

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.

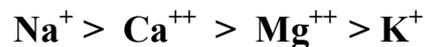
-Le Ca^{++} est présent avec des teneurs inférieures à celle de Na^+ . Son abondance moyenne est de 39.40 % ; leurs concentrations tournent autour de 3 et 30.46 meq/l. c'est la tranche médiane (20-40 cm) et (40-60 cm) qui présentent d'avantage de Ca^{++} .

-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).

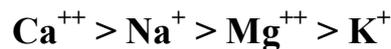
-Le Na^+ est présent avec des teneurs inférieures à celle de Ca^{++} . Son abondance moyenne est de près de 37.82 % ; les quantités tournent autour de 4 et 41.4 meq/l, elles sont plus importantes en profondeur (60-80 cm).

-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).

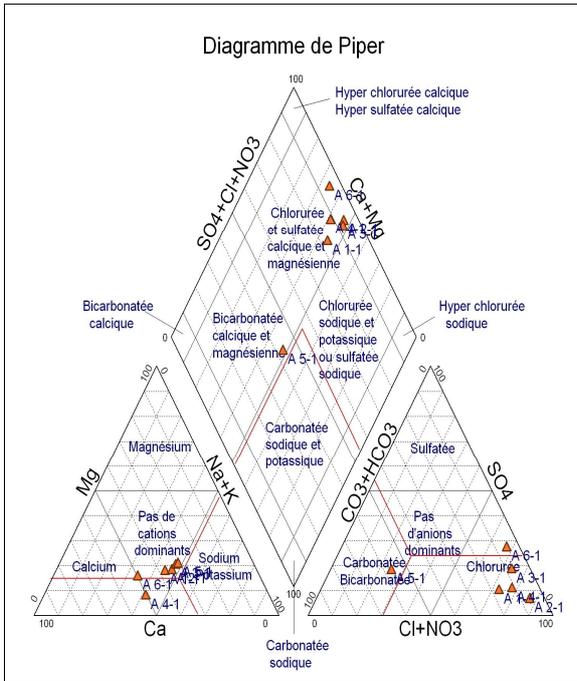


Fig.12 A

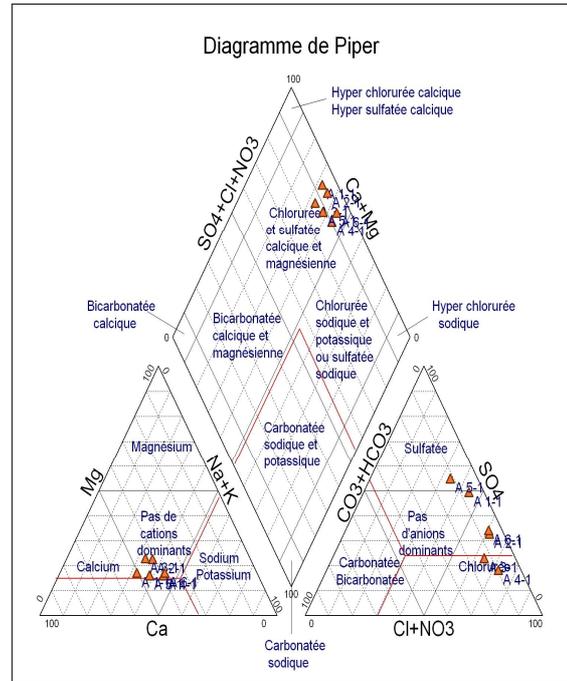


fig.12 B

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).

