

I-MATERIELLES ET METHODES :

Introduction :

Avant de traiter et discuter les différents résultats d'analyse des données obtenus dans les eaux des aquifères situés dans la partie Nord-Ouest d'Algérie, on a besoin de définir les principales méthodes à suivre avec bien sûr les différents matériels sans oublier l'outil informatique (surfer, diagramme de piper, Diagramme de Schoeller...etc.).

I-1 Méthodes :

Les paramètres physiques étudiés sont : pH, résidu sec et conductivité.

Les paramètres chimiques étudiés, sont :

- les cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- les anions : Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- .

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques ont été mesurés pour tous les prélèvements et les analyses, les résultats des analyses chimiques de l'eau sont portés dans les tableaux et représentés sur les différents diagrammes à l'utilisation d'outil informatique tel que (diagramme de piper, Statistica, Diagramme (Simler, 2009) ...etc.) .Dans le but :

*Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux.

I-2 Matérielles :

Outils informatiques :

-Le Diagramme de Piper : Permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle.

-XLSTAT : est un logiciel d'analyse de données et de statistiques pour Microsoft Excel.

À l'aide de ce logiciel, on peut réaliser l'analyse des composantes principales (ACP) et la classification ascendante CAH,.....etc.

.

II-ETUDE HYDROCHIMIQUE**II-I- Contexte hydrochimique de la région du Djebel Murdjadjo :****Introduction :**

La synthèse hydrochimique de la région environnante du Djebel Murdjadjo portera sur trois secteurs principaux : - le premier secteur concerne le massif du Djebel Murdjadjo (S.S).

L'étude portera essentiellement sur les eaux de la nappe karstique des calcaires miocènes, à travers l'analyse des données de 25 points d'eau,

- la plaine de Bousfer-El Ançor-Andalouses avec l'analyse des données hydrochimiques de 40 puits implantés dans les formations quaternaires constitue la deuxième zone

- le dernier secteur intéresse le flanc sud du massif du Djebel Murdjadjo limitrophe de la Grande Sebkha.

Les paramètres physiques étudiés sont : pH, résidu sec et conductivité.

Les paramètres chimiques étudiés, sont :

- les cations: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .

- les anions: Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- .

1- Eaux de la nappe karstique des calcaires miocènes (partie amont) :

Cette analyse se base sur les résultats des analyses effectuées dans le cadre des travaux du laboratoire de l'ANRH d'Oran (Merabet N. et Sebaa N., 1995) (Tableau n°4)

1.1- Etudes des paramètres physico-chimique des eaux :**1.1.1- Le pH :**

C'est le cologarithme ou l'inverse du log de l'activité d' H^+ . Pour les eaux des calcaires miocènes du massif du Murdjardjo, le pH varie entre 6,2 à Aïn Kharouba et 8,7 au puits J40. On remarque que les valeurs du pH sont en général égales ou supérieures à 8, il y'a donc une certaine tendance à la basicité exception faite à Kharouba où le pH est nettement inférieur à 7.

1.1.2- La conductivité :

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre 2 électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et espacées l'une de l'autre de 1 cm. La conductivité d'une eau augmente avec sa teneur en sels dissous, elle permet donc une estimation de la

minéralisation des eaux. Pour les eaux des calcaires miocènes, la plus petite valeur de conductivité a été enregistrée à Aïn Benaïssi (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et la plus élevée (5700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au niveau du puits J59.

Tableau n° 4 : Résultats des analyses chimiques en mg/l des eaux des calcaires miocènes.(ANRH d'Oran).En mois d'Octobre 1995

Nombre d'observations : 25

Nombre de variable : 11

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	Hco3	NO3	C	R.S	PH
J30	30	46	76	6.0	151	36	186	40	800	600	6.5
J31	22	44	78	6.0	148	36	195	27	800	520	8.6
J34	22	46	90	8.0	177	43	152	0	800	840	8.6
J40	26	37	53	4.0	97	94	122	17	600	480	8.7
J59	301	158	667	27.0	1450	600	256	27	5700	4100	8.3
J114	36	46	83	7.0	137	36	232	0	900	800	8.5
J120	68	79	391	22.0	542	158	357	30	2500	1560	8.4
J122	94	30	85	4.0	136	94	229	45	1000	700	8.3
J123	40	60	71	3.0	137	24	326	11	900	560	8.2
J167	42	58	179	12.0	280	84	253	43	1400	880	8.0
J169	12	69	129	19.0	219	91	177	42	1200	660	8.4
J173	44	55	140	11.0	249	101	204	58	1300	1000	8.4
J189	60	72	212	19.0	384	132	277	9	1800	1080	8.1
J210	58	53	175	26.0	306	113	183	28	1500	880	8.4
Aïn sabiet	88	25	41	3.0	102	43	209	58	800	480	8.1
Aïn Hassen	60	26	74	0.2	91	41	304	40	800	560	8.1
Aïn chaabet	74	30	163	7.0	193	67	317	28	1300	840	7.9
dhlia	72	54	64	3.0	106	24	441	26	900	520	6.2
Aïn	44	34	51	4.0	69	26	275	18	660	472	7.9
Kharouba	73	21	53	2.0	70	22	281	26	720	446	7.1
Aïn	42	36	44	2.0	67	24	265	14	660	500	7.7
Martinez	54	21	30	2.0	66	24	223	22	500	460	8.0
Aïn Bahri	64	25	32	2.0	63	14	257	20	600	360	7.9
Aïn Mrabet	66	54	127	6.0	192	96	301	66	1300	910	8.0
Aïn	81	67	78	2.0	118	36	462	19	1200	848	8.0
Benaissa											
Aïn Sidi											
Bou Ameer											
Source de											
Ras El Ain											
Aïn Keffri											

Facies hydrochimique :**1.2- Interprétation des diagrammes d'analyse d'eau :**

Durant leur parcours les eaux subissent des modifications de faciès, pour les différencier ces eaux peuvent être classées en fonction de leur composition ionique sur les diagrammes semilogarithmiques et triangulaires.

1.2.1- Interprétation par diagramme semi-logarithmique (Schoeller et Berkaloﬀ) : (Figure 23).

Le diagramme de Schoeller-Berkaloﬀ permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions et donc de déduire rapidement les différentes familles des eaux. Dans le cas présent, il fait ressortir 4 faciès :

*** Faciès bicarbonaté sodique :**

Il apparaît au niveau de la nappe des piémonts du djebel Murdjadjo ; la forte teneur en sodium est due à la circulation des eaux dans les éboulis de pentes sablo-argileuses. Les eaux sont de type :

- $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Na}+\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$, pour les puits J34, J144, J167, J169, J173 et la source de Ras El-Aïn.

- $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$, pour Aïn Chaâbet Ed Dahlia et Aïn Hassan.

*** Faciès bicarbonaté magnésien :**

Ces eaux proviennent pour la plupart de l'aquifère des calcaires dolomitiques. Elles correspondent aux eaux les moins chargées, leur résidu sec varie de 472 mg/l à 848 mg/l.

Les eaux sont de type : $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Mg} > \text{Na}+\text{K} > \text{Ca}$, pour les puits J30, J40, J31, J123 et Aïn Martinez.

$\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na}+\text{K}$, pour Aïn Karouba, Aïn M'rabet et Aïn Keffri.

*** Faciès bicarbonaté calcique :**

Les eaux proviennent de sources, elles sont faiblement minéralisées. Les eaux sont de type :

$\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{SO}_4$ et $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$, pour la source d'Aïn Sabiet

$\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Ca} > \text{Na}+\text{K} > \text{Mg}$, pour la source d'Aïn Bahri.

$\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$, pour les sources d'Aïn Benaïssi et Aïn Sidi Bou Aneur.

*** Faciès chloruré sodique :** Les eaux sont de type :

$\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$ et $\text{Na}+\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$, pour J120, J210 et J189.

Les eaux chlorurées sodiques sont les plus chargées, leur résidu sec varie de 880 à 4900 mg/l.

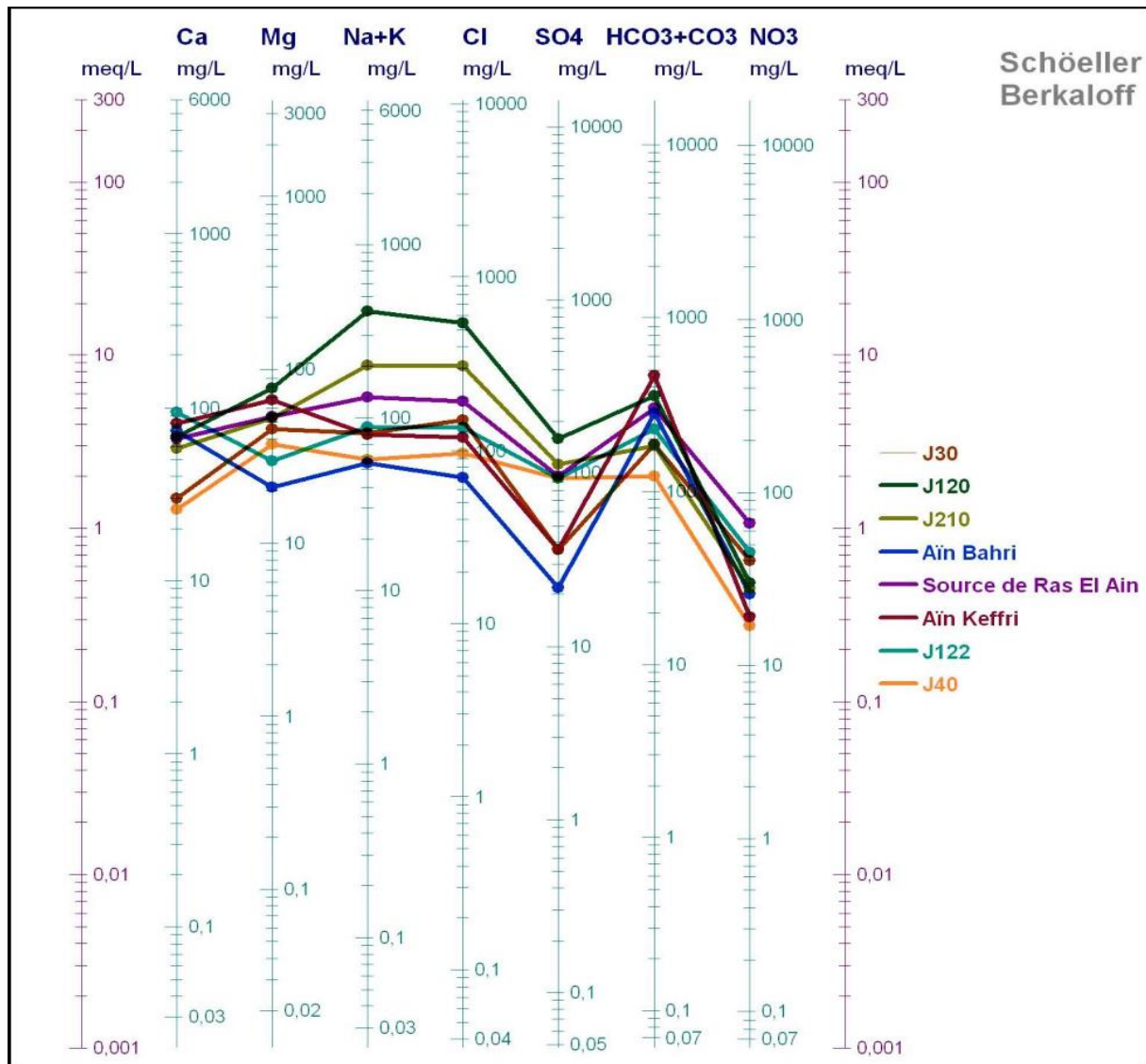


Figure 23: Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe des calcaires miocènes du Murdjadjo.

1.2.2- Interprétation par diagramme triangulaire “Piper” (Figure 24) .

La méthode consiste à reporter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réaction de chaque cation et anion. Ces deux points sont reportés sur le losange en seul point, qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme permet de regrouper un grand nombre d'analyses (les résultats des analyses chimiques en r % dans le tableau d'annexe 1).

