Na^+$  and  $Cl^-$  by their excised roots. Agrochim., 13,196-206.
51. **EMBERGER L. 1930.** La végétation de la région méditerranéenne , Essai de classification des groupements végétaux . Rev. Gen. Bot, 42 pp , 641- 642 -705 – 721.
52. **FERRAH N., 1983.** Rôle des espaces verts dans la lutte contre la pollution atmosphérique particulaire au niveau de la ville d'Annaba. Mém. D.E.S en Biologie végétale, I.S.N, Univ. Annaba.

53. **FLOWERS T.J., TROKE P.F. and YEO A.R., 1977.** The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 28 : 89-121.
54. **FLOWERS T.J.,1985.** Physiology of halophytes. *Plant and soil.* 89 : 41-56.
55. **FLOWERST.J.,HADJIBAGHRIM.A. and CLIPSONN.J.W.,1986.** Halophytes. *Quart. Rev. Biol.*, 61 : 313-337.
56. **FRITZ B., 1975.** Etude thermodynamique et simulation des réactions entre minéraux et solutions. Application à la géochimie des altérations et des eaux continentales. *Mem. Sci. Géol.*, 41, 152 P.
57. **FRITZ B., 1981.** Etude thermodynamique et modélisation des réactions hydrothermales et diagenétiques. *Mem. Sci. Geol.*, 65, 197 p.
58. **GARREC J. P., PIEBIN R. et LHOSTE A.M., 1977.** Influence du fluore sur la composition minérale d'aiguilles polluées de Sapin ( *Abies alba* Mill). *Environ.Pollution* 13 : 159-167.
59. **GARREC J. P. et VAVASSEUR A., 1978.** Distribution du fluor chez *Populus nigras* L. en zone polluée. Mise en évidence d'une accumulation radiculaire. *Europlan J. of forest pathology*, 8 : 37-43.
60. **GAUCHER G., 1947.** Premières observations sur la plaine de Triffa, mutig. 66p.
61. **GAUSSEN H., 1954.** Géographie des plantes. Etude des aires des plantes, Paris, Ed. Colin.
62. **GAUSSEN H., LEORY J. F. et OZENDA P., 1982.** Précis de botanique T. 2. Végétaux supérieurs. 2<sup>ème</sup> ed. Masson. 580 p.
63. **GERARD H., Le SAOS J. et BOUCAUD J., 1988.** Effet du NaCl sur la teneur et la composition en lipides foliaires et plus particulièrement en galacto-lipides et en

phosphatidyl-glycérol chez *Suaeda maritima* L. Dum. Var. macrocarpa Moq. C.R. Acad. Sci. Paris, N° 306, série III, 75-80.

**64. GHEZLAOUI SIDI M. E. D., 2001.** Contribution à l'étude phyto-écologique des peuplements halophytes dans le Nord de l'Oranie (Algérie occidentale). Thèse Mag. Ecol. Univ. Tlemcen 100 p.+ annexes.

**65. GLEEN E.P. and O'LEARY J.W., 1984.** Relation Ship between salt accumulation and water content of dicotyledonous halophytes. Plant, Cell and Environ., 7 : 253-261.

**66. GOLLEY FB., RICHARDSON T., CLEMENTS RG., 1978.** Biotropica 10 : 144 – 151.

**67. GREEN WAY H. and MUNNS R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. Ann. Rev. Plant physiol., 31 : 149-190.

**69. GUEDDARI M., 1980.** Géochimie des sels et des saumures du Chott El-Jerid. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. U.P.S. Toulouse, 131 p.

**70. GUERRIER G., 1983 a .** Germination de plantes maraîchères et oléagineuses en présence de NaCl . Seed Sci . Techn., 11 : 281 – 292.

**71. GUERRIER G. et BOUGEAIS P., 1989.** Intérêt. Principes et problèmes posés lors de l'obtention de plantes adaptées au NaCl . Rev. Cyclol. Biol . végét. –Bot., 12 : 3-15.

**72. HAGEGE D., KEVERS C., BOUCAUD J. et GASPARD T., 1988.** Activités peroxydasiques, production d'éthylène, lignification et limitation de croissance chez *Suaeda maritima* cultivée en l'absence de NaCl. Plant. Physiol, Biochem., 26 (5) : 609-614.

**73. HAJJI M., 1976.** Comportement du laurier rose en présence de chlorure de sodium . Effets de séjours alternes en milieu salé et non salé . Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Tunis .

**74. HAJJI M., 1978.** Comportement eco-physiologique du laurier-rose (*Nerium oleander*) en milieu salé. Oecol., 13 : 59-74.

75. **HALITIM A., 1985.** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sols dans la génèse et le comportement des sols. Thèse doct. Etat, Univ. Rennes, 1-183.
76. **HALITIM A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie, éd. O.P.U. ; 40-188 p.p.
77. **HAMZA M., 1980.** Réponses des végétaux à la salinité. *Physiol.vég.*, 18 : 69-81
78. **HELGESON H.C., 1969.** The modynemics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressure. *Amer J. sci.*, 267, 724 –804
79. **HELLER R. , 1969.** Nutrition et métabolisme ,Ed. Mass. :547 P.
80. **HOUCHIR., MORANT-AVICE A., FERARD G. et COUDRET A., 1989.** Action du Na CL et du Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> sur la production de biomasse de *Plantago maritima* L. et *Plantago lanceolata* L. *Bull.Amélior. Agr. Milieu Arid.* , 3 : 51-59.
81. **HUETZ DE LEMPS A., 1970.** la végétation de la terre. Initiation aux études de géographie. Ed. Mass., Paris, 133 :20-22.
82. **HUISKES A.H.L., SCHAT H . and ELENBAAS P.F.M., 1985.** Cytotaxonomic status and morphological characterisation of *Salicornia dolichostachya* and *Salicornia brachystachya*, *Acta Botanica Neerlandica*, 34:271-282.
83. **JEFFERRIES R.L., DAVY A.J and RUDMIK T and GOTTLIEB L.D., 1981.** Population biology of the solt marsh annual *Salicornia europaea ag.* *Journal of Ecology*, 69: 1- 15.
84. **JEFFERRIES R.L. and GOTTLIEB L.D., 1982.** Genetic differentiation of the *microspecies Salicornia europaea L. (Sensu stricto)* and *S. ramosissima*. *J. Woods. NEW Phytologist*, 92: 123-129.
85. **JOB J.O., 1985.** Essai de corrélation entre la conductivité électrique et la composition ionique des solutions du sol. D.E.A. ENSAM-USTL Montpellier (France), 86 p.

- 86. JOB J.O., COCHONNEA G. et CHEVAZLIER N., 1987.** Calcul des activités des ions. Estimation de la conductivité électrique des solutions par la méthode des polynômes et celle des activités . 1<sup>ères</sup> journées informatique sur la valorisation des données physico-chimiques, 20-26 Octobre 1987, Centre ORSTOM de bondy (France) , 12 p.
- 87. JOHANSEN C., Edwards D.G. et Lonerangan J.F., 1968.** – Interaction between Potassium and Calcium in their absorption by intact borley. Plant. I. Effet of potassium on calcium absorption plant physiol., 43, 1717 –1721.
- 88. KHOURI Y., 1966.** - Réactions physiologiques au chlorure de sodium. Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle. Faculté des Sciences. Univ. de Paris.
- 89. LABORDE-DEBAT O., 1986.** Modélisation des solutions ioniques carbonatées concentrées. Applications aux saumures naturelles du Chott El-Jerid (Tunisie).D.E.A., UPS Toulouse, 45 p.
- 90. LE-HOUEROU H. N., 1971.** Les bases écologiques de la production pastorale et fourragère en Algérie, 60 p. F.A.O. Div. Prot.
- 91. LESSANI H., 1969.** Recherches sur le comportement physiologique de la luzerne en présence de chlorure de Sodium. Thèse Doct. Univ. de Paris.
- 92. Le SAOS J., 1974.** Etude de l'absorption du calcium chez un halophyte *Cochlearia anglica* L. Action du NaCl. Physiol. Vég., 12,653-664.
- 93. Le SAOS J., 1976. a.** – Relation Na<sup>+</sup> - Ca<sup>++</sup> chez un halophyte *Cochlearia anglica* L. Thèse Doct. Etat, Univ.de Caen.
- 94. Le SAOS J. et BINET P. , 1987.** Halophilie et alimentation calcique chez *Suaeda maritima* L. Dum. Variété *macrocarpa* Moq. Acta Oecologica, Oecol. Plant.,8 (22),:127-134
- 95. MACKE A. and UNGAR I.A., 1966.** The effect of salinity on the germination and early growth of *Puccinellia nuttalliana*. Can. J.Bot., 49: 515-520.