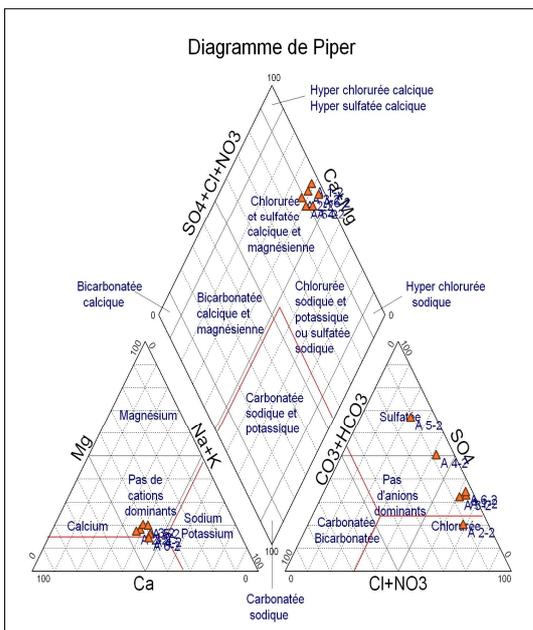


Fig. 13 A

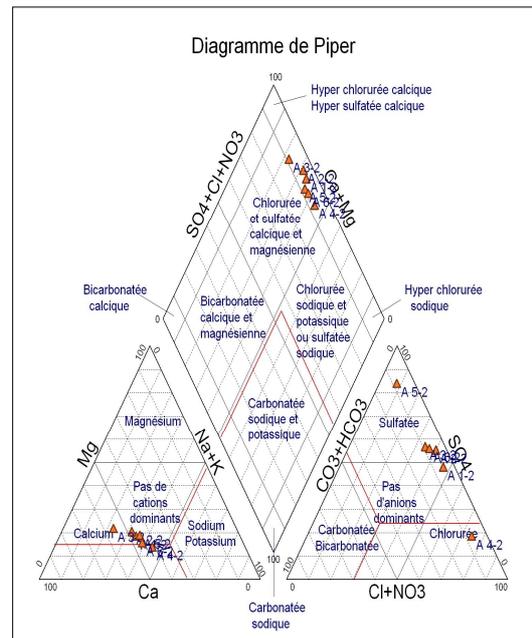


Fig. 13 B

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)

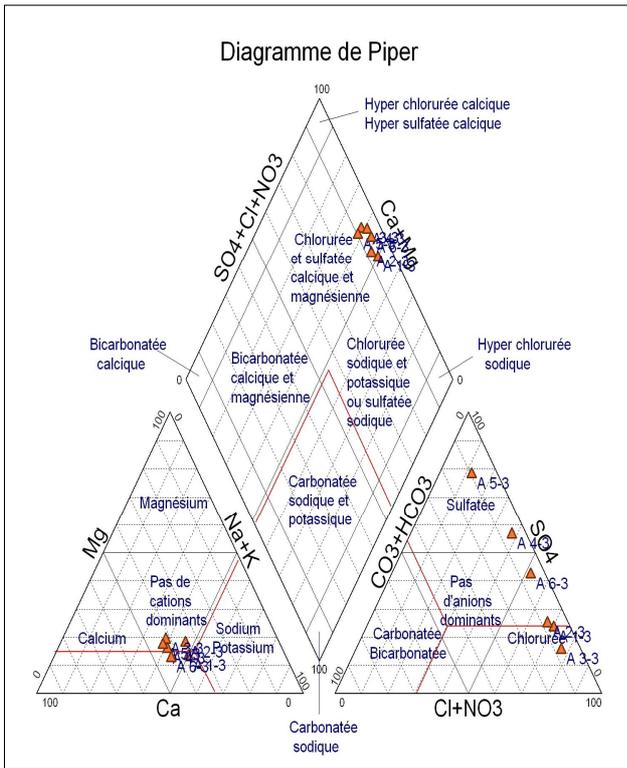


Fig. 14 A

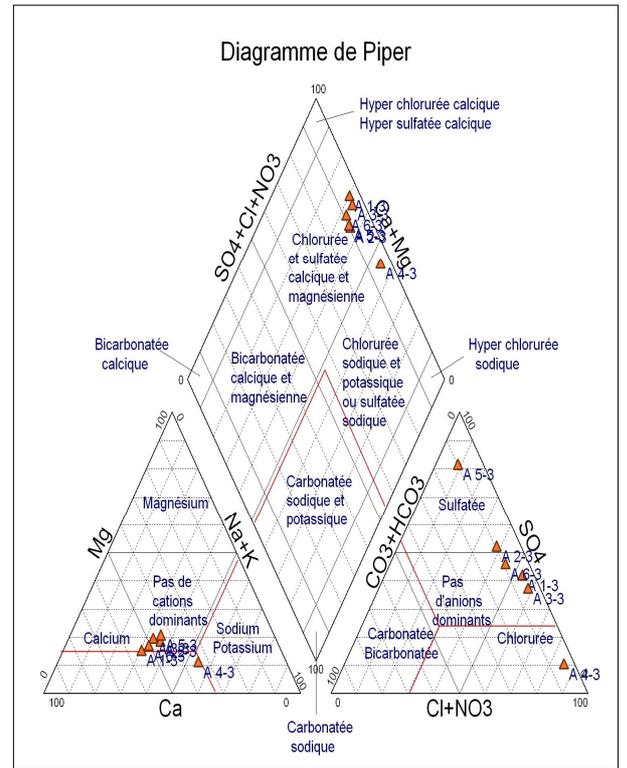


Fig. 14 B

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)