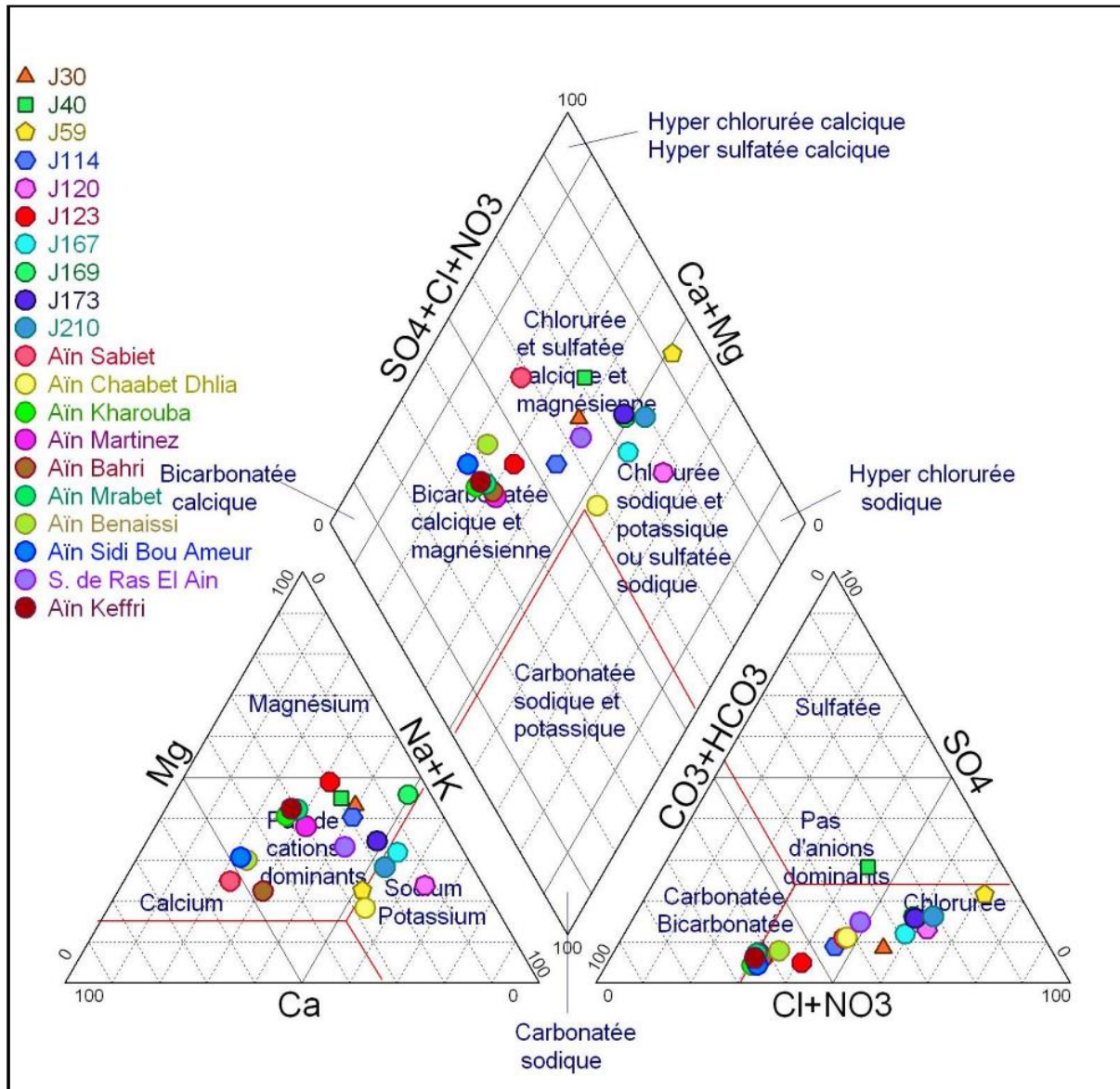


Figure 24 : Représentation par diagramme de Piper des eaux de la nappe des calcaires miocènes du Djebel Murdjadjo.

Les échantillons reportés sur le diagramme de Piper font ressortir les faciès suivants :

Le 1er faciès: eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne :

- Les points d'eau Aïn Sabiet, J40, J30, source de Ras-El-Aïn, J114, J169, J178 et J59 sont localisés à proximité de l'Oued Misserghin, dans les calcaires marneux et dans les piémonts du Djebel Murdjadjo.

- Le puits J59 est localisé à proximité de l'Oued Charbat dans les calcaires récifaux.

Le 2ème faciès : eau chlorurée sodique ou sulfatée sodique :

- Les points d'eaux J210, J167 et Aïn Chaâbet Ed Dhalia se trouvent dans les piémonts du Djebel Murdjadjo. Les eaux, bien que provenant des calcaires récifaux ont un faciès chloruré sodique, ceci doit être dû à la contribution de la nappe des alluvions comprise dans la partie Ouest et Sud-ouest de son bassin versant, mais aussi aux lentilles d'évaporites interstratifiées dans les calcaires récifaux (M. I. HASSANI, 1987).

Le 3ème faciès : eau bicarbonatée calcique et magnésienne :

Les eaux Aïn Benaïssi, Aïn M'rabet, J123, Aïn Karouba, Aïn Keffri, Aïn Martinez et Aïn Bahri proviennent des calcaires marneux et des calcaires dolomitiques du Murdjadjo. Pour la source d'Aïn Hassan et Aïn Martinez, leurs eaux correspondraient à l'origine à des faciès bicarbonatés calciques ou magnésiens où le sodium a remplacé le calcium ou le magnésium par le phénomène d'échange de base.

2- Eaux de la nappe côtière de la plaine de Bousfer-El-Ancor-Andalouses : **(H. Mansour, 1989).**

2.1- Etude des paramètres physiques :

2.1.1- Le pH :

Les eaux de la nappe de la plaine de Bousfer-El-Ancor-Andalouses présentent un pH en général supérieur à 8, avec une moyenne de 8,2. La plus petite valeur s'observe aux puits m 33 et m 29 avec des valeurs de 7,9 ; et la plus grande valeur est de 8,6 au puits m 11 (Tableau n° 5).

2.1.2- La conductivité :

La plus grande valeur a été enregistrée dans la région de Pain de Sucre et de Cap Falcon avec une valeur de 80 mmhos, et la plus petite au niveau des piémonts du Murdjadjo avec une valeur de 8 mmhos. Plus la côte est proche, plus les valeurs de la conductivité augmentent (Tableau n°5).

Tableau n° 5 : Résultats des analyses chimiques en mg/l des eaux de la plaine Bousfer-El Ançor-Andalous (nombre d'observations : 40 nombre de variable : 11).(H.Mansour).

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	Hco ₃	NO ₃	C	R.S	PH
M49	60	71	442	18	474	216	415	95	29	1860	8.2
M48	82	76	361	14	485	192	337	97	26	1880	8.2
M47''	72	57	230	6	320	103	337	28	19	1260	8.3
M47'	100	76	322	10	471	132	404	53	25	1700	7.9
M47	70	78	239	10	326	125	404	24	18	1260	8.2
M46''	72	59	331	11	397	139	381	53	22	1460	8.2
M46'	96	64	327	10	483	180	363	72	25	1660	8.2
M46	68	36	207	6	216	108	357	67	16	1060	8.3
M37'	116	74	345	12	546	182	323	55	29	1900	8.1
M36'	76	73	357	21	510	204	207	78	27	1640	8.1
M72	68	87	357	14	502	214	304	45	27	1760	8.3
M71	150	128	621	25	971	576	334	80	47	3260	8.2
M69	114	87	322	15	486	312	266	130	28	2000	8.3
M67	128	100	449	14	649	348	389	83	36	2580	8.1
M63''	150	77	483	13	572	365	418	130	36	2480	8.3
M63	128	120	382	18	521	379	436	142	34	2320	8.4
M73	94	96	304	11	498	175	407	26	27	1290	8.1
M62	88	48	270	21	332	216	371	10	45	3380	8.5
M59	150	92	495	11	518	432	500	150	36	2340	8.2
M58	160	100	690	24	815	747	418	26	45	2960	8.1
M56	102	56	285	19	412	200	310	7	23	1560	8.3
M11'	62	78	304	14	478	170	153	85	25	1420	8.6
M75	70	82	432	10	597	240	272	53	31	2000	8.0
M76	114	99	242	18	323	235	583	91	26	1760	8.2
M77	64	65	152	6	211	115	360	18	14	1000	8.3
M34	129	72	361	10	588	178	310	58	29	1820	8.0

M33	100	67	361	10	491	202	334	70	28	1560	7.9
M29	130	68	288	12	462	156	342	77	24	1520	7.9
M28	112	68	304	12	449	209	393	84	25	1560	8.1
M25	200	61	396	25	585	408	328	200	37	2400	8.1
M24''	145	122	1357	30	1799	672	524	32	80	5100	8.1
M24'	66	81	414	20	610	192	260	42	30	1860	8.2
M22	80	73	379	16	529	190	301	37	27	1760	8.2
M20	121	72	292	7	459	159	342	40	19	1200	8.3
M14'	112	72	292	7	459	158	342	40	24	1520	8.0
M14	139	92	331	11	620	163	293	47	32	2440	8.1
M09'	86	68	308	11	898	143	436	44	22	1420	8.0
M07	56	21	61	5	119	24	100	24	08	540	8.4
M05	104	62	207	5	316	86	133	17	20	1300	8.2
M01	66	52	179	5	234	86	334	25	15	960	8.2

Facies hydrochimique :

2.2- Interprétation des diagrammes d'analyses d'eau :

2.2.1- Interprétation par diagramme semi-logarithmique (Schoeller et Berkaloff) (Figure 25 et 26).

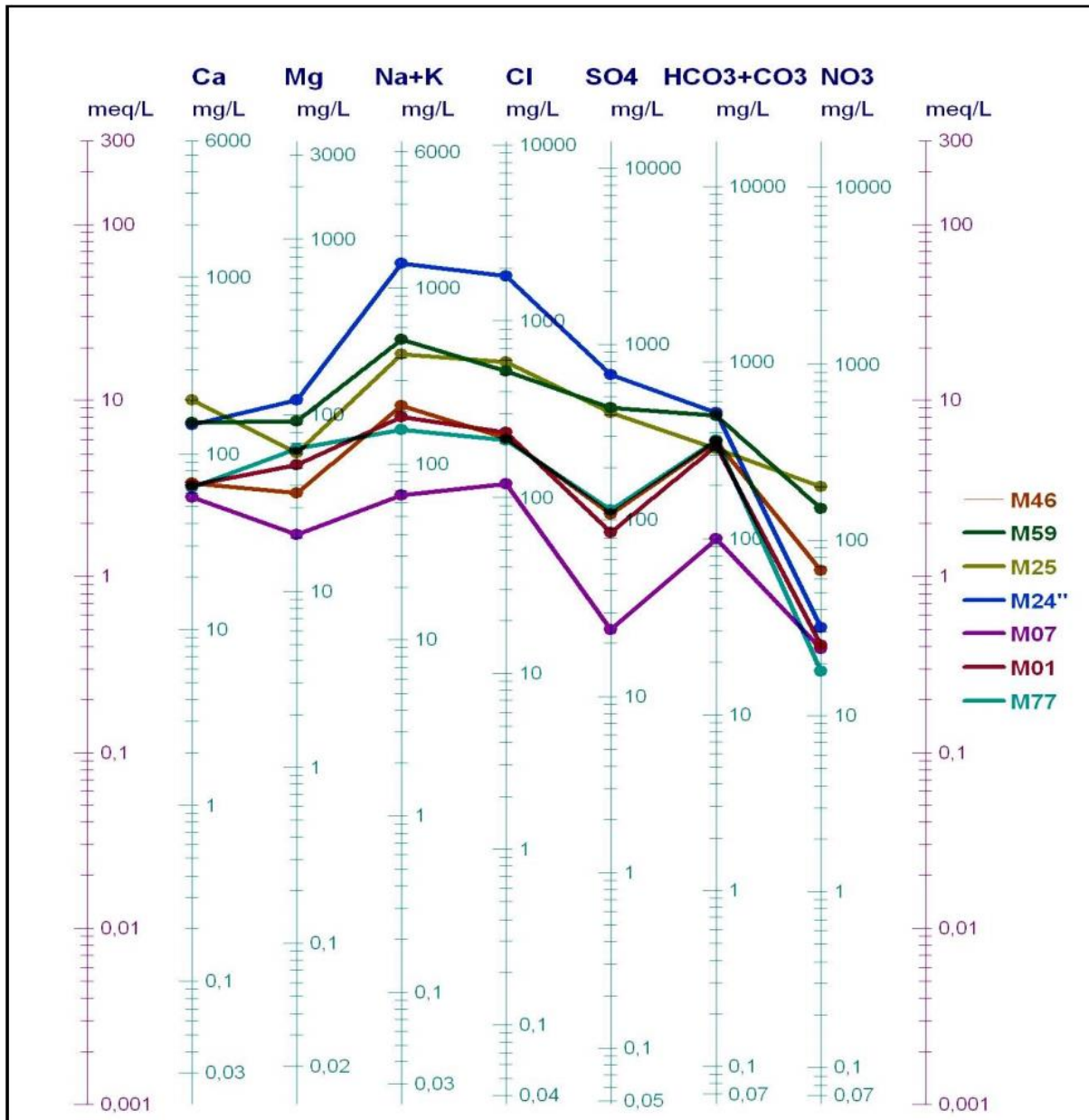


Figure 25 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousfer-El Ançor-Andalous.

