



Université de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie

n° de série.....

n° d'ordre

Mémoire de Magister en

Sciences Agronomiques

Option

Agriculture et environnement dans les régions arides

Thème

**Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des
sols dans leur contexte naturel : Cas de la plaine d'El Outaya**

Présenté par

Rechachi Miled Zohra

Devant le Jury :

PRESIDENT	BELHAMRA Mohamed	Maître de conférence A	Univer.Biskra
D. de MEMOIRE	CHEBBAH Mohamed	Maître de conférence A	C.U Mila.
EXAMINATEURS	BARKAT Djamel	Professeur	Univer. Biskra.
	YOUCEF Leila	Maître de conférence A	Univer.Biskra.
INVITE D'HONNEUR	LAKHDARI Fattoum	Directrice du C.R.S.T.R.A	Biskra

Introduction et but de l'étude

Dans les régions à déficit hydrique, la salinisation des sols est identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres irriguées conduisant, souvent, à une diminution de la production sur de nombreux périmètres selon la vulnérabilité de leurs sols, particulièrement dans les zones arides et semi-arides qui, dans plusieurs des cas, mette en cause leur pérennité.

Dans les régions arides, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture ce qui exige une maîtrise des ressources en eaux et en sols, suivant les cas et en fonction des conditions environnementales, les sols contiennent des sels en quantité plus ou moins importante.

Les phénomènes de salinisation et de sodisation provoquent une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui a des effets néfastes sur les cultures. Par ailleurs, la forte concentration de la solution du sol en sels solubles induit une augmentation de sa pression osmotique qui limite l'absorption de l'eau par les plantes. Certaines concentrations ioniques peuvent être à l'origine de phénomènes de toxicité pour les cultures, la salinisation et sodisation des sols et de faiblesse des rendements des cultures. (Daoud et Halitim, 1994).

Comme, la cause principale de cette salinisation est la qualité des eaux d'irrigation utilisées ajoutée aux particularités des sols mis en question ; notre sujet se propose d'étudier, l'impact de la qualité de ces eaux sur l'évolution de la salinisation des sols dans leur contexte naturel en milieu aride ; cependant et afin de pouvoir quantifier cet impact la plaine d'El-Outaya, répétée entre autre pour les cultures en orges et en pleine extension agricole, a été choisie comme cas d'étude.

L'objectif principal de cette étude est de suivre les modifications de la composition originelle des sols en sels au cours d'un cycle de culture. Il est question de mesurer et d'analyser les compositions en sels des sols avant et après irrigation et de quantifier leur degré de salinisation en fonction de la composition des eaux utilisées.

Dans une première partie, nous précisons les principales caractéristiques (géographique, hydrogéologique, nature des sols,...etc.) de la plaine et par conséquent son contexte naturel.

La deuxième partie se consacre à l'étude de la qualité des eaux sollicitées en irrigation dans la région d'étude (eaux souterraines et eau du barrage Fontaine des Gazelles). Le

principal objectif sera l'identification et/ou la classification de ces eaux à partir d'une étude hydrochimique détaillée en exploitant les données existantes et la réalisation de nouvelles analyses.

La troisième partie sera consacrée à l'étude de salinité globale des sols cultivés dans la plaine. Deux campagnes d'échantillonnages et d'analyses de sols ont été effectuées (une avant irrigation et l'autre après récolte).

La finalité de cette étude est l'établissement d'une répartition spatiale des sols dans la plaine selon leur vulnérabilité à la salinisation en fonction de la chimie des eaux et les cultures utilisées donc une quantification de l'impact qualité des eaux – salinisation des sols dans leur contexte naturel, et ceci dans le but d'aider et de faciliter le choix et la sélection des périmètres cultivables en fonction de la qualité des eaux disponibles pour une gestion rationnelle de la ressource hydrique et les terres cultivables dans le cadre d'un développement durable de la région.

Chapitre I : Cadre géographique et climatique

I.1. Situation géographique

La plaine d'El-Outaya, au Nord-ouest de la ville de Biskra, fait partie de la zone des Zibans (versant sud des Aurès) et s'étend sur environ 330 Km² (33300 ha). Elle constitue une entité géographique propre formant une cuvette presque fermée. Elle est limitée :

Au Nord par les Djebels Melah, Meddiane et Magraoua.

A l'Est par l'Oued Branis et Djebel Mohar.

Au Sud par Djebels Oum Djenib, Gouara et Aroussine avec au Sud-est Dj. Bourhzal.

A l'Ouest par Djebels Rebaa, Ed Deba et Ksoum.

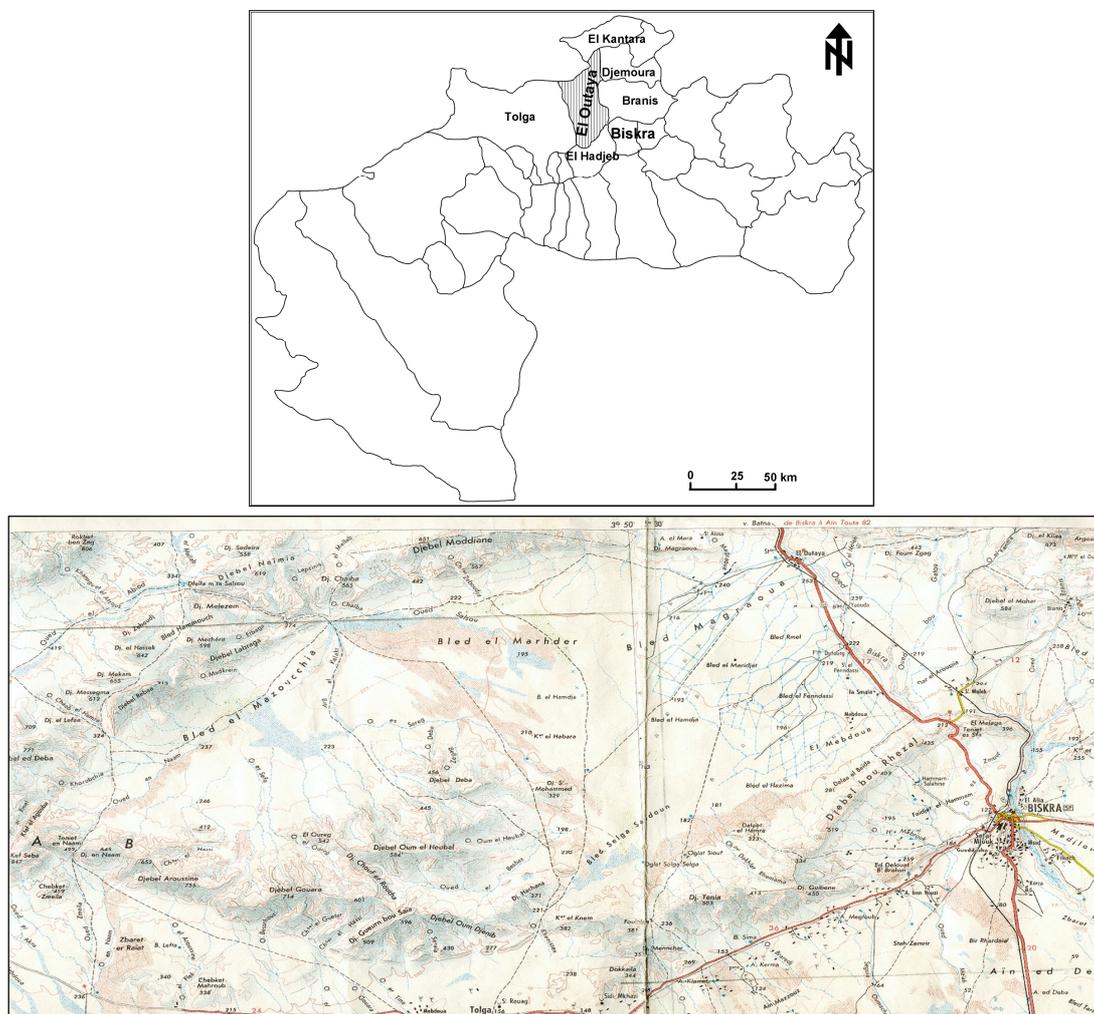


Fig. N° 1 : Situation géographique de la plaine d'El-Outaya.

I.2. Etude climatique

I.2.1. Données climatiques

La plaine d'El-Outaya (Biskra) est située à la limite des étages bioclimatiques aride et hyper aride puisque la pluviométrie annuelle moyenne est de 108 mm ; l'irrigation est donc indispensable pour les cultures.

I.2.1.1. Les précipitations

D'après les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelle indiquées dans le tableau N° 1 on remarque qu'un maxima de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 0.5 mm, par contre le mois le plus humide est Janvier avec 22.5 mm.

mois	J	F	M	A	M	J	J	AO	S	O	N	D
Pluviométrie Moyenne (mm)	22,5	7,1	12,3	17,5	8,8	3,2	0,5	3,2	12,8	10,6	16,3	14,7

Tab n°1 : Données des moyennes mensuelles des précipitations en mm, Période (1995-2008). (Station météorologique de Biskra).

I.2.1.2. Les Températures

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaud en Juillet avec 41 °C et le mois le plus froid en Janvier avec 6.84 °C où la moyenne annuelle est de 22.4 C°.

Mois	J	F	M	A	M	J	JUI	AO	S	O	N	D	Moy
M C°	16,9	19,4	23,4	26,7	31,5	37	41	39,6	33,8	29	21,8	17,4	28.1
m C°	6,84	8	11,3	14,8	20,1	24,8	27,8	27,7	23,2	18	11,85	7,9	16.8
Moy C°	11.87	13.7	17.35	20.75	25.8	30.9	34.4	33.6	28.5	23.5	16.8	12.6	22.4

Tab n°2 : Données des températures moyennes mensuelles en C°, Période (1995-2008). (Station météorologique de Biskra).

M : moyenne mensuelle des Maximums.

m : moyenne mensuelle des minimums.

Moy : moyenne mensuelle.

I.2.1.3. Les Vents

Les vents de sable sont fréquents pendant le printemps et l'été. En période hivernale, les vents Nord-Ouest sont les plus dominants. La vitesse maximale des vents s'observe au mois d'Avril atteignant 7.7 m/s, par contre la vitesse minimale est de 2 m/s au mois d'Août.

Mois	J	F	M	A	M	J	JUI	A	S	O	N	D	Moy
Vitesse Maximale (m/s)	7	6,1	6,6	7,7	7,4	6,1	5,8	5,1	5,7	5,4	5,4	5,4	6.14
Vitesse Minimale (m/s)	5,6	3,4	2,9	4,8	3,7	2,9	2,8	3	3,3	2	3,4	3	3.4
Vitesse Moyenne (m/s)	4,2	4,18	4,3	5,52	5,27	4,19	4,06	3,72	4,04	3,46	3,79	3,5	4.77

Tab n°3 : vitesse des vents pendant la période (1996 -2005).

(Station météorologique de Biskra).

I.2.4. L'Humidité relative de l'air

L'examen du tableau N° 4 montre que les mois les plus humides sont Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre et Décembre avec respectivement un taux d'humidité de 57.6 %, 48.6%, 41.6, 48.2%, 53.7 %, 60.6% . L'humidité la plus faible est enregistrée en Juillet avec un taux de 26.1 %.

Mois	J	F	M	A	M	J	JUI	A	S	O	N	D	Moy
Humidité Relative Moy de l'air (%)	57,6	48,6	41,6	37,5	32,3	28,1	26,1	29	40,5	48,2	53,7	60,6	42

Tab n°4: L'humidité relative moyenne de l'air pendant la période (1994 -2008).

(Station météorologique de Biskra).

I.2.1.5.L'Evapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante pendant le mois de Juillet avec 420.8 mm. Par contre elle est très faible au mois de Janvier avec 110.8 mm.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D	Moy
ETP Moy (mm)	110,8	140,4	195,5	257,69	329,1	370,6	420,8	385,9	290,2	198,22	144,2	159,5	250,25

Tab n°5 : l'Evapotranspiration en mm durant la période (1996-2005).

(Station météorologique de Biskra).

I.2.2. Classification du climat

I.1.2.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen

D'après ce diagramme, la période sèche s'étale sur toute l'année. Dans cette période, la courbe de pluviométrie passe au dessous de celle de la température.

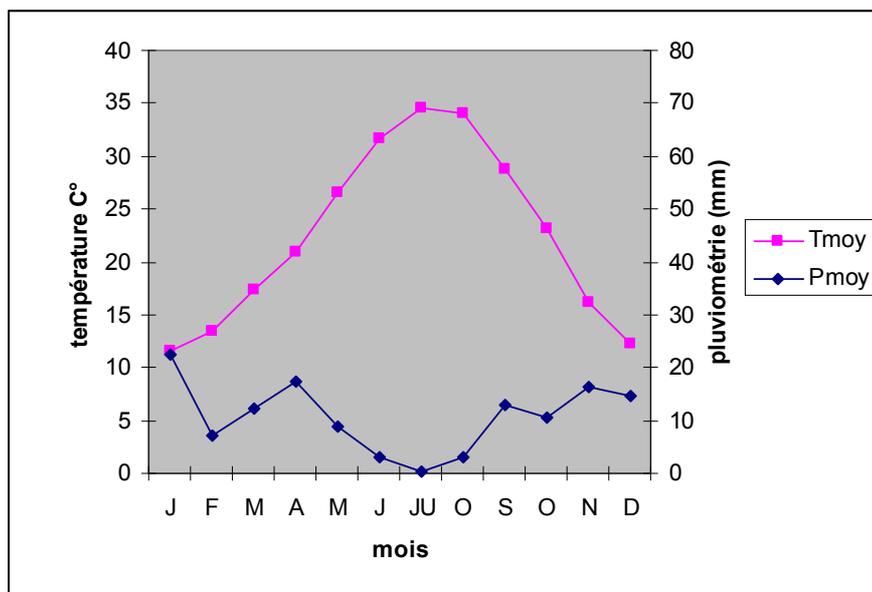


Fig.N°2: Diagramme ombrothermique de Gaussen, période (1996-2005).

I.2.2.2. Le Quotient pluviométrique d'Emberger

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région.

Nous avons utilisé la formule de Stewart (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q2 = 3.43 P / M - m$$

P : pluviométrie annuelle moyenne en mm

M : moyenne des maxima le mois le plus chaud.

m : moyenne des minima le mois le plus froid.

Le quotient Q2 calculé par cette formule est égal à **13.03**

L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'Emberger nous a permis de situer Biskra dans l'étage bioclimatique **Saharien à hivers doux**.

I.2.3. Etudes Climatiques de la plaine d'El-Outaya

L'installation d'une station météorologique dans le site expérimentale SEO d'El-Outaya du centre de recherche C.R.S.T.R.A durant l'été 2008, a permis d'enregistrer certains paramètres climatiques pendant la période de **Octobre 2008 à Septembre 2009** voir la température, la pluviométrie, les vents, humidité relative.

I.2.3.1. Les précipitations

D'après les valeurs de la pluviométrie moyenne journalières indiqués dans le tableau N° 6 on remarque que un maxima de sécheresse durant le mois le plus chaud (Août) avec une pluviométrie de 0.01 mm, par contre le mois le plus humide est Septembre avec 2.97 mm.

mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	AO	S
Pluviométrie Moyenne (mm)	1,09	0,23	1,50	2,20	0,29	1,35	1,57	1,37	0,02	0,51	0,01	2,97

Tab n°6 : Données des moyennes journalières de précipitation (en mm)

Période (Octobre 2008-Septembre 2009). (Station météorologique d'El-Outaya).

I.2.3.2. Les Températures

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaud en Juillet avec 41.54 C° et le mois le plus froid en Décembre avec 3.75 C° où la moyenne annuelle est de 20.05 C°.

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	M
M (C°)	25,79	18,87	14,35	15,03	15,96	21,30	22,91	31,28	37,35	41,54	39,77	31,12	26,27
m (C°)	14,91	7,47	3,75	5,22	3,83	6,09	9,76	16,55	21,76	25,89	27,56	18,85	13,45
Moy (C°)	20,38	13,15	8,80	9,84	9,89	13,73	16,27	24,55	30,36	34,42	33,82	25,34	20,05

Tab n°7 : Données des températures moyennes mensuelles (en C°)
Période (Octobre 2008-Septembre 2009). (Station météorologique d'El-Outaya).

M : moyenne mensuelle des Maximums.

m : moyenne mensuelle des minimums.

Moy : moyenne mensuelle.

I.2.3.3. Les Vents

Les vents de sable sont fréquents pendant le printemps et l'été. En période hivernale, les vents Nord-Ouest les plus dominants. La vitesse maximale des vents se rencontre au mois d'Avril atteignant 6.95 m/s.

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	AO	S	Moy
Vitesse Maximale (m/s)	5,49	6,25	5,12	6,55	6,59	6,02	6,95	6,14	6,44	6,55	6,07	5,72	6,16
Vitesse Moyenne (m/s)	1,79	2,48	2,00	2,52	2,68	2,35	3,25	2,59	2,30	1,90	2,34	1,78	2,33

Tab n°8 : Vitesse des vents pendant la période (Oct 2008-Nov2009).

(Station météorologique d'El-Outaya).

I.2.3.4.L'Humidité relative de l'air

L'examen de tableau N° 9 montre que les mois les plus humides sont Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre et Décembre avec respectivement un taux de 77.16 %, 63.45%, 56.77%, 65.83%, 64.27 %, 76.74%. L'humidité la plus faible est enregistrée en Juillet avec 22.68 %.

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	AO	S	Moy
Humidité Relative Moy de l'air (%)	65,83	64,27	76,74	77,16	63,45	56,77	53,40	35,74	25,53	22,68	24,58	56,21	51,86

Tab n°9 : L'humidité relative moyenne de l'air pendant la période (Oct 2008 –Nov2009).
(Station météorologique d'El-Outaya).

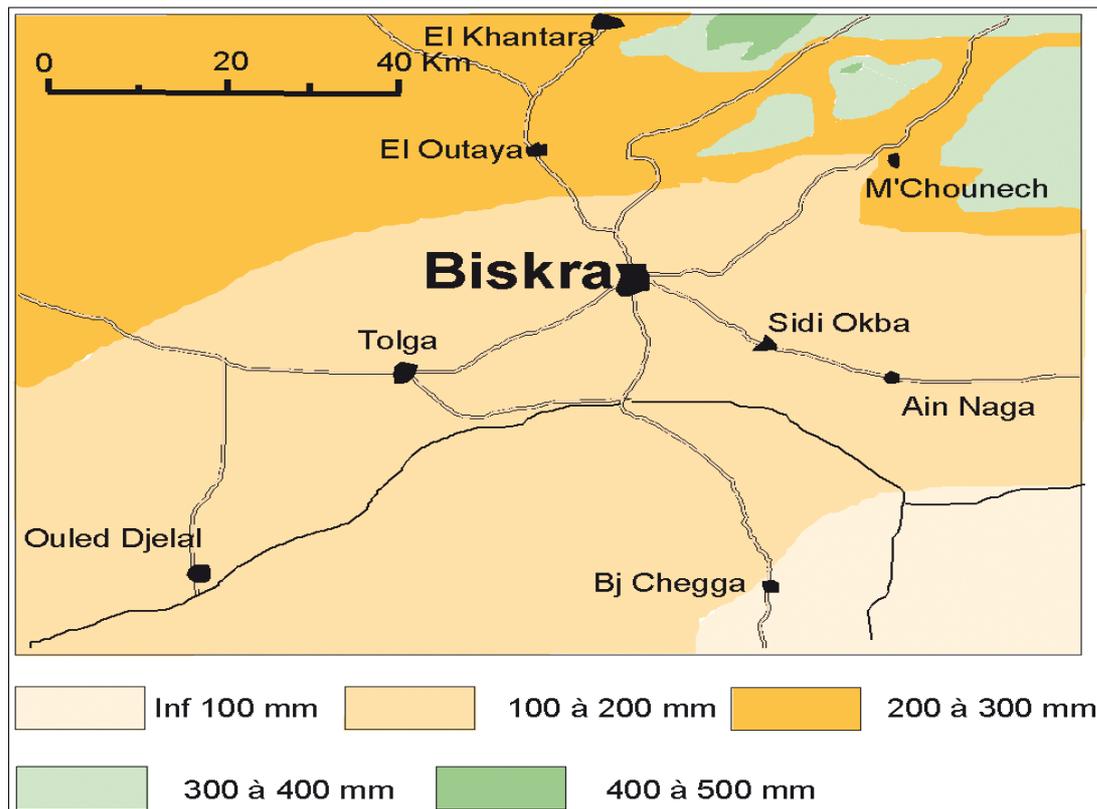


Fig. n° 3 : Carte de répartition de la pluviométrie, région de Biskra
(Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000, 1971).