96. **MAIRE 1926.** Carte phytogéographique au 1/100 000 modifiée.
97. **MARKET B., 1987.** Interelement correlation in plants. *Fresenius Z Anal Chem.*, 329:462-465.
98. **MC CUNE D.C. et HITCH COCK. A.E. 1969.** Fluoride in forage. Factors determining its accumulation from the atmosphere and concentration in the plant. Byce. Thompson, Inst. of plant, DxeSearch. Youkers, New york, U.S.A., M.P., 40: 289-292.
99. **MC NEAL B.L., OSTER J.D and HATCHER J.T., 1970.** Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in situ estimation of soil salinity. *Soil Science*, Vol 110, n°6, 504:414.
100. **NEFFAR S., 1990.** L'accumulation Spatio-temporelle du fluor par deux espèces liché niques corticoles : *Physia bizrana* (insitu) et *Xautharia parictia* (transportée). Mém. d'ingénieur d'état en Ecol. et Environ., I.S.N., Univ. Annaba.
101. **OLSON SR., 1972.** Micronutrient Interactions. In :Mortvedt JJ, Giordano PM, Lindsay WL (eds) *Micronutrients in agriculture* . Soil science society of America, Madison , Wisconsin, pp 243 – 264.
102. **O.N.M., 1987.** Atlas climatologique national. Recueil de données, Station de Biskra.
103. **OSMOND C. B., 1966.** – Divalent absorption and interaction in Atriplex. *Austr. J. biol. Sci.*, 19, 37 – 38 – 48.
104. **OZENDA P., 1983.** Flore du Sahara. 2<sup>e</sup> ed. C.N.R.S., 615 p.
105. **PAVAN M., BINGHAM F.T. and PRATT P.F., 1982.** Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with Ca CO<sub>3</sub> , Mg CO<sub>3</sub> , and CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. *Soil Sci.Soc. Am.J.*,46: 1201-1207.
106. **PHILIPUPILLI J. and UNGAR I.A., 1984.** The effect of seed dimorphism on the germanation and sulvival of *Salicornia europea* L. population . *Am. J.Bot .*, 71: 542-549.

107. **POUGET M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroises, Doct. Univ. Aix-Marseille III, 555 P.
108. **PUA E.C. and THORPE T.A., 1986.** Differential response of no selected and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selected callus culture of *Beta vulgaris* o salt stress. Plant Physiol., 123:241- 248.
109. **QUEZEL P. et SANTA S. 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. T.1.Ed C.N.R.S., 558 p.
110. **QUEZEL P. et SANTA S . 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I, 460 p.
111. **RAMADE F., 1974.** Eléments d'écologie appliquée Mac Graw Hill édit., Ed. Sci. :488P.
112. **RAMADE F., 1979.** Ecotoxicologie, Coll. d'Eco., 2<sup>ème</sup> ed., Masson, 9 :41-164.
113. **REDMANN R.E and FEDECP., 1987.** Mineral ion composition of halophytes and associated soils in Western Canada.Commun. In Soil sci.Plant Anal., 18 (5):559-579.
114. **REZAGUI M., 1993.** Dynamique des sels dans les eaux et les plantes halophytes (*Salicornia* L. ) dans deux régions arides (Algérie et Espagne). Thèse de Magister. Univ. Annaba. 71 p.
115. **RHOADES, 1972.** Quality of water for irrigation soil. Sciences, Vol. 113, n° 4, p.p. 277-284.
116. **RUELLAN A., 1971.** Les sols à profil calcaire différenciés des plaines de la basse Moulaya et dans l'ensemble du Maroc. Description, pédogénèse et classification, ORSTOM, 178 p.
117. **RUSSEL E.W. 1973.** Soil Conditions and plant growth . Longman edit. :849P.
118. **STOOT PR. , MEAGHER WR , PEARSON GA ,JOHNSON CM.,1951.** Plant Soil, 3 : 51 – 87.

119. **SCOTTA.J.,1977.** Reinstatement and revision of *Salicorniaceae* J. Agardh . ( Caryophyllales). Bot. J.Linn. Soc., 75:357-374.
120. **SEMADIA., 1989.** Effets de la pollution atmosphérique (Pollution globale, fluorées et plombique) sur la végétation dans la région d'Annaba. (Algérie). Thèse de Doctorat d'état Es Sci. Nat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI. 339 p.
121. **SERRANO R., 1984 a.** Plasma membrane ATPase of fungi and plants as a novel type of proton pump. Curr.Top.Cell.Regul., 23:87-126.
122. **SERVANT, 1975.** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Thèse Doct. Etat; univ. Montpellier, 192 p.
123. **SHEFFER M., RRIED A., GOTTLIEB H.E., TIETZ A.and AVRON M., 1986.** Lipid composition of the plasma-membrane of the *haloterant alga Dunaliella salina*. Biochim. Biophys. Acta, 857: 165-172.
124. **SIMONEAU P., 1961.** Les centres d'études d'irrigation du Sahara occidental. Essais et etudes de la compagne 1957/58 à 1960. Trav. Sect. Pédo. Et agrologie N° 5 et 6, pub. Serv. Es. Sc.
125. **SLAMA F., 1974.** – Absorption du Sodium et du Potassium par des fragments de limbe et de tige du haricot et du Cotonnier. Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, univ. de Paris.
126. **SOUDI B. 1988.** Etude de la dynamique de l'azote dans les sols marocains: caractérisation et pouvoir minéralisateur. Thèse Doctorat es sciences agronomiques, institut Agronomique et vétérinaire Hassan II , Rabat, 140 p.
127. **SPOSITO G. 1984.** The futur of an illusion: ion activities in Soil solution . Soil sci. Soc. Am. J., 48, 3 : 531-536.
128. **SPOSITO G. 1985.** Chemical models of inorganic pollutants in Soil. CRC Crit. Rev. Environ. Control, 15 :1-24.

129. **SPOSITO G . AND TRAINA S.J , 1987.** An ion-association for highly saline, sodium chloride-dominated Waters. *J. Environ. Qual.*, 16, 1 : 80-85.
130. **STUMPF D.K., PRISCO J.T., WEEKS J.R, LINDLEY V.A. and O'LEARY J.W., 1986.** Salinity and *Salicornia begelovü* Torr. Seed ling. Water relation. *J. Exp. Bot.*, 37, 175: 160-169.
131. **SUHAYDA C.G., REDMANN R.E, HARVEY B.L and CIPYWNYK A.L., 1992.** Comparative response of cultivated and Wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop sci.*, 32: 154-163.
132. **SZABOLCS I., 1979.** Soil Salinisation and Alcalinization Processes. *Agrokemia es talajtan*, 28 ( Supplem.) , 11-32.
133. **SZE H., 1984.** H + - Translocating ATPase of plasma membrane and tonoplast of plant cells. *Physiol .Plant.*, 61: 683-691.
134. **SZE H., 1985.** H + - translocating ATPase : advances using membrane vesicles. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36: 175-208.
135. **TANJII K.K., 1969.** Predicting specific conductance from electrolytics properties and ion association in some aqueous solutions. *Soil Sci. Soc Amer. Proc.*, 33 : 887-890.
136. **TREMBLING. ET BINET P., 1982.** Installation d'Halopeplis amplexicaulis( Vahl) Ung. Dans une sebkhas algérienne. *Acta Oecologica, Oecol.Plant.*, 3 (17), 4 : 373-379.
137. **TREMBLIN G. ET BINET P., 1984.** Halophilie et résistance au sel chez Halopeplis amplexicaulis ( Vahl.) Ung. *Acta Oecologica, Plant.*, 5 (19), 3 : 291-293.
138. **TREMBLIN G. et COUDRET A., 1986.** Salinité, transpiration et échanges de CO<sub>2</sub> chez *Halopeplis amplexicaulis* ( Vahl.) Ung. *Acta Oecologica, Plant.*, 7 (21), 4 : 417-431.
139. **TRISKA J. 1977.** Flore d'Europe. Ed. GRUND, PARIS, 298 p.
140. **UNGAR I.A ., 1979** Seed dimorphism in *Salicornia europea* L. *Bot . Gaz.*, 140: 102-108.