L'étude de ces diagrammes permet de classer les eaux en deux faciès chimiques

*** Le faciès bicarbonaté sodique :** la forte teneur en bicarbonates est due à la proximité des calcaires karstiques miocènes. Les fortes teneurs en sodium sont liées à la circulation des eaux dans les colluvions sablo-argileux rouges.

Les eaux sont de type : $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ et $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

*** Le faciès chloruré sodique :** ce faciès se rencontre au niveau de deux secteurs :

* **Sables et grés dunaires** : les eaux correspondent à une zone influencée par le biseau salé. Ce sont des eaux hyperchlorurées sodiques, sulfatées. La teneur en nitrates est non négligeable atteignant 120 mg/l

Les eaux sont de type : $\text{Cl} > \text{So}_4 > \text{No}_3$ et HCo_3 et $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

* **Grés pliocènes** : à ce niveau ce sont les bicarbonates qui sont prédominants par rapport aux sulfates.

Les eaux sont de type : $\text{Cl} > \text{HCo}_3 > \text{So}_4$ et No_3 et $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

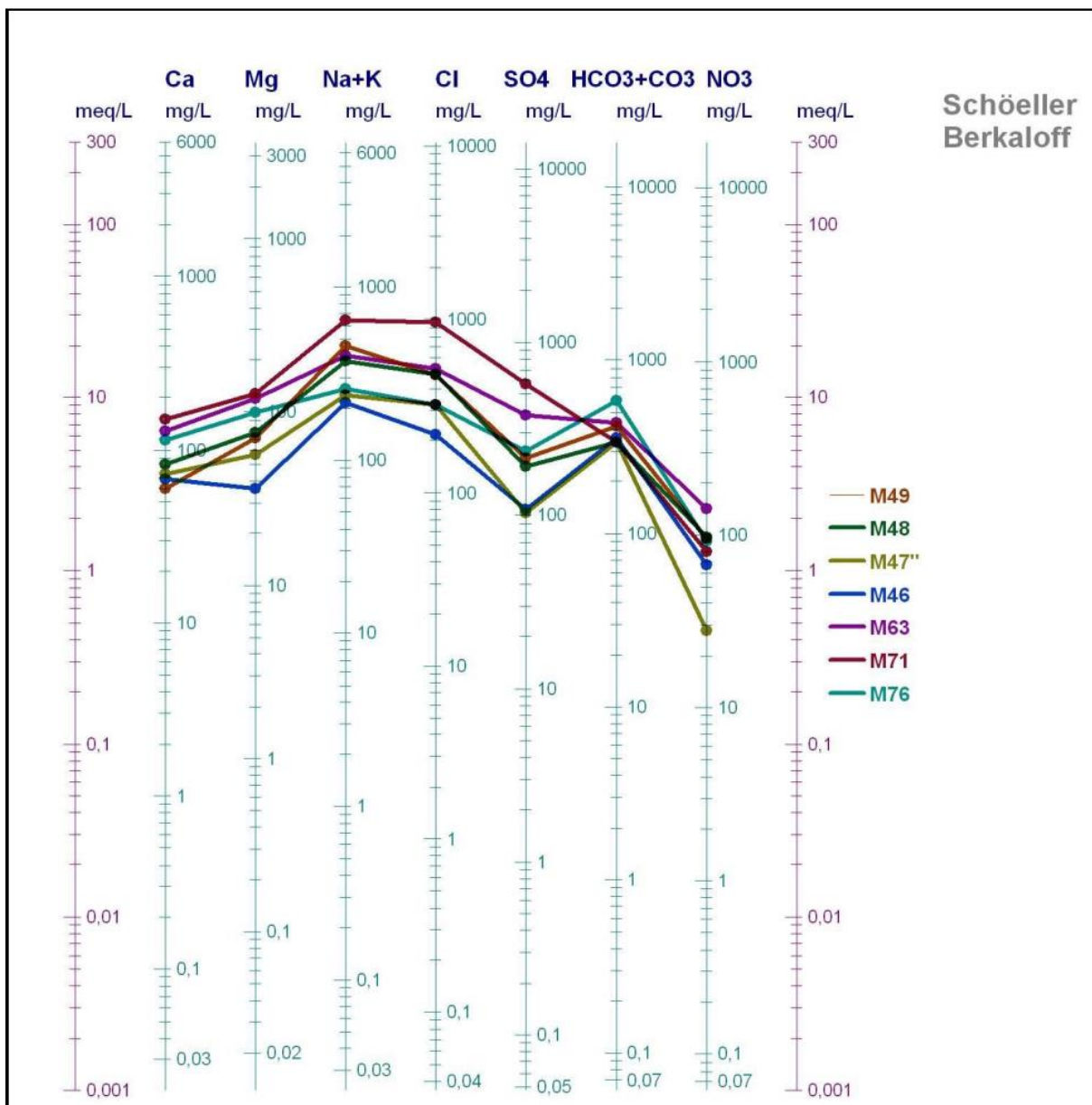


Figure 26 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousfer-El Ançor-Andalous.

2.2.2- Représentation graphique selon Piper :

Quarante (40) échantillons ont été représentés sur le diagramme de Piper (voir analyses chimiques en annexe 2) (Figure 27 et Figure 28).

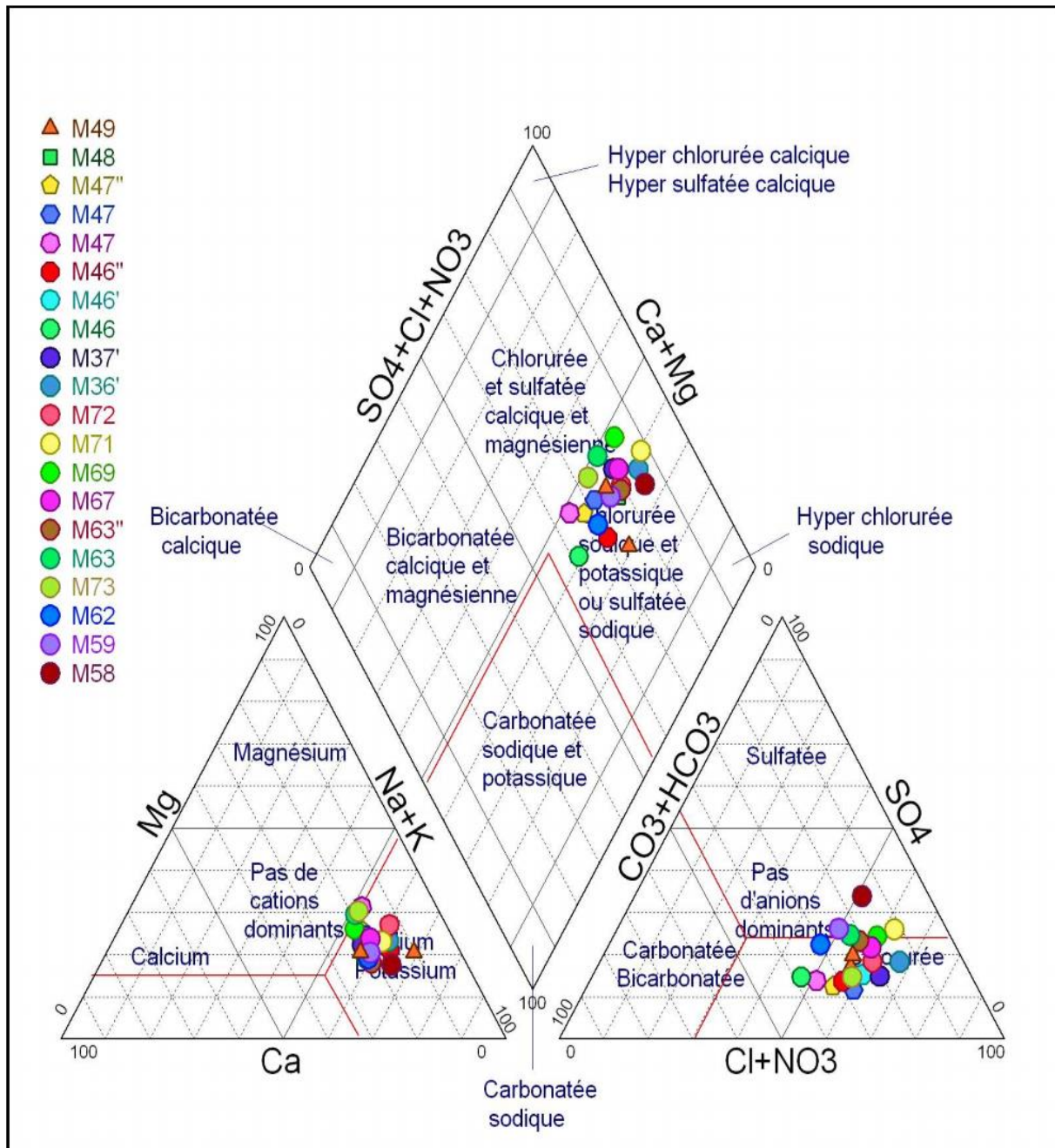


Figure 27: Représentation par diagramme de Piper des eaux de la nappe de Bousfer-El Ançor-Andalous (échantillons du puits M49 au puits M56).