Chapitre II : Cadre géologique et Hydrogéologique

II.1.Cadre géologique

La connaissance de la nature lithologique des terrains étudiés ainsi que leur structuration permet d'expliquer certains paramètres chimiques des eaux et des sols qui s'y trouvent dans un bassin donné, du fait, nous donnerons dans ce qui suit les principaux traits des formations présents dans notre région d'étude ainsi que les ressources hydriques souterraines qui s'y trouvent.

II.1.1.Cadre régionale :

Le bassin d'El-Outaya fait partie de la région de M'Doukal- Biskra qui forme une zone charnière raccordant les deux grands ensembles atlasiens : l'Atlas Sahariens et l'Aurès décalés selon un mouvement dextre ; une région qui se caractérise sur toutes les cartes quelle qu'en soit l'échelle et ceci pour les raisons suivantes :

- Parce que ses limites avec les domaines voisins sont, dans l'ensemble, nettes et lui donnent une forme approximativement trapézoïdale.
- Car elle correspond à la zone dans laquelle le domaine atlasique est le plus étroit en Algérie.
- Parce que de nombreux accidents, de directions diverses, l'ont affectée à plusieurs reprises, morcelant les structures et favorisant l'accumulation des séries néogènes puissantes et variées (Guiraud R., 1990).

C'est un bassin particulier par ses dimensions réduites (30 x 70 Km), sa forme losangique limitée par des failles (E-W, NW-SE et NE-SW) ainsi que par sa position dans le domaine atlasique (Fig.4), (Chebbah, 2007).

Il s'agit d'une plaine subsidente orientée sensiblement E.NE-W.SW et située entre deux anticlinaux. Elle se trouve au nord de l'anticlinal du Dj.Boughzel (Biskra) et au sud du dôme de Djebel EL Melah (El-Outaya) et sous laquelle s'ennoient les plis de l'Aurès.

C'est une plaine qui a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Et si, aujourd'hui, il ne remplit pas ce rôle dans sa partie NE, au contraire à la partie SW de nombreux oueds apportent leur alluvions et il forme aussi un sous-bassin fermé au niveau de Bled Selga (Chebbah, 2007).

C'est dans ce bassin, près du village de Branis, que le continental terminal (Miocène) a été signalé pour la première fois dans les Aurès par Fournel. C'est aussi dans ce bassin que les termes de la série néogène ont été différenciés, ultérieurement, par Laffitte. Il s'agit d'un bassin néogène, bien développé, constitué à la base par un Miocène laguno-marin (Bled Zemla, Branis, El-Outaya), recouvert par du Messinien (Pontien) gréseux fluviatile, puis par des poudingues pliocènes (Ras Chicha). Les termes supérieurs, plus particulièrement pliocènes, sont fortement inclinés vers le centre du bassin où ils disparaissent sous une épaisseur considérable du Quaternaire ; leur relèvement à la périphérie du bassin indique que celui-ci a été affecté par des mouvements les plus récents du Quaternaire basal (Chebbah, 2007).

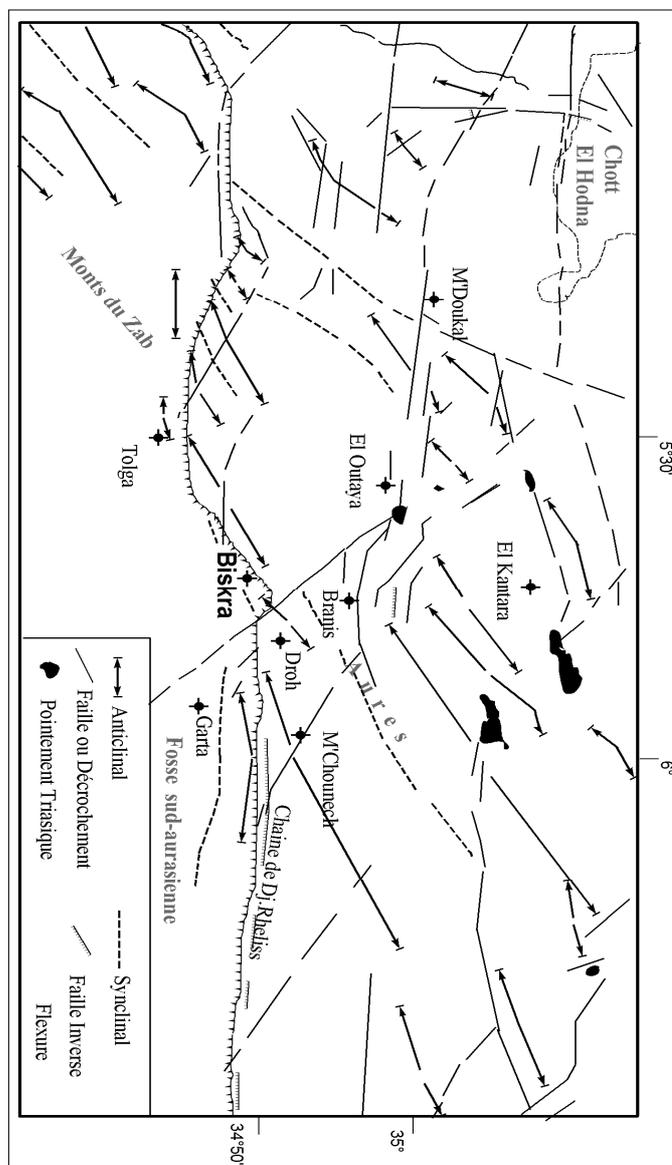


Fig.N°4: Schéma structural de la région de Biskra et localisation du bassin d'El Outaya (Chebbah, 2007).

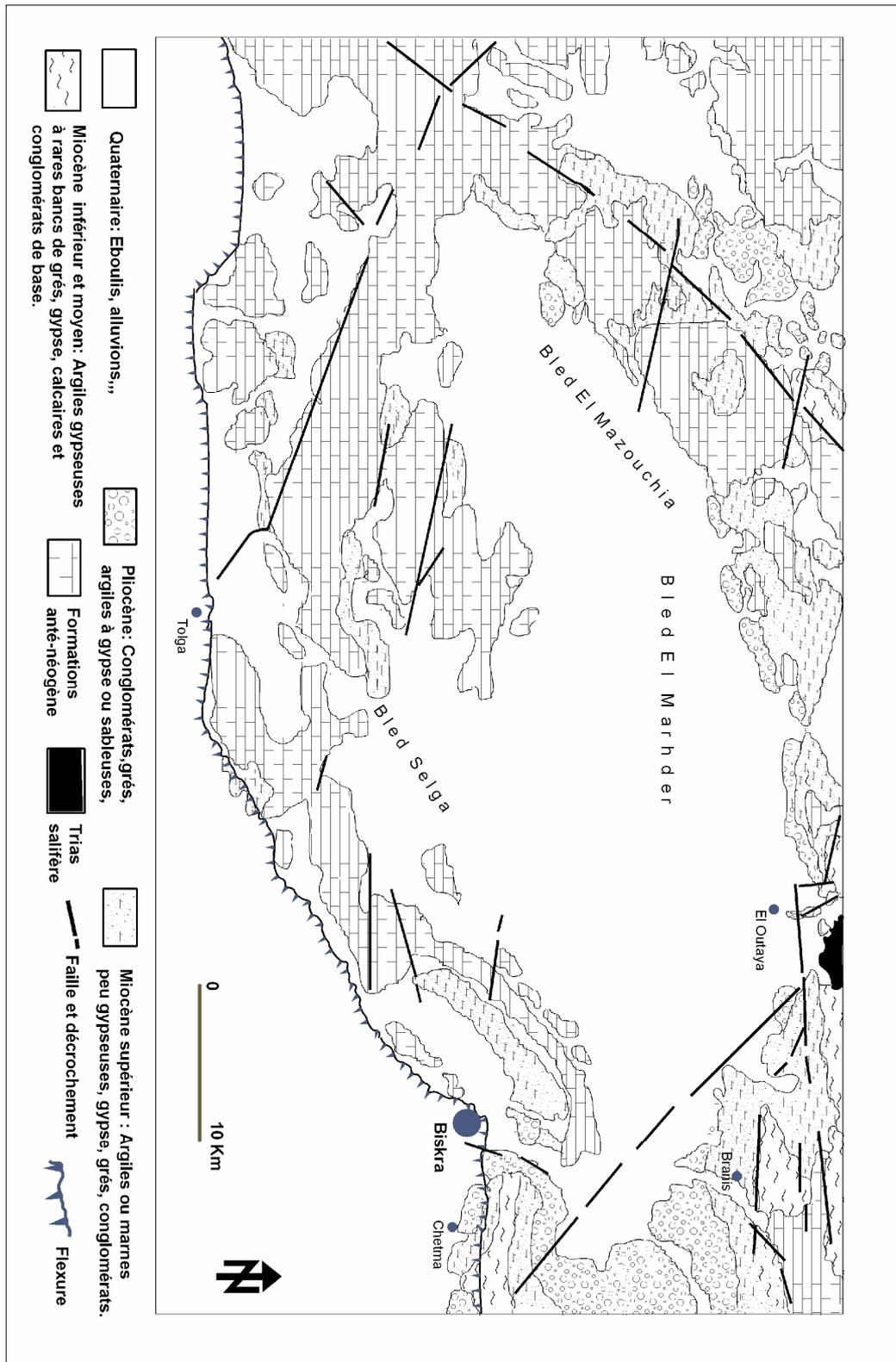


Fig.N°5 : Carte géologique du bassin d'El Outaya (Chebbah et al, 2008).

II.1.2. Géologie de la plaine d'El-Outaya

La plaine d'El Outaya est remplie de formations Mio-plio-quaternaires surmontant un substratum principalement éocène-crétacé.

II.1.2.1. Le substratum

Le substratum sur lequel s'individualisent les formations Mio-plio-quaternaires du bassin d'El Outaya est formé de dépôts mésozoïques et paléogènes. Ces dépôts, bien représentés dans la chaîne atlasique (Aurès et Atlas saharien Oriental) et les dépressions qui l'entourent, ont fait l'objet de descriptions détaillées par Laffitte (1939) et Guiraud (1973, 1990) une synthèse de ces formations est donnée dans Chebbah (2007) que nous résumons dans ce qui suit :

1. LE MESOZOIQUE

Le mésozoïque forme les principaux reliefs imposants dans toute la région d'étude. Il est, en grande partie, constitué de terrains crétacés où domine une sédimentation argilo-carbonatée.

Le TRIAS

Le Trias constitue les plus anciennes formations reconnues dans la région. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjecté au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Il est formé d'argiles (bariolées ou violettes) gypsifères et salifères et englobant des amas de roches diverses de l'ensemble de la couverture post-triasique. Il se manifeste en un grand dôme à El Outaya (Dj. El Melah) où il est associé à des lambeaux dolomitiques liasiques ou en petits affleurements d'argiles bariolées.

Le JURASSIQUE

a- Le Lias

Comme le Trias, le Lias est inconnu en position normale et quand on le rencontre, il est emballé dans le Trias sous forme de lambeaux constitués d'argiles schisteuses ou de dolomies.

b- Le Kimméridgien

Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans le massif de l'Aurès où il forme une boutonnière entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Labiod (anticlinal de Dj El azereg). Il se scinde en deux ensembles bien distinctes avec :

- Un ensemble carbonaté basal, d'une épaisseur de 250 à 300 m, formé de calcaires marneux, de marnes jaunâtres, de calcaires silicifiés multicolores à intercalations de marnes rouges surmontés de calcaires, de marnes et de calcaires bréchoïdes à débris de fossiles et à cristaux de quartz. Ensuite viennent des

conglomérats à intercalations marneuses à débris d'organismes récifaux associés à des bélemnites, des calcaires et des calcaires marneux ou granuleux. Cet ensemble se termine par une alternance de calcaires et de marnes.

- Un ensemble marneux sommital, d'une épaisseur de 400 m, monotone admettant dans sa partie médiane des intercalations de calcaires marneux à lamellibranches.

c- Le Portlandien et le Berriasien

Cet ensemble, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente, aussi, sous deux faciès bien distincts formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NW et un faciès dolomitique au SW du massif aurésien :

- L'ensemble calcaro-marneux, peu fossilifère, est formé de calcaires en bancs siliceux blanchâtres violacés surtout à radiolaires et de marnes à ammonites pyriteuses admettant quelques intercalations de calcaires argileux et de calcaires pisolithiques très fossilifères.
- L'ensemble dolomitique est formé de dolomies azoïques à rares passées de calcaires et de marnes à bélemnites.

LE CRETACE

Deux séries s'individualisent dans les formations crétacées : une série gréseuse basale du Crétacé inférieur (Berriasien - Albien) et une série marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Maestrichtien).

a- Le Crétacé inférieur

a₁- Le Valanginien

Il ne se rencontre qu'au centre du massif de l'Aurès (Dj El Ezreg). Il est formé d'argiles blanches ou jaunes verdâtres à ammonites pyriteuses et à petits cristaux de gypse contenant, par endroits, à leur sommet des bancs calcaires qui se chargent en grès auxquels se superpose une alternance de marnes, de grès et des quartzites à bélemnites permettant quelques intercalations de calcaires à ostracées, de lumachelles et des calcaires pisolitiques. Son épaisseur est de 150 à 200 mètres.

a₂- L'Hauterivien

Deux faciès se distinguent : un faciès calcaro-gréseux caractérisé par des calcaires pisolitiques à algues au SW et un faciès gréseux dolomitique peu fossilifère au NE.

a₃- Le Barrémien

Il affleure très largement dans les Aurès (DJ. El Azreg). Il est constitué de grès à base bréchique, de calcaires, de marnes gréseuses et de dolomies massives, avec par endroits des calcaires marneux ou gréseux. Les grès sont très diversifiés (moyens, grossiers, à graviers) et souvent à stratifications entrecroisées. Les marnes ou argiles sont multicolores (vertes, rouges, ocre ou brunes). Son épaisseur diminue du Sud (400 m) au Nord (250 m), et près de la ville de Biskra (Dj. Bou Rhezal), il n'est représenté que par quelques mètres d'argiles rouges à bois fossiles.

a₄- L'Aptien

L'Aptien, d'une épaisseur de 250 m environ, se rencontre dans tous les grands anticlinaux de la région des Aurès. Il est formé de marnes à ammonites, de calcaires marneux, de marnes à bancs calcaires, de calcaires à intercalations marneuses, de calcaires gréseux ou massifs à orbitolines ou polypiers et se termine par une alternance de calcaires et de marnes.

a₅- L'Albien

L'Albien est très répandu, comme l'Aptien, dans les grands anticlinaux de l'Aurès. Il se présente sous deux faciès bien distincts :

- Un faciès marno-gréseux basal formé d'une alternance, 150 à 200 m, de grès grossiers et de marnes contenant quelques bancs de calcaires à ammonites ou de quartzites et des argiles bariolées et des grés rouges.
- Un faciès carbonaté sommital représenté surtout par des calcaires à céphalopodes passant à un faciès marneux gréseux.

b- Le Crétacé supérieur

Le crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans la région. Il est bien développé dans le massif de l'Aurès et ses régions limitrophes. Il présente d'importantes variations de faciès et d'épaisseur et un développement manifeste de carbonates aux dépens des marnes du Nord au Sud.

b₁- Le Cénomanién

Il est représenté par une épaisse série marine, avoisinant les 700 m d'épaisseur, marno-calcaire à sa base et marneuse à son sommet.

b₂- Le Turonien

Le Turonien est l'étage qui occupe les plus larges surfaces à l'affleurement parmi tous ceux du mésozoïque dans toute la région. Il est formé de récifs et de calcaires à rudistes, polypiers et algues calcaires (épaisseur très variable : 100 à 800 m). Par endroits, se manifestent, surtout) des marnes et des calcaires à oursins.

b₃- Le Sénonien

A l'inverse des formations sous-jacentes, le Sénonien n'affleure pas que dans les anticlinaux mais bien aussi dans les synclinaux de la région. Il est formé d'une épaisse série marine, 1500 à 2000 m, marno-calcaire présentant une certaine homogénéité d'ensemble avec une réduction Nord – sud des épaisseurs.

2. LE PALEOGENE (NUMMULITIQUE)

Le Paléogène est aussi bien représenté en affleurement que le Sénonien surtout au SE de la région d'étude, car on le trouve dans tous les synclinaux du versant sud du massif de l'Aurès et du Sillon présaharien. Quoiqu'il présente de nombreuses variations de faciès et une nette réduction des épaisseurs du NW au SE, il se compose principalement de deux séries bien distinctes : -

- Une série marine à la base (Danien – Lutétien supérieur), surtout formée de marnes blanches à minces bancs de gypse ou de silex admettant des intercalations calcaires surmontées d'un complexe marno-calcaire phosphaté.

- Une série continentale au sommet (Eocène supérieur - Oligocène), représentée par des dépôts rouges souvent grossiers et dont leur épaisseur ne dépasse pas 200 m. On trouve des marnes rouges localement gréseuses et des conglomérats grossiers.

II.1.2.2. Les dépôts néogènes

Dans la région de Biskra et ses régions limitrophes, les terrains néogènes occupent une grande superficie. Les affleurements principaux se localisent en bordures de bassins (piémonts et dépressions où ils sont souvent recouverts par une faible épaisseur de formations quaternaires et entaillées par des petits ravins). Par contre, dans les centres de ces bassins ces dépôts néogènes sont enfoncés sous d'épaisses formations récentes du quaternaire qui viennent les couvrir en discordance. Cependant de nombreux sondages ainsi que diverses prospections géophysiques permettent dans de nombreux cas de suivre leur évolution en profondeur, des marges vers les centres de ces bassins.

La série néogène bien développée en affleurement, notamment, en bordures septentrionales des bassins repose souvent en discordance, selon les endroits et les niveaux atteints par l'érosion post-tectonique, sur des formations d'âges différents (Oligocène, Eocène, Crétacé supérieur).

Lorsqu'elle est complète, elle comporte plusieurs ensembles litho-stratigraphiques ou formations. Cependant, malgré les différentes subdivisions existantes du Néogène, la plupart des auteurs s'accordent à donner à cette série, la superposition suivante : -

- A la base des argiles vertes ou brunes et des calcaires aquitano-burdigaliens.
- Des argiles, souvent, brunes à intercalations de bancs gypseux langhien-serravaliens.
- Des argiles rouges gypseuses tortoniennes.
- Des grès ou sables bruns-rouges messéniens
- Au sommet, des poudingues rouges pliocènes.

En réalité, selon Chebbah (2007) cette superposition correspond au schéma très simplifié des grands ensembles qui présentent sur le terrain d'importantes variations latérales et verticales de faciès. A l'affleurement ou en sondages, les différentes coupes montrent plusieurs alternances, souvent désordonnées, d'argiles, d'argiles sableuses, de grès ou sables parfois argileux et des conglomérats au sommet, avec la présence de faciès évaporitiques (gypseux) dans presque tous les niveaux ou quelques bancs carbonatés. En tenant compte à la fois de la nature, de l'association et du milieu de dépôt des faciès constitutifs, la série néogène est découpée en cinq ensembles.

a- L'ensemble des argiles brunes et vertes – Aquitano-burdigalien

Sa base est constituée de formations détritiques le plus souvent continentales qui passent, par endroits, à des formations lacustres et évaporitiques, de couleur généralement rouge et repose en discordance plus ou moins accentuée sur l'Oligocène, l'Eocène ou sur le Crétacé. Il se localise principalement sur les bordures orientales des bassins néogènes (El Outaya, El Kantara,). Dans la région d'étude, il se rencontre en larges affleurements à Branis et à El Outaya.

Près du village de Branis, la série comprend des argiles brunes gypsifères à la base et des argiles vertes fossilifères à huîtres au sommet et qui s'observent d'une manière régulière dans le bassin d'El Outaya. A l'Est de Dj. El Melah, la série comprend des marnes que surmonte une puissante formation conglomératique à gros blocs calcaires du substratum. Aux alentours d'El Outaya, les argiles vertes sont directement recouvertes par des calcaires argileux à lamellibranches.

b- L'ensemble des argiles à intercalations gypseuses - Langhien-Serravalien

Cet ensemble est constitué d'argiles brunes à gypse avec des intercalations métriques de bancs gypseux (Branis), d'argiles brunes gypsifères avec à leur sommet un banc de calcaires marneux (Droh) ou d'une alternance de grés, de grés argileux et

d'argiles gypseuses avec apparition de petits bancs de calcaires marneux dans sa partie sommitale (El Outaya).