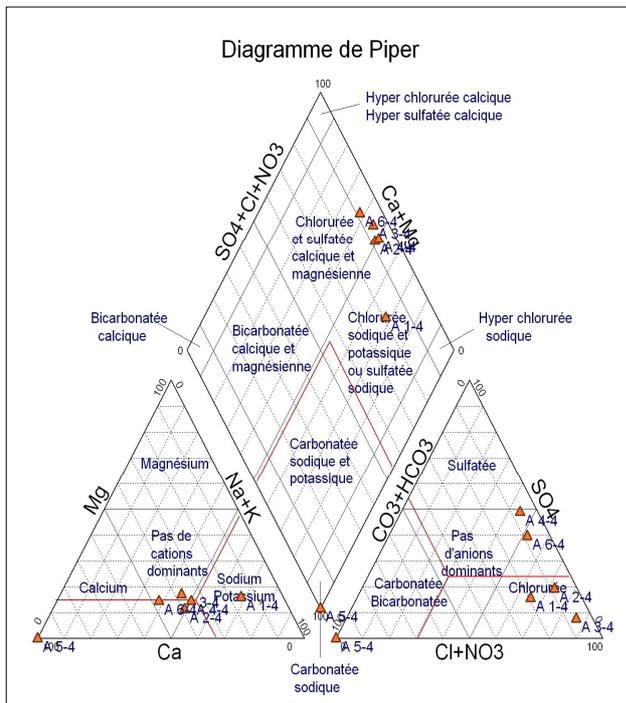


Fig. 15 A

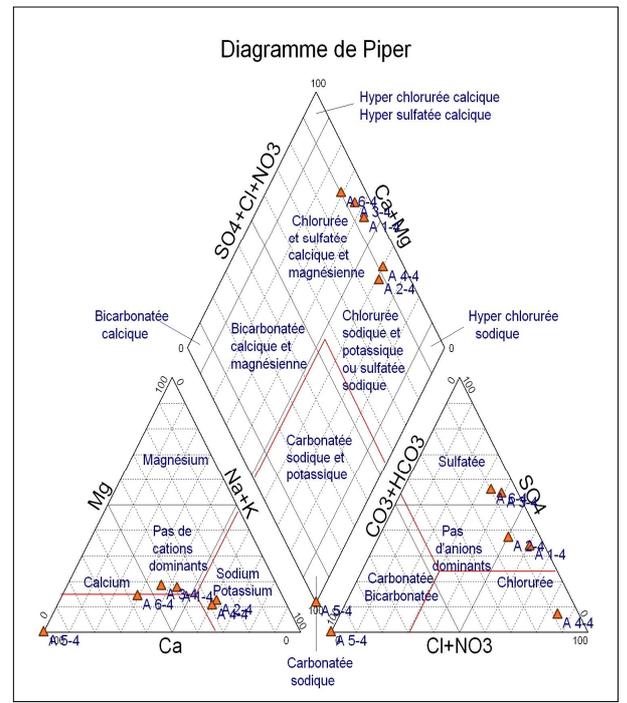


Fig. 15 B

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).

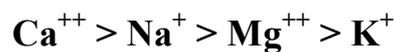
-Le Na⁺ est présent avec des teneurs inférieures à celles de Ca⁺⁺. Son abondance moyenne est près de 40.93 % ; les concentrations varient entre 3.62 et 23.91 meq/l. C'est le niveau médian du sol qui accumule d'avantage du Na⁺ soluble.

-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).

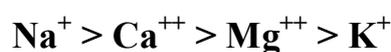
-Le Ca^{++} est moins important que Na^+ . Son abondance moyenne est de 36.10 % ; les teneurs varient entre 3.2 et 19.65 meq/l. La valeur minimale se manifeste en surface (0-20 cm) et la valeur maximale dans la première couche médiane (20-40cm).