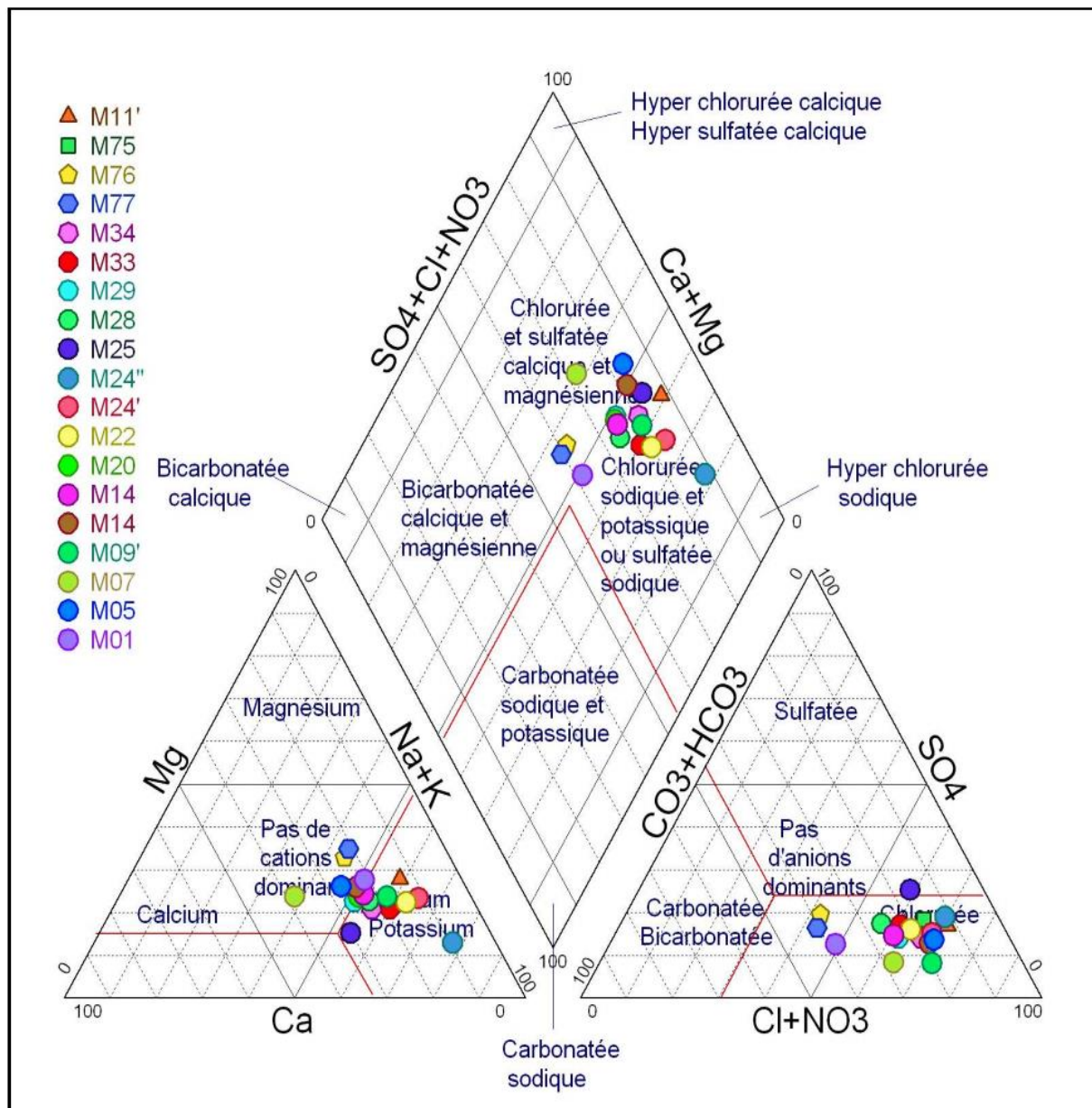


Figure 28: Représentation par diagramme de Piper des eaux de la nappe de Bousfer-El Ançor-Andalouses (échantillons du puits M11' au puits M01).

Au niveau des anions, presque tous les points présentent un pôle chloruré. Le pôle sodique est également bien mis en évidence par la concentration du nuage de points. Cette représentation permet de classer les eaux en deux grandes familles.

*** Eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes:**

Cas des puits M76, M05, M77 et M07.

*** Eaux chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques :**

Cas des 36 puits restants.

-3- Eau des nappes du flanc méridional du Djebel Murdjadjo:

La majorité des eaux du système aquifère bicouche carbonatée-alluvial est saumâtre à fortement minéralisée. La minéralisation augmente du Nord vers le Sud. Le faciès le plus répandu est chloruré sodique dans la plaine Bou-Yakour et sulfaté au sud du village Misserghin (tableaux ci-dessous et en annexe 3).

3.1-Les Paramètres Physiques :

3.1.1- PH : il est variable de 6,7 et 8,4 au bord de la Grande Sebkha et le flanc méridional du Djebel Murdjadjo.

3.1.2- Conductivité

La conductivité des eaux sur l'ensemble des ouvrages implantés au flanc sud du Murdjadjo varie entre 11200 et 600 $\mu\text{mhos/cm}$. Au niveau de la nappe alluviale, la variabilité est importante de 11280 $\mu\text{mhos/cm}$ au puits n° 66 dans la plaine de Bou-yakour à 10400 $\mu\text{mhos/cm}$ à l'Ouest du village Brédéah. La conductivité augmente du Nord au Sud, particulièrement en direction de la Grande Sebkha.

3.1.3- Le Résidu sec :

D'après les données de l'ANRH Oran ,2001.Trois secteurs s'individualisent. Le premier autour de Brédéah avec une valeur de 7440 mg/l, le deuxième au niveau de la plaine de Bou-Yakour avec 6800 mg/l et le dernière à l'Ouest du village Misserghin avec 7450 mg/l.

On distingue deux catégories d'eau :

a- les eaux des calcaires :

Ces eaux ont un faciès soit bicarbonatée calcique et magnésien, soit chloruré sodique avec des résidus secs compris entre 1,70 et 3,50g/l. Les eaux saumâtres ou salées obtenues par

pompage dans les forages n° 7 de Boutlelis et le forage n° 6 d'Ain-Beida auraient pour origine la dissolution des évaporites contenues dans les formations calcaires.

b- Les eaux des alluvions :

Sont encore plus chargées, le résidu sec dépasse les 8000 mg/l. Il peut être constaté que par endroit des prélèvements à proximité de la sebkha ont donné des résidus secs inférieurs à 3.5 g/l tels au puits n° 414. Ces valeurs peuvent s'expliquer par les fuites qui ont lieu le long de la conduite d'adduction de Béni-Bahdel auprès de laquelle est situé le point de prélèvement.

Facies hydrochimique :

3.1.5- Interprétation des diagrammes d'analyses d'eau et la carte des faciès hydrochimiques: (figure 29, 30)

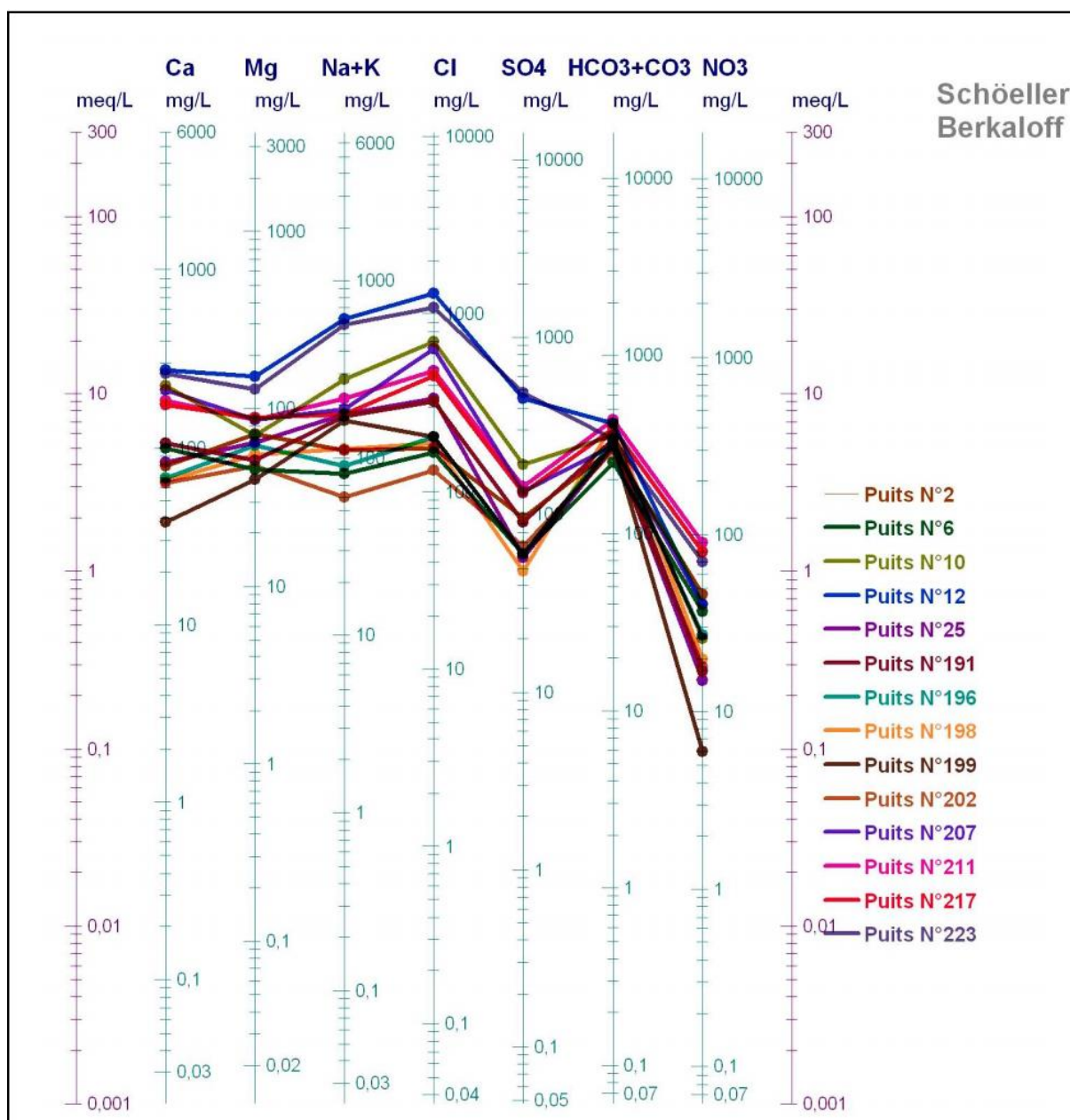


Figure 29: Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux des nappes du flanc méridional du Djebel Murdjadjo.

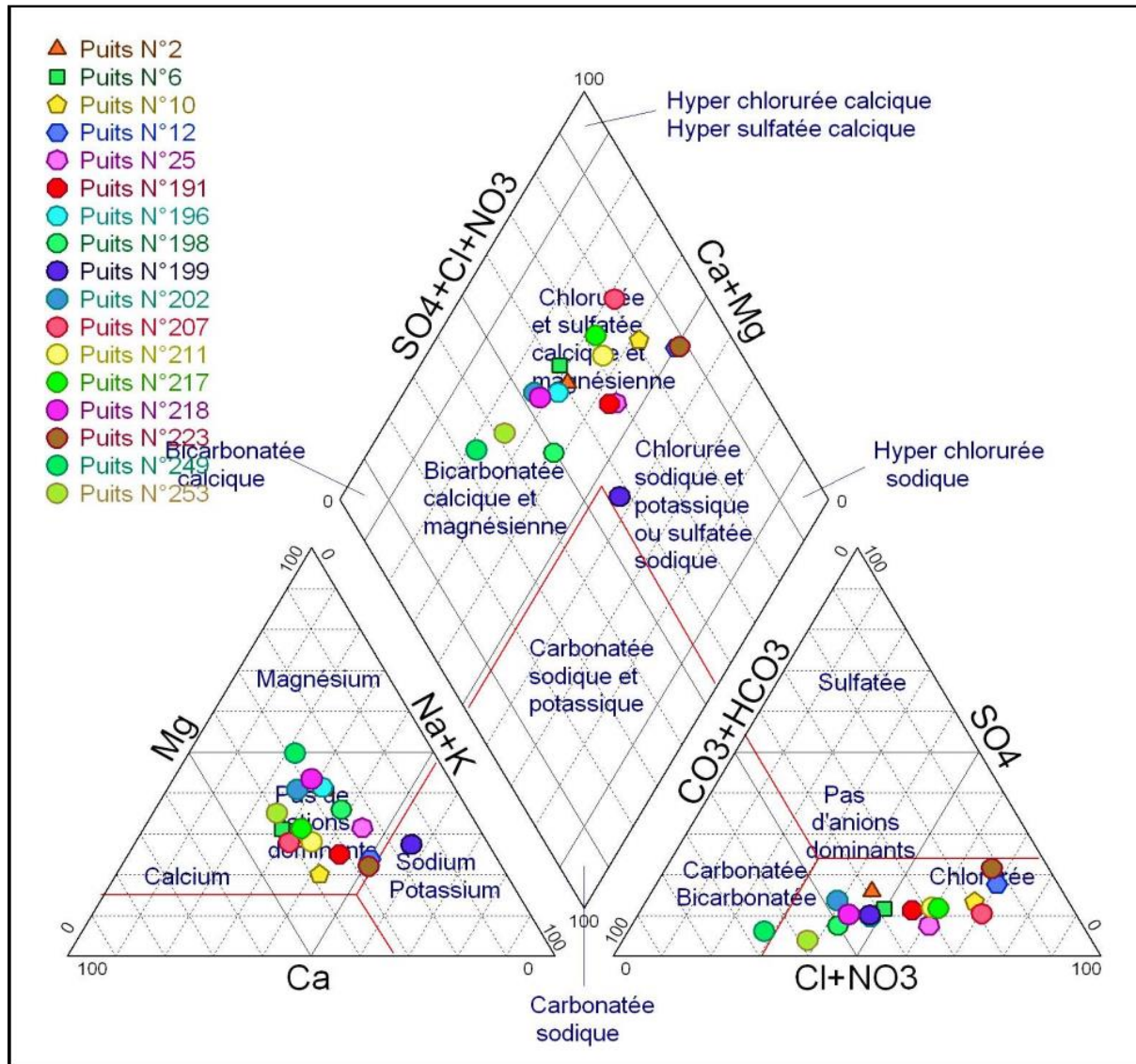


Figure 30: Représentation par diagramme de Piper des eaux des nappes du flanc méridional du Djebel Murdjadjo.