Cet ensemble est attribué à l'Helvétien par Laffitte, car il surmonte directement le Burdigalien.

c- L'ensemble des argiles rouges à gypse -Tortonien

Cet ensemble, bien identifié dans le bassin de Biskra, est formé d'argiles brunes ou rouges gypseuses à faibles passages gréseux ou sableux. Dans le bassin d'El Outaya, il est fortement sableux et formé d'une alternance d'argiles brun rougeâtre gypseuses, de grés ou grés argileux bruns rouges à petits cristaux de gypse. Quelques petits bancs carbonatés ou gypseux apparaissent par endroits.

d- L'ensemble gréseux méssinien

Il est formé de grés moyens à grossiers bruns- rouges à hélix avec quelques passages de lits graveleux ou de conglomérats ou encore des intercalations d'argiles rouges à gypse.

e- L'ensemble conglomératique (Pliocène)

Il est formé de conglomérats grossiers peu consolidés et très hétérogènes à lentilles gréseuses à leur base. Il est bien développé à Ras Chicha et à Dj. Rhémiss dont il forme les hauteurs de ces deux chaînons. Les faciès sont, généralement, constants. Ils sont très grossiers sur les bordures des bassins et montrent une diminution de la proportion et de la taille des galets qui tendent à disparaître au toit de l'ensemble en direction des parties centrales des cuvettes de sédimentation.

Il repose en concordance ou en légère discordance sur le Messinien et surmonté, à son tour en nette discordance, par des conglomérats très consolidés du Quaternaire ancien.

Le quaternaire

a- Ancien (terrasse) :

Cette terrasse est bien développée dans la portée et de la région, vers l'Oued Biskra. Aux environs des régions montagneuses, elle est principalement formée de poudings remplacés progressivement par un dépôt sableux et argileux vers le sud de Biskra.

b- Moyen :

Il est représenté sous une forme de croûte dite « deb-deb » dont le dépôt se poursuit sans doute de nos jours. C'est une formation calcaréo-gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur. Elle occupe les contours des montagnes qui représentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Aïn Ben Noui) des traversins de sources anciennes qui datent aux environs des sources Oumach, M'lili et Maghoub. Les sources actuelles soudant 4 à 5 m au-dessus des anciens dépôts travertineux, les alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'Oued Djedi.

c- Récent :

Se sont principalement des éboulis et les cailloutis aux pieds des montagnes et sur les pentes, des dunes constamment en mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des Oueds.

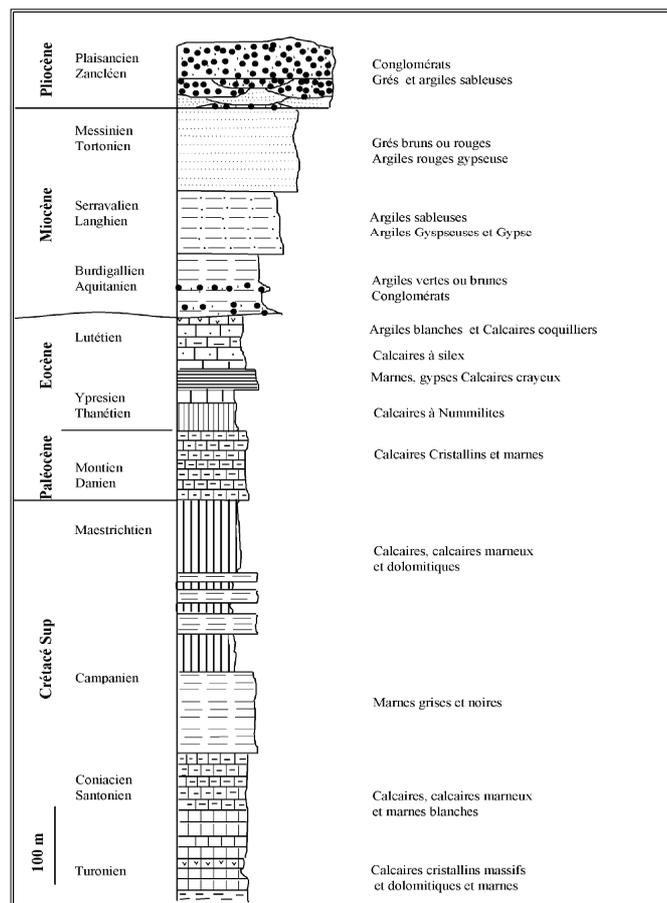


Fig.N°6 : Log litho – stratigraphique synthétique de la région d'étude (Chebbah, 2007).

II.1.3. Tectonique :

La structure de la plaine résulte de la superposition de deux phases tectoniques majeures reconnues dans toute la région:

La phase atlasique (alpine) globalement N 60 à 80° E du Lutétien Elle a engendré de vastes plis (concentrique orientés entre N 40 et N 60° E) et de nombreux accidents à la faveur desquels des pointements triasiques ont vu le jour et qui a été suivit d'une autre phase de rajeunissement des reliefs à l'Oligocène.

La phase du quaternaire basal globalement E-W (Laffitte, 1939 ; Guiraud, 1973 et 1990). Cette phase n'a sérieusement affecté que les régions méridionales de Biskra particulièrement la chaîne de Rhélliss. Elle a aussi provoquée de nombreux accidents de directions très variées (**N-S à N 30° E, N 45 ° E, N80 à 100° E et N 120 à 160° E**) dont leur répartition n'est pas homogène dans l'ensemble du domaine atlasique ; seule la région M'Doukal- Biskra (zone du Ziban) est affectée par toute la gamme des accidents qu'on peut rencontrer dans ce domaine et se distingue donc en cela, des deux portions de la chaîne atlasique qu'elle sépare nettement, l'Atlas saharien s.s. à l'Ouest et les Aurès à l'Est.

Au Néogène, il est comblé, par des dépôts silicoclastiques confinés, d'épaisseurs variables et contrôlés par les rejeux d'anciens accidents hérités de l'orogénèse atlasique. Son évolution, liée au découpage préexistant de la couverture post-triasique par des accidents NW/ SE, accompagnait un processus d'effondrement du domaine atlasique lors d'une tectonique en extension post-tecto-orogénique qui s'intègre dans un modèle de plate forme restreinte associé à un bassin d'avant pays (Chebbah et al, 2008).

Conclusion

Cette analyse stratigraphique et tectonique de la région d'El Outaya permet d'expliquer la formation de la couverture pédologique et l'origine de ses constituants. Il est ainsi normal qu'on puisse s'attendre dans ces sols à trouver du calcaire, du gypse, de la dolomie, des argiles en abondance, du sable quartzueux, du calcium, du magnésium, du sodium, des sels solubles (notamment chlorures et sulfates).

II.2. Hydrogéologie

II.2.1. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la région est squelettique. Il comporte un tronçon principal, l'Oued Biskra, qui fait partie du bassin fermé de Chott Melrhir et reçoit sur sa rive gauche quelques tributaires issus du versant sud de l'Aurès, ces oueds étalent leurs graviers sur une largeur de 50 à 400 m entre des berges abruptes de 1 à 3 m de haut. (Brinis, 2003).

L'Oued Biskra est sec, sauf lors des pluies exceptionnelles (à l'exception de l'endroit à l'aval du barrage Fontaine des Gazelles, il existe des sources pérennes où ce même oued porte le nom de l'Oued El-Hai), il subsiste toutefois, entre les crues, quelques mares comme celle du passage de la route de Djemourah (W 54). Le principal affluent, l'Oued Branis, montrait avant les années de la sécheresse qui frappe la région de l'eau courante jusqu'à son débouché de l'Aurès ceci n'apparaît pas de nos jours. Mentionnant toutefois les filets d'eau saumâtre qui s'écourent presque en permanence dans de profondes encoches à la périphérie du Djebel Melah, comme l'Oued Melah.

Il existe également, à l'ouest de l'Oued de Biskra, tout un réseau de seguias, canaux d'irrigation qui étaient alimentés autrefois par un petit barrage. Ces seguias ne sont plus utilisées que pendant les crues (tarissement des sources au niveau de l'oued). Jadis les axes principaux avaient un débit permanent notable ; certains d'entre eux paraissent emprunter le tracé d'anciens affluents de l'oued. (Brinis, 2003).

A noter, par ailleurs, l'existence d'une importante source thermale (35-40°) du Hammam Sidi El Hadj à environ 7 km au nord de la zone étudiée.

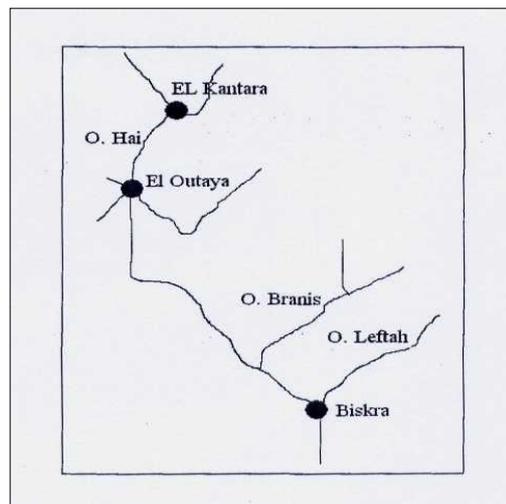


Fig.N°7 : Réseau hydrographique (FRHANI, 2003).

II.2.2. Hydrogéologie

D'après la notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra (1980) où ses limites ne correspondent pas dans leur ensemble aux limites d'un bassin hydrogéologique, car elle englobe la vallée de l'Oued Djeddi, la région de Biskra et la cuvette d'El-Outaya ; la lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent de différencier quatre (4) formations ou unités aquifères principales.

II.2.2.1. les formations aquifères à nappe libre, semi libre à semi captive

- a) **Nappe phréatique du Quaternaire** : elle est localisée dans les accumulations alluvionnaires du Quaternaire. Elle est mieux connue au niveau des palmeraies de Tolga et des Oueds (nappes d'inféro-flux), sa profondeur varie de 0 à 10 m ; son réservoir de composition hétérogène est constitué par des matériaux détritiques (blocs, de galets, de graviers et de sables). Son substratum est formé d'une épaisse formation argileuse, parfois, il apparaît sous forme de lentilles de sables en discordance avec les couches d'argiles. Elle est, surtout, alimentée par les eaux de précipitations, les infiltrations des oueds et les eaux d'irrigations. La catégorie des eaux de cette nappe est salée ou très salée, elle se classe parmi les chlorurés alcalines et sulfatées calcoc-magnésiennes.
- b) **Nappe des sables du Mio-pliocène** : contenant plusieurs niveaux aquifères de composition hétérogène : matériaux détritiques, des graviers et des sables dans une matrice argileuse. En profondeur, la formation devient à prédominance argilo-sableuses et repose sur une formation imperméable composée de marnes à gypse et d'anhydrite de l'Eocène moyen, ce qui implique qu'il n'y a pas infiltration des eaux de cet aquifère vers l'aquifère inférieur puisque leur nature lithologique freine toute circulation, mais il faut noter que près de bordures des monts des Ziban, les argiles sableuses sont en contact avec les calcaires de l'Eocène inférieure. Ceci veut dire qu'il y a des possibilités d'échange entre les aquifères de sables et de calcaires fissurés, notamment là où l'épaisseur d'argile est faible. La nappe des sables est couverte d'un dépôt alluvionnaire peu épais ou d'une couche sablo-gypseuse du Quaternaire. Par endroits, le Mio-pliocène affleure mettant en contact direct, cet aquifère, avec la surface assurant ainsi son alimentation à partir des eaux de la surface. (Mimeche, 1998).

Cette nappe a une extension considérable, elle est captée par de nombreux forages dans la plaine d'El Outaya. Son épaisseur faible sur les piémonts, augmente progressivement vers milieu de la plaine et donc vers le centre du bassin.

II.2.2.2.les formations aquifères captives :

- a) **Nappe des calcaires (Eocène inférieur et Sénonien supérieur) :** cette nappe est localisée en grande partie dans la région de Biskra. Elle est plus exploitée à l'Ouest qu'à l'Est de Biskra à cause des faibles profondeurs relatives de captage. A l'Ouest, la profondeur varie de 15 à plus que 200 m alors qu'à l'Est, la profondeur dépasse les 400 m. Cette nappe recèle d'importantes réserves qui sont liées d'une part aux faciès et à l'état de fissuration de la roche, et d'autre part à sa recharge souterraine à partir de l'Atlas saharien. Son toit est constitué par des formations argilo-sableuses du Mio-pliocène au nord et des marnes à gypses de l'Eocène moyen au Sud contribuant à sa mise en charge (Mimeche, 1998).
- b) **Nappe du Continental Intercalaire CI :** cette nappe est souvent appelée « nappe albienne », elle est constituée de grès et d'argiles. Elle est peu exploitée dans la région, sauf à Ouled Djellal et Sidi Khaled où les formations gréseuses de l'Albien ou du Barrémien sont touchées à des profondeurs de 1500 à 2500 m.

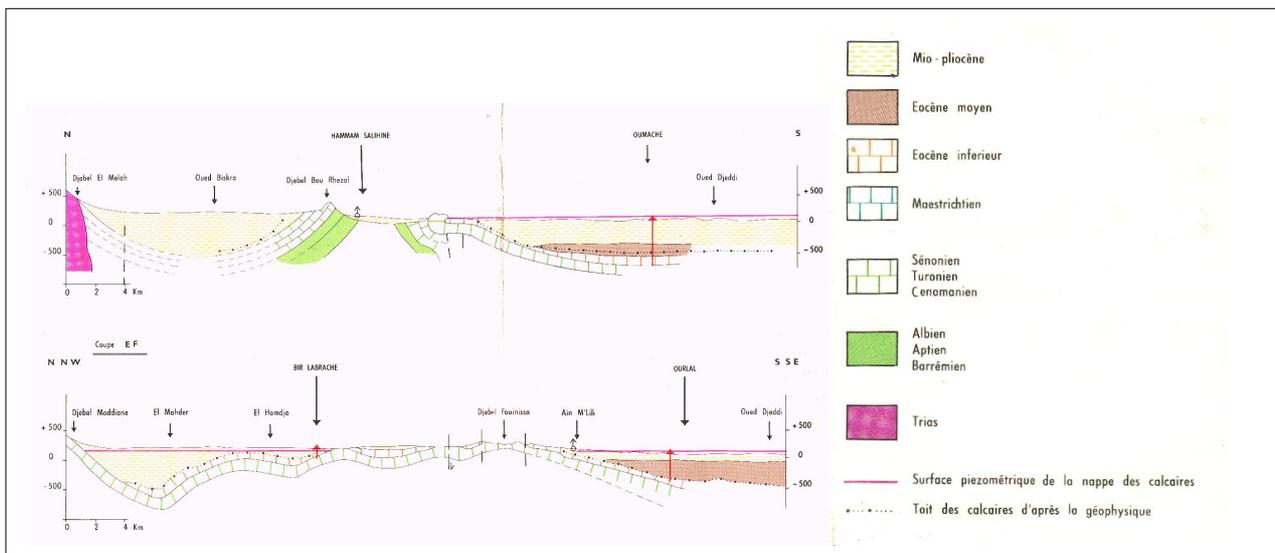


Fig.N°8 : Coupes hydrogéologique schématique de la région de Biskra.

(Extrait de la carte hydrogéologique de BISKRA 1/200.000).

Unités stratigraphiques	Unités géologiques	Unités lithostratigraphiques	Unités Hydrogéologiques	Complexes Aquifères	
Quaternaire	Alluvions, sables, argiles, conglomérats	Continental Terminal		Nappe du complexe terminal S.S S.L Nappe du complexe terminal	
Mio-pliocène	Alternances d'argiles, sables et conglomérats		Nappe des sables		
Eocène moyen	Argiles gypseuses		Semi perméable		
Eocène inf	Calcaires et argiles	Eocène carbonaté	Nappe des calcaires		
Sénonien sup Maestrichtien Campanien	Calcaires	Sénonien carbonaté			
Sénonien inf	Argiles, gypses, sels	Sénonien lagunaire	Imperméable		
Turonien	Calcaires dolomitiques et dolomies	Turonien dolomitique	Nappe du Turonien		
Cénomanién	Argiles, marnes, marno-calcaires et gypse	Cénomanién argilo-évaporitique	Imperméable		
Albien	Calcaires Marnes - Grés	Albien carbonaté Albien argilo-gréseux	Nappe du Continental Intercalaire		Nappe du Continental Intercalaire
Aptien	Grés, dolomies	Aptien gréseux			
Barrémien -Lias	Grés				

Tableau N° 10. Unités litho stratigraphiques, géologiques et hydrogéologiques du Bas Sahara Septentrional.

Chapitre III : Les sols de la plaine d'El Outaya

Avant de donner les caractéristiques propres des sols de la région d'El Outaya, nous donnerons les éléments essentiels des sols des régions arides ainsi que les éléments de leur caractérisation.

III.1. Généralités sur les sols des zones arides

Les sols des régions arides, à climat toujours peu pluvieux, sec et très irrégulier, présentent un certain nombre de caractères presque constants : évolution lente, structure faiblement définie avec, souvent, présence de croûtes calcaires, gypseuses ou salines (Aubert, 1960).

Cependant, on constate que, en diverses parties du monde, les zones arides correspondent à de grandes dépressions et basses plaines aux pieds de chaînes montagneuses. Elles sont alors constituées par des dépôts de piedmont et cônes de déjection, et par les terrasses anciennes, récentes et actuelles ou de bas niveaux, des rivières qui en descendent. (Aubert, 1960) ; et on estime à l'heure actuelle qu'environ 40% des terres émergées de la planète sont arides, soit 5.2 milliards d'hectares, sur lesquelles vivent plus de 2 milliards de personnes. L'Afrique contient 37 % de zones arides. En Algérie, ces dernières représentent près de 95 % du territoire national, dont 80 % dans le domaine hyper aride (Halitim, 2008).

En **Algérie** saharienne et présaharienne, la formation et l'évolution des sols sont essentiellement conditionnées par le climat et la salinité. Faute d'humidité insuffisante, les processus fondamentaux de la transformation des roches mères comme l'hydrolyse, la dissolution, l'hydratation ou même l'oxydation sont réduits à leur plus simple expression. L'absence de végétation ou sa rareté font également que ces sols sont dépourvus de matière organique et d'humus. Ils sont pour toutes ces raisons sensibles à l'érosion, surtout éoliens. Il convient néanmoins de préciser qu'il n'en a pas toujours été ainsi et qu'il existe au Sahara des paléosols qui se sont constitués à des époques antérieures. (Dubost, 2002).

Selon (Toutain, 1977), on peut classer grossièrement les sols du Sahara en trois (03) groupes : les sols détritiques (regs, sols sablonneux et graveleux, dunes, ergs), les sols limino-argileux (terrasses des vallées, zones d'épandage des crues Maadar...) et les sols salés (nappes phréatiques salées, sebkha, chott). Selon Halitim (1984), les sels constituent les traits caractéristiques de ses sols et sont présents au sein de plusieurs phases :

- dans la phase liquide du sol : c'est le cas principalement des sels solubles et de la garniture ionique du complexe adsorbant.

- dans les phases salines solides représentées principalement par la calcite et le gypse.

Mais comme, la cartographie des sols de la zone aride de l'Algérie est à son début et moins de 1/20^{ème} seulement de la surface a été levé au 1/100.000, les sols sont, généralement, classés en fonction du niveau des sels dont on trouve :

- Les sols sans accumulation de sels
- Les sols calcaires
- Les sols gypseux
- Les sols calcaro-gypseux
- Les sols salés

III.1.1. Classifications des sols salés :

Les sols salés sont des sols dont leur évolution est due à la présence excessive de sels solubles, c'est à dire ceux qui sont plus solubles que le gypse et/ou un fort taux de sodium échangeable. Ce qui leur confère des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables (USSS.1954, CPCS. 1967). Les sols sont classés comme sols salés dès que leur teneur en sels solubles atteint 2 ‰ en sol sableux à 4 ‰ en sol argileux ou dès que la conductivité de l'extrait de la pâte saturée dépasse 4 micromhos par cm. (Aubert, 1960).

Dans ces sols, les sels solubles, le plus souvent, rencontrés sont des chlorures, des sulfates ou des bicarbonates, plus rarement on décèle des carbonates et des nitrates. Le cation le plus courant est le sodium, puis viennent par ordre décroissant le magnésium, le calcium et le potassium.

Leur classification prend en considération le niveau de la salinisation globale et de la sodicité, ainsi que l'état de dégradation de la structure du sol et on reconnaît, en général, trois (3) catégories de sols salés (Aubert, 1983) :

▪ Sols salés à structure non dégradée :

- Sols salins ou « solontchaks » : dont la salinité globale déterminée sur pâte saturée est supérieure à 4 mmhos/cm à 25°C (classification américaine) ou à 7 mmhos (CPCS, 1967) et l'ESP inférieur à 15% (classification américaine) et à 10 % (CPCS, 1967).