141. **UNGAR I.A ., BENNER D.K. and Mc GRAW D.C., 1979.** The distribution and growth of *Salicornia europea* on an inland salt pan. Ecology , 60:329-336.
142. **UNGAR I.A .,1987 a .** Population characteristics, growth, and survival of the halophyte *Salicornia europea*. Ecology, 68 (3):569-575.
143. **UNGAR I.A ., 1987 b .** Population ecology of halophyte seeds. Bot. Rev ., 53,3: 301-334.
144. **VALLES V., 1985.** Etude et modélisation des transferts d'eau et de sels dans un sol argileux. Application au calcul des doses d'irrigation. Thèse Doct., INP Toulouse, 15, 146 p.
145. **VALLES V., BERNADAC A., BOURRIER G. et MORARD P., 1990.** Préviation de la précipitation des phosphates dans les solutions nutritives contenant de L'EDTA par le modèle VEGACT 2.....
146. **VALLES V., VALLES A.M et TARDY Y ., 1990.** Géochimie de milieux poreux. Retention de l'eau ou de solutions salées par la silice amorphe. Calcul du potentiel osmotique de solution salées dans les pores d'une poudre de calcite. Science de sol. 28,2 : 137-147.
147. **VALLES V., REZAGUI M.,Louis AUQUE L., SEMADI A., ROGER L. et ZOUGUARRI L., 1997.** Geochimistry of Saline Soils in Two Arid Zones of the Mediterranean Basin. I. Geochimistry of the Chott Melghir- Mehrouane Watershed in Algeria. Arid Soil Research and Rehabilitation. 11 : 71-84. 1997.
148. **VIALLET P., 1975.** La pollution de l'air : Effets –moyens de lutte- Prévention – Mesure et détection. Encyclop. De l'environ.. et de la protection de la nature, Guy le Prat-Editeur, Paris, pp : 18-66.
149. **WACQUANT J.P., 1969.** Adsorption,Absorption cationique préférentielle et Ecologie Végétale. Bull. Soc. Franç. Physiol. Végéta., 15, 2 : 237-251.

150. **WACQANT J.P., 1977.** Physiochemical selectivity for cations CFC of grass roots . Plant and soil, 47 :257-262.
151. **WANG K.Y., SUHAYDA C.G.and REDMANN R.E., 1992.** Identification of physiological ecotypes in *Hordeum jubatum* based on reponses to salinity stress. Can. J. Bot., 70 : 1123-1130.
152. **WILIAMS M.D.and UNGARI A.,1972.** The effect of environmental parameters on the germination, growth and development of *Suaeda depressa* ( Pursh.). Wats. Am. J. Bots., 59 :912-918.
153. **WILKON-MICHALSKA J., 1985.** Structure and dynamics of the inland populations of *Salicornia patula*. Vegetatio., 61 :145-154.
154. **YEO A.R. and FLOWERS T.J., 1986.** Ion transport in *Suaeda maritima* : its relation to growth and implication for the pathway of radial transport of in across the root. J. Exp. Bot., 37 : 143-159.
155. **YOSHIDA S., UEMURA M., NIKI T., SAKAI A. and GUSTA L.V., 1983.** Parition of membrane particles in aqueous two- polymer phase system an its pratical use for purification of plasma membrane from plants. Plant physiol., 72 :105-114.
156. **ZAAFOUR M. 1993.** Incidence de la pollution atmosphérique fluorée d'origine industrielle sur la biologie et la physiologie de la reproduction du Poirier commun (*Pyrus communis*)., Thèse de Magister en Biologie végétale et physiologie de la reproduction des végétaux. I.S.N., Univ. Annaba. 301p.

# LISTE DES TABLEAUX

---

	Page
Tab. I : Valeurs de coefficient osmotique en fonction de la température et de la force ionique .....	11
Tab. II : Valeurs des coefficients A, B, et C <sub>0</sub> en fonction de la température .....	16
Tab. III : Récapitulation des principaux rejets fluorés .....	42
Tab. IV : Sensibilité relative de certaines plantes aux composés fluorés .....	48
Tab. V : Variations des indices mensuels d'aridité de Démarctonne appliqués à la région de Biskra... .....	54
Tab. VI : Localisation des solutions prélevés .....	61
Tab. VII : Description des échantillons (première période) .....	82
Tab. VIII : Description des échantillons (deuxième période).....	83
Tab. IX et IX bis : Composition minéralogique des efflorescences salines déterminées à partir de diffractogramme Rayon X... .....	88-89
Tab. X : Résultats d'analyses à la micro-sonde (M.E.B) des efflorescences Salines... .....	92
Tab. XI : Composition chimique des solutions (valeurs exprimées en moles/Kg d'eau)... .....	94
Tab. XII : Matrice des corrélations entre les différents types d'approche du potentiel osmotique... .....	97
Tab. XIII : Résultats de l'ACP sur les eaux .....	101
Tab. XIV : Analyse des correspondances effectuées sur les solutions .....	101
Tab. XV : Variation spatiale de la teneur en fluor dans les échantillons d'eau prélevés dans Oued Djeddi... .....	108
Tab. XVI : Variation spatiale de la teneur en calcium des échantillons d'eau de Oued Djeddi .....	109
Tab. XVII : Variation spatiale des rapports matières fraîches/ matière sèche et matière minérale/ matière sèche de <i>Salicornia fruticosa</i> dans le milieu d'étude.....	111
Tab. XVIII : Variation spatiale du calcium chez <i>Tamarix articulata</i> .....	112

Tab. XIX : Variation spatiale du calcium chez <i>Salsola vermiculata</i> .....	112
Tab. XX : Variation spatiale du calcium chez <i>Salicornia fruticosa</i> .....	112
Tab. XXI : Variation spatiale du calcium chez <i>Limonium guyaninum</i> .....	113
Tab. XXII : Caractéristiques physiques du sol ( première période)...	120
Tab. XXIII : Caractéristiques physico-chimiques du sol ( première période).....	121
Tab. XXIV : Caractéristiques physico-chimiques de la solution aqueuse (première période).....	124
Tab. XXV : Caractéristiques physiques du sol (deuxième période) .....	132
Tab. XXVI : Caractéristiques physico-chimiques du sol (deuxième période) .....	134
Tab. XXVII : Caractéristiques physico-chimiques de la solution aqueuse (deuxième période) .....	137

# LISTE DES FIGURES

---

	Page
Fig. 1 : Fugacité des gaz réels et idéaux (d'après FRITZ, 1975) .....	08
Fig. 2 : Cycle de Hess appliqué à l'eau du sol (d'après BOURRIER, 1983) .....	12
Fig.3 : Les mécanismes de transfert cationique (d'après Wacquant, 1977) .....	20
Fig. 4 : <i>Salicornia fruticosa</i> près de Oued N'sigha.....	37
Fig. 5 : Variations mensuelles de la Température de la région de Biskra (1971-1997).....	50
Fig. 6 : Evolution mensuelle de la pluviométrie de la région de Biskra (1971-1996).....	51
Fig. 7 : Transect pluvial saisonnier de la région de Biskra (1971-1996)... ..	51
Fig. 8 : Variations de la vitesse moyenne des vents de la région de Biskra (1971-1996).....	52
Fig. 9 : Variations mensuelles de l'hygrométrie de la région de Biskra (1971-1996).....	52
Fig. 10 : Régime mensuel de l'évaporation de la région de Biskra (1971-1996).....	53
Fig. 11 : Diagramme ombrothermique de la région de Biskra (1971-1996).....	53
Fig.12 : Climmagramme d'Emberger.....	56
Fig. 13 : Localisation des zones étudiées (chotts) au niveau de la région de Biskra.....	57
Fig. 14 : Vue générale de Oued Bendjelloul... ..	58
Fig. 15 : Schéma représentant les différents sites de prélèvements au niveau de la région de Biskra... ..	60
Fig. 16 : Vue générale de Oued Djeddi.....	62
Fig. 17 : L'eau thermale de Chegga... ..	63
Fig. 18 : Localisation des stations d'etude.....	66
Fig. 19 : Station 1 transect 1 Est-Ouest.....	67
Fig. 20 : Station 1 transect 2 Nord-Sud .....	69
Fig. 21 : Station 2 transect Nord-Sud .....	70

Fig. 22 : Station 3 transect Nord-Sud .....	71
Fig. 23 : Station 4 transect Nord-Sud .....	72
Fig. 24 : Station 5 transect Nord-Sud .....	74
Fig. 25 : Localisation des transects des différentes stations (1 <sup>ère</sup> période).....	80
Fig. 26 : Localisation des transects des différentes stations (2 <sup>ème</sup> période) .....	81
Fig. 27 : Pics représentant la composition minéralogique d'une efflorescence saline de Oued Rign déterminée à partir de diffractogrammes rayons X... ..	90
Fig. 28 : Photo représentant l'abondance du gypse dans les efflorescences salines : observation au M.E.B (X2000).....	93
Fig. 29 : Photo représentant l'abondance de la halite dans les efflorescences salines : observation au M.E.B (X2000).....	93
Fig. 30 : Relation liant la conductivité électrique au résidu sec pour les échantillons d'eau .....	96
Fig. 31 : Evolution simulée de la composition chimique des échantillons d'eau au cours de leur concentration.....	98
Fig. 32 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la calcite et la pression partielle équilibrante en CO <sub>2</sub> .....	102
Fig. 33 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport au gypse .....	104
Fig. 34 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à l'anhydrite.....	104
Fig. 35 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la mirabilite.....	105
Fig. 36 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la glaubérite.....	106
Fig. 37 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la Bléodite.....	106
Fig. 38 : Diagramme d'équilibre des échantillons d'eau par rapport à la halite.....	107