Les diagrammes de Scholler Berkaloff et de Piper les montrent la prédominance du faciès chloruré sodique dans le secteur. Le suivi de ce faciès permet de bien individualiser les principaux faciès hydrochimique; du faciès bicarbonaté magnésien au faciès chloruré sodique en passant par les faciès de transition : bicarbonaté sodique, bicarbonaté potassique et parfois chloruré magnésien.

II-II CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

1-ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES CHIMIQUES

A-Analyse statistique descriptive

Dans le tableau (tab.n06) ci-après .nous avons présenté le calcul des moyennes et des écarts-types de différents éléments chimiques.

Le tableau des valeurs statistiques montre que les valeurs de l'écart type dans la plupart des cas sont inférieures a celles de la moyenne ; ce qui indique que les valeurs des variables sont non dispersées.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca++	12.000	301.000	87.878	55.689
Mg++	21.000	158.000	67.634	29.085
Na+	41.000	690.000	260.707	178.956
K+	0.200	27.000	12.541	7.572
Cl-	67.000	1450.000	388.902	277.412
SO4--	22.000	747.000	192.098	172.594
HCO3-	122.000	583.000	303.585	99.923
NO3-	0.000	200.000	53.293	45.452
PH	6.200	8.700	8.100	0.492
R.S	446.000	4100.000	1472.878	920.452

Tableau n ° 06 : Tableau des valeurs statistiques de la région du djebel Murdjadjo.

B-ANALYSE EN COMPASANTES PRINCIPALES (ACP) :

Analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse statistique de données multidimensionnelles .cette méthode permet de rechercher les relations entre les variables chimiques et de regrouper celles qui présentent un comportement semblable afin d'avoir une idée sur l'évolution du chimisme des eaux souterraines.

L'étude statistique à partir de ACP donne de nombreux résultat qui sont présentés dans les tableaux 07 ,08 et 09.

Dans le tableau (07) présente les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leurs cumuls .Le facteur F1, avec une variance exprimée de 63.24%, est le plus important, ensuite vient le facteur F2 avec 13.31% de-là variance exprimée.

Tableau n 07 : Représentation des axes factoriels.

	F1	F2
Valeur propre	6.325	1.331
Variabilité (%)	63.247	13.311
% cumulé	63.247	76.558

Ces deux facteurs traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative.

Tableau n 08 : Matrice de corrélation des éléments chimiques sous ACP

Variables	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4--	HCO3-	NO3-	PH	R.S
Ca++	1	0.692	0.797	0.548	0.841	0.824	0.471	0.512		0.828
Mg++	0.692	1	0.838	0.662	0.881	0.805	0.410	0.373	0.223	0.789
Na+	0.797	0.838	1	0.712	0.939	0.936	0.424	0.463		0.909
K+	0.548	0.662	0.712	1	0.725	0.696	0.155	0.302	0.356	0.722
Cl-	0.841	0.881	0.939	0.725	1	0.873	0.260	0.349		0.889
SO4--	0.824	0.805	0.936	0.696	0.873	1	0.426	0.485	0.220	0.899
HCO3-	0.471	0.410	0.424	0.155	0.260	0.426	1	0.365		0.426
NO3-	0.512	0.373	0.463	0.302	0.349	0.485	0.365	1	0.074	0.425
PH	0.044	0.223	0.223	0.356	0.218	0.220	-0.168	0.074	1	0.260
R.S	0.828	0.789	0.909	0.722	0.889	0.899	0.426	0.425	0.260	1

-L'analyse de la matrice de corrélation (tab.08) permet de retenir les éléments corrélés deux à deux avec un coefficient de corrélation (r) significatif. On remarque le résidu sec est parfaitement corrélé au Ca et Mg et Na et K ,Cl, et SO4 ,les coefficients de corrélation étant 0.82 ;0.78 ;0.9 ;0.72 ;0.88 ;0.89.La minéralisation est donc liée aux au sodium et chlorure et sulfate et calcium avec u degré moindre serait le magnésium et potassium .les calcium et magnésium est corrélé avec Na ,Cl ,SO4 et le R.S. Les chlorures sont corrélé aux sulfates ceci laisse penser que ces éléments peuvent avoir origine commune. Cette origine serait liée à la nature du réservoir .dissolution du calcaire karstique.

Le Ca et le Mg sont fortement corrélée indiquant une origine commun qui serait le plus probable la dissolution des formations carbonatées.

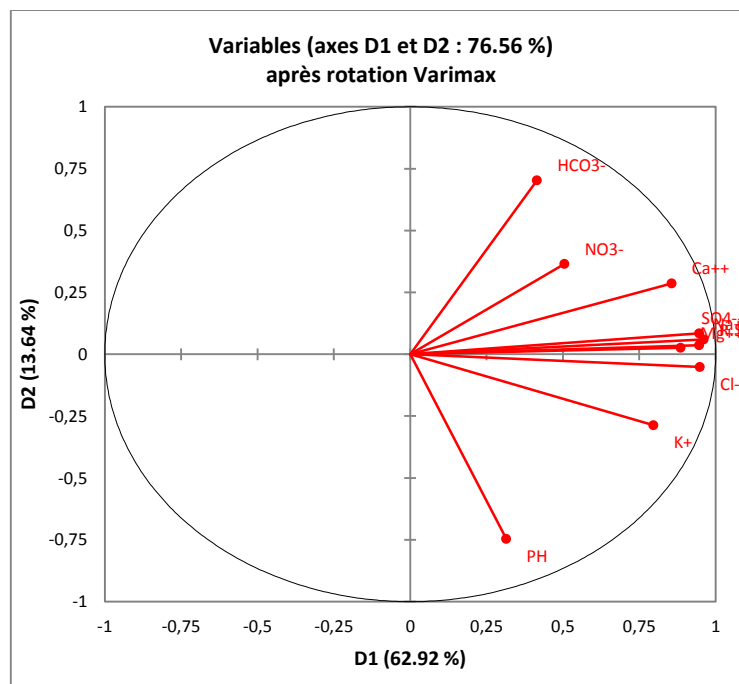
Tableau n 09 : Tableau des Facteurs après rotation varimax

	D1	D2
Variabilité (%)	62.917	13.642
% cumulé	62.917	76.558

après rotation varimax

le Facteur 1 exprime 62.9 de la variance totale (fig. 31) ; il présente les paramètres qui contribuent le plus à la minéralisation qui sont : le Ca, Mg, Na, K, (corrélation positive forte) et Cl, SO₄ indiquant la dissolution des évaporites .

le facteur 2 exprime 13.6 % de la variance totale indiquant la dissolution des formations carbonatées puisqu'il est fortement corrélé avec le HCO₃. (fig.31).

**Figure 31 : variables après rotation varimax**

C-CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHISEE (fig 32).

Au vu de ces différentes analyses, la classification ascendante hiérarchisée des données physico-chimiques présentant une meilleure corrélation entre eux. La classification ascendante hiérarchisée réalisée montre trois grandes familles (tab.10), On distingue :

Classe 01 : cette famille regroupe d'une part les eaux de la nappe karstique des calcaires miocènes, ces eaux sont les moins minéralisées caractérisée par ses teneurs faibles en ions majeurs.

Classe 02 : cette famille regroupe un peu les eaux de la nappe côtière, ces sont les trop minéralisées à cause des teneurs élevées en Cl et SO₄.

Classe 03 : cette famille regroupe les eaux de flanc sud du djebel Murdjadjo, ces eaux sont plus minéralisées que la classe 01 à cause de sa teneur en Cl et Na.ca se peut la dissolution des évaporites

Tableau n 10 : Nombre de classe de la région du Murdjadjo.

Classe 01	Classe 02	Classe 03
J30	J59	J120
J31	M71	J189
J34	M58	M36'
J40		M72
J114		M69
J122		M67
J123		M63''
J167		M63
J169		M73
J173		M62
J120		M59
Ain sabiet		M56
ain hassen		M11'
ain chaabet dhlia		M75
ain kharouba		M76
ain martinez		M34
ain bahri		M33
ain mraber		M29
M77		M28
		M25

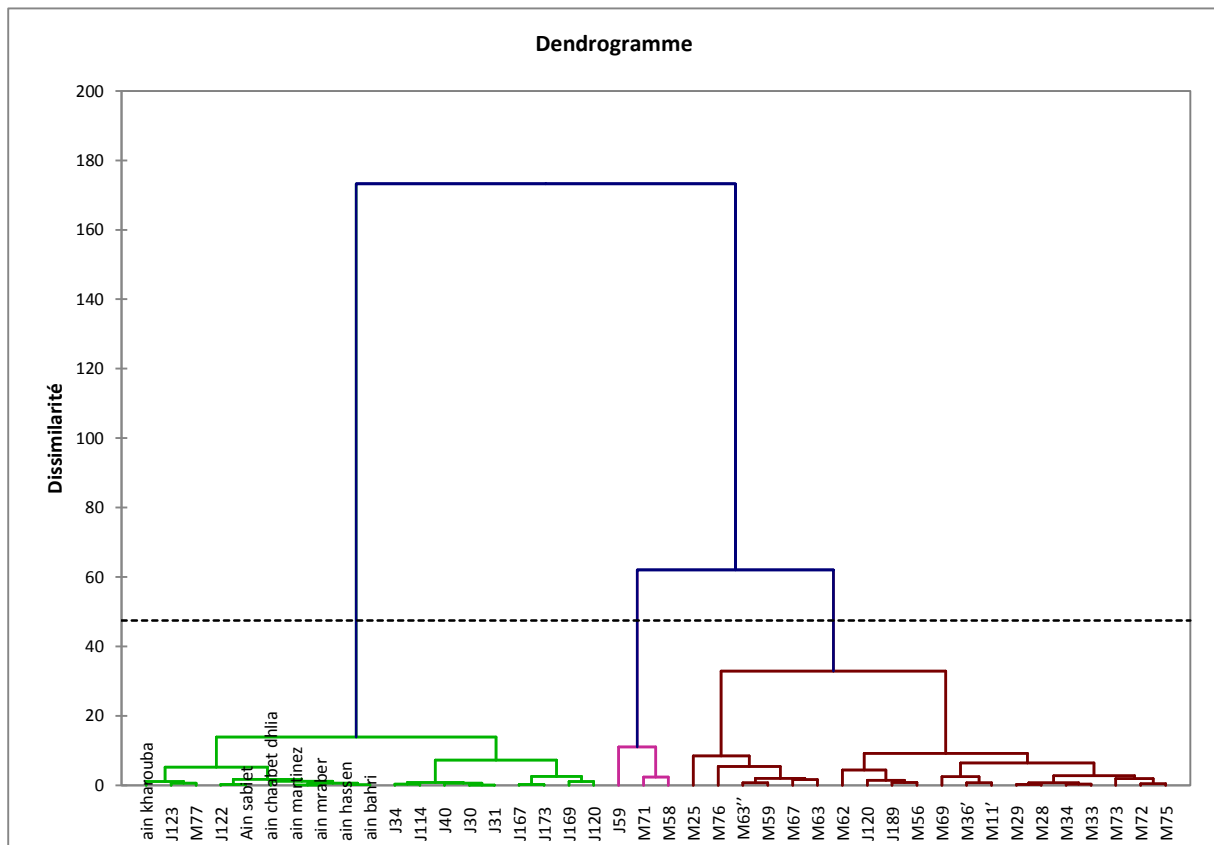


Figure 32 : Classification ascendante hiérarchisée des eaux de la région autour du djebel murdjajo

II- Contexte hydrochimique de la plaine de Ghriss :

La synthèse hydrogéologique de la plaine de Ghriss a identifié deux nappes principales :

- La nappe superficielle du Quaternaire.
- La nappe des calcaires du Jurassique.