- Sols salins à alcali ou sols salins- sodiques ou solontchaks- solonetz : dont la salinité globale est supérieure à 4 ou 7 mmhos/cm et l'ESP est supérieur à 10 ou 15%.
- **Sols salés à structure dégradée :**
 - Sols à alcali ou sols sodiques ou solonetz : dont la salinité globale est inférieure à 4 ou 7 mmhos/cm, et l'ESP supérieur à 10 ou 15%. Leur pH est supérieur à 8,5.

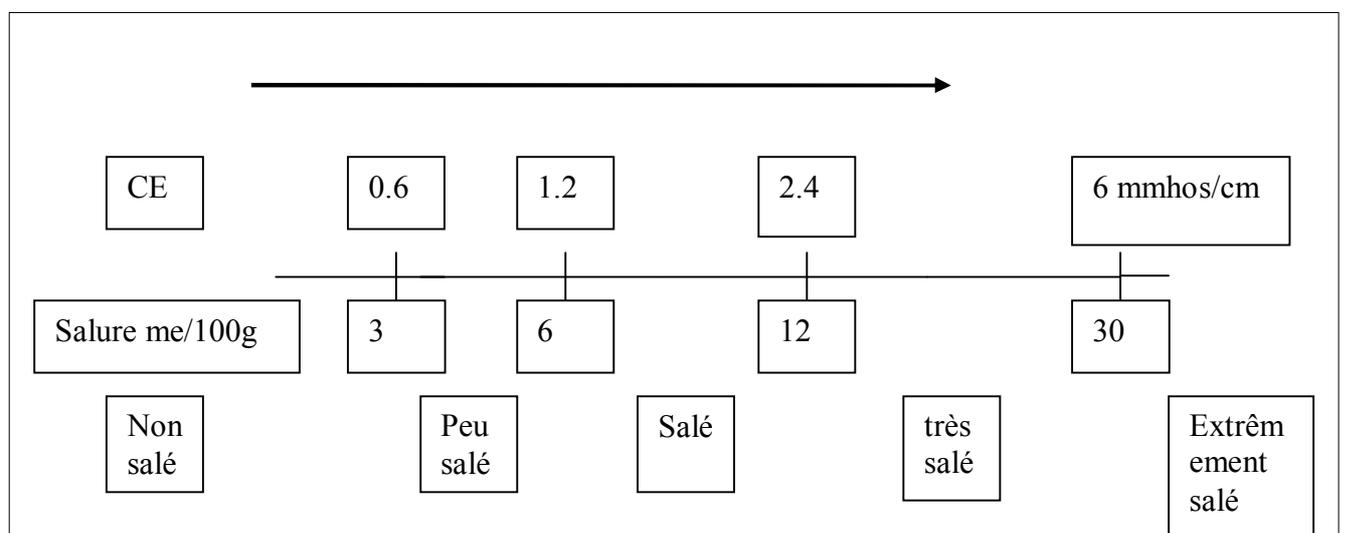
III.1.2. Paramètres de caractérisation des sols salés :

Tout sol qui renferme des sels solubles en quantité anormalement élevée est qualifié de « **salé** ». La mesure effectuée est celle de la salinité. Tout sol qui renferme du sodium échangeable en quantité anormalement élevée est qualifié de « **sodique** ». La mesure effectuée est celle de la sodicité. Ces déterminations font appel à des méthodes spécifiques. (Servant, 1975).

1.2.1. La conductivité électrique CE :

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre des électrodes de 1 cm² de surface. Elle permet de déterminer la salinité globale de l'extrait de pâte saturée. Elle est exprimée en mhos/cm. Dans le cas des sols salés, elle est exprimée en mmhos/cm ou dS/m. (Baize, 1988). De plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du complexe absorbant des sols salés. (Aubert, 1978).

L'échelle agronomique mise au point par l'U.S. Salinity Laboratory (U.S.S.L) est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 mmhos/cm. Selon U.S.S.L (1954), un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 mmhos/ cm.



Echelle de la salure déterminée à partir de l'extrait aqueux 1/5

1.2.2. La réaction du sol, le « pH » :

Le pH d'une solution est la quantité d'ions H^+ libres qu'elle contient (Soltner, 1982).

$$pH = 1/\log (H^+)$$

Le pH se mesure sur une suspension de terre fine. (Aubert, 1978).

Le pH des sols salés dont la salinité est de type neutre c'est à dire quand elle est due à des sels de bases et d'acides forts (chlorures, sulfates, de sodium, de calcium, de magnésium), reste inférieur à 8,5 et le sol est basique.

Si la salinité est en revanche due à des sels de bases fortes et d'acides faibles, ce qui est le cas des bicarbonates ou des carbonates de sodium, le pH est au dessus de 8,5 et peut atteindre 10, et le sol est alcalin.

Le pH peut dépasser 10 après une précipitation du carbonate de calcium, les ségrégations salines sont fortement sodiques et renferment des sols alcalins ($NaHCO_3$, Na_2CO_3 , Na_2SO_4). (Servant, 1975).

Un pH compris entre 8 et 9 est retenu, généralement, comme limite de la dégradation de la structure. (Aubert, 1983).

1.2.3. La composition ionique de la solution du sol.

Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et en cations solubles (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport Cl^-/SO_4^{2-} pour classer les solutions du sol (Servant et Servat, 1966). Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption ratio) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

Cl^-/SO_4^{2-}	>5	Salinisation Chlorurée
	1-5	Salinisation Chlorurée-sulfatée
	0,2-1	Salinisation Sulfato-chlorurée
	<0,2	Salinisation sulfatée

Tableau n°11 : Nature de la salinisation selon Cl^-/SO_4^{2-} .

1.2.4. Le SAR « Sodium Adsorption Ration »:

Dans l'étude de mécanisme de sodisation, l'Ecole de Riverside, au USA (1969) utilise un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR « Sodium Adsorption Ration » (Mathieu et Pieltain, 2003).

Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

(Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺), représentent les concentrations en milliéquivalents/litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation).

Le SAR donne des indications sur le risque d'alcalisation du milieu. Les risques sont faibles si SAR < 10, moyen si SAR est compris entre 10 et 18, élevés si SAR > 18 et très élevés si SAR > 26.

1.2.5. Le taux de sodium échangeable (ESP) :

Il exprime le taux de saturation du complexe absorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables. En effet, il exprime la sodicité. Or, le sodium échangeable peut détruire la structure à partir d'un seuil qui est souvent fixé à 15 % de la C.E.C.(USSL,1954), ou 10 %(CPCS, 1967), ou 5 % (l'école Australienne).(Abeche, 2001). De nombreuses recherches ont essayé d'établir une relation entre le SAR et ESP, celle de l'USSL (1954) s'écrit de la façon suivante :

$$ESP = (100 * (-0.0126 + 0.0147 * SAR)) / 1 + (-0.0126 + 0.0147 * SAR).$$

III.2.Sols de la plaine d'El-Outaya

En 1980 et 1984, l'ANRH a réalisé une étude pour inventorier les ressources en sols (inventaire 1963-2001). Pour l'El Outaya, elle a trouvé qu'en 1980, 10667 ha des sols irrigués par les trois différentes catégories des eaux. (Voir annexe N°5).En 1984, 3286 ha. La somme est de 13953 ha des sols irrigables considérés aptes à la mise en valeur hydro-agricole sur la base de leurs propriétés physico-chimiques, ainsi que différents facteurs naturels (géomorphologie, topographie, climat,...) (Anonyme, 2001).

Les sols de la région d'El Outaya sont de textures variables mais généralement fines, ils sont d'apports alluviaux plus ou moins salés ou sodiques (sols peu évolués et halomorphes selon la CPCS). Ces sols sont basiques (pH entre 7.4 et 8.6) avec un taux de matière organique, généralement faible (entre 0.3 et 3.1 %) très excessivement calcaires (de 26.6 à 63.6 %) et gypseux à très gypseux (de 6.3 à 28.6 %). Aussi, ils sont non salés à excessivement salés (CE de la pâte saturée de 0.4 à 57.8 mmhos / cm) et non sodiques à excessivement sodiques (SAR varie de 0.4 à 67.3) (Benaouda et al, 2008).

Sous-classe	Groupe	Sous-groupe	Superficie (ha)	Pourcentage %
Non climatique	D'apport alluvial	Modaux	894	2.68
Non climatique	D'érosion	régosoliques	1625	4.87
	D'apport alluvial	Modaux	4731	14.20
		halomorphes	2800	8.40
	D'apport colluvial	Modaux	325	0.97
halomorphes		1775	5.33	
Sols à structure Non dégradée	Sols Salins	Modaux	7725	23.19
Sols à structure dégradée	Sols à salins à alcalis	Sols fortement salés à structure massive et diffuse en surface	12200	36.63
		halomorphes	1225	3.68
		Total	33300	

Tab N°12 : Tableau récapitulatif des différents types de sols de la plaine d'El Outaya, (Lezzar, 1980).

Chapitre IV : Matériels et méthodes

La mesure de la salinité totale d'un sol est indispensable afin de reconnaître le type de sol auquel on a à faire. Toutefois, comme les propriétés des sols diffèrent fortement suivant la composition chimique et la concentration des sels présents, l'identification des sels solubles, sur extrait de pâte saturée, permet de fournir des renseignements sur les principaux sels présents dans ces sols et d'envisager l'étude de l'évolution de leur salinité surtout lorsqu'ils sont soumis à une irrigation avec une eau salée. Ces sels peuvent également être dosés dans des extraits aqueux plus dilués (1/5 et autres rapport sol/eau) ; et l'extraction est plus rapide et moins consommatrice en quantité de terre (Mathieu et Pieltain, 2003).

IV.1. L'échantillonnage

Deux séries de prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués sur deux campagnes dans les trois stations d'étude ; une avant ou au cours de l'installation de la culture annuelle (orge ou blé en général) entre le mois Octobre et Novembre et l'autre à la fin de la campagne agricole y compris l'irrigation entre Juin et Juillet. Les échantillons du sol sont prélevés à l'aide d'une tarière de 0 à 80 cm (profils à 4 horizons), séchés, broyés et tamisés à 2 mm.

L'un des trois périmètres est irrigué à partir de l'eau du barrage fontaine des gazelles, les deux autres sont irrigués par des eaux souterraines (2 forges, F1 et F2).

Pour caractériser la salinité des sols, on met habituellement l'accent sur la détermination de la composition ionique de la solution d'un extrait aqueux de sol (Halitim, 1988). Afin de réaliser ce but, les analyses de l'eau et du sol sont effectuées au niveau du laboratoire du département de l'agronomie - Université de Biskra.



Fig.9 : Photographie d'échantillonnage et d'analyse du sol.

IV.2. Méthodes d'analyses :

Le tableau suivant résume les différentes méthodes d'analyses utilisées.

Analyses	Méthodes
Granulométrie	Tamissage (tamis de 2 mm à 45 um)
pH 1/ 2.5	pH metre
CE 1/5 à 25 °C	Conductimètre
Capacité d'échange cationique CEC et les cations échangeables	Méthode de Bower à l'acétate de sodium et acétate d'ammonium pour le Na échangeable
Cations Na ⁺ et K ⁺	spectrophotomètre à flamme
Cations Ca ⁺⁺ et Mg ⁺⁺	Volumétrie par titration
Les chlorures Cl ⁻	Méthode de MOHR (précipitation par nitrate d'argent en présence de chromates)
Les sulfates SO ₄ ⁻	Précipitation au BaCl ₂
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	Titrimétrie

Tableau n°13 : Tableau récapitulatif des différentes méthodes d'analyses utilisées dans notre étude.

IV.3. Traitement des données

L'ensemble des données a été soumis à un test de validité qui consiste au calcul de la déviation relative entre la somme des cations et la somme des anions et qui s'exprime par :

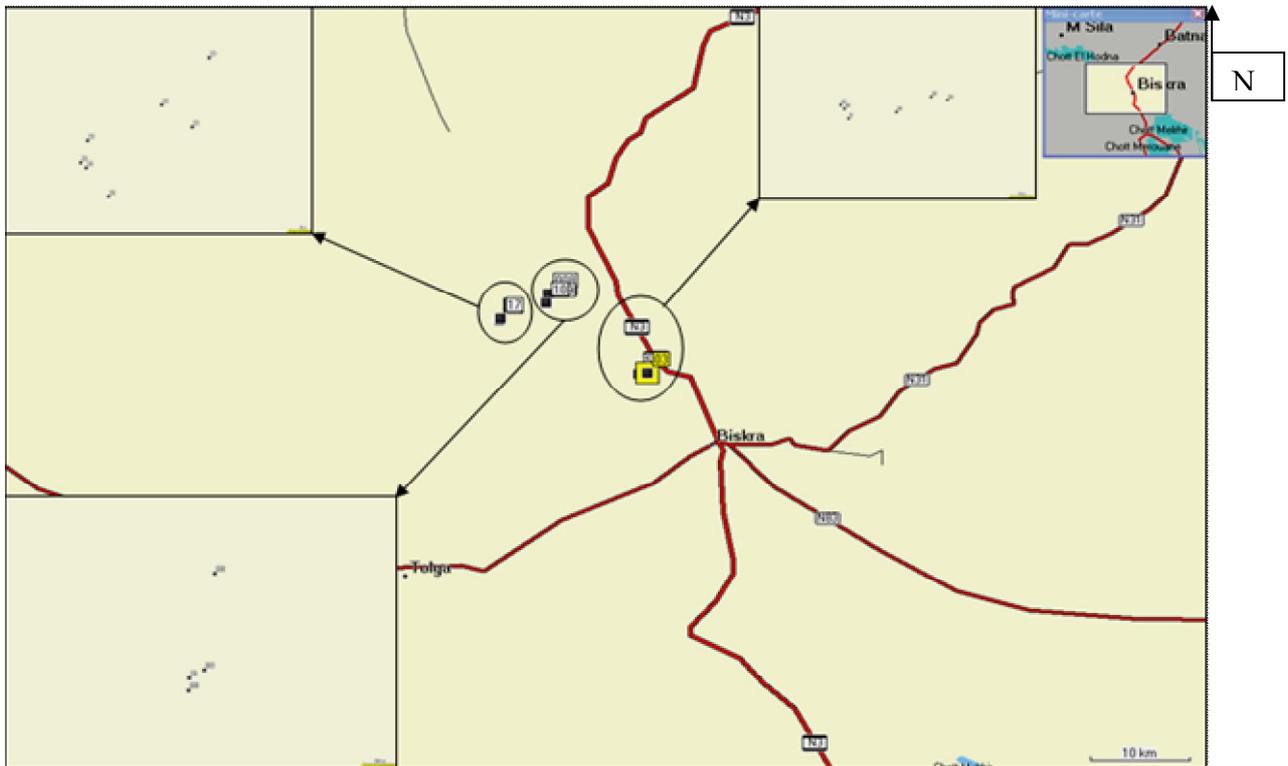
$$\text{Ecart relatif} = (\text{abs} ((\Sigma r^+ - \Sigma r^-) / (\Sigma r^+ + \Sigma r^-)) * 100).$$

Σr^+ la somme des cations

Σr^- la somme des anions

Ce paramètre permet de vérifier la précision des méthodes analytiques utilisées et la validité des déterminations chimiques. S'il est inférieur à 5%, les analyses sont considérées comme bonnes ; lorsque sa valeur est comprise entre 5% et 10%, les analyses peuvent être à la rigueur retenues ; par contre au-delà de 10% les analyses doivent être rejetées. Dans ce dernier cas, deux causes essentielles peuvent être évoquées : soit que les méthodes analytiques sont peu précises, soit qu'un ou plusieurs éléments en solutions n'ont pas été dosés.

Après validation des données leurs traitements et représentations graphiques ont été réalisées à l'aide de l'utilisation de logiciels tel que : Diagrammes.



Légende :

SEO : Station expérimentale d'El-Outaya.

F1 : Premier périmètre irrigué.

F2 : Deuxième périmètre irrigué

Fig.10 : Situation géographique des prélèvements (sol et eau) des différents périmètres irrigués.

Chapitre V : Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation par leur composition peuvent avoir une influence sur le sol (Coutinet, 1965). Comme, les eaux de la nappe du Mio-plio-quaternaire de la zone Est de la plaine d'El Outaya présente une salinité assez élevée variant entre 1 et 5 g/l (Brinis et al, 2009), leur influence de salinisation ne peut être que négative pour les sols et par conséquent sur la plus part des cultures. Du fait une analyse rigoureuse de leur physico-chimie s'avère nécessaire pour la détermination de la part de leur influence sur la salinisation des sols en question.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux utilisées à l'irrigation des trois périmètres étudiés sont indiqués dans le tableau suivant :

L'eau	CE (dS/m) à 25°C°	pH	Cations solubles en (meq/l)				Anions solubles en (meq/l)			SAR	Classe Reverside
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻		
SEO	3.5	7.65	7.62	4.05	8	0.13	20	10.6	11	3.32	C4S1
F1	3.8	8.01	12.43	11.34	22.5	0.13	36	6	21	6.54	C4S2
F2	3.6	7.8	11.52	7.85	23.21	0.22	29.4	7.2	18.5	7.46	C4S2

Tableau n° 14 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation

La première lecture des faciès chimiques des eaux utilisées dans l'irrigation des périmètres en question indique que :

L'eau d'irrigation du bassin de la station expérimentale d'El-Outaya (station expérimentale du C.R.S.T.R.A dont la source principale est le barrage « Fontaine des Gazelles) est une eau salée avec une CE de 3.5 dS/m et un SAR de 3.32, présentant ainsi, un risque de salinisation très élevé et un risque de sodicité faible (C4S1).

L'eau d'irrigation du forage F1, est une eau, aussi, salée avec une CE de 3.8 dS/m et un SAR de 6.54; elle présente un risque de salinisation très élevé par contre un risque de sodicité moyen (C4S2).

L'eau du Forage F2, est une eau aussi salée que l'eau de F1 mais avec une CE de 3.6 dS/m et un SAR de 7.46 ; elle présente un risque de salinisation très élevée par contre un risque de sodicité moyen à tendance d'être forte parce que le point F2 est presque sur la ligne séparant la classe C4S2 et C4S3 (voir annexe n°3).

D'une manière générale, l'ensemble de ces eaux est chloruré sodique ; leur faciès caractéristique est :

- $r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$.

- $r \text{Na}^+ > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$.

Selon Servant et Servat (1966), elles montrent un rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ de :

- 1.89 pour les eaux de la station SEO donnant un type de salinisation chlorurée-sulfatée.
- 6 pour les eaux du forage F1 qui donne un type de salinisation chlorurée.
- 4.8 pour les eaux du forage F2 donnant un type de salinisation chlorurée-sulfatée

Grossièrement, ces eaux appartiennent à la classe des oligochlorurées avec un $r \text{Cl}^-$ compris entre 15 et 40 meq /l (Brinis, 2003).

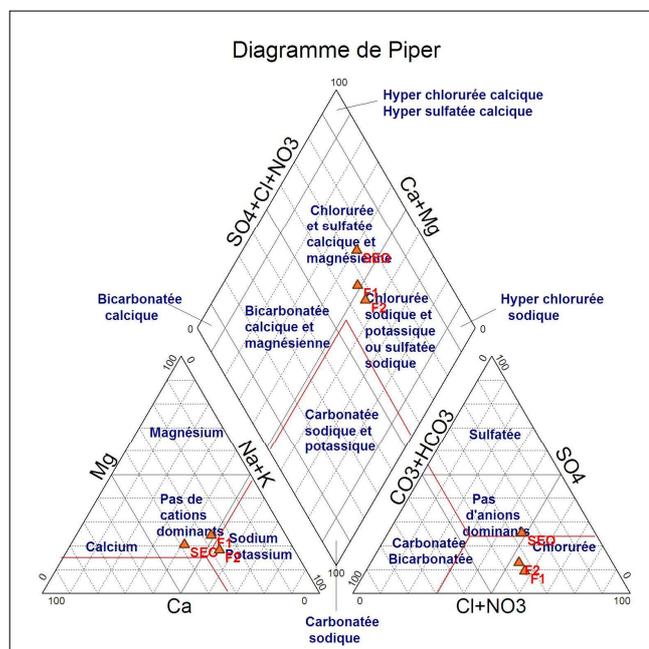


Fig. 11 : Diagramme de Piper des eaux d'irrigation utilisées.