Fig. 39 : Relation liant l'abaissement du point de congélation au résidu sec et à La conductivité électrique pour les échantillons d'eau .....	110
Fig. 40 : Capacité de <i>Suaeda</i> à fixer les dunes de sable... ..	114
Fig. 41 : Capacité de <i>Salsola</i> à fixer les dunes de sable... ..	115
Fig. 42 : Fixation des dunes de sable par différentes espèces végétales .....	117
Fig. 43 : Fixation des dunes de sable par <i>Suaeda</i> .....	118
Fig. 44 : Fixation des dunes de sable par <i>Salsola</i> .....	118
Fig. 45 : Les différentes classes de texture des sols (1 <sup>ère</sup> période) .....	119
Fig. 46 : Les différentes classes du pH de la solution aqueuse du sol ... ( 1 <sup>ère</sup> période)... ..	122
Fig. 47 : Les différentes classes de la matière organique (1 <sup>ère</sup> période).....	122
Fig. 48 : Disque de fréquences moyennes des bases échangeables (1 <sup>ère</sup> période).....	123
Fig. 49 : Les différentes classes de la capacité d'échange cationique... ..	124
Fig. 50 : Représentation sur diagramme de Piper les différents anions solubles de la solution du sol ( 1 <sup>ère</sup> période).....	125
Fig. 51 : Représentation sur diagramme de Piper les différents cations solubles de la solution du sol ( 1 <sup>ère</sup> période).....	126
Fig. 52 : Les différentes classes de la conductivité électrique (1 <sup>ère</sup> période)... ..	126
Fig. 53 : Relation entre la conductivité électrique et l'ESP (1 <sup>ère</sup> période) .....	127
Fig. 54 : Relation entre la conductivité électrique et le résidu sec (1 <sup>ère</sup> période).....	128
Fig. 55 : Relation entre la conductivité électrique et le sodium soluble (1 <sup>ère</sup> période).....	128
Fig. 56 : Relation entre la conductivité électrique et les chlorures (1 <sup>ère</sup> période).....	129
Fig. 57 : Relation entre le sodium et les chlorures (1 <sup>ère</sup> période).....	129
Fig. 58 : Relation entre le calcium et les chlorures (1 <sup>ère</sup> période).....	130
Fig. 59 : Relation entre le calcium et les sulfates (1 <sup>ère</sup> période).....	131
Fig. 60 : Relation entre le sodium et les sulfates (1 <sup>ère</sup> période)... ..	131
Fig. 61 : Les différentes classes de texture des sols (2 <sup>ème</sup> période)... ..	133
Fig. 62 : Les différentes classes du pH de la solution aqueuse du sol ( 2 <sup>ème</sup> période)... ..	133

Fig. 63 : Les différentes classes de la matière organique ( 2 <sup>ème</sup> période).....	135
Fig. 64 : Disque de fréquences moyennes des bases échangeables ( 2 <sup>ème</sup> période).....	135
Fig. 65 : Les différentes classes de la capacité d'échange cationique ( 2 <sup>ème</sup> période).....	136
Fig. 66 : Représentation sur digramme de Piper les différents anions solubles de la solution du sol (2 <sup>ème</sup> période).....	138
Fig. 67 : Représentation sur digramme de Piper les différents cations solubles de la solution du sol (2 <sup>ème</sup> période).....	139
Fig. 68 : Les différentes classes de la conductivité électrique (2 <sup>ème</sup> période).....	140

# ANNEXES

## **Annexe A1 : Dosage de l'alcalinité totale carbonatée**

### **Matériels :**

- Ph mètre avec sonde de température,  
Pipette de précision 20 ml,

### **Solutions :**

- Breite 50  $\mu$ l,
- Solutions  $H_2SO_4$  et NaOH (0,1N),
- Solutions tampons

### **Mode opératoire :**

A l'aide de la solution tampons ( pH = 7 ensuite PH = 4), on fait l'étalonnage du pH mètre et de sa sonde de température.

Après filtration de l'échantillon d'eau, on prélève 20 ml du filtrat et on mesure son pH initial.

A l'aide d'une burette on ajoute progressivement de l' $H_2SO_4$  (0,1N), on ajoute la solution et on mesure son pH après chaque ajout de 50  $\mu$ l d'acide. On continue ce titrage jusqu'à obtention du pH < 5 (c'est le dosage direct).

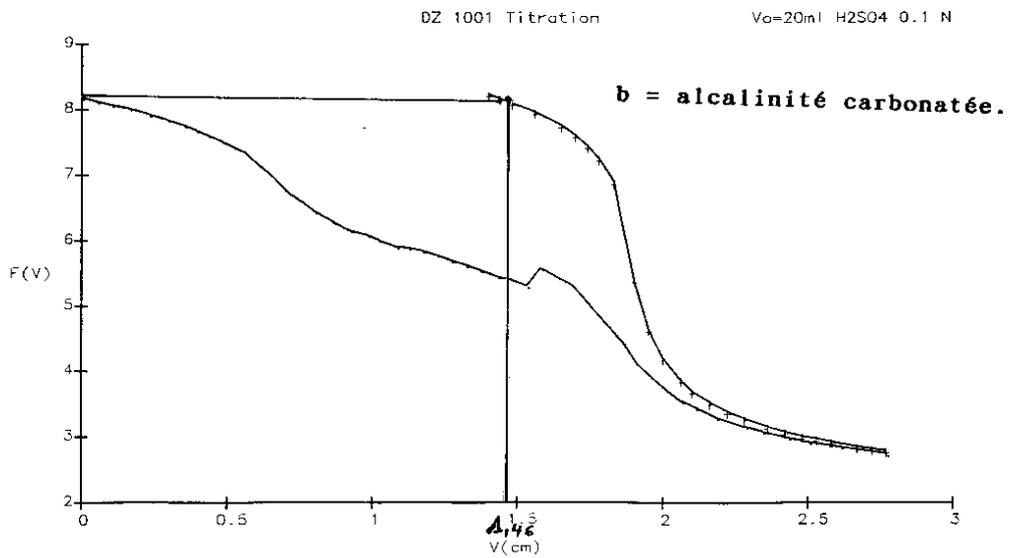
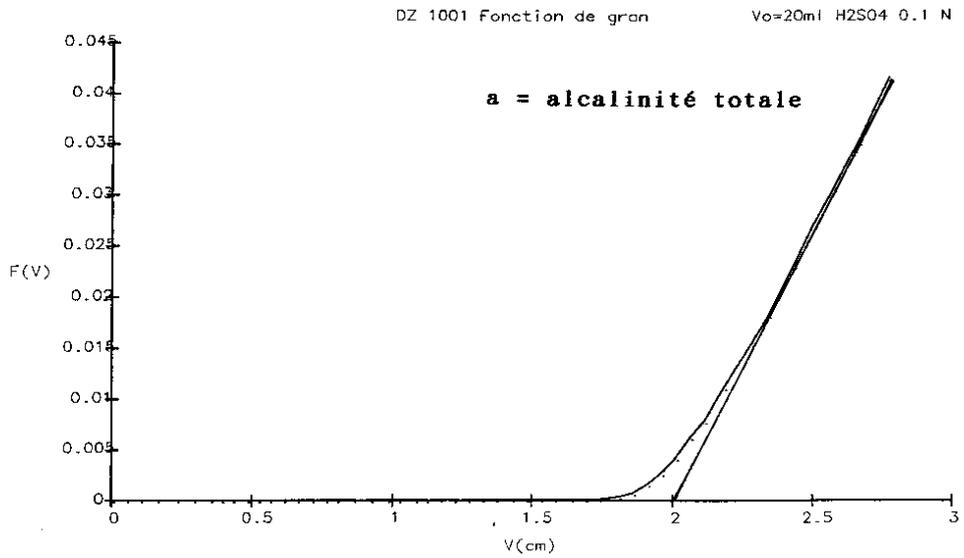
On fait la même opération pour le dosage de retour, mais cette fois –ci on ajoute progressivement dans la solution obtenue par dosage direct de la soude NaOH (0, 1N) jusqu'à obtention du pH initial de la solution.