1- Nappe superficielle :

La synthèse hydrochimique se base sur les résultats des analyses effectuées au sein du laboratoire de l'ANRH d'Oran.

1.1-Paramètres physiques et éléments chimiques (tableau n°11)**A- Le pH**

L'eau de la nappe superficielle du Quaternaire de la plaine de Ghriss montrent des pH variant entre 7,47 et 8.40. L'eau de la nappe superficielle traduit le caractère alcalin avec un pH qui ne dépasse pas les normes du pH admis par l'O.M.S ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) (Voir annexe 5).

Tableau n°11: valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau de la nappe superficielle du Quaternaire (mg/l).

Nom	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃	Hco ₃	NO ₃	PH	Cond (us/cm)	Mineralisatio (mg/l)	RS (mg/l)
202th	101	126	324	5	656	296	0	154	14	7.7	3260	2474	2480
122th	83	137	311	4	587	280	0	356	22	7.9	3270	2482	2680
196	101	123	308	3	734	231	0	255	11	7.97	3340	2535	2480
1106	32	50	156	7	242	89	0	255	11	8.19	1590	1207	1080
622bi	86	86	129	4	297	164	17	205	26	8.3	1440	1093	1280
661	99	80	69	4	297	98	0	225	55	8.23	1610	1222	1480
810	58	83	62	3	162	109	0	351	13	8.33	1070	812	700
941	55	90	46	2	121	114	0	420	25	8.26	1050	797	880
1014	48	116	83	5	391	15	0	273	36	8.16	1710	1298	1480
1098	75	66	136	4	115	436	0	210	14	8.25	1130	858	1060
1103	72	55	83	4	169	146	0	224	13	8.26	1130	858	1080
1230	497	342	542	12	2765	122	0	176	53	7.82	6080	4615	5280
1603	75	60	85	3	1699	154	14	200	11	8.28	1310	994	1080
17	68	72	58	4	155	100	24	244	11	8.43	1040	789	680
107	40	67	62	5	142	74	0	293	17	8.40	862	654	660
230	123	129	274	6	641	247	0	361	103	8.10	2470	1875	1860
235	48	74	37	2	101	46	0	390	39	8.25	921	699	680
302	58	76	35	2	101	64	0	322	36	8.24	877	666	680
252	48	87	60	8	108	99	0	415	11	8.18	1060	805	680
1245	653	249	529	36	2609	40	0	121	53	7.72	7980	6057	7300

B- La minéralisation

La carte de la minéralisation totale des eaux de la nappe superficielle du Quaternaire de la plaine de Ghriss représente une évolution spatiale qui peut atteindre 6000 mg/l (figure 33). Au nord-ouest de la plaine, les valeurs sont relativement faibles, inférieure à 1000 mg/l. Les courbes iso-teneurs montrent une augmentation progressive de la minéralisation du nord- ouest vers le sud-est de la plaine, le maximum est atteint au niveau de la plaine de Gerdjoume (près de 7000 mg/l).

Au nord-ouest de la plaine, une zone de faible minéralisation est en évidence (inférieur au 1000 mg/l). Elle s'allonge suivant un axe NW-SE vraisemblablement que cette dilution est liée à un apport d'eaux moins chargées de la nappe profonde des grès pliocènes.

La forte variation dans l'espace de la minéralisation est contrôlée essentiellement par la nature hétérogène de l'aquifère, l'interaction avec les niveaux alluvionnaires du Plioquaternaire et l'influence des zones fortement sollicitées par pompage.

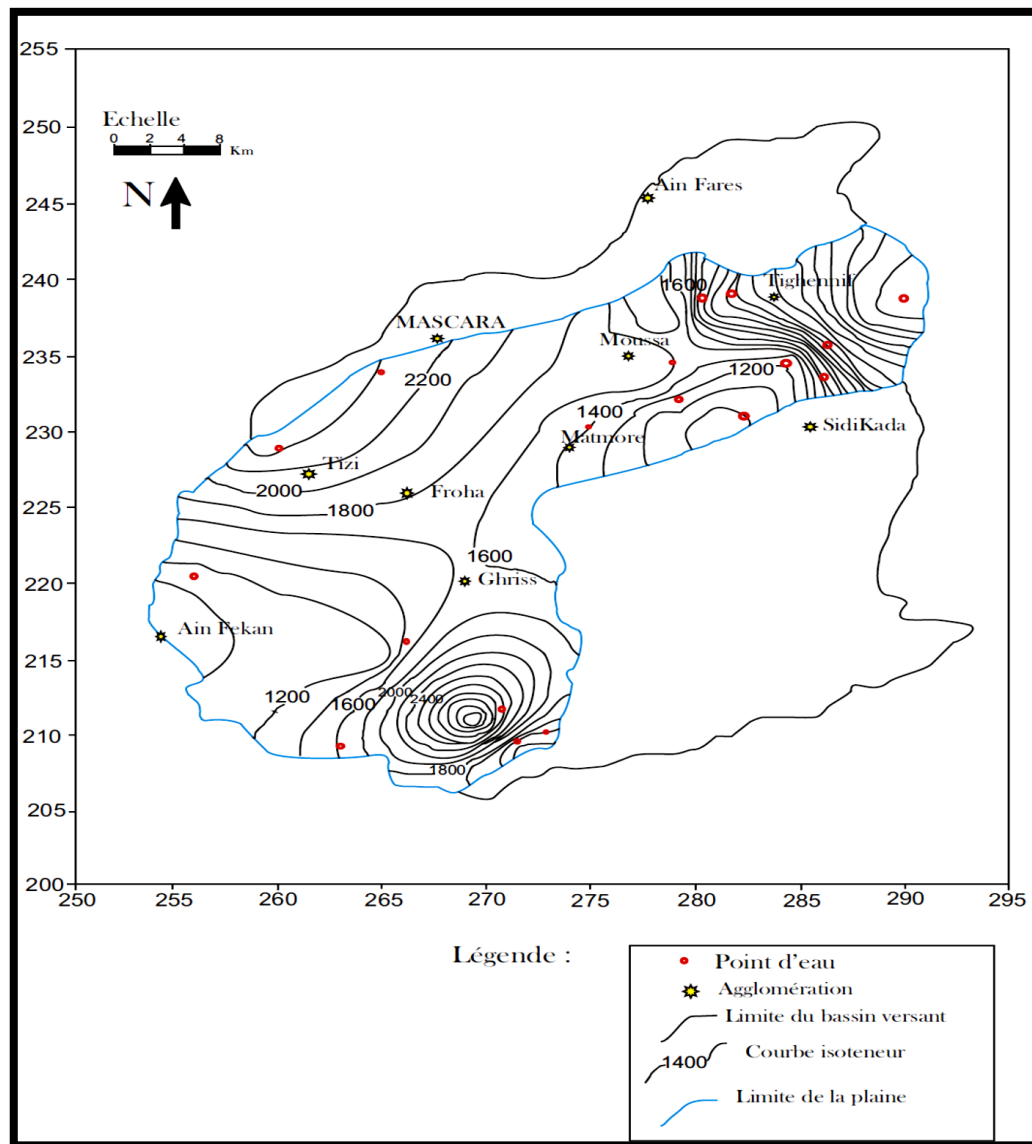


Figure 33: Carte d'isominéralisation (Hadadji & Hichour, 2006).

Facies hydrochimique :**1.2-Classification des eaux de la plaine de Ghriss :***** Diagramme de Scholler-Berkaloff : (Figure 34 et 35).**

Le report des teneurs sur le diagramme, permet de distinguer deux grandes familles d'eaux :

- Des eaux à faciès chlorurées sodique de formule caractéristique :

$r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r(\text{HCO}_3.\text{CO}_3) > r\text{NO}_3$ et $r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Mg} > r\text{Ca}$.

- Des eaux à faciès chloruré magnésien de formule caractéristique :

$r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r(\text{HCO}_3+\text{CO}_3) > r\text{NO}_3$ et $r\text{Mg} > r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Ca}$.

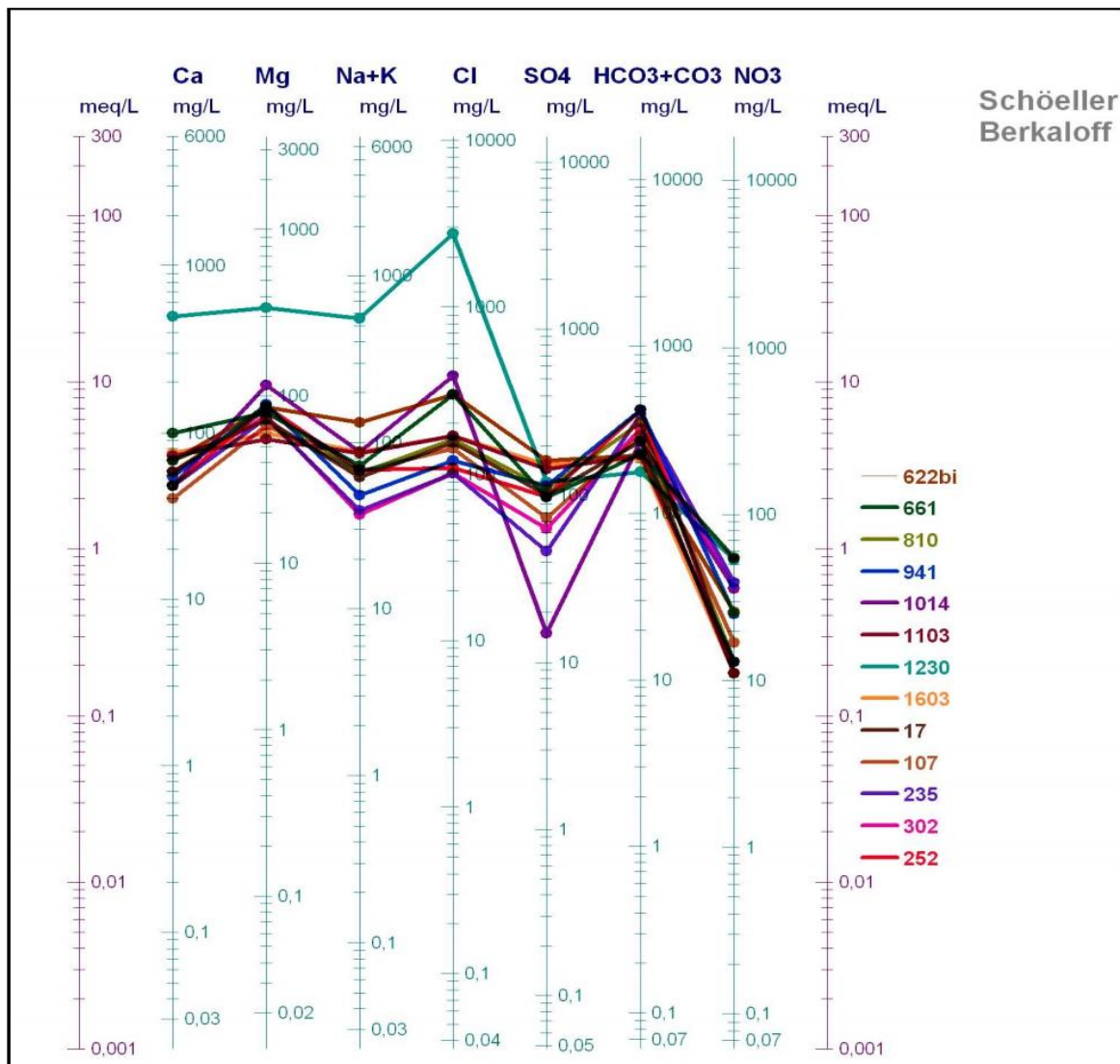


Figure 34 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss.