-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 :

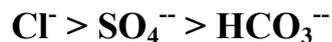
-Les chlorures sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 44.65 %. Leurs concentrations varient de 5 à 40 meq/l. Les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans la deuxième couche médiane (40-60 cm).

-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).

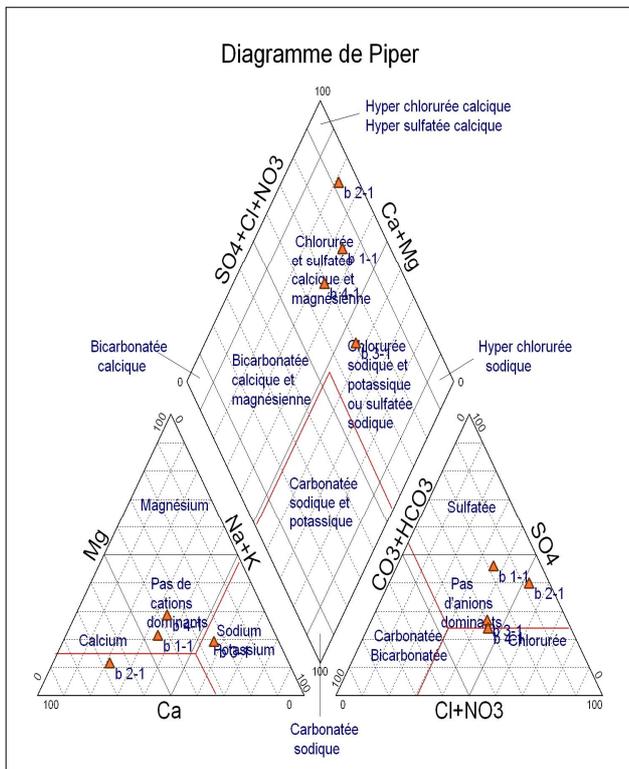


Fig. 16 A

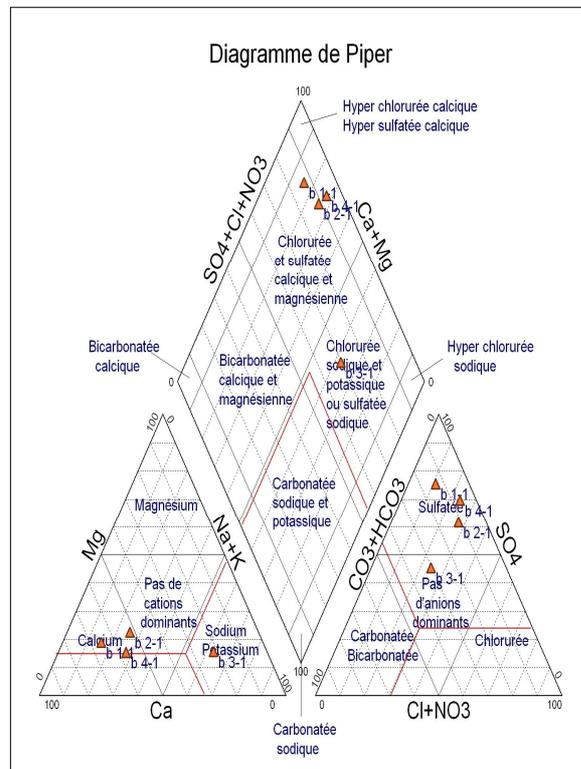


Fig. 16 B

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)