On représente la fonction de GRAN :

$$F(V) = (V_0 + V) \cdot 10^{-pH}$$

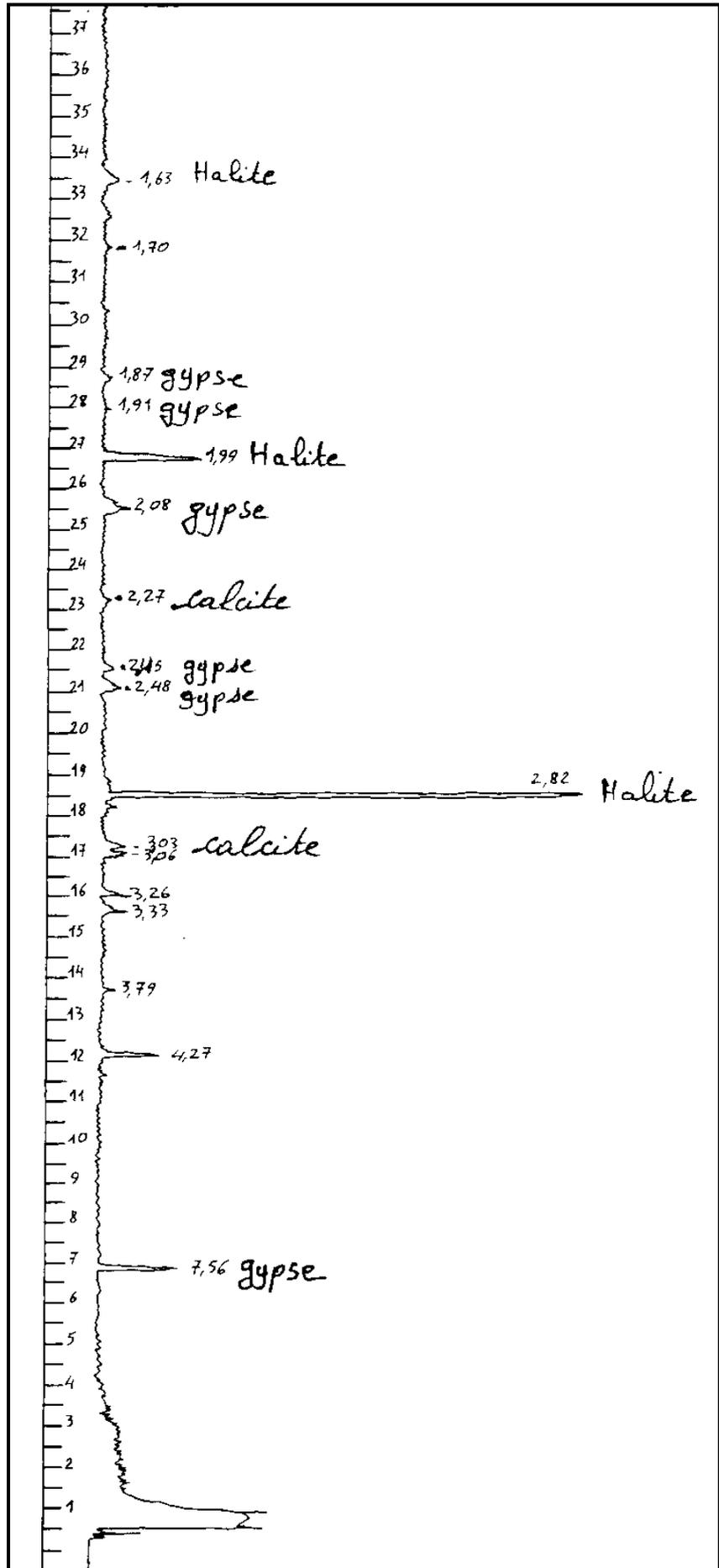
$V_0$  = Volume initial de l'échantillon