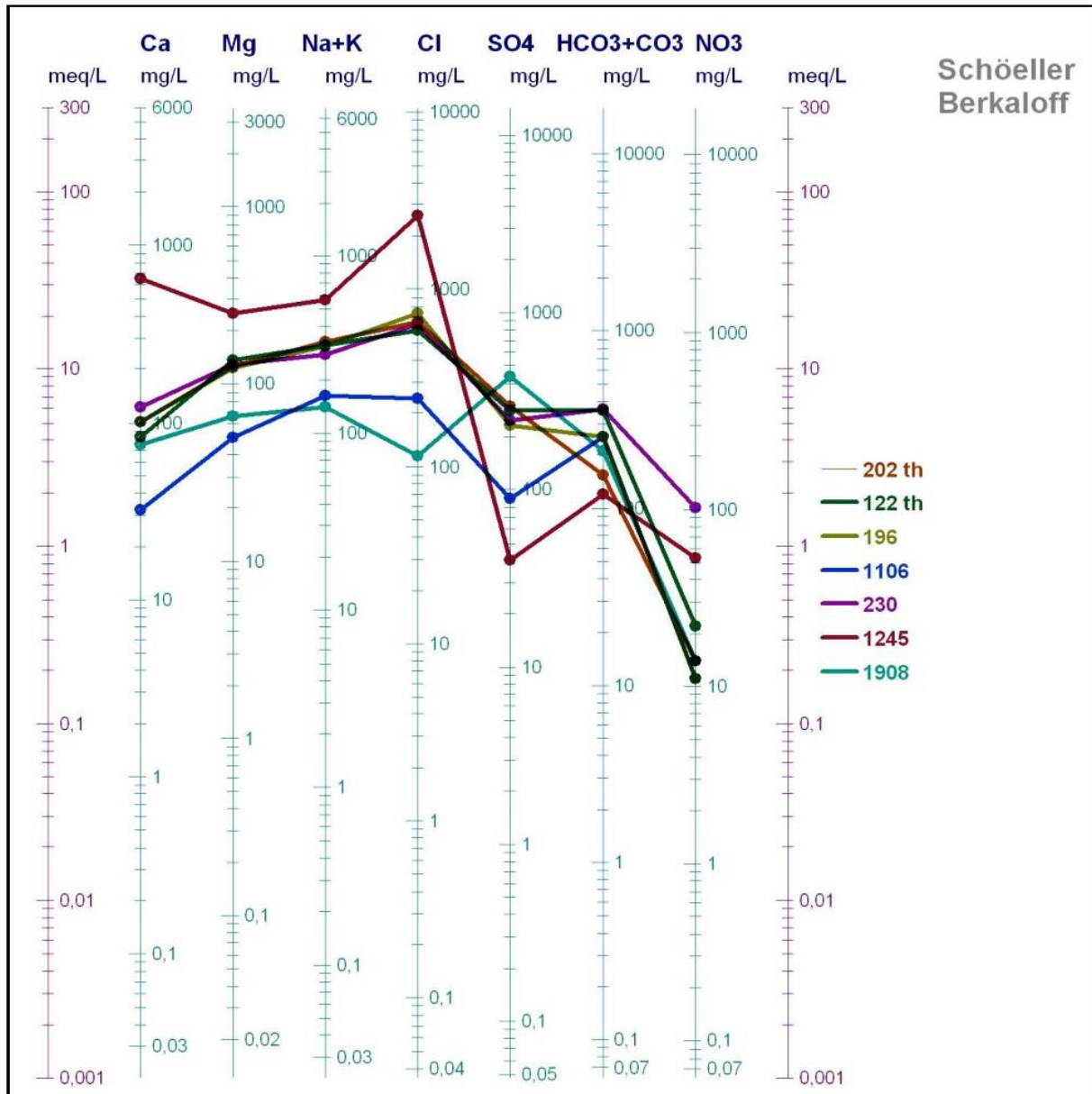


Figure 35 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss.

*** Diagramme de Piper:**

La majorité des eaux des puits de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss présentent un faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien avec la présence du faciès bicarbonaté calcique et magnésienne et rarement le faciès chloruré sodique et potassique (Figure 36).

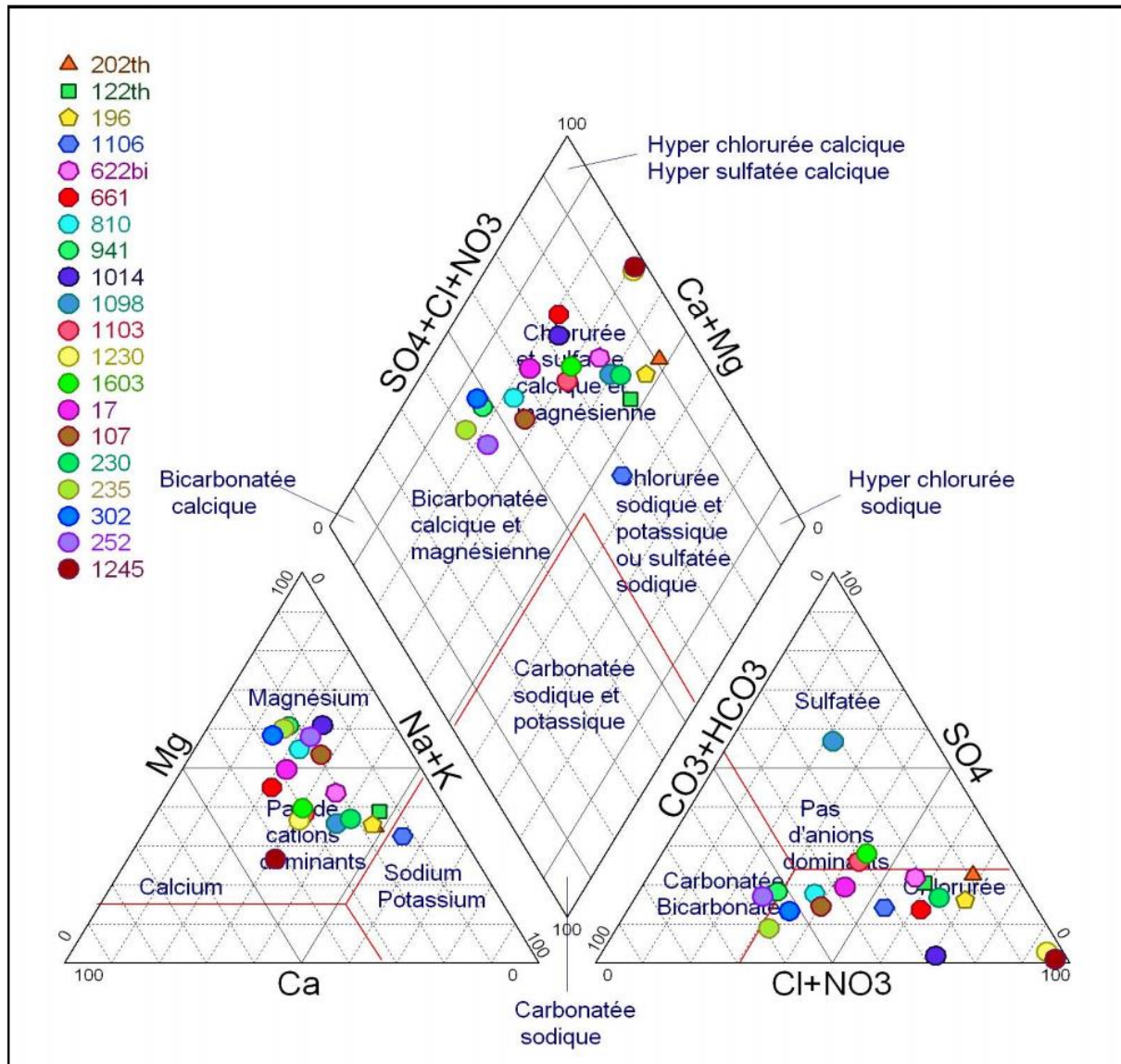


Figure 36 : Représentation graphique des points d'eaux de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss sur le diagramme de Piper.

2- Nappe des calcaires du Jurassique :

Cette analyse se base sur les résultats des analyses présentées dans le cadre des travaux de L'ANRH d'Oran .(benfetta S 2000).

2.1-paramètres physico-chimiques de la nappe des calcaires du Jurassique : (Tableau n° 12).

Le pH de l'eau de la nappe des calcaires du Jurassique est compris entre 7,5 et 8,4 ; c'est une eau légèrement basique.

Tableau n° 12 : Les différents paramètres physico-chimiques de la nappe des calcaires du Jurassique.

N° labo	date	N° puits	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PH	C25 en us/cm	Minera	RS
25607	02/02/99	17	60	84	51	4	117	120	17	318	10	8.4	1040	645	680
25608	02/02/99	230	216	142	230	18	767	158	0	514	45	7.5	3260	2021	2240
25609	02/02/99	235	76	98	76	3	179	144	0	388	46	8	1430	984	1100
25610	02/02/99	301	136	104	101	4	413	72	0	314	47	8.2	1870	1159	1580
25611	02/02/99	302	381	96	260	7	1244	156	0	245	20	8.2	4230	2623	3220

* L'eau de la nappe des calcaires du Jurassique présente, d'après les diagrammes de Schoeller Berkaloff et de Piper (Figure 37 et 38), un faciès bicarbonaté magnésien à chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

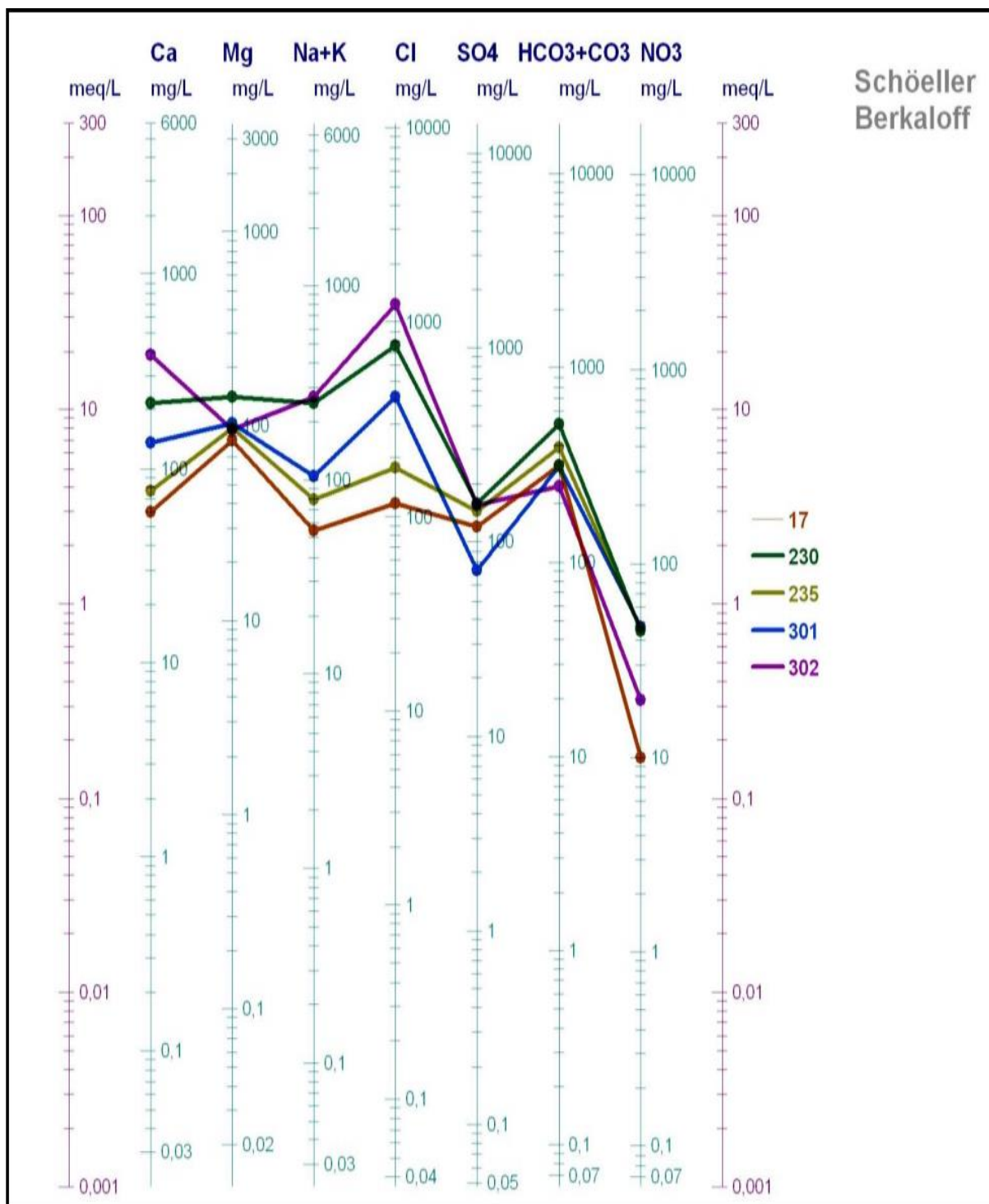


Figure 37 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe du Jurassique.