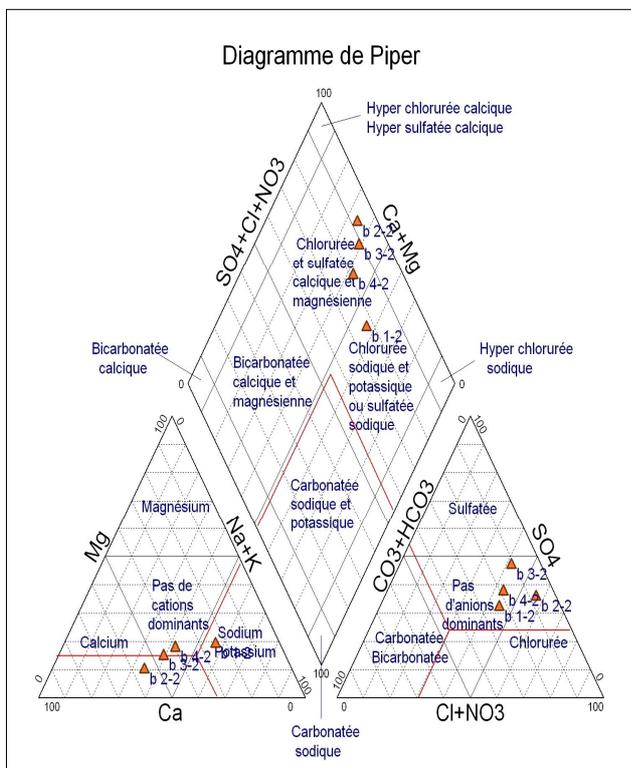


Fig. 17 A

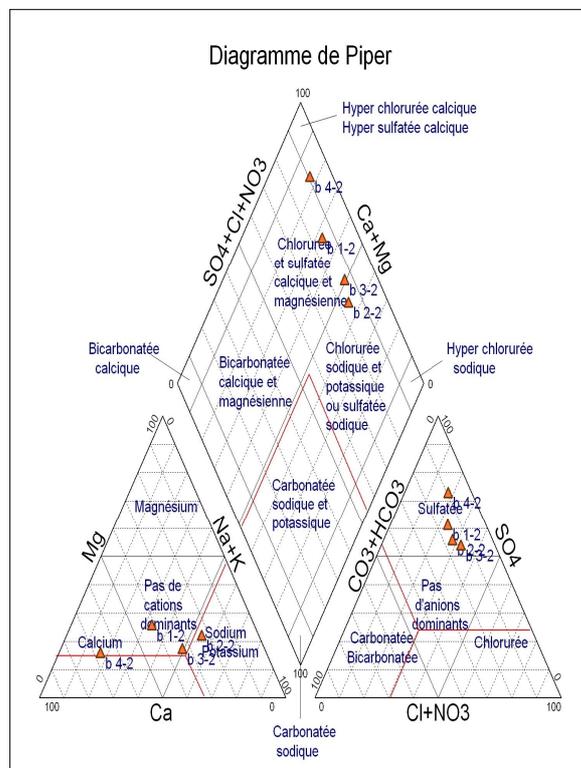


Fig. 17 B

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)