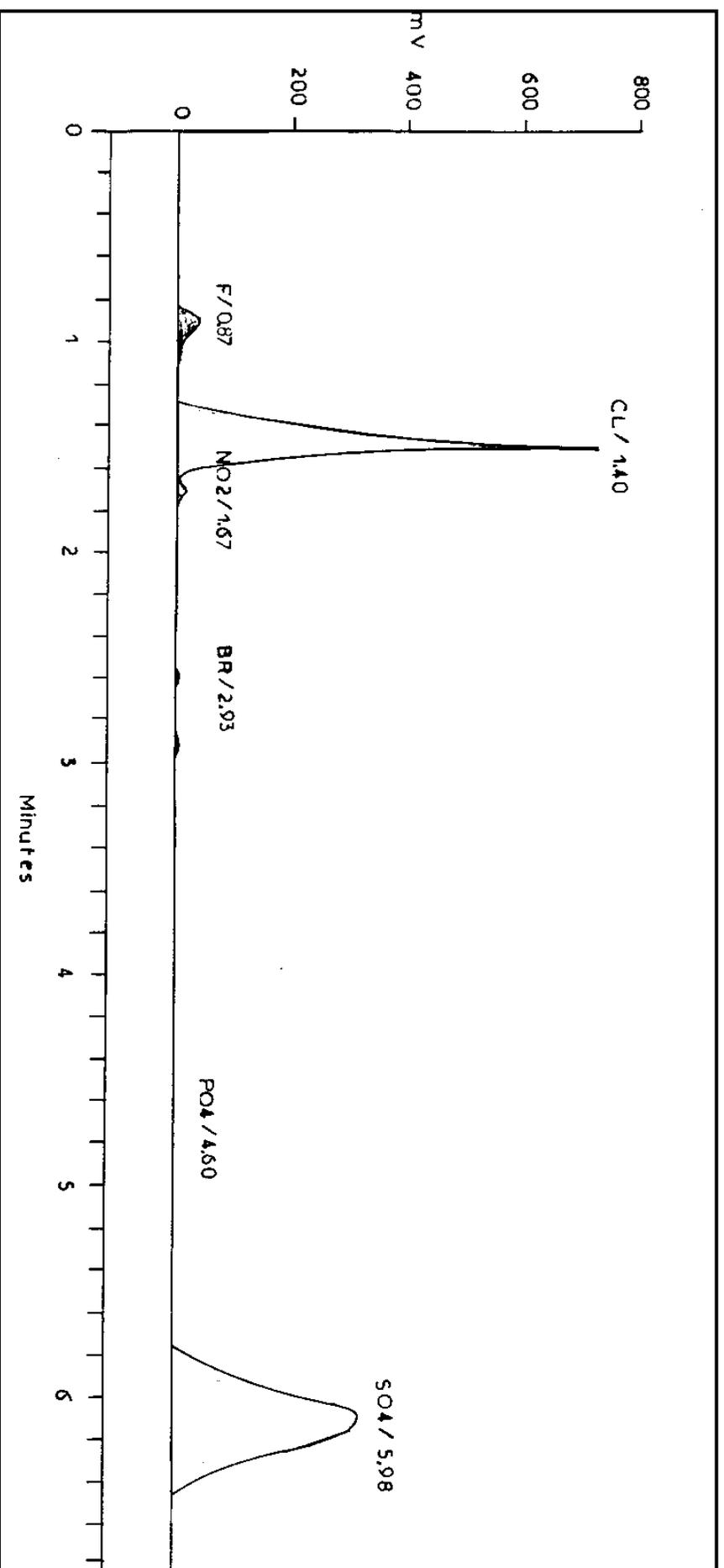
$V$  = Volume d'acide ajouté



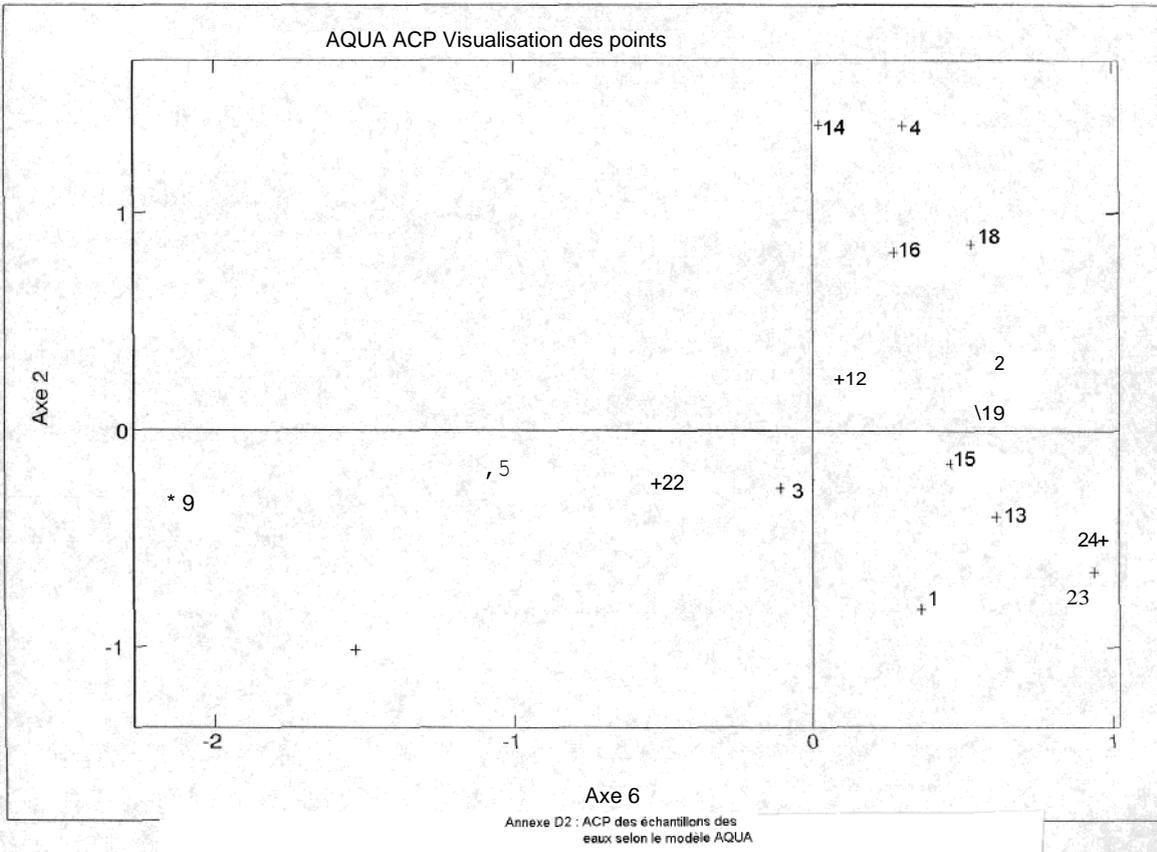
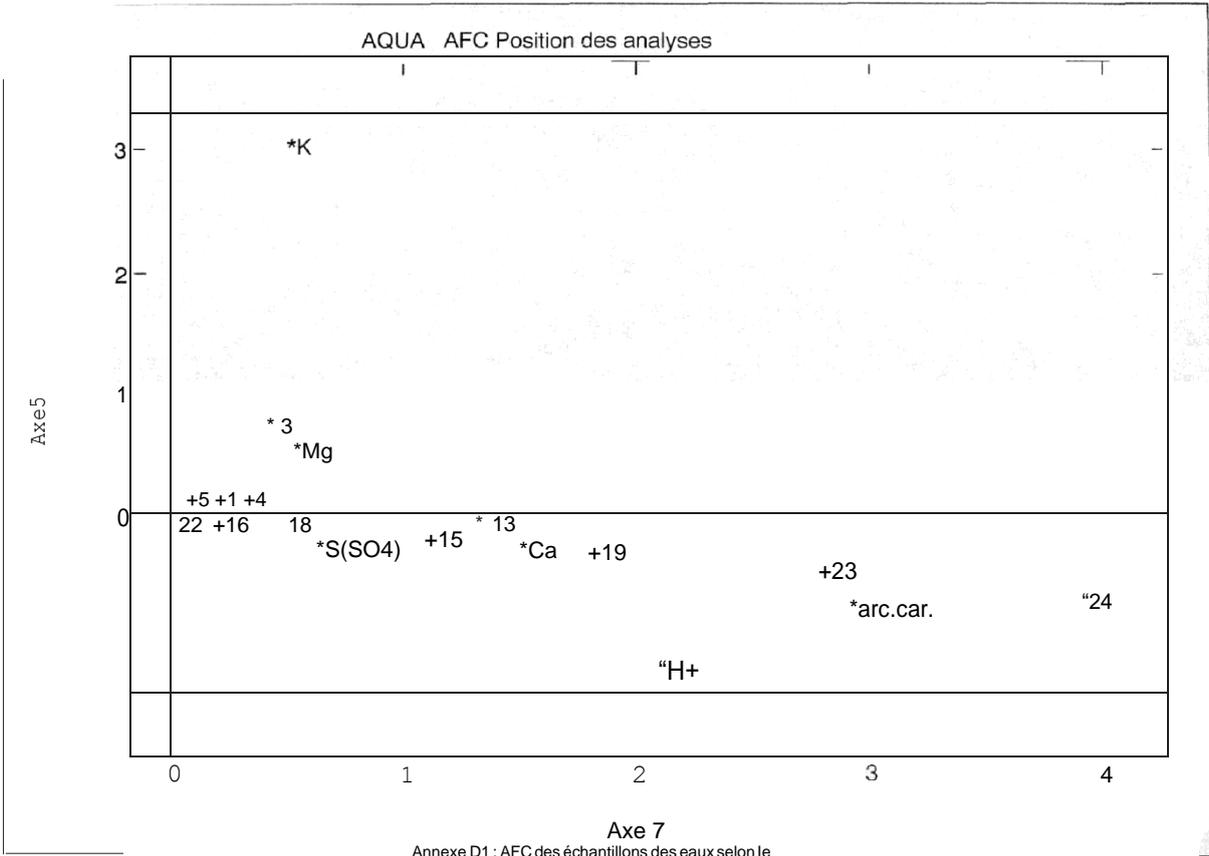
**Annexe A2 : Exemple du dosage de l'alcalinité totale (a) et de l'alcalinité carbonatée (b).**

Annexe B1 : Pics représentant la composition minéralogique d' une efflorescence Saline du chott Melghir déterminée à partir de diffractogrammes rayons-X





Annexe C1 : Pics représentant la composition chimique de l' échantillon  
19 Obtenu par chromatographie ionique



**TABLEAU E1 : Données thermiques de la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
M(°C)	18,1	20,8	23,7	27,9	33,7	37,8	41,7	41,4	35,2	29,5	23,5	19,6	<b>29,41</b>
(M+m)/2 (°C)	11,5	14,1	21,4	19,9	25,5	29,6	33,6	33,7	27,8	22,1	16,6	13,4	<b>22,43</b>
m (°C)	6,4	7,4	19,2	11,9	17,4	21,5	25,5	26	20,5	14,7	9,8	7,2	<b>15,63</b>

**TABLEAU E2 : Données pluviométriques de la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
P(mm)	12,1	8,8	12,8	10,8	12,2	5,8	1,8	6,2	15,1	16	16,8	7,9	126,3

**TABLEAU E3 : Transect pluvial saisonnier de la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Eté	Automne	Hivers	Printemps
13,8	47,9	28,8	35,8

**TABLEAU E4 : Vitesse des vents de la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Vent(m/s)	4,9	4,7	5,1	7,2	6,4	5,1	4,3	4,3	5,7	4,8	4,5	4,4	<b>5,12</b>

**TABLEAU E5 : Données hygrométriques de la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
HR(%)	55,4	50	43,8	38,6	35,2	29,4	28,2	29,9	39,4	45,9	56,7	57,9	<b>42,53</b>

**TABLEAU E6 : Données de l'évaporation relative à la région de Biskra sur une moyenne de 25 ans (1971-1996)**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin.	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
ETP(mm)	105	136	148	257	341	324	454	475	337	260	187	146	<b>264,17</b>

**TABLEAU F1: Capacité de Suaeda à fixer les dunes de sable**

<i>Plants</i>	<i>S.A.C.V ( Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>H.P(Cm)</i>	<i>H.B(Cm)</i>	<i>D.P (Cm)</i>
1	2 826	25	30	60
2	7 132	30	25	95
3	314	15	10	20
4	11 304	15	40	120
5	2 579	15	20	57

**TABLEAU F2: Capacité de Salsola à fixer les dunes de sable**

<i>Plants</i>	<i>S.A.C.V ( Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>H.P(Cm)</i>	<i>H.B(Cm)</i>	<i>D.P (Cm)</i>
1	3 846	35	15	70
2	15 150	25	45	120
3	2 826	20	15	60
4	17 737	40	55	150
5	13 331	70	30	130
6	5 024	30	25	80
X	9 652	37	31	102

**TABLEAU F3: Comparaison de la capacité de fixation des dunes par différentes espèces végétales**

<i>Espèce végétale</i>	<i>S.A.C.V ( Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>H.P(Cm)</i>	<i>H.B(Cm)</i>	<i>D.P (Cm)</i>
<i>Salsola</i>	9 652	35	31	102
<i>Astragalus</i>	5 024	75	0	80
<i>Suaeda</i>	2 826	30	20	60
<i>Retama</i>	5 024	70	30	80
<i>Limonium</i>	20 424	20	40	220 *70

**S.A.C.V** : Surface aérienne du couvert végétal

**H.P** : Hauteur du plant

**H.B** : Hauteur de la butte

**D.P** : Diamètre du plant

**TABLEAU G1: Type de salinisation anionique et cationique du sol (1<sup>ère</sup> période)**

Stations	ECH		Salinisation anionique	Salinisation cationique	
			CT/SO4	CA <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> /Mg <sup>++</sup> +Ca <sup>++</sup>
S <sub>1</sub>	1		3,72	2,01	0,43
	3		1,84	1,38	0,49
	5		1,36	2,54	0,32
	6		3,38	2,04	0,62
S <sub>2</sub>	1		1,62	0,70	0,99
	3		3,00	1,01	0,43
	5		0,86	2,03	0,36
	8		2,52	1,55	0,35
	9		2,89	0,33	0,70
S <sub>3</sub>	1		2,54	0,77	0,29
	2		2,36	2,12	1,79
	4		1,89	0,52	0,37
	6		1,23	2,03	0,37
	8		2,22	1,30	0,45
	11		2,65	0,58	0,47
S <sub>4</sub>	1		1,27	0,51	0,90
	3		5,60	0,68	0,45
	6		2,95	1,01	0,89
S <sub>5</sub>	1		0,20	0,70	0,42
	3		1,62	1,09	0,62
	5		1,70	1,71	0,47