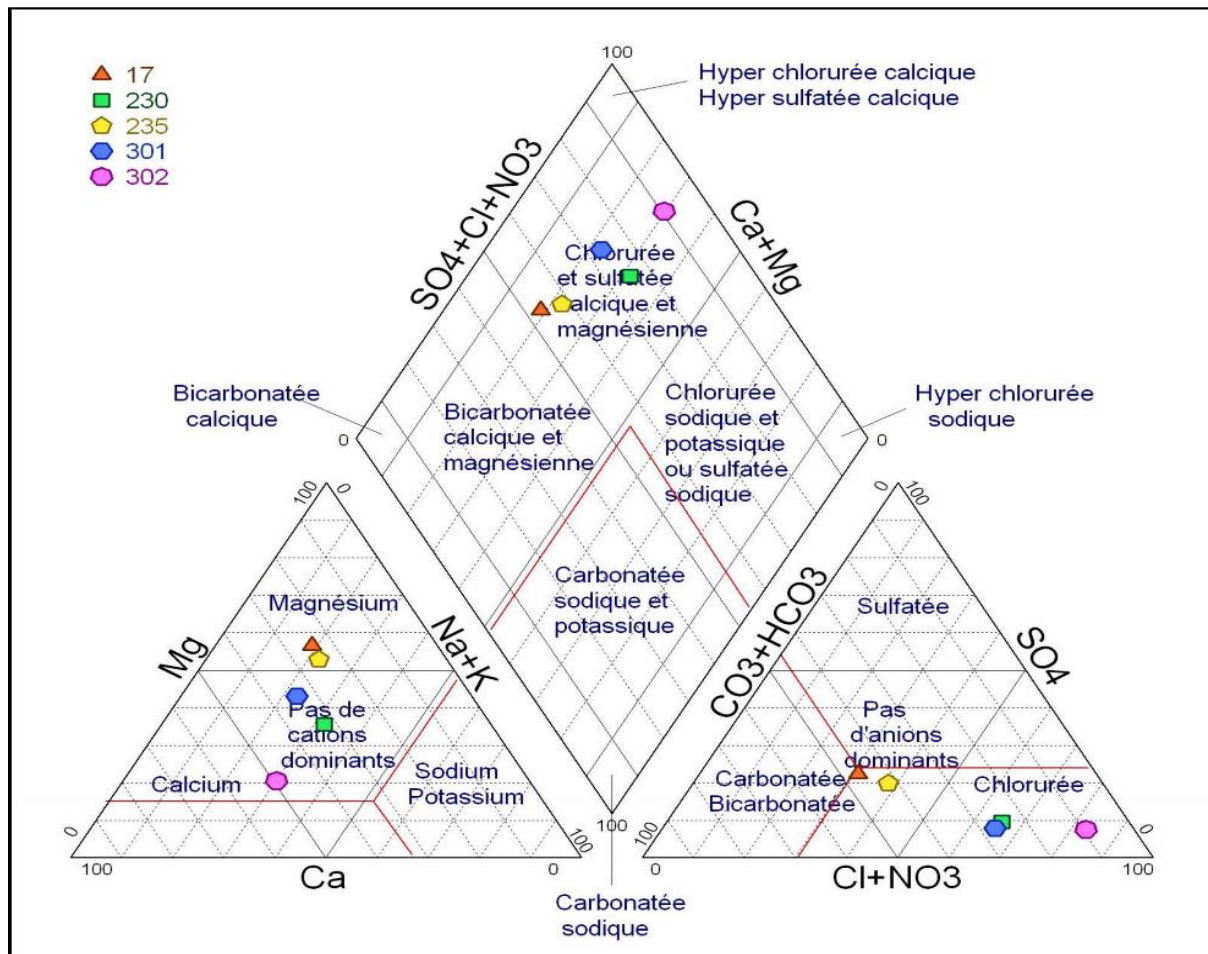


Figure 38 : Représentation par diagramme de Piper des eaux de la nappe du Jurassique.

3-ETUDE STATISTIQUES

a)- statistiques descriptive (tab.13) :

A partir du tableau on remarque que les valeurs de l'écart type dans la plupart des cas sont inférieures à celles de la moyenne.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PH	7.500	8.430	8.149	0.226
Ca	32.000	653.000	132.833	155.954
Mg	50.000	342.000	106.917	64.682
Na	35.000	542.000	157.625	145.609
K	2.000	36.000	6.417	7.223
Cl	101.000	1244.000	324.500	282.708
HCO3	15.000	436.000	136.583	90.240
SO4	121.000	514.000	294.792	92.315
NO3	10.000	103.000	30.333	22.210
R.S	660.000	7300.000	1746.667	1594.650
COND	654.000	6057.000	1756.083	1436.096

Tableau 13 :Tableau des valeurs statistique

b-ANALYSE EN COMPOSENTES PRINCIPALE (ACP) :

L'étude statistique a partir de ACP donne de nombreux résultats qui sont présentés dans les tableaux suivants

Dans le tableau 14 sont consignés les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leurs cumuls. Le facteur F1, avec une variance exprimée de 57.33%, est le plus important, ensuite vient le facteur F2 avec 13.3% de la variance exprimée.

Tableau 14 : Représentation des axes factoriels

	F1	F2	F3
Valeur propre	6.307	1.462	1.239
Variabilité (%)	57.336	13.294	11.267
% cumulé	57.336	70.630	81.897

Tableau 15 : Matrice de corrélation

Variables	PH	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO3	SO4	NO3	R.S	COND
PH	1										
Ca	-0.606	1									
Mg	-0.695	0.822	1								
Na	-0.734	0.848	0.874	1							
K	-0.677	0.823	0.640	0.693	1						
Cl	-0.435	0.349	0.195	0.449	0.155	1					
HCO3	-0.112	-0.108	-0.064	0.190	-0.189	0.243	1				
SO4	-0.155	-0.425	-0.245	-0.374	-0.237	0.071	-0.036	1			
NO3	-0.424	0.355	0.460	0.370	0.300	0.221	-0.056	0.111	1		
R.S	-0.697	0.951	0.864	0.935	0.821	0.363	-0.031	-0.446	0.367	1	
COND	-0.750	0.948	0.816	0.913	0.795	0.554	-0.009	-0.305	0.352	0.961	1

-L'analyse de la matrice de corrélation (tab.15) permet de retenir les éléments corrélés deux à deux avec un coefficient de corrélation (r) significatif. On remarque le PH corrélé positivement au Ca et Mg et Na et K, Cl, et R.S et COND, les coefficients de corrélation étant 1 ; -0,60 ; -0,69 ; -0,73 ; 0,67 ; -0,69 ; -0,75

.La conductivité est corrélée avec Ca et Mg et Na et K, Cl- donc le Ca, Mg, Na, K sont les responsables de la minéralisation et avec un degré moindre serait le Cl (0,55). Le Ca et le Mg sont fortement corrélés indiquant une origine commune qui serait le plus probable la dissolution des formations carbonatées.

Tableau 16 :Tableau des Facteurs après rotation varimax

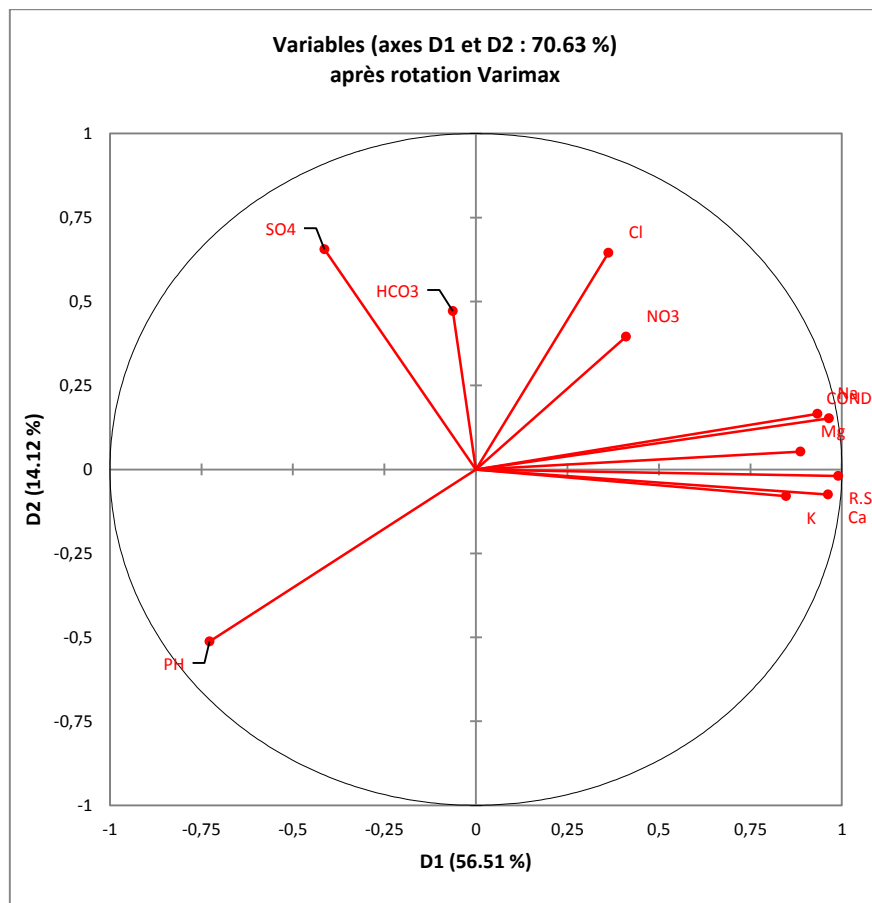
	D1	D2
Variabilité (%)	56.509	14.121
% cumulé	56.509	70.630

- après rotation varimax (tab.16)

le Facteur 1 exprime 56,51 de la variance totale ; il présentent les paramètres qui contribuent le plus à la minéralisation qui sont : le Ca, Mg, Na, K, (corrélation positive forte).

ce premier facteur est anti- corrélé avec le pH indiquant le rôle de pH dans le chimisme des eaux souterraines, quand le PH augmente la minéralisation s'affaiblie.

le facteur 2 exprime 14,12 % de la variance totale indiquant la dissolution des formations évaporites puisqu'il est fortement corrélé avec le Cl et SO₄ et anti corrélé avec le pH.(fig .39).

**Figure 39 : Projection des variables après rotation**

C-CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHISEE (fig.40)

la classification ascendante hiérarchisée des données physico-chimiques présentant une meilleure corrélation entre eux. La classification ascendante hiérarchisée réalisée montre quatre grandes familles. On distingue :

Classe 03 : cette famille regroupe d'une part les eaux de la nappe superficielle du quaternaire et la nappe des calcaires du jurassique (tab.17), ces eaux sont les plus minéralisées caractérisée par ses teneurs Na et Ca.

Classe 01 : cette famille regroupe les eaux de la nappe plioquaternaire ces sont les moins minéralisées que la classe 03 cause d'un apport d'eau moins chargées de la nappe profonde des grès pliocènes.

Classe 04 : cette famille regroupe les eaux moins minéralisées que la classe 01,

Classe 02 : cette famille regroupe les eaux les moins minéralisées a cause de sa faible teneur en inions majeur .qui est situé dans la partie nord-ouest de la plaine de griss.

1	2	3	4
202th	1106	1230	230
122th	622bi	1245	n.j.puits230
196	661		
1098	810		
n.j puits302	941		
	1014		
	1103		
	1603		
	17		
	107		
	235		
	302		
	252		
	n.j puits 17		
	n.j puits 235		
	n.j puits 301		

Tableau 17 : Classe des eaux de la plaine de Ghriss.