V.1. Caractérisation des eaux d'irrigation

V.1.1. Etude de la salinité totale et du pH :

Salinité totale :

Les eaux d'irrigation des différentes sources présentent une conductivité électrique de 3.5 dS/m pour l'eau de station d'El-Outaya soit 2.24 g/l, de 3.8 dS/m pour l'eau du forage F1 soit 2.45 g/l et de 3.6 dS/m pour le forage F2 soit 2.3 g/l. L'évaluation de la qualité des eaux

utilisées pour l'irrigation des sols étudiés, dans l'échelle proposée par Durand (1958) pour les sols irrigables de l'Algérie, montre que ces dernières présentent une forte salinité.

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation de DURAND pour l'Algérie
CE < 0.25	< 0.2	Faible salé	Faible qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de	moyenne
2.25<CE<5	1.5-3	T. fortement salée	salinisation	Forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Très forte salinité Salinité excessive

Tableau N° 15 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation (Durand, 1958).

Le pH :

Le pH de ces eaux, selon Baise, est basique pour les trois sources (7.65 et 8.01 et 7.8 respectivement pour SEO, F1 et F2), ceci est dû aux fortes concentrations de Na⁺ et Cl⁻.

V.1.2. Distribution des sels solubles :

Les cations :

- La concentration de Na⁺ est la plus importante, elle est au voisinage de 8 meq/l pour l'eau de station de SEO, de 22.5 meq/l pour l'eau du forage F1 et de 23.21 meq/l pour l'eau du forage F2.
- La teneur en Ca⁺⁺ est supérieure à celle de Mg⁺⁺, elle est de l'ordre de 7.62 meq/l et 4.05 meq/l pour l'eau de station ; pour le forage F1, Ca⁺⁺ est de 12.43 meq/l et Mg⁺⁺ est de 11.34 meq/l ; par contre pour le forage F2, la concentration de Ca⁺⁺ est 11.52 meq/l et Mg⁺⁺ est de 7.85 meq/l.
- La teneur de K⁺ est pratiquement négligeable par rapport aux autres éléments avec une valeur de 0.13 meq/l pour les deux sources SEO et F1 ; par contre la source F2 a une teneur de 0.22 meq/l de K⁺.

Les anions :

Ces eaux contiennent des quantités importantes de chlorures (20 meq/l pour la station de SEO, 36 meq/l pour F1 et 29.4 meq/l pour F2) ; les bicarbonates sont quantitativement moins présents que les chlorures avec : 11 meq/l pour la station SEO et 21 meq/l pour F1 et 18.5 meq/l pour

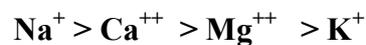
F2. Les sulfates se manifestent par des valeurs faibles (10.6 meq/ l pour la station et 6 meq/l pour F1 et 7.2 meq/l pour F2).

Le rapport Cl⁻/ SO₄⁻ : ce rapport est de l'ordre de 1.88 pour la station, 6 pour F1 et 4.08 pour F2, il traduit une dominance de l'ion Cl⁻ par rapport au SO₄⁻. Selon Servant (1976), ces eaux sont chloruro-sulfatées pour l'eau de la station SEO, chlorurées pour l'eau de forage F1 et chloruro-sulfatées pour F2.

Faciès chimiques :

Les cations

Selon l'abondance relative des cations, on note que dans ces eaux, c'est le Na⁺ qui a des proportions élevées ; il est près de 40.40 % du total des cations pour l'eau de la station SEO, de 48.49 % pour l'eau de F1 et de 54.23 % pour l'eau du F2. Ensuite, viennent, le Ca⁺⁺ avec 38.48 % pour la station SEO, 26.79 % pour F1 et 26.92 % pour F2 ; le Mg⁺⁺ a une abondance de 20.45 % pour la station SEO, de 24.44 % pour F1 et de 18.34 % pour F2 de la somme des cations. L'ion K est pratiquement négligeable avec une valeur de 0.65 % pour l'eau de la SEO, de 0.28 % pour l'eau de F1 et 0.51 % pour F2. En se référant au diagramme de Piper (figure N° 11), il ressort que l'ordre d'abondance des cations est :



Les anions

Pour les anions, les chlorures sont plus prépondérants que les carbonates (HCO₃⁻) et les sulfates. Leurs proportions atteignent respectivement 48.08 %, 26.44%, 25.48% pour l'eau de la SEO, 57.14 %, 33.33 %, 16.66 % pour l'eau de forage F1 et 53.36 %, 33.57 %, 13.07 % pour F2. L'ordre de classement des anions selon leur importance est le suivant :



Sodicité

Le danger d'alcalinisation est exprimé par la valeur du SAR, qui s'exprime comme suit :

$$SAR = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et Na⁺ sont exprimés en meq/l.

Selon Servant et Servat (1966) et Mathieu et Pieltain, (2003), ces eaux ont un SAR de 3.32 pour l'eau de la station SEO, de 6.54 pour l'eau de forage F1 et 7.46 pour F2 (Annexe n°2).

Le SAR ne prend pas en compte les modifications de la teneur en Ca^{++} de l'eau du sol survenant par précipitation ou dissolution pendant ou après une irrigation. Le sodium qui constitue un facteur important de la salinité, reste constamment soluble et en équilibre avec le sodium échangeable. Les agents extérieurs ont peu d'influence sur la dissolution ou la précipitation du sodium, qu'il soit concentré par les prélèvements de la plante entre deux arrosages, dilué par l'eau appliquée ou lessivée par drainage.

Cependant, Sauraz (1981), a développé une autre formule pour évaluer le danger du sodium, c'est le RNa adj. (coefficient ajusté d'adsorption du Na^+), afin d'améliorer l'ancienne formule du SAR, ne prenant pas compte de la dissolution et de la précipitation du Ca^{++} . Cette formule est presque la même de celle du SAR et s'exprime ainsi :

$$\mathbf{R Na adj. = Na / (Cax + Mg / 2)^{1/2}}$$

Na^+ et Mg^{++} : sodium et magnésium de l'eau d'irrigation, exprimés en meq/l.

Cax : une valeur modifiée du calcium, issue du tableau de Suarez (1981, dans FAO, 1988, voir annexe N° 4). Le Ca représente Ca^{++} dans l'eau d'irrigation mais modifiée en fonction de la salinité de l'eau appliquée, de son rapport $\text{HCO}_3^- / \text{Ca}$ (HCO_3^- et Ca^{++} exprimés en meq/l) et de la pression partielle de CO_2 estimée sur une épaisseur du sol de quelques millimètres en surface ($\text{PCO}_2 = 0.007\text{atm}$).

Cette expression permet de prévoir d'une manière plus correcte les problèmes potentiels d'infiltrations dues à une teneur relativement forte en sodium (ou faible en calcium) dans l'approvisionnement en eau d'irrigation. (FAO, 1984).

La préférence va à la méthode du RNa adj. (FAO ; 1984,1988) qui avec le Ca^{++} , du tableau de Suarez(1981), offre un meilleur aperçu des transformations du calcium dans l'eau du sol, liées à la dissolution à partir des carbonates et des silicates (addition de calcium). Par ailleurs, des méthodes thermodynamiques qui tiennent compte de ces processus géochimiques sont développées actuellement. (Bala, 2005).

La valeur de RNa adj. égale à 4.67 pour l'eau de la station SEO, à 8.86 pour l'eau de forage F1 et à 10.62 pour F2. Enfin, il est à noter que des valeurs acceptables du SAR, autour de 10, ont peu d'action, sur les propriétés physiques des sols tant que la salinité globale est suffisante (Daoud et Halitim, 1994).

Cette expression permet de prévoir d'une manière plus correcte les problèmes potentiels d'infiltrations dues à une teneur relativement forte en sodium (ou faible en calcium) dans l'approvisionnement en eau d'irrigation. (FAO, 1984).

La préférence va à la méthode du RNa adj. (FAO ; 1984,1988) qui avec le Ca^{++} , du tableau de Suarez(1981), offre un meilleur aperçu des transformations du calcium dans l'eau

du sol, liées à la dissolution à partir des carbonates et des silicates (addition de calcium). Par ailleurs, des méthodes thermodynamiques qui tiennent compte de ces processus géochimiques sont développées actuellement. (Bala, 2005).

La valeur de R_{Na} adj. égale à 4.67 pour l'eau de la station SEO, à 8.86 pour l'eau de forage F1 et à 10.62 pour F2. Enfin, il est à noter que des valeurs acceptables du SAR, autour de 10, ont peu d'action, sur les propriétés physiques des sols tant que la salinité globale est suffisante (Daoud et Halitim, 1994).

Classification des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation est appréciée en utilisant le diagramme de classification des eaux de l'U.S.S.L (1954), c'est un tableau à double entrée, avec les conductivités en abscisses et des SAR en ordonnées. Cependant, le diagramme proposé a été modifié par l'addition d'une 5^{ème} classe d'après la conductivité électrique (Durand, 1958).

Le report des résultats sur ce diagramme (voir annexe N°4) montre que l'eau d'irrigation de la station SEO appartient à la classe (C4S1), celle du F1 à la classe (C4S2) et celle du F2 à, aussi, à la classe (C4S2).

Risque de salinité

C4 : eaux très fortement salées, ne convenant pas normalement pour l'irrigation dans certaines conditions, elles peuvent être utilisées en mettant en œuvre des pratiques spéciales.

Risque d'alcalinité

S1 : eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation, bien que, certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

S2 : l'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à texture fine et surtout dans des conditions de faible lessivage, à moins que le gypse ne soit présent dans le sol. Cette eau est utilisable pour des sols à texture grossière.

Conclusion

Il ressort de cette étude faite sur l'eau d'irrigation des trois périmètres de la plaine d'El-Outaya, que l'eau d'irrigation de la station où sa source principale est celle de barrage de la Fontaine de Gazelle, ainsi que l'eau de forage F1 et F2 ont une forte salinité avec un risque d'alcalinisation nulle pour l'eau de la station SEO et une faible alcalinisation pour l'eau de forage F1, ainsi que l'eau de forage F2 mais à tendance être moyenne.

Le faciès chimique de ces eaux la caractérisé en type chloruré sodique. Selon le rapport Cl^-/SO_4^{2-} , elles ont une salinisation de type chloruré sulfaté pour l'eau de la station SEO ainsi que l'eau de forage F2 et chloruré pour l'eau de forage F1.

Chapitre VI : Qualité des sols de la plaine d'El Outaya

La caractérisation rigoureuse de la salinité des sols exige la détermination des ions présents. Pour les effets osmotiques, la conductivité électrique de l'eau ou de la solution du sol suffit pour avoir un aperçu sommaire. Cet aspect a été étudié pendant les deux prélèvements du sol, l'un avant ou au cours de l'irrigation et l'autre en fin de la campagne agricole. On s'est intéressé à connaître le niveau de la salinité globale des sols par l'intermédiaire de leur CE et de leur bilan ionique (voir annexe n°1, Tableaux 1 à 15).

VI.1. Le sol de la station expérimentale d'El-Outaya - SEO

VI.1.1. Caractéristiques granulométriques :

Les résultats de l'analyse granulométrique des différents échantillons prélevés sont donnés dans le tableau N°16. Dans tous les échantillons, la composition granulométrique montre une dominance des sables (fin et grossier) par rapport aux autres fractions. Ils varient entre 13.86 et 80.4 % avec une dominance de sable grossier. L'argile représente le taux le plus faible ; ceci, indique une texture limono-sableuse à sableuse.

VI.1.2. Caractéristiques chimiques du sol

D'après les données analytiques (voir tableaux, annexe n° 1, points 1 à 6), on constate que :

- Le **pH** ne montre pas des variations significatives d'un horizon à l'autre ou d'un prélèvement à l'autre. Ses valeurs sont comprises entre 6.79 (Valeur minimale dans l'horizon (40-60 cm) et 8.39 (valeur maximale dans l'horizon (0-20 cm)) du 1^{er} prélèvement. Les valeurs du 2^{ème} prélèvement sont comprises entre 7.05 comme valeur minimale et 8.05 comme valeur maximale ; les deux valeurs sont signalées dans l'horizon (0-20 cm). Le pH du sol est, donc, neutre à basique dans les deux prélèvements.

- **La conductivité électrique**

Selon l'échelle de salure établie par Aubert (1978), ces sols sont généralement peu à très salés dans tous les horizons du 1^{er} prélèvement. La CE varie de 0.71 à 5.87 dS/m où les niveaux médians (20-40 cm) et (40-60 cm) sont les plus salés. Ces sols deviennent peu à extrêmement salés dans tous les horizons du 2^{ème} prélèvement dont CE varie de 1.03 à 6.24 dS/m dont les niveaux médians sont les plus salés.

➤ **La capacité d'échange cationique (La C.E.C)**

La détermination des caractéristiques du complexe d'échange des sols des régions arides, constitue, actuellement un problème de la plupart des procédés analytiques, en raison de la présence du CaCO_3 et du gypse. La notion d'ESP est affectée par une double source d'imprécision, la première est due à la C.E.C et la seconde à l'estimation de Na^+ échangeable (JOB, 1981 in Bala, 2005).

D'après les données analytiques (Tableau N°16), on constate que les valeurs de la C.E.C sont très faibles (valeurs inférieurs à 60 meq/1000g du sol selon le référentiel pédologique in ENITA, 2000). Elles varient entre 21.8 et 27.66 meq/1000g du sol, ceci est lié à la texture du sol. C'est-à-dire qu'on est en présence d'un sol sableux à faible taux d'argile.

Les valeurs de l'ESP, qui ne présentent pas une différence significative entre les deux critères (horizons et prélèvements), varient de 3.03 % comme valeur minimale enregistrée dans l'horizon (0-20 cm) et 10.72 % comme valeur maximale dans l'horizon (60-80 cm) du 1^{er} prélèvement. Dans le 2^{ème} prélèvement, elles sont comprises entre 1.49 % comme valeur minimale enregistrée toujours dans l'horizon (0-20 cm) et 11.9 % comme valeur maximale enregistrée dans l'horizon (40-60 cm). Donc, l'ESP présente un taux faible (inférieur à 15 % ne constituant pas un risque d'alcalisation). Pour la majorité des échantillons, les taux les plus importants se localisent dans la partie basse des prélèvements.

Echantillon		Granulométrie (%)				C E C meq/1000 g du sol)	Bases échangeables (meq/1000g du sol)		ESP %	
		A	L	SF	SG		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	1	2
P1	H1	1	4.33	21.38	69.03	21.8	2.4	2	5.76	4
	H2	6	7.12	31.32	55.55	21.8	4.41	1.21	7.05	5.66
	H3	4.2	27.03	28.89	38.87	24	2.4	2.4	7.31	4.43
	H4	5.9	17.28	32.35	44.55	24	3.2	2	10.72	6.36
P2	H1	2.9	0.83	22.56	73.69	21.84	2.4	2	6.25	4.96
	H2	2.56	0.2	22.85	74.36				3.92	3.47
	H3	3.5	3.24	13.86	79.4	24.02	2.4	1.62	5.92	4.3
	H4	1.8	6	18.93	73.21				5.72	8.77
P3	H1	2.1	4.3	22.53	71.03	25.46	4.4	3.25	5.84	1.49
	H2	1.8	3.42	19.5	75.25				5.11	1.79
	H3	3.1	1.37	16.3	79.23	25.46	5.2	0.4	5.62	4.22
	H4	3	1.2	15.4	80.4				7.8	5.06
P4	H1	1.8	9.2	27.5	61.5	25.46	2.4	2	3.97	6.17
	H2	2.4	3.2	24.2	70.2				5.68	7.41
	H3	2	4.2	20.8	73	27.66	2.8	2.8	6.93	11.9
	H4	4.2	12	29.2	54.6				8.66	11.25
P5	H1	1.5	19.3	38.25	40.95	24.74	4	3.44	3.03	3.48
	H2	4	23.1	40.65	32.25				5.35	4.61
	H3	2	13	36.55	48.45	25.46	3.2	3.24	6.1	5.1
P6	H1	2	9.7	26	62.3	25.46	4	3.64	4.84	7.12
	H2	0	6.5	14	79.5				7.67	5.97
	H3	1.5	28.5	20	50	24.02	6	3.64	7.49	3.03
	H4	2.4	7	29.6	61				4.22	2.41

Tableau N° 16: Caractéristiques physico-chimique du sol de la station SEO

VI.1.3. Bilan ionique de la solution du sol

Concentration en cations

Le 1^{er} prélèvement montre que :

-Le cation dominant dans la solution du sol est le Na^+ avec une abondance moyenne de 43.22 %. Ces concentrations sont appréciables et varient de 4.7 à 27.54 meq/l. Les valeurs les plus importantes de Na^+ sont rencontrées au niveau de l'horizon médian (40-60 cm). La concentration de Na^+ varie d'un profil à l'autre.

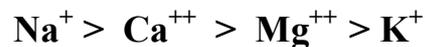
-Le Ca^{++} est présent avec des teneurs inférieures à celle de Na^+ . Son abondance moyenne est de 39.40 % ; leurs concentrations tournent autour de 3 et 30.46 meq/l. c'est la tranche médiane (20-40 cm) et (40-60 cm) qui présentent d'avantage de Ca^{++} .

-Le Mg^{++} est présent en quantités de plus en plus inférieures de Na^+ et Ca^{++} , avec une moyenne de 16.15 %. Leurs concentrations varient de 2 à 12.55 meq/l dans tous les horizons.

-Le K^+ est en dernier lieu avec des quantités allant de 0 à 0.97 meq/l. En surface, les quantités de cet élément sont manifestement supérieures à celles des niveaux sous jacent (de 20 à 80 cm).

-Le SAR ne présente pas de variations significatives pour les deux paramètres (horizons et prélèvements). Il varie de 2.97 (valeur minimale signalée dans l'horizon (0-20 cm) à 8.2 (valeur maximale signalée dans la profondeur (60-80 cm)). Dans la plupart des échantillons, le SAR est inférieur à 8 et selon Servant et Servat (1966), le risque d'alcalinisation est faible.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures A de 12 à 15), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement montre que :

-Le cation dominant dans la solution du sol est le calcium Ca^{++} avec une abondance moyenne de 44.23 %. Ces concentrations sont appréciables et varient de 6 à 32.46 meq/l. Les valeurs les plus importantes de Ca^{++} sont rencontrées au niveau de la tranche (20-40cm) et (40-60 cm).

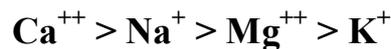
-Le Na^+ est présent avec des teneurs inférieures à celle de Ca^{++} . Son abondance moyenne est de près de 37.82 % ; les quantités tournent autour de 4 et 41.4 meq/l, elles sont plus importantes en profondeur (60-80 cm).

-Le Mg^{++} est présent avec des quantités de plus en plus inférieures de Ca^{++} et Na^+ , avec une moyenne de 16.64 %. Leurs concentrations varient de 3 à 12.15 meq/l dans tous les horizons. C'est en surface (0-20cm) qui s'accumule d'avantage le Mg^{++} .

-En dernier lieu, on trouve le K^+ avec des quantités allant de 0.13 à 1.36 meq/l. En surface, les quantités de cet élément sont manifestement supérieures à celles des niveaux sous jacents (20-80 cm).

-Les valeurs du SAR sont comprises entre 1.88 (valeur minimale entre (0-20 cm)) et 9.97 (valeur maximale entre (40-60 cm)). Dans la plupart des échantillons, le risque d'alcalinisation est faible.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures B de 12à 15), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Concentration en anions :

Le 1^{er} prélèvement montre que :

-Les chlorures sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 60.47%. Leurs concentrations varient de 5 à 57 meq/l, avec une valeur la plus élevée en profondeur et la plus faible dans la couche médiane (40-60cm).

-Les sulfates se présentent en deuxième lieu avec une abondance moyenne de 30%. Leurs concentrations varient de 1.75 à 35.6 meq/l avec la valeur la plus faible en surface (0-20cm) et les valeurs les plus élevées dans les tranches médianes (de 20 à 60 cm).

-Les bicarbonates (HCO_3^-) se manifestent en moindres concentrations en comparaison avec le Cl^- et SO_4^- avec une abondance moyenne de 9.12 %. Ils varient de 2 à 4.5 meq/l.

-Le rapport Cl^- / SO_4^- enregistre la valeur minimale 0.15 entre (40-60 cm) et la valeur maximale 13.56 entre (0-20 cm). Toujours, selon Servant et Servat 1966 et dans la plupart des échantillons, le rapport Cl^- / SO_4^- est compris entre 1 et 5, donc, la solution du sol est classée comme chlorurée -sulfatée.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures A de 12à 15), donne lieu au classement des anions selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement montre que :

-Les chlorures sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 49.68 %. Leurs concentrations varient de 3.2 à 66 meq/l. A noter que la valeur la plus élevée se manifeste entre (40-60cm) et la plus faible entre (20-40 cm).