**TABLEAU G 2: Type de salinisation anionique et cationique du sol (2<sup>ème</sup> période)**

Stations	ECH		Sali.anionique	Salinisation cationique	
			CT/SO4	CA <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> /Mg <sup>++</sup> +Ca <sup>++</sup>
P <sub>1</sub>	1		1,86	2,04	0,34
	3		0,26	1,03	0,32
	5		3,42	0,81	0,41
P <sub>2</sub>	1		0,44	1,50	0,56
	3		0,30	1,35	0,53
	5		4,20	4,06	0,19
P <sub>3</sub>	1		0,09	1,72	0,22
	2		0,50	1,03	0,80
	3		0,13	0,83	0,44
	4		1,78	0,88	0,54
P <sub>4</sub>	1		0,31	1,55	0,30
	2		2,96	1,45	0,35
P <sub>5</sub>	S1	EA	2,10	2,11	0,29
		EB	2,95	1,34	0,59
	S2	EA	0,69	1,01	0,26
		EB	2,17	0,52	0,83

# T A B L E D E S M A T I E R E S

AVANT PROPOS

INTRODUCTION

## P R E M I E R E P A R T I E : R A P P E L S B I B L I O G R A P H I Q U E S

Page

### C H A P I T R E 1 : T H E R M O D Y N A M I Q U E D E S S O L U T I O N S A Q U E U S E S E T

MODALISATION

I/ FONDEMENT THERMODYNAMIQUE ..... 06

ECHELLES DE CONCENTRATION... 06

POTENTIEL CHIMIQUE ET ACTIVITE... 07

COEFFICIENT D'ACTIVITE... 09

ACTIVITE DE L'EAU... 10

POTENTIEL DE L'EAU, POTENTIEL OSMOTIQUE ET POTENTIEL DE

PRESSION... 11

POTENTIEL DE L'EAU... 12

POTENTIEL OSMOTIQUE ET POTENTIEL DE PRESSION... 12

II/ ALCALIMITE ET ALCALIMITE RESIDUELLE... 13

ALCALIMITE... 13

ALCALIMITE RESIDUELLE... 14

III/ LES MODELS THERMODYNAMIQUES... 15

LOI DE DEBYE – HUCKEL... 15

MODELE D'ASSOCIATION IONIQUE ..... 16

MODELE D'INTERACTION IONIQUE SPECIFIQUE... 18

### C H A P I T R E 2 : R E L A T I O N P L A N T E - S O L

I/ LES CORRELATIONS INTER-ELEMENT DANS LES PLANTES... 18

LES INTERACTIONS SOL-SOL... 18

LES INTERACTIONS SOL-PLANTES.....	19
LES INTERACTION PLANTES-PLANTES... ..	19
II/ LES PROPRIETES D'ECHANGES CATIONIQUES ET DES SELECTIVITES	
CATIONIQUES DES RACINE .....	19

### **CHAPITRE 3 : APERCU SUR LES PLANTES HALOPHYTES**

I/ NOTION D'HALOPHILIE.....	22
II/ CARECTERISTIQUES DES HALOPHYTES .....	23
LE MILIEU... ..	23
DONNEES BIOLOGIQUES.....	23
STRESS DU A LA SALINITE.....	24
III/ SENSIBILITE OU TOLERANCE DES PLANTES AUX SELS .....	26
IV/ ADAPTATION DES PLANTES AU NaCL .....	26
V/ EFFET DE NaCL SUR LES PLANTES... ..	27
VI/ EFFET DE LA SALINITE ET DE LA TEMPERATURE SUR LAGERMINATION...28	
VII/ LES ASSOCIATIONS D'HALOPHYTES... ..	29
VIII/ INTERET ECONOMIQUE DES PLANTES HALOPHYTES.....	30

### **CHAPITRE 4 : SOLS AFFECTES PAR LE SEL**

I/ NOTION DE SOL SALE.....	31
II/ TYPE DE SOLS SALES .....	32
LES SALISOLS .....	32
LES SODISOLS... ..	33
III/ REPARTITION GEOGRAPHIQUE.....	34
IV/ VEGETATION NATURELLE.....	35
V/ UTILISATION ET MISE EN VALEUR.....	35

### **CHAPITRE 5 : DEVELOPPEMENT DES SALOCORNES**

I/ SYSTEMATIQUE.....	37
II/ CARACTERISTIQUES BOTANIQUES.....	37
<i>Salicornia fruticosa</i> .....	37
<i>Salicornia herbacea</i> .....	38
III/ ECOLOGIE.....	38

## **CHAPITRE 6 : LE FLUOR DANS L'ENVIRONNEMENT**

I/ GENERALITES SUR LE FLUOR... ..	39
II/ ETAT NATUREL ET PREPARATIONS... ..	39
III/ PROPRIETES PHYSIQUES... ..	40
IV PROPRIETES CHIMIQUES .....	40
V/ ACTION PHYSIOLOGIQUE... ..	42
VI/ APPLICATIONS .....	43
VII/ IMPACT DU FLUOR SUR L'ENVIRONNEMENT .....	44
EFFET SUR L'HOMME... ..	44
EFFET SUR LES ANIMAUX... ..	45
EFFET SUR LES VEGETAUX... ..	45
EFFET SUR LES PHANEROGAMES... ..	46

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES**

### **CHAPITRE 1 : LOCALISATION ZONALE**

I/ CARACTERISTIQUES BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES MILIEUX.....	49
LE RELIEF.....	49
LES SOLS.....	49
LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	49
LA FLORE NATURELLE... ..	49

II/ CLIMATOLOGIE DES ZONES D'ETUDES.....	50
2.1 REGIME THERMIQUE... ..	50
2.3 REGIME PLUVIOMETRIQUE... ..	51
LE VENT .....	51
HUMIDITE RELATIVE... ..	52
EVAPORATION.....	52
SYNTHESE CLIMATIQUE... ..	53
DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOUL ET GAUSSEN. ....	53
L'INDICE D'ARIDITE DE DERMATONNE.....	54
DEFICIT HYDRIQUE.....	55
ETAGE BIOCLIMATIQUE DES ZONES ETUDIEES... ..	55

## **CHAPITRE 2 : ZONE D'ETUDE ET SITES DE PRELEVEMENT**

I/ CHOTTS... ..	58
II/ LES OUED... ..	59
III/ LES NAPPES.....	62
IV/ LES EAUX THERMALES.....	64

## **CHAPITRE 3 : NATURE DES ECHANTILLONS PRELEVES ET MESURES EFFECTUEES SUR TERRAIN**

I/ LES SOLUTIONS.....	64
II/ LES EFFLORESCENCES ET LES MINERAUX... ..	65
III/ LA VEGETATION.....	65
STATION 1.....	65
STATION 2.....	68
STATION 3.....	68

STATION 4.....	68
STATION 5... ..	73
IV/ LE SOL... ..	73
<b><u>CHAPITRE 4</u> : TECHNIQUES ANALYTIQUES UTILISEES</b>	
I/ LES EAUX NATURELLES.....	73
II/ LES EFFLORESCENCES ET LES SEDIMENTS.....	75
III/ ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLUTIONS... ..	75
IV/ PREPARATION ET ANALYSE DES VEGETAUX.....	76
RELATION MATIERE FRAICHE – MATIERE SECHE.....	76
TECHNIQUE ANALYTIQUE DU FLUOR.....	77
PRINCIPE DU DOSAGE DU FLUOR... ..	77
METHODE DE DOSAGE UTILISEE... ..	77
V : PREPARATION ET ANALYSE DU SOL.....	79
ECHANTILLONNAGE ET PRELEVEMENT .....	79
... ANALYSES.....	79
GRANULOMETRIE... ..	79
5.2.2. PH (EAU).....	84
5.2.3. PH (KCL)... ..	84
CARBONE ORGANIQUE.....	84
MATIERE ORGANIQUE.....	84
BASES ECHANGEABLES.....	84
CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE... ..	85
POURCENTAGE DE SODIUM ECHANGEABLE... ..	85
CONDUCTIVITE ELECTRIQUE... ..	86