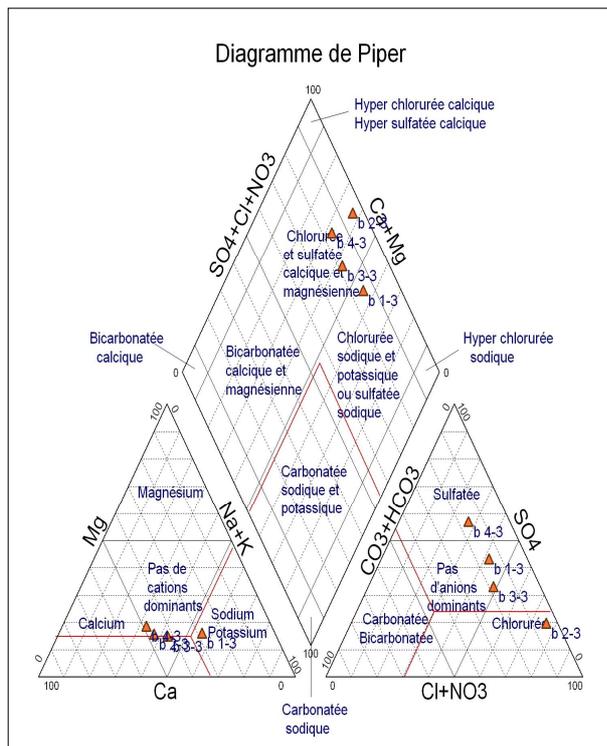


Fig. 18A

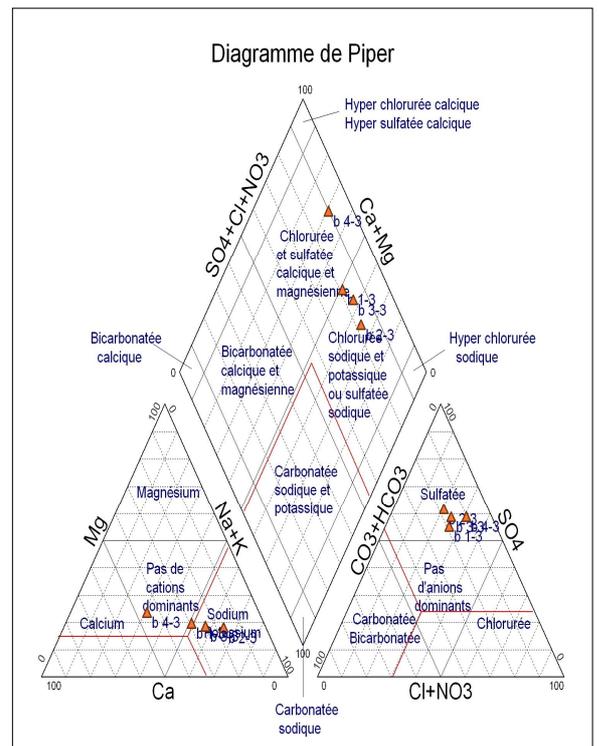


Fig. 18 B

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)

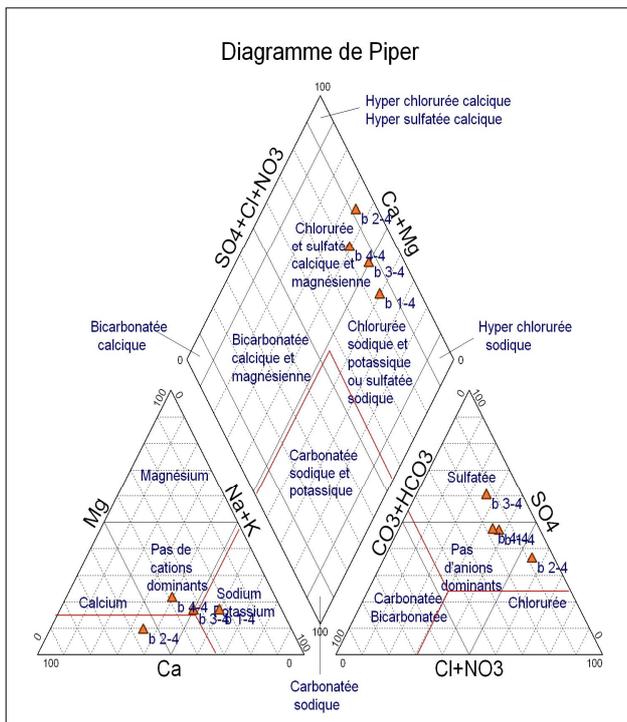


Fig. 19 A

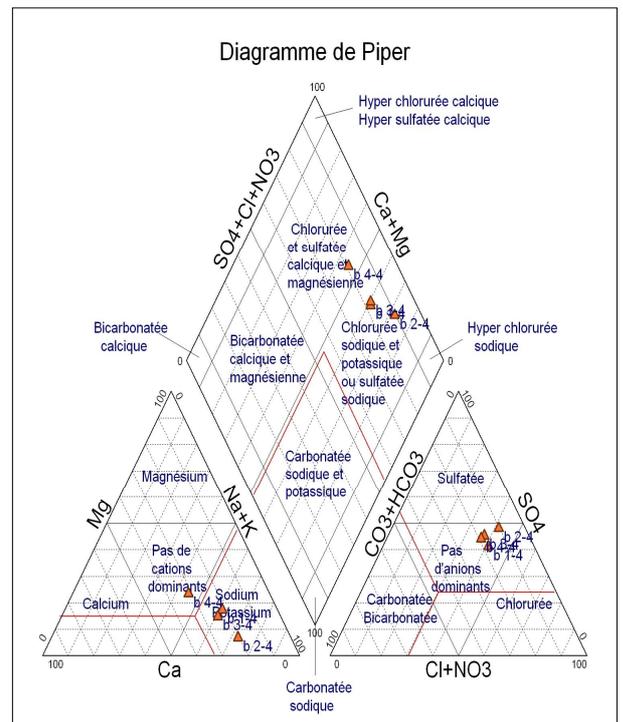


Fig. 19 B

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).