-Ensuite, viennent Les sulfates avec une abondance moyenne de 42.27%. Leurs concentrations varient de 4.1 à 36.5 meq/l et à noter que la valeur la plus faible est entre (60-

80cm) et la valeur la plus élevée entre (40-60 cm). Les valeurs les plus élevées se trouvent dans la tranche médiane (20 à 60 cm).

-Les bicarbonates HCO_3^- sont en concentrations moindres en comparaison avec Cl^- et SO_4^{2-} avec une abondance moyenne de 8.11 %. Ils varient de 2.5 à 5 meq/l. les valeurs minimales se rencontrent, particulièrement, dans le sommet des horizons.

-Le rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ enregistre la valeur minimale de 0.1 dans l'horizon (20-40 cm) et la valeur maximale 12.19 dans l'horizon (60-80 cm). Dans la plupart des échantillons, le $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ est compris entre 0.2 et 1, donc, la solution du sol est classée comme sulfato-chlorurée.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures B de 12 à 15), donne lieu au classement des anions, qui reste le même que le précédent, selon l'ordre suivant :



Faciès chimiques :

Les données analytiques ont été portées sur le diagramme de Piper (figure de N° 12-15). Les points représentatifs des solutions du sol des deux prélèvements sont généralement :

Horizon 0 -20 cm : chloruré-sodique du 1^{er} prélèvement et deviennent chloruré-calcique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 20-40 cm : chloruré-calcique du 1^{er} prélèvement et deviennent sulfaté-calcique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 40-60 cm : chloruré-sodique du 1^{er} prélèvement et deviennent sulfaté-calcique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 60-80 cm : chloruré-sodique dans les deux prélèvements.

On note, selon Servant et Servat(1966), que dans le 1^{er} prélèvement, deux faciès chimique se présentent ; l'un chloruré-sodique principalement dans l'horizon de surface et de (40-80cm) et l'autre chloruré-calcique dans l'horizon (20-40 cm).

Par contre, on note trois faciès chimique dans le 2^{ème} prélèvement : le premier Chloruré-calcique dans l'horizon de surface (0-20 cm), le second Sulfaté-calcique dans les horizons médians (de 20 à 60 cm) et le troisième Chloruré-sodique dans la profondeur (60-80 cm).

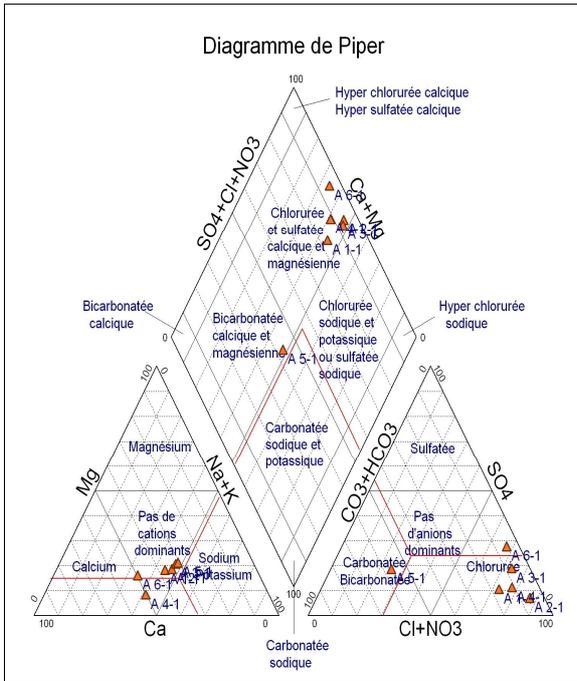


Fig.12 A

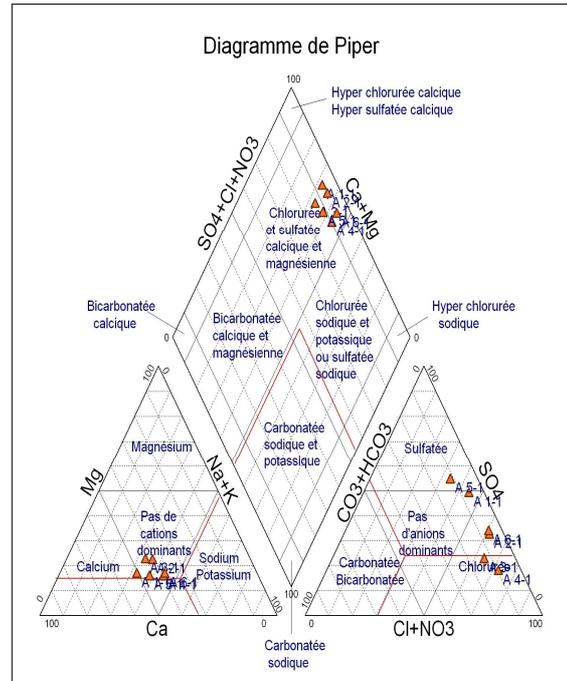


fig.12 B

Fig. 12 : Représentation sur le diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 0-20 cm de la SEO (A prélèvement 1 et B prélèvement 2).

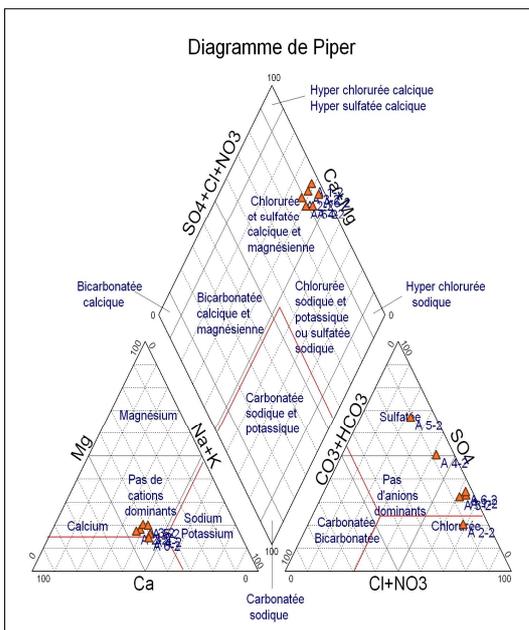


Fig. 13 A

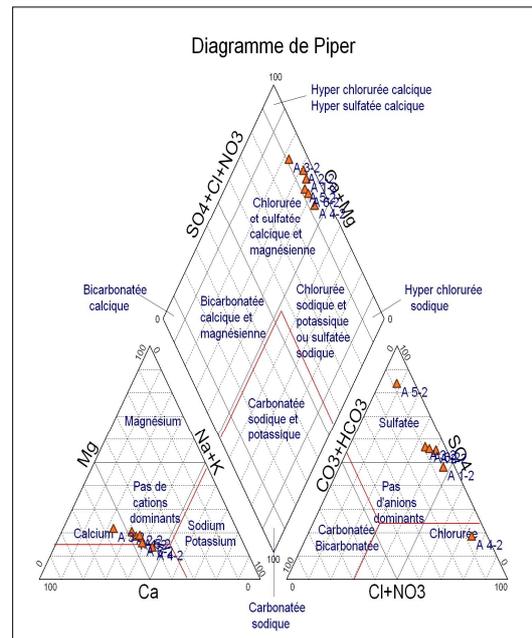


Fig. 13 B

Fig. 13 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 20-40 cm de la SEO (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

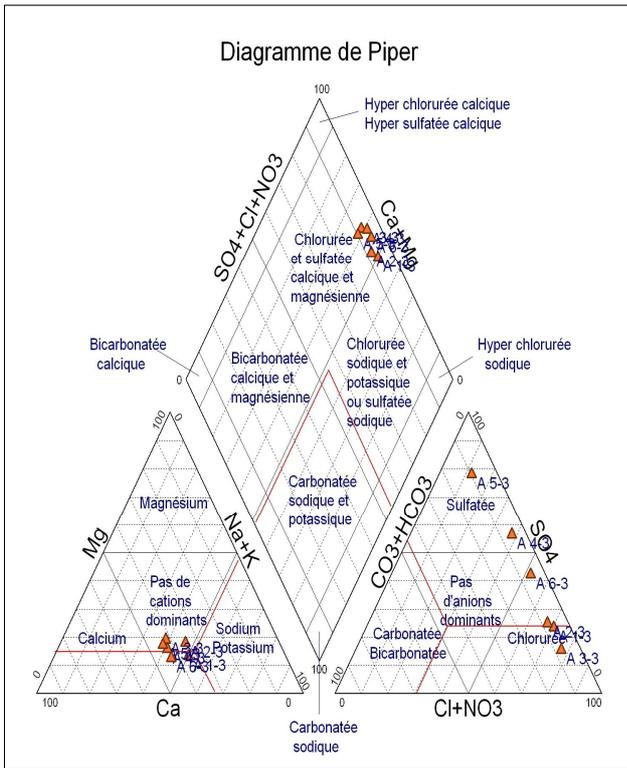


Fig. 14 A

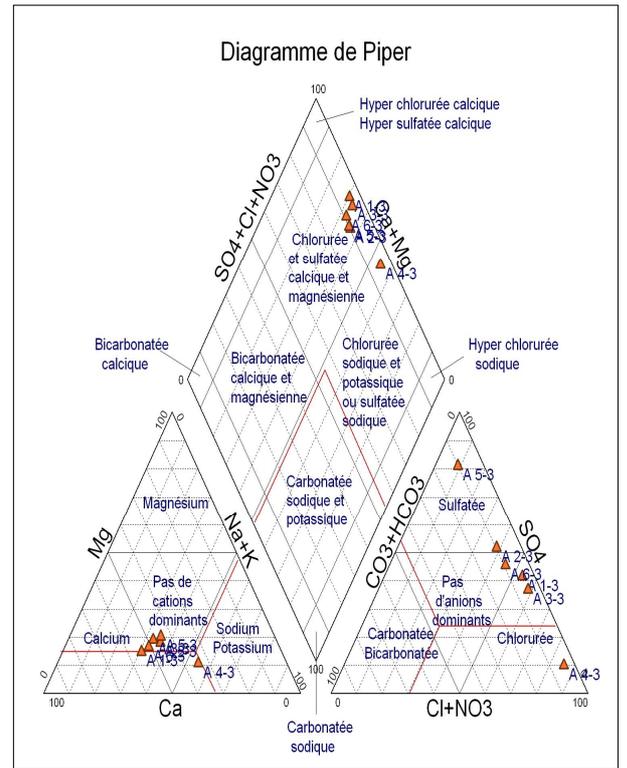


Fig. 14 B

Fig. 14: Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 40-60 cm de la SEO (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

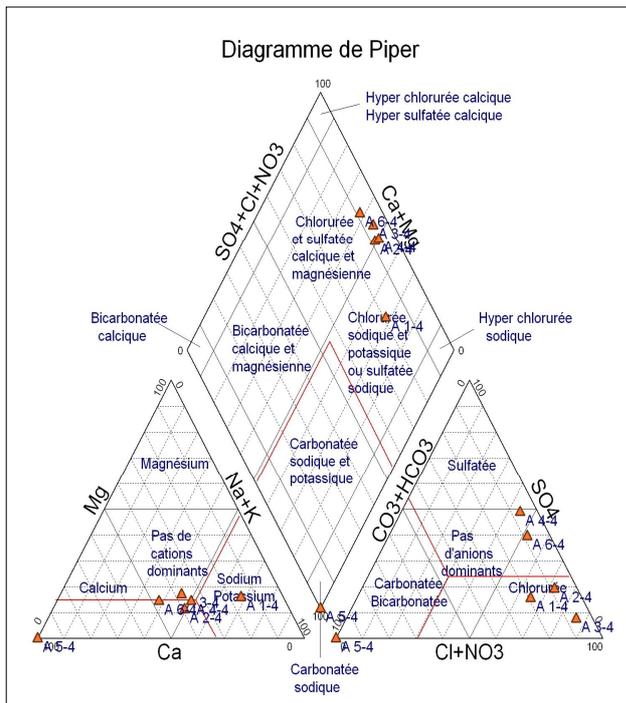


Fig. 15 A

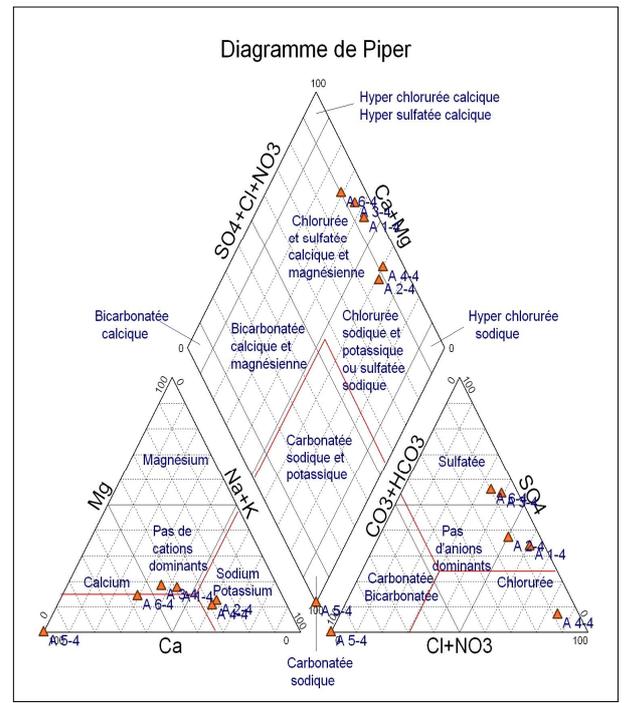


Fig. 15 B

Fig. 15: Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 60-80cm de la SEO (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

VI.2. Les sols du deuxième périmètre irrigué

VI.2.1. Caractéristiques granulométriques :

Les résultats de l'analyse granulométrique des différents échantillons sont présentés dans le tableau N° 17. Dans tous les échantillons, la fraction sableuse domine toutes les autres fractions et par conséquent la texture du sol est sableuse.

VI.2.2. Caractéristiques chimiques du sol :

D'après les données analytiques (Tableaux, annexe n°1, points 7 à 10), on constate que :

- Le **pH** ne subit pas de variation significative d'un horizon à l'autre par contre, il enregistre des variations très significatives d'un prélèvement à l'autre. Ses valeurs sont comprises entre 7.5 (valeur minimale entre (60-80 cm) et 8.2 (valeur maximale entre (0-20 cm)) du 1^{er} prélèvement. Les valeurs du 2^{ème} prélèvement sont comprises entre 7.2 (valeur minimale entre (40-60 cm) et 7.85 (valeur maximale entre (60-80 cm)). Donc, le pH du sol est neutre à basique dans les deux prélèvements.
- **La conductivité électrique** : les sols du F1 sont généralement peu à très salés dans tous les horizons du 1^{er} prélèvement. La CE varie de 0.84 à 4.2 dS/m avec les niveaux les plus salés sont en profondeur (entre 40 à 80 cm). Ils deviennent salés à très salés dans tous les horizons du 2^{ème} prélèvement. La CE varie de 1.2 à 2.98 dS/m avec les niveaux les plus salés sont les mêmes que du 1^{er} prélèvement.
- **La capacité d'échange cationique (CEC)** : D'après les données analytiques du tableau N°17, on constate que les valeurs de la C.E.C sont très faibles (valeurs inférieurs à 60 meq/ 1000g du sol selon le référentiel pédologique in ENITA, 2000). Elles varient entre (21.1 - 32.74) meq/100g du sol, ceci est lié à la texture du sol.

Les valeurs de l'ESP présentent une différence significative entre les horizons et varient de 1.1 % (valeur minimale entre 0 - 20 cm) et 6.32 % (valeur maximale entre 60 - 80 cm) du 1^{er} prélèvement. Dans le 2^{ème} prélèvement, elles sont comprises entre 0.25 % (valeur minimale toujours entre 0 - 20 cm) et 12.48 % (valeur maximale en profondeur (60-80 cm)). Donc, l'ESP montre un taux faible excluant un risque d'alcalisation. Pour la majorité des échantillons, les taux les plus faibles se localisent dans les niveaux supérieurs des prélèvements.

Echantillon		Granulométrie (%)				C E C (meq/1000 g du sol)	Bases échangeables (meq/1000g du sol)		ESP %	
		A	L	SF	SG		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	1	2
P1	H1	1	7	20	72	28.38	2.8	1.62	1.74	0.25
	H2	2	6	17	75				5.3	3
	H3	0.8	5.2	18	76	24.74	3.2	2	5.85	5.77
	H4	0.5	5	18.5	76				6.32	6.93
P2	H1	2	5	45	48	25.46	3.6	3.24	1.1	1.33
	H2	0.6	6.4	37	56				4.43	6.04
	H3	1	2.7	16.3	80	26.92	4	3.24	6.21	8.33
	H4	0.5	3.5	16	80				4.55	12.48
P3	H1	2.15	9.85	38	50	32.74	4	1.6	4.85	6.4
	H2	1.7	16.3	44	38				3.5	5.82
	H3	1.8	10.2	42	46	21.1	2	3.64	4.77	6.48
	H4	1.2	9.8	44	45				5.27	6.84
P4	H1	1.15	4.85	40	54	22.56	5.21	0.8	0.33	2.28
	H2	1.8	11.2	42	45				4.33	0.74
	H3	1	15	36	48	21.84	3.6	2.83	2.17	1.69
	H4	1	12	37	50				2.77	3.23

Tableau n° 17: Caractéristiques physico-chimiques du sol dans le 2^{ème} périmètre irrigué.

VI.2.3. Bilan ionique de la solution du sol

Concentration en cations

Le 1^{er} prélèvement montre que :

-Le cation dominant dans la solution du sol est le calcium Ca⁺⁺ avec une abondance moyenne de 41.56%. Ses concentrations sont importantes et varient de 3.21 à 30.46 meq/l. Les valeurs les plus élevées de Ca⁺⁺ sont rencontrées au niveau de la surface et la couche médiane (0 - 60 cm). Il est moins important en profondeur (60-80 cm).

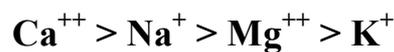
-Le Na⁺ est présent avec des teneurs inférieures à celles de Ca⁺⁺. Son abondance moyenne est près de 40.93 % ; les concentrations varient entre 3.62 et 23.91 meq/l. C'est le niveau médian du sol qui accumule d'avantage du Na⁺ soluble.

-Le Mg^{++} est présent en faibles quantités par rapport à Ca^{++} et Na^+ , avec une abondance moyenne de 16.68 %. Les teneurs varient de 2.43 à 9.72 meq/l ; la valeur minimale est à la surface et la valeur maximale se rencontre dans la couche médiane (40-60 cm).

-Le K^+ est le moins abondant avec des concentrations allant de 0 à 0.21 meq/l. En surface, les quantités de cet élément sont manifestement supérieures à celles des niveaux sous jacents (20-80 cm).

-Le SAR présente une variation significative d'un horizon à l'autre comme ESP. Il varie de 1.61 (valeur minimale entre 0 - 20 cm) à 5.43 (valeur maximale entre 60 - 80 cm). Dans la plupart des échantillons, le SAR est inférieur à 8 et le risque d'alcalinisation est faible (Servant et Servat (1966).

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures A de 16 à 19), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement montre que :

-Le cation dominant est le Na^+ avec une abondance moyenne de 44.67 %. Les concentrations varient de 3.55 à 21 meq/l ; la valeur minimale est en surface (0-20 cm) et la valeur maximale en profondeur (60-80 cm). Les quantités les plus importantes de Na^+ par rapport aux autres cations sont enregistrées entre (40 - 80 cm).

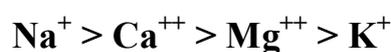
-Le Ca^{++} est moins important que Na^+ . Son abondance moyenne est de 36.10 % ; les teneurs varient entre 3.2 et 19.65 meq/l. La valeur minimale se manifeste en surface (0-20 cm) et la valeur maximale dans la première couche médiane (20-40cm).

-Le Mg^{++} est moins présent que Na^+ et Ca^{++} . Son abondance moyenne est de 17.86 %. Les concentrations varient de 2 meq/l (valeur minimale entre 60-80 cm) et 7 meq/l (valeur maximale entre 20-40 cm).

-Le K^+ vient en dernier lieu avec des valeurs allant de 0.02 à 1.05 meq/l. La concentration la plus importante est signalée à la surface (0-20cm).

-Les valeurs du SAR sont comprises entre 1.02 (valeur minimale dans l'horizon (0-20 cm) et 10.5 (valeur maximale en profondeur (60-80 cm). Dans la plupart des échantillons, selon Servant et Servat 1966, le risque d'alcalinisation est faible.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures B de 16 à 19), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Concentration en anions :

Le 1^{er} prélèvement montre que :

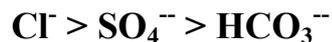
-Les chlorures sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 44.65 %. Leurs concentrations varient de 5 à 40 meq/l. Les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans la deuxième couche médiane (40-60 cm).

-Les sulfates viennent en seconde position avec une abondance moyenne de 39.20 %. Leurs teneurs tournent autour de 3 et 13.8 meq/l. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées en profondeur (60-80 cm).

-Les bicarbonates sont les moins présents avec une abondance moyenne de 16.14 % variant entre 1.5 et 4.5 meq/l.

Le rapport Cl^- / SO_4^{2-} montre une valeur minimale de 0.44 en profondeur (60-80 cm) et une valeur maximale de 4 dans l'horizon (40-60 cm). La plupart des échantillons indiquent que la solution du sol est chlorurée-sulfatée.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures A de 16 à 19), donne lieu au classement des anions selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement montre que :

-Les sulfates sont les anions dominants avec une abondance moyenne de 56.63 %. Ses concentrations varient de 5.8 à 22 meq/l. Ils sont plus importants à la surface (0-20 cm) et dans la première couche médiane (20 - 40 cm).

-Les chlorures viennent en deuxième lieu avec une abondance moyenne de 27.94 %. Ses teneurs varient entre 2.5 et 10 meq/l et sont plus importants en profondeur (60-80 cm).

-Les bicarbonates se rencontrent avec des concentrations moindres par rapport aux sulfates et chlorures avec une abondance moyenne de 15.58 %. Leurs concentrations varient de 2 à 4 meq/l et les minimas se manifestent aux sommets des différents horizons.

Le rapport Cl^- / SO_4^{2-} enregistre une valeur minimale de 0.15 dans l'horizon (0-20 cm) et une valeur maximale de 1 en profondeur (60-80 cm) indiquant que la solution du sol est sulfato-chlorurée.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures B de 16 à 19), donne lieu au classement des anions selon l'ordre suivant :



Faciès chimiques :

Les données analytiques ont été projetées sur le diagramme de Piper (figure 16-19). De ces projections les conclusions suivantes se dégagent :

Horizon 0-20 cm : chloruré-calcique dans le 1^{er} prélèvement et devient sulfaté-calcique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 20-40 cm : chloruré-calcique du 1^{er} prélèvement et devient sulfaté-sodique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 40-60 cm : chloruré-calcique du 1^{er} prélèvement et devient sulfaté-sodique dans le 2^{ème} prélèvement.

Horizon 60-80 cm : sulfaté-sodique dans les deux prélèvements.

Ceci montre la présence de deux faciès dans le premier prélèvement : l'un chloruré-calcique principalement dans les trois premiers horizons et l'autre sulfaté-sodique en profondeur (60-80 cm). Dans le 2^{ème} prélèvement, on note aussi deux faciès chimiques : le premier sulfaté-calcique dans l'horizon de surface (0-20 cm) et le second Sulfaté-sodique dans les autres horizons. Notons que cette zone a un faciès chimique caractérisant les eaux de type sulfaté-sodiques selon Brinis (2003).

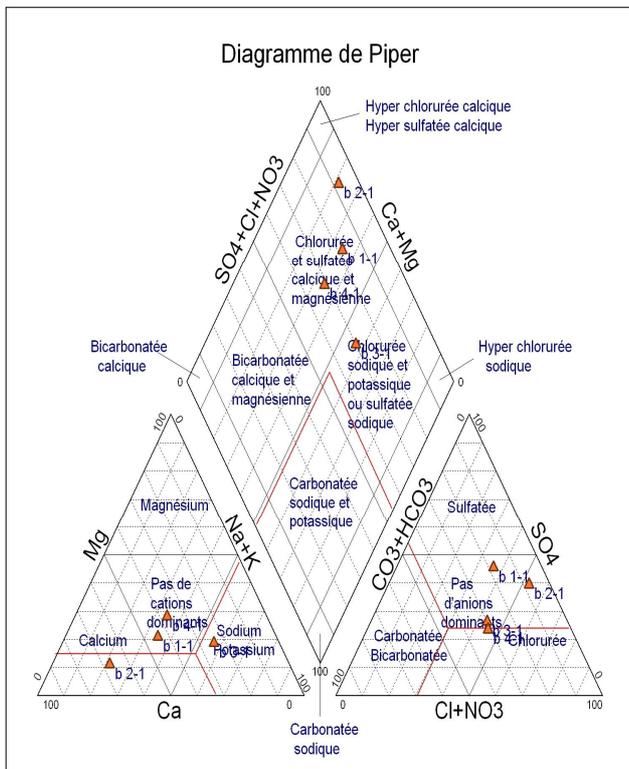


Fig. 16 A

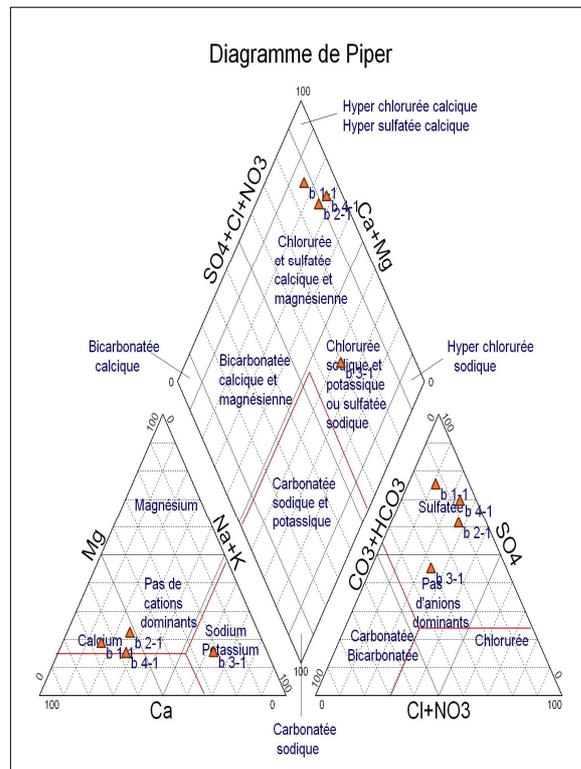


Fig. 16 B

Fig. 16 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 0-20 cm du deuxième périmètre irrigué (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

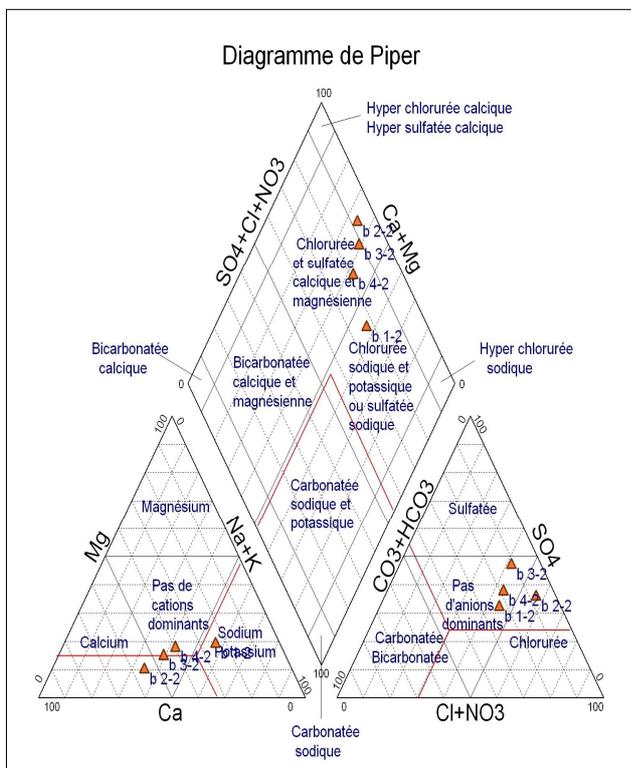


Fig. 17 A

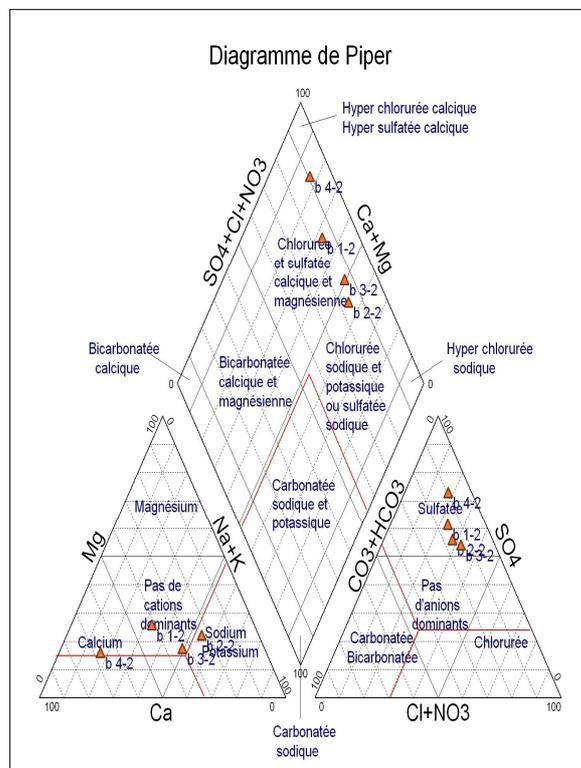


Fig. 17 B

Fig. 17 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 20-40 cm du deuxième périmètre irrigué (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

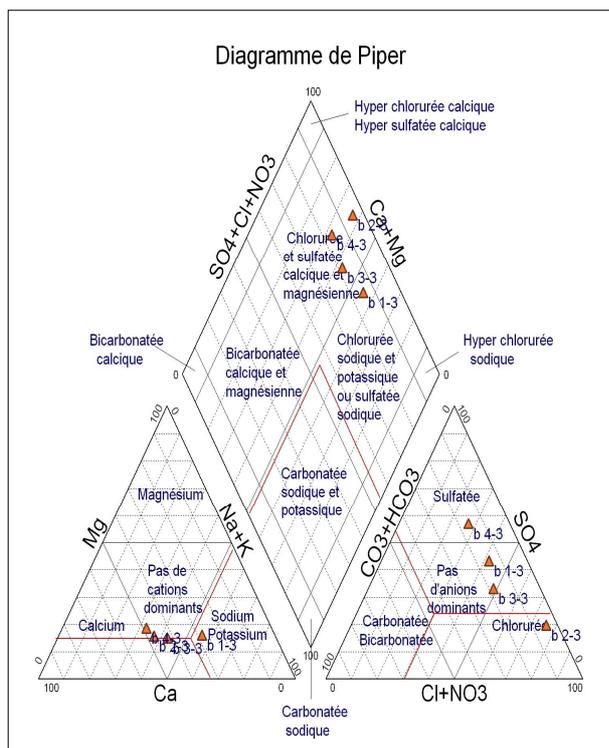


Fig. 18A

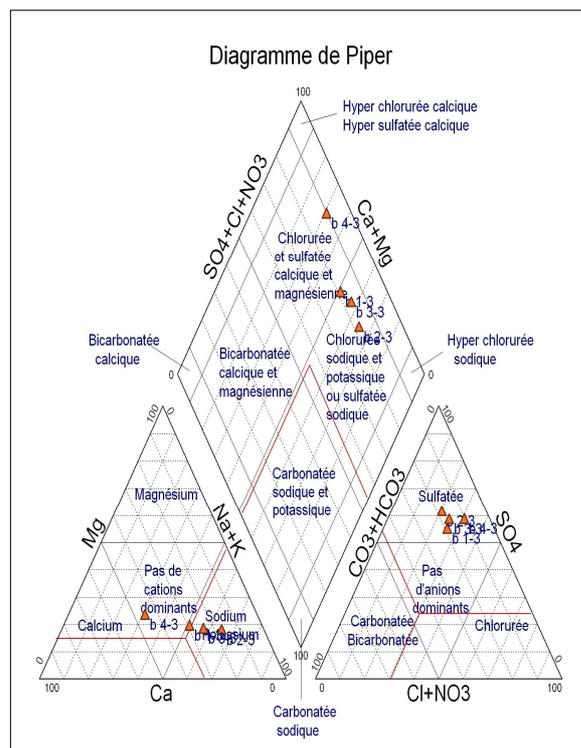


Fig. 18 B

Fig. 18 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 40-60 cm du deuxième périmètre irrigué (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

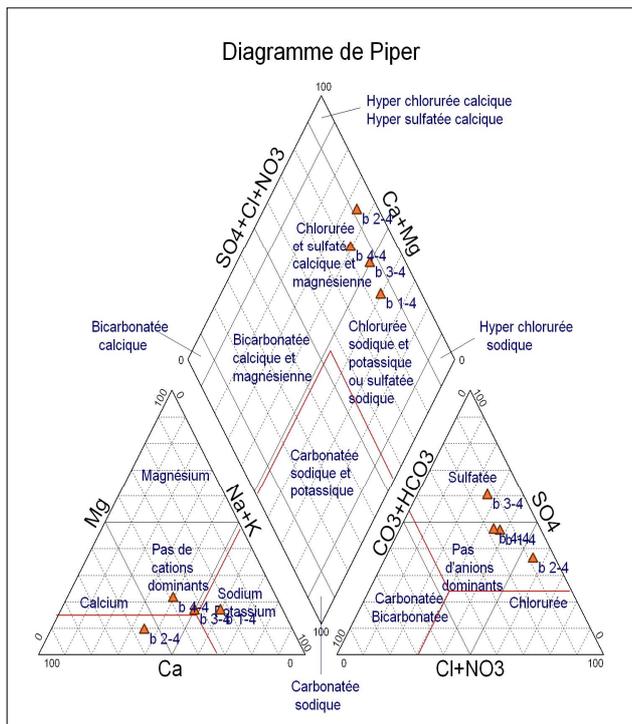


Fig. 19 A

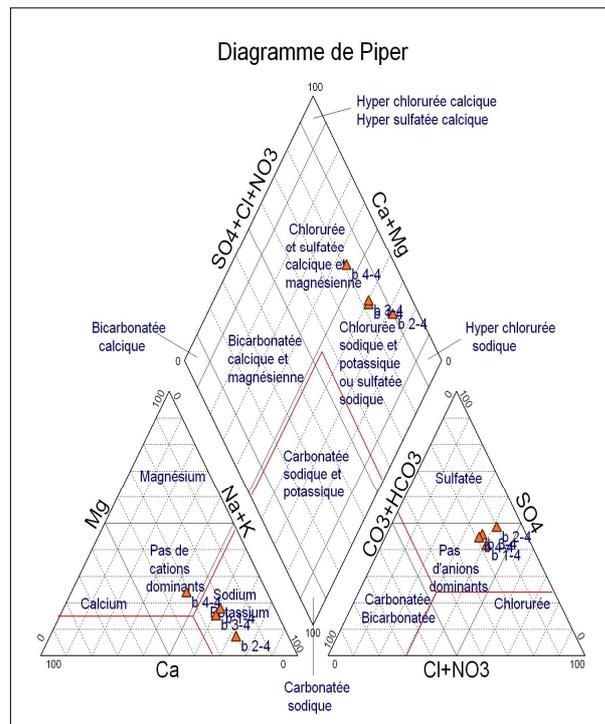


Fig. 19 B

Fig. 19: Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon 60-80 cm du deuxième périmètre irrigué (A prélèvement 1 et B prélèvement 2)

VI.3. Les sols du troisième périmètre irrigué

VI.3.1. Caractéristiques granulométriques :

Les résultats d'analyse granulométrique des échantillons sont portés dans le tableau N° 18. Dans tous les échantillons, la composition granulométrique montre une dominance des sables (fin et grossier) sur les autres fractions, variant entre 13 et 86.1 % avec une dominance de sable fin. La fraction argileuse représente le taux le plus faible. Donc, La texture est sableuse.

VI.3.2. Caractéristiques chimiques du sol :

D'après les données analytiques (Tableaux, annexe n° 1, points 11 à 15), on constate que :

- Le **pH** ne subit pas de variations significatives d'un horizon à l'autre et d'un prélèvement à l'autre. Ses valeurs sont comprises entre 9 (valeur minimale entre 40 - 80 cm) et 9.4 (valeur maximale dans l'horizon (0 - 20 cm)) du 1^{er} prélèvement. Les valeurs du 2^{ème} prélèvement sont comprises entre 7.98 (valeur minimale dans l'horizon (60-80 cm)) et 9.45 (valeur maximale dans l'horizon (0 - 20 cm)). Donc, le pH du sol, dans les deux prélèvements, est basique à très basique.
- **La conductivité électrique** : les sols sont, généralement, non salés dans tous les horizons du 1^{er} prélèvement. La CE varie de 0.14 à 0.24 dS/m dans tous les niveaux. Ils deviennent non à peu salés dans tous les horizons du 2^{ème} prélèvement dont la CE varie de 0.09 à 0.85 dS/m ; les niveaux médians sont plus salés.
- **La capacité d'échange cationique (La C.E.C)** : D'après les données analytiques (Tableau n°18), on constate que les valeurs de la C.E.C sont très faibles (valeurs inférieurs à 60 meq/1000g du sol selon le référentiel pédologique in ENITA, 2000). Elles varient entre 24.74 et 51.66 meq/1000g du sol, ceci est lié à la texture du sol. Car on est en présence d'un sol sableux à faible taux d'argile.

Les valeurs de l'ESP, présentant de différences hautement significatives pour les deux prélèvements, varient de 5.06 % (valeur minimale entre 0 - 20 cm) et 10.5 % (valeur maximale entre 60 - 80 cm) du 1^{er}prélèvement. Dans le 2^{ème} prélèvement, elles sont comprises entre 4.31 % (horizon 60-80 cm) et 25.1 % (horizon 60-80 cm). Donc, Pour la majorité des échantillons, l'ESP présente un taux important qui est supérieur à 15 % présentant un vrai risque d'alcalisation. Les taux les plus importants se manifestent en profondeur.

Echantillon		Granulométrie (%)				C E C meq/1000 g du sol)	Bases échangeables (meq/1000g du sol)		ESP %	
		A	L	SF	SG		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	1	2
P1	H1	0.2	0.4	82.8	16.6	26.2	1.6	2.45	5.06	4.88
	H2	0.15	0.6	72.25	27					10.7
	H3	0.1	0.55	57.4	42	26.2	5.2	0.4		18.5
	H4	0.1	0.8	58.1	41					18.4
P2	H1	0.45	0.45	86.1	13	51.66	2.4	1.6		10.16
	H2	0.35	0.65	45	54					18.45
	H3	0.4	0.6	46	53	36.4	2.8	2		18.5
	H4	0.3	0.7	60	39					8.65
P3	H1	0.45	0.55	77	22	35.66	2.8	2.43		17.15
	H2	0.3	0.5	56.2	43					15.38
	H3	0.25	0.45	56.3	43	34.2	5.2	0.4		20.5
	H4	0.35	0.35	54.3	45					25.1
P4	H1	0.1	7.1	58.8	34	26.92	1.6	2.43		4.7
	H2	0.1	4	54.9	41					7.5
	H3	0.1	3.5	47.4	49	24.74	2.4	2.83		12.95
	H4	0.02	4.58	26.4	69					4.31

Tableau N° 18:Caractéristiques physico-chimiques des sols du troisième périmètre irrigué.

VI.3.3. Bilan ionique de la solution du sol

Concentration en cations

Le 1^{er} prélèvement se caractérise comme suit :

-Le cation dominant dans la solution du sol est le Na⁺ avec une abondance moyenne de 69.47 %. Ses concentrations sont importantes variant de 5.8 à 6.8 meq/l. Les valeurs les plus importantes sont enregistrées en profondeur (60-80 cm).

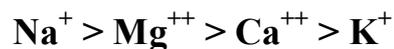
-Le magnésium Mg⁺⁺ vient après le Na⁺. Son abondance moyenne est de 22.98 %; les concentrations varient de 0.8 à 2.6 meq/l. C'est à la surface que le magnésium se présente d'avantage.

-Le Ca^{++} moins abondant que le Na^+ et Mg^{++} avec une moyenne de 7.55 %. Ces concentrations varient de 0.4 à 0.8 meq/l dans tous les horizons.

-Le K^+ est presque absent vis-à-vis de l'abondance du Na^+ soluble.

-Le SAR présente, aussi, une différence hautement significative que l'ESP. Il varie de 4.46 dans l'horizon (0-20 cm) à 8.83 dans l'horizon (60-80 cm). Dans la plupart des échantillons, le risque d'alcalinisation est faible sauf en profondeur (60-80 cm) où l'alcalinisation est moyenne.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir la figure N° 20), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement se caractérise comme suit :

Même allure générale de distribution des cations que le 1^{er} prélèvement, mais avec des concentrations plus élevées.