CHLORURES.....	86
ANIONS... ..	86
CATIONS SOLUBLES.....	86
5 .2.13. SULFATES.....	86

## TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

<u>CHAPITRE 1</u> : RESULTATS RAYONS X .....	87
<u>CHAPITRE 2</u> : M.E.B... ..	91
<u>CHAPITRE 3</u> : ANALYSE DES SOLUTIONS.....	91

I/ DENSITE DES SOLUTES.....	91
II/ CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES EAUX NATURELLES .....	95
III/ GEOCHIMIE DES SOLUTIONS NATURELLES.....	97

DIAGRAMME DE CONCENTRATION.....	97
TRAITEMENT DES DONNES PAR AFC ET ACP.....	100
ETUDE DE L'EQUILBRE AVEC DIFFERENTS MINERAUX.....	101

DIAGRAMME D'EQUILBRE AVEC LA CALCITE ET PRESSION PARTIELLE EQUILIBRANTE EN CO <sub>2</sub> .....	102
---	-----

DIAGRAMME D'EQUILBRE AVEC LE GYPSE ET L'ANHYDRITE .....	103
DIAGRAMME D'EQUILBRE AVEC LA MIRABILITE ET LA BLEODITE.	105

DIAGRAMME D'EQUILBRE AVEC LA HALITE.....	106
COMPARAISON AVEC LE CHOTT EL DJERID (TUNISIE) .....	108
CONFRONTATION AVEC LA MINERALOGIE.....	108
TENEUR EN FLUOR DANS LES ECHANTILLONS D'EAU.....	108
TENEUR EN CALCUIM DANS LES ECHANTILLONS D'EAU... ..	109
CONCLUSION PARTIELLE SUR LA CHIMIE DES EAUX.....	109
IV/ POTENTIEL OSMOTIQUE.....	110
4.1 RELATION ENTRE LA SALINITE ET LE POTENTIEL OSMOTIQUE... .	110

#### **CHAPITRE 4 :** ANALYSE DES VEGETAUX

<i>I/ RAPPORT MATIERE FRAICHE / MATIERE SECHE ET MATIERE MINERALE / MATIERE SECHE CHEZ Salicornia fruticosa.....</i>	<i>111</i>
II/ TENEUR EN CALCUIM DA NS LES ECHANTILLONS VEGETAUX... ..	112
CHEZ <i>Tamarix articulata</i> .....	112
CHEZ <i>Salsola vermiculata</i> .....	112
CHEZ <i>Salicornia fruticosa</i> .....	112
CHEZ <i>Limonium guyanianum</i> .....	113
III/ CAPACITE DES PLANTES A FIXER LES DUNES DE SABLE.....	113
PAR <i>Suaeda</i> .....	113
PAR <i>Salsola</i> .....	114
PAR DIFFERENTES ESPECES VEGETALES.....	115

#### **CHAPITRE 5 :** RESULTAT D'ANALYSE DU SOL

I/ CARACTERISTIQUES DES SOLS POUR LA PREMIERE PERIODE.....	119
--	-----

CARACTERISITIQUES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES.....	119 1.1.1
TEXTURE...	119
1.1.2 PH.....	122
CARBONE ORGANIQUE.....	122
MATIERE ORGANIQUE.....	122
BASES ECHANGEABLES.....	123
1.1.6 C.E.C... ..	123
1.1.7 E.S.P... ..	125
ANIONS SOLUBLES... ..	125
CATIONS SOLUBLES... ..	125
CONDUCTIVITE ELECTRIQUE... ..	126
RELATION ENTRE LES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUE.....	127
RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET L'ESP.....	127
RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET LE RESIDU SEC.....	127
RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET LE SODUIM... ..	128
RELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET LES CHLORURES .....	128
RELATION ENTRE LE SODIUM ET LES CHLORURES... ..	129
RELATION ENTRE LE CALCIUM ET LES CHLORURES... ..	129
RELATION ENTRE LE CALCIUM ET LES SULFATES... ..	130
RELATION ENTRE LE SODIUM ET LES SULFATES... ..	131
CONCLUSION PARTIELLE... ..	131
II/ CARACTERISTIQUES DES SOLS POUR LA DEUXIEME PERIODE... ..	132
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES... ..	132

TEXTURE...	132
2.1.2 PH.....	133
MATIERE ORGANIQUE.....	135
BASES ECHANGABLES.....	135
2.1.5 C.E.C.....	136
2.1.6 ESP.....	136
ANIONS SOLUBLES .....	138
CATIONS SOLUBLES.....	138
CONDUCTIVITE ELECTRIQUE.....	139
CONCLUSION PARTIELLE.....	140
<b><u>CHAPITRE 6</u> : TYPOLOGIE DES STEPPES SALEES.....</b>	<b>140</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>146</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>149</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## Summary

This work aims to specify the relations vegetal species – milieu, in order to allow the characterization of the salted grounds of chotts of the area of Biskra and the valley of Oued Djeddi.

This study shows the existence of narrow correlation between the floristic composition of inventoried vegetable communities and salinity. It arises that the more salinity increases, the more the size of the plants is reduced.

The zone of study presents an arid climate at desert, with a significant endoreichydrographic network.

The structure of this last acts directly on the destiny of seepage waters, which leads to the formation of the salted grounds and of brines of the sodic type chloruré/sulfate these results the characteristics of the ecological behavior of ascertain number of species confirm. They highlight the capacity of the species to fix the dunes, but also the special distribution according to salinity.

The composition of our results shows the existence of alchemical and chlorinate-calcic facies in the south anta chlorinate-sodic facies towards North. These two types of facies occupy several thousands of hectare sand are characterized by a very strong electric conductivity, exceeded 10 mmhos/cm with 25°C only.

It seems that the climatic conditions, involve an evolution of salinity which are to be put in relation to the gradient textural.

**Keywords :** arid areas, chotts, halophilic vegetation, brines,Biskra.

## ملخص

يُتناول موضوع بحثنا تحدي العلاقات بين الأنواع النباتية والبيئة من أجل السماح بوصف التربة الملوحة للشطوط ني منطقة بسكرة ووادي جدي.

حيث تُظهر هذه الدراسة وجود علاقة وثيقة بين المجموعات النباتية التي تم جردها والملوحة، نكلمنا كازت درجة الملوحة مرتفعة ككلمنا قل حجم النباتات.

تتميز منطقة الدراسة بمناخ جاف صحراوي وشبكة هيدروغرافية داخلية مهمة. تعمل بنية هذه الأخيرة بشكل مباشر على مصير تسرب المياه مما يؤدي إلى تشكل ترب مالحة ومحلول ملحية من نوع كلوريد/كبريتات الصوديوم.

تؤكد هذه النتائج خصائص السلوك البيئي لعدد من الأنواع النباتية، نهي نسل الوو على قدرتها على تثبيت الكائنات الرملية وعلى التوزيع الخاص حسب الملوحة.

كما تُظهر مقارنة نباتنا وجود سحنات كيميائية من نوع كلوريد الكالسيوم ني الجنوب و سطح كلوريد الصوديوم بانجاه الشمال.

يشغل هذان النوعان من الأوجه الكيميائية عدة آلاف من الهكتارات ويتميزان بموصلية كهربائية عالية جدا تتجاوز 01 مللوس/سم عند 52° ق.

يبدو أن الظروف المناخية أدت إلى تطور الملوحة التي يجب ربطها بالتدرج البيئي.

**الكلمات الرئيسية :** مناطق جافة، شطوط، محلول ملحية، نباتات محبة للملوحة، بسكرة.

## Résumé

Ce travail a pour objectif de préciser les relations espèces végétales - milieu, afin de permettre la caractérisation des sols salés de chotts de la région de Biskra et de la vallée de Oued Djeddi.

Cette étude montre l'existence de corrélation étroite entre la composition floristique de communautés végétales inventoriées et la salinité. Il en ressort que plus la salinité augmente, plus la taille des plantes est réduite.

La zone d'étude présente un climat aride à désertique, avec un réseau hydrographique endoréique important.

La structure de ce dernier agit directement sur la destinée des eaux d'infiltration, ce qui conduit à la formation des sols salés et de saumures de type Chloruré/Sulfaté sodique.

Ces résultats confirment les caractéristiques du comportement écologique d'un certain nombre d'espèces. Ils mettent en évidence la capacité des espèces à fixer les dunes, mais aussi la répartition spéciale en fonction de la salinité.

La comparaison de nos résultats montre l'existence d'un faciès chimique et chloruré-calcique au Sud et un faciès chloruré- sodique vers le Nord. Ces deux types de faciès occupent plusieurs milliers d'hectares et sont caractérisés par une très forte conductivité électrique, dépassait 10 mmhos /Cm à 25°C seulement.

Il semble que les conditions climatiques, entraînent une évolution de la salinité qui sont à mettre en relation avec le gradient textural.

**Mots clés :** zones arides, chotts, saumures, végétation halophile, Biskra.