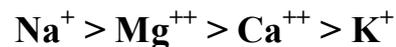
-Le magnésium Mg⁺⁺ vient après le Na⁺. Son abondance moyenne est de 22.98 %; les concentrations varient de 0.8 à 2.6 meq/l. C'est à la surface que le magnésium se présente d'avantage.

-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).

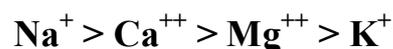
-Le Mg^{++} , moins abondant que le Na^+ , son abondance moyenne est de 12.05 % ; il est plus important au niveau de la surface et en profondeur. Ses concentrations varient entre 0.4 et 4.05 meq/l.

-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.

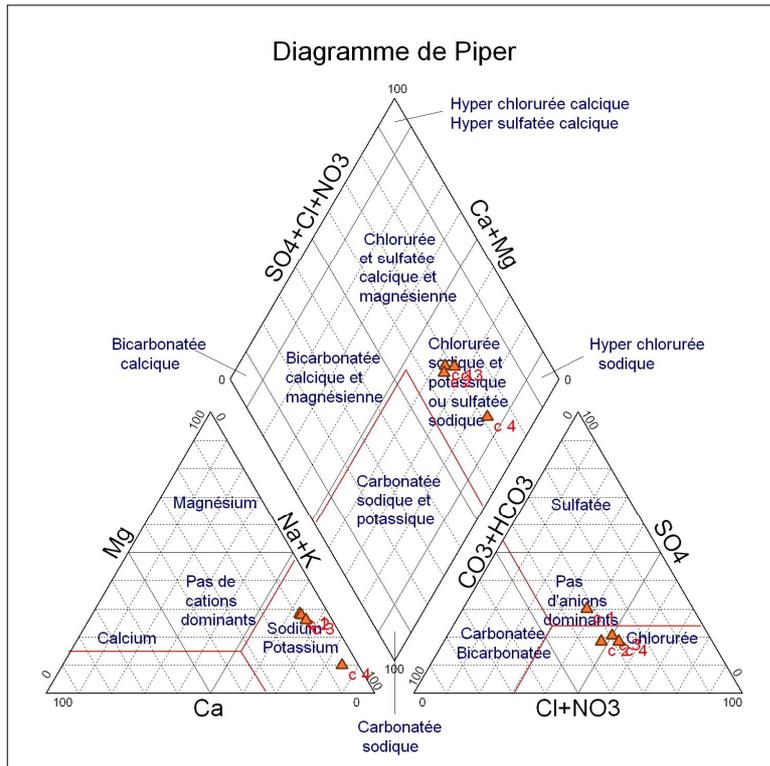


Fig. 20 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; les 4 horizons du premier prélèvement du troisième périmètre irrigué.

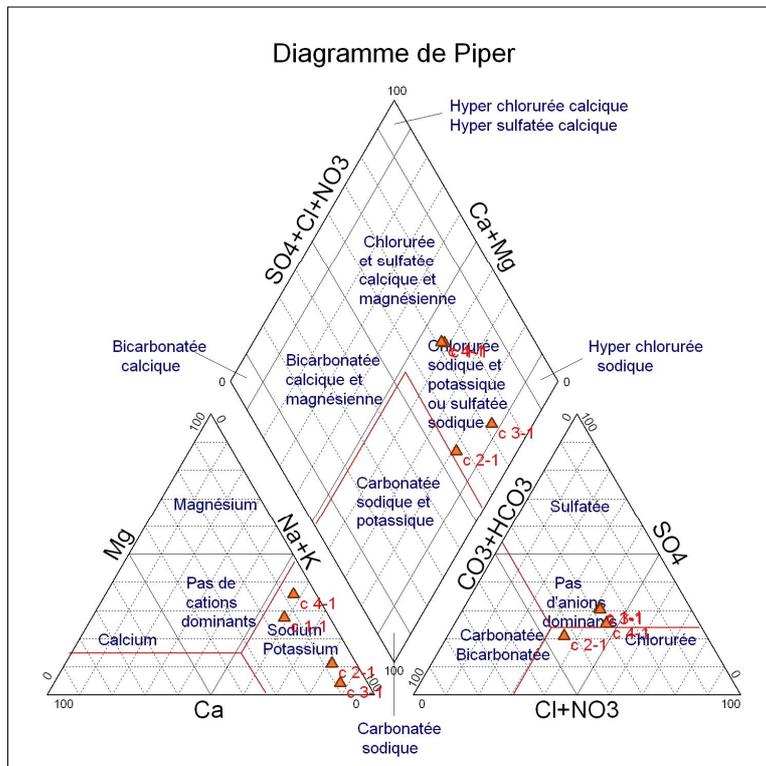


Fig. 21: Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (0-20cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