-Le cation dominant est le Na^+ avec une abondance moyenne de 77.13 %. Ses concentrations varient de 5.8 à 16.3 meq/l. Les valeurs les plus importantes de Na^+ sont rencontrées au niveau de la tranche médiane (20 - 60 cm) et en profondeur (60-80 cm).

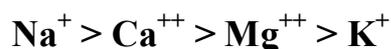
-Le Mg^{++} , moins abondant que le Na^+ , son abondance moyenne est de 12.05 % ; il est plus important au niveau de la surface et en profondeur. Ses concentrations varient entre 0.4 et 4.05 meq/l.

-Le Ca^{++} vient après Na^+ et Mg^{++} , avec une moyenne est de 8.51 % variant entre 0.2 et 2.8 meq/l dans tous les horizons.

-Le K^+ vient en dernier lieu avec une abondance moyenne de 3.20 %. Ses concentrations allant de 0.06 à 1 meq/l.

Les valeurs de SAR du 2^{ème} prélèvement varient de 3.92 à 22.7 ; les deux valeurs sont enregistrées dans l'horizon (60-80 cm). La majorité des échantillons ont une alcalinisation forte surtout dans les parties basses du prélèvement.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures N° 21 à 24), donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



Concentration en anions :

Le 1^{er} prélèvement se caractérise comme suit :

Les chlorures sont les anions les plus dominants dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 47.16%. Ses teneurs tournent autour de 6.8 et 7.5 meq/l. Ils sont plus présents en profondeur (60-80 cm).

-Viennent ensuite, les bicarbonates avec une abondance moyenne de 30.93 %. Ses concentrations varient de 4 à 6 meq/l ; elles sont plus importantes en surface (0-20 cm).

-En dernier lieu viennent les sulfates avec une abondance moyenne de 21.91 %. Ses concentrations varient de 2.6 à 5.6 meq/l ; elles sont plus abondantes à la surface (0-20 cm).

Les valeurs du rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ tournent autour de 1.25 dans l'horizon (0-20 cm) et de 2.88 en profondeur (60-80 cm) ; donc, elles sont comprises entre 1 et 5 (selon Servat et Servat 1966) donnant un type de salinisation chloruré-sulfaté.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir la figure N° 20), donne lieu au classement des anions selon l'ordre suivant :



Le 2^{ème} prélèvement montre que :

-Les chlorures restent les anions les plus dominants avec une abondance moyenne de 42.38 %. Ses teneurs varient entre 5.7 et 8.2 meq/l ; ils sont plus importants en profondeur (60-80 cm).

-Les sulfates sont en deuxième position avec une abondance moyenne de 29.73 %. Ses concentrations varient de 1.75 à 6.3 meq/l. elles sont plus abondantes dans la couche médiane (40-60 cm).

-Les bicarbonates sont en dernier lieu. Leur abondance moyenne, proche de celle des sulfates, est de 28.02%. Elles sont plus importantes dans les sommets des horizons.

-Le rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ varie de 1 dans l'horizon (20-40 cm) à 3.25 en profondeur (60-80 cm) indiquant un type de salinisation chloruré-sulfaté.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de Piper (voir les figures N° 21 à 24), donne lieu au classement des anions selon l'ordre suivant :



Faciès chimiques :

De la projection des données analytiques sur le diagramme de Piper (figure 21 à 24), il ressort que les sols de ce périmètre ont un faciès chloruré-sodique dans les deux prélèvements et dans tous les horizons avec des degrés plus élevés en profondeur.

D'après l'étude analytique sur les eaux de la nappe du Mio-pliocène d'El Outaya faite par Brinis (2003), il ressort que les eaux de cette zone sont chloruré-sodiques.

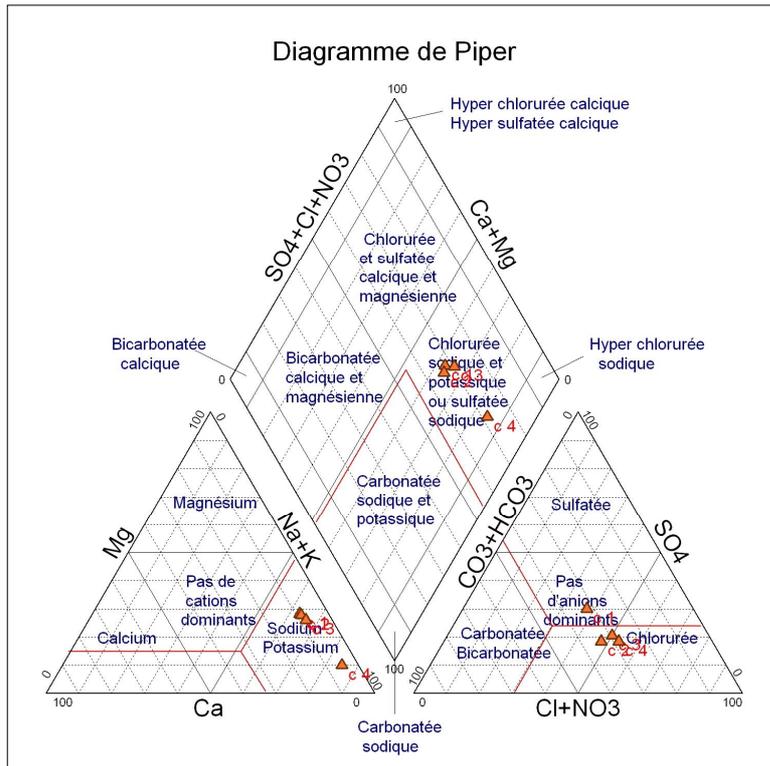


Fig. 20 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; les 4 horizons du premier prélèvement du troisième périmètre irrigué.

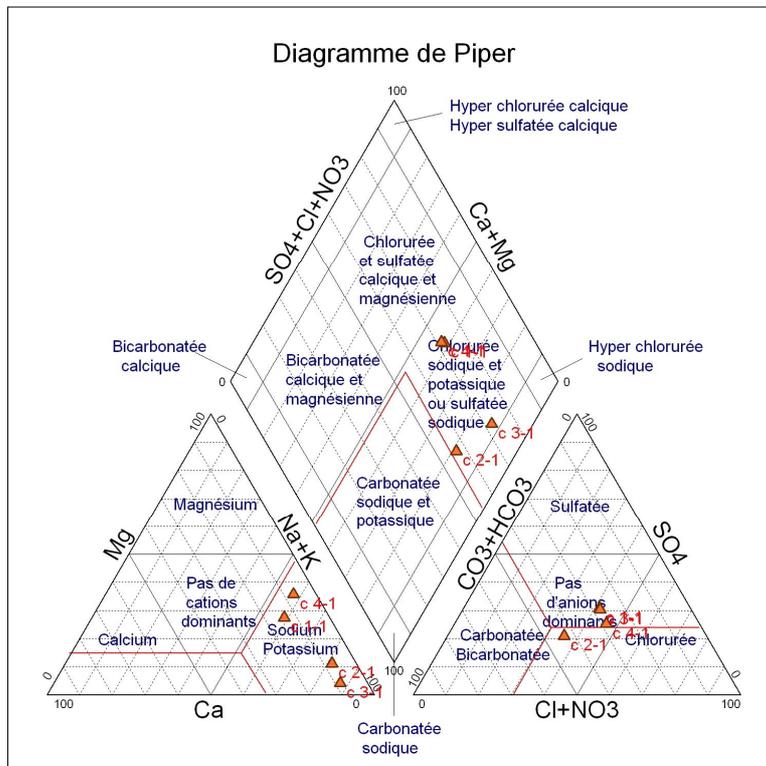


Fig. 21: Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (0-20cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

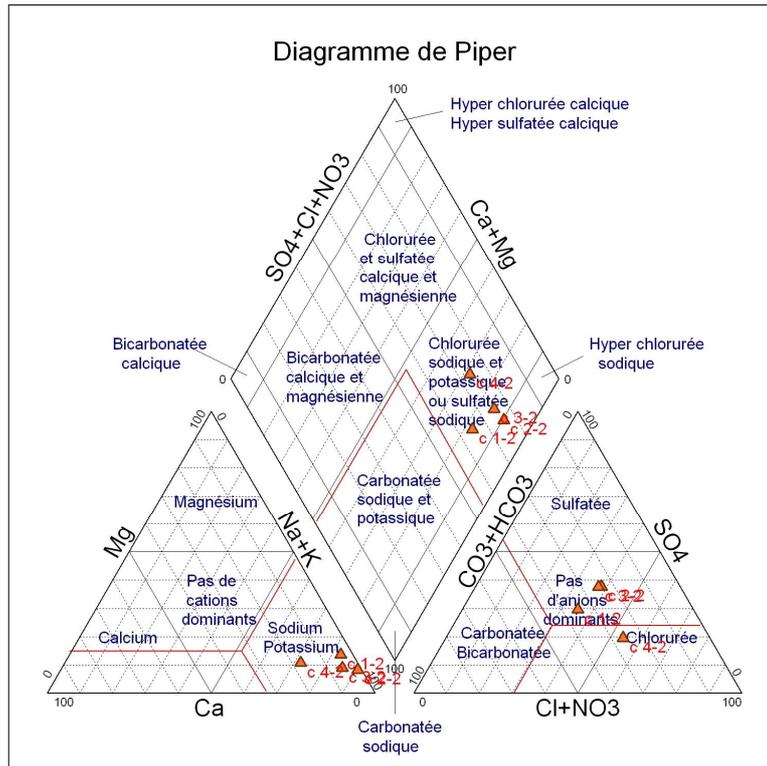


Fig. 22 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (20-40cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

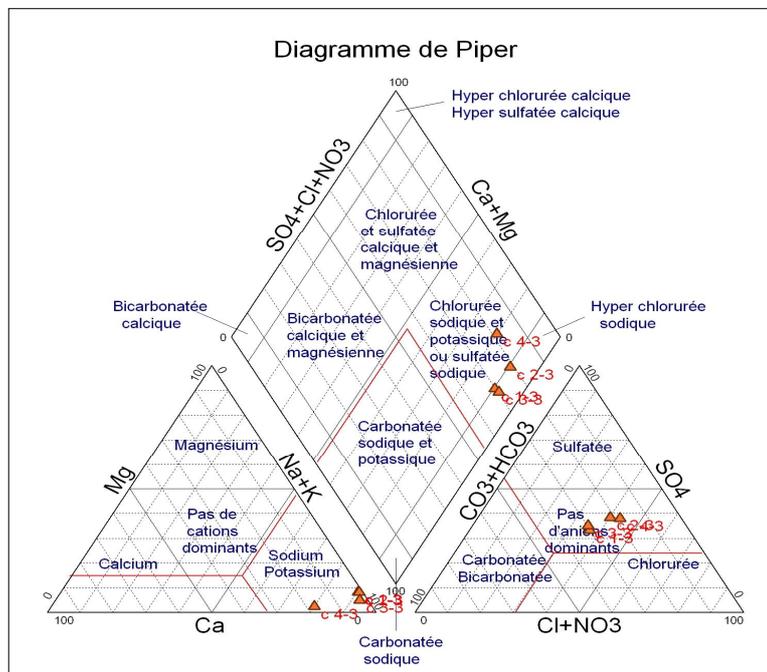


Fig. 23 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (40-60cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

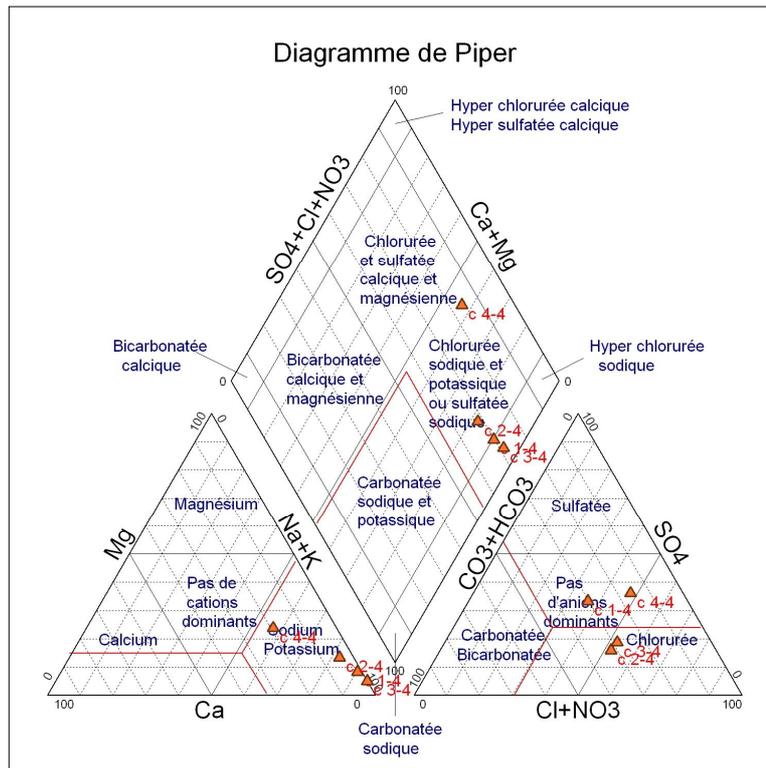


Fig. 24 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (60-80cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

Conclusion

De cette étude préliminaire, il ressort que les sols des trois périmètres étudiés dans la plaine d'El Outaya, sont de textures variables et sont, surtout, limono-sableuses à sableuses. Ils sont d'apports alluviaux plus ou moins salés ou sodiques (sols peu évolués et halomorphes). Ces sols sont, selon Baise (1988) neutres à très basiques et selon Aubert (1978) non salés à excessivement salés et non sodiques à excessivement sodiques.

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols suggèrent que la qualité des eaux utilisées en irrigation a un impact non négligeable sur la qualité des sols surtout ceux irrigués par les eaux de forages.

Cet impact peut être résumé dans ce qui suit :

Pour le premier périmètre dont la solution du sol est classée comme chlorurée – sodique, montrant un faciès chloruré-sodique à chlorurée-calcique et irrigué par une eau chloruré-sodique montre qu'après irrigation un faciès Chloruré-calcique à Sulfaté-calcique.

Pour le deuxième périmètre dont la solution du sol est classée comme Chloruré-calcique, montrant un faciès Chloruré-calcique et irrigué par une eau chloruré-sodique montre qu'après irrigation un faciès sulfaté-sodique.

Pour le troisième périmètre dont le sol est Chloruré -sodique, montrant un faciès Chloruré -sodique et irrigué par une eau Chloruré -sodique montre qu'après irrigation un faciès Chloruré –sodique.

Conclusion Générale

La plaine d'El Outaya se trouve au nord des territoires de la wilaya de Biskra (Zone des Zibans). Elle est située à la limite des étages bioclimatiques aride et hyper aride nécessitant une irrigation pour toute culture.

C'est une plaine qui a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Et si, aujourd'hui, il ne remplit pas ce rôle dans sa partie NE, au contraire à la partie SW de nombreux oueds apportent leur alluvions et elle forme ainsi un sous-bassin fermé au niveau de Bled Selga. Elle est remplie de formations mio-plio-quaternaires silico-clastiques souvent à sulfates et carbonates surmontant un substratum principalement éocène-crétacé.

La structuration actuelle de la plaine résulte de la superposition de deux phases tectoniques majeures reconnues dans toute la région : la phase atlasique et la phase du Quaternaire basal. Et selon, Chebbah et al. (2008), au Néogène, elle est comblée, par des dépôts silicoclastiques confinés, d'épaisseurs variables et contrôlés par les rejeux d'anciens accidents hérités de l'orogénèse atlasique. Son évolution, liée au découpage préexistant de la couverture post-triasique par des accidents NW/ SE, accompagnait un processus d'effondrement du domaine atlasique lors d'une tectonique en extension post-tecto-orogénique qui s'intègre dans un modèle de plate forme restreinte associé à un bassin d'avant pays ; ceci permet d'expliquer la répartition des faciès des eaux ainsi que des sols dans la plaine.

Les sols de la région d'El-Outaya sont de textures variables mais généralement fines, d'apport alluvial plus ou moins salés ou sodiques (sols peu évolués et halomorphes) ; et sont, aussi, basiques avec un taux de matière organique, généralement, faible (0.3 à 3.1%). Ils sont très excessivement calcaires (de 26.6 à 63.6%) et gypseux à très gypseux (de 6.3 à 28.6 %), non salés à excessivement salés (CE de la pâte saturée de 0.4 à 57.8 mmhos / cm), non sodique à excessivement sodiques (SAR varie de 0.4 à 67.3).

Deux séries de prélèvements d'échantillons de sols ont été effectuées sur deux campagnes dans les trois stations d'étude ; une avant ou au cours de l'installation de la culture annuelle (orge ou blé en général) et l'autre à la fin de la campagne agricole y compris l'irrigation.

L'un des trois périmètres est irrigué à partir de l'eau du barrage fontaine des gazelles, les deux autres sont irrigués par des eaux souterraines (2 forges F1 et F2).

L'eau d'irrigation du bassin de la station expérimentale d'El-Outaya (SEO du CRSTRA) dont la source principale est le barrage « Fontaine des Gazelles), est une eau salée

avec une CE de 3.5 dS/m et un SAR de 3.32, présentant ainsi, un risque de salinisation très élevé et un risque de sodicité faible (C4S1).

L'eau d'irrigation du forage F1, est une eau, aussi, salée avec une CE de 3.8 dS/m et un SAR de 6.54 ; elle présente un risque de salinisation très élevé par contre un risque de sodicité moyen (C4S2).

L'eau du Forage F2, est une eau aussi salée que celle du F1, mais avec une CE de 3.6 dS/m et un SAR de 7.46, présentant un risque de salinisation très élevé par contre un risque de sodicité moyenne à tendance d'être forte.

D'une manière générale, l'ensemble de ces eaux est chloruré sodique et leur faciès caractéristique est :



La qualité de l'eau d'irrigation est appréciée en utilisant le diagramme de classification des eaux de l'U.S.S.L (1954). Le report des résultats physico-chimiques des eaux sur ce diagramme montre que l'eau d'irrigation de la station SEO appartient à la classe (C4S1), celle du F1 et F2 à la classe (C4S2).

De cette étude faite sur les eaux d'irrigation des trois périmètres de la plaine d'El-Outaya, il ressort que ces eaux ont une forte salinité avec un risque d'alcalinisation souvent faible (nulle pour SEO, faible F1, faible à tendance moyenne pour F2). Le faciès chimique de ces eaux est de type chloruré sodique et ont une salinisation de type chloruré sulfaté pour les eaux de SEO et F2 et chloruré pour F1.

La caractérisation rigoureuse de la salinité des sols suite à l'étude détaillée des analyses physico-chimiques de la solution du sol des trois périmètres irrigués montre que pour:

- La station expérimentable d'El-Outaya SEO du C.R.S.T.R.A :

1^{er} prélèvement : Deux faciès chimiques se présentent, l'un chloruré-sodique dans l'horizon de surface et en profondeur (40-80cm) et l'autre chloruré-calcique dans l'horizon (20-40 cm).

2^{ème} prélèvement : Trois faciès chimiques se manifestent, le premier Chloruré-calcique pour l'horizon de surface, le second Sulfaté-calcique dans les horizons médians (20 - 60 cm) et le troisième Chloruré-sodique en profondeur (60-80 cm).

- 2^{ème} périmètre irrigué (F1) :

1^{er} prélèvement : Deux faciès, l'un chloruré-calcique dans les trois premiers horizons et l'autre sulfaté-sodique en profondeur.

2^{ème} prélèvement : On note aussi deux faciès chimique, le premier sulfaté-calcique dans l'horizon de surface et le second Sulfaté-sodique dans les autres horizons.

- 3^{ème} périmètre irrigué (F2) : Un seul faciès chloruré-sodique se présente dans les deux prélèvements et dans tous les horizons avec des degrés plus élevés en profondeur.

Ce qu'on peut retirer de ces résultats que la dominance de Na est proportionnelle avec l'augmentation de : CE, pH, ESP, SAR, et aussi avec la diminution des sommes des autres cations que le Na⁺ ($Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ < 50\%$).

L'accumulation des sels dans les trois périmètres irrigués étudiés est selon l'ordre suivant :

$$\mathbf{SEO < F1 < F2}$$

De cette étude préliminaire qui mérite d'être poursuivie, on constate que selon les types de sols, la qualité des eaux d'irrigation ont un impact non négligeable sur la salinisation des sols irrigués ; ceci en fonction de leur contexte naturel et fort probablement du type de cultures utilisées.