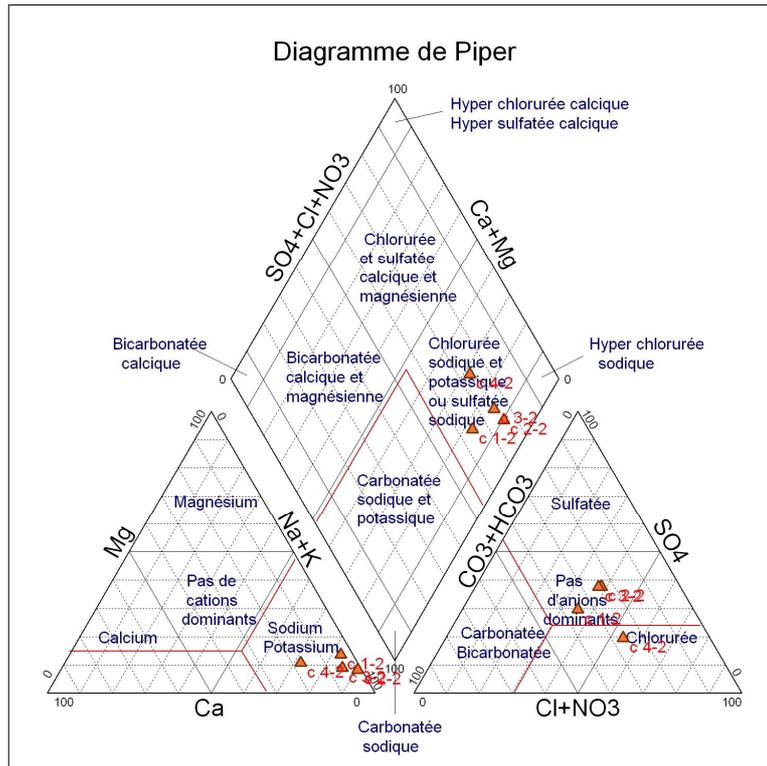


Fig. 22 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (20-40cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

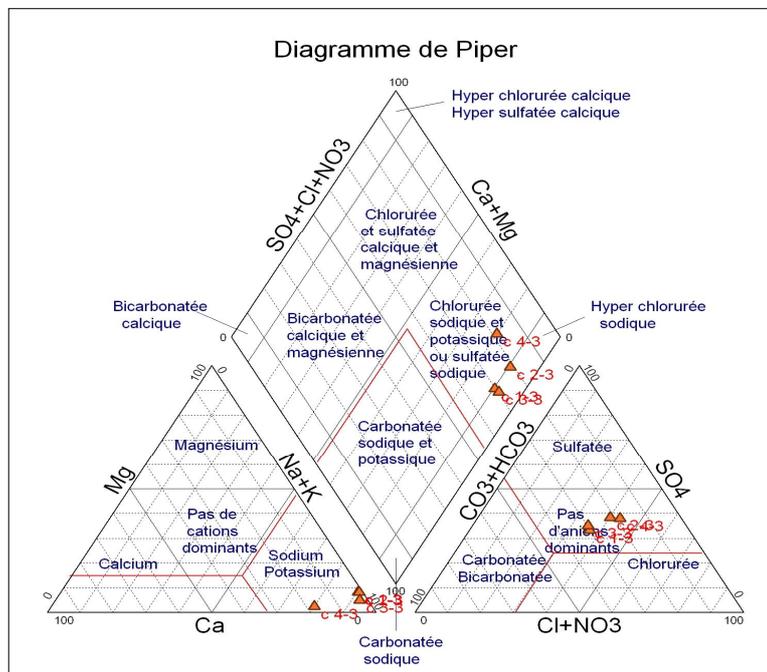


Fig. 23 : Représentation sur diagramme de piper des solutions d'extraits aqueux 1/5 de sols ; horizon (40-60cm) du deuxième prélèvement (après irrigation) du troisième périmètre irrigué.

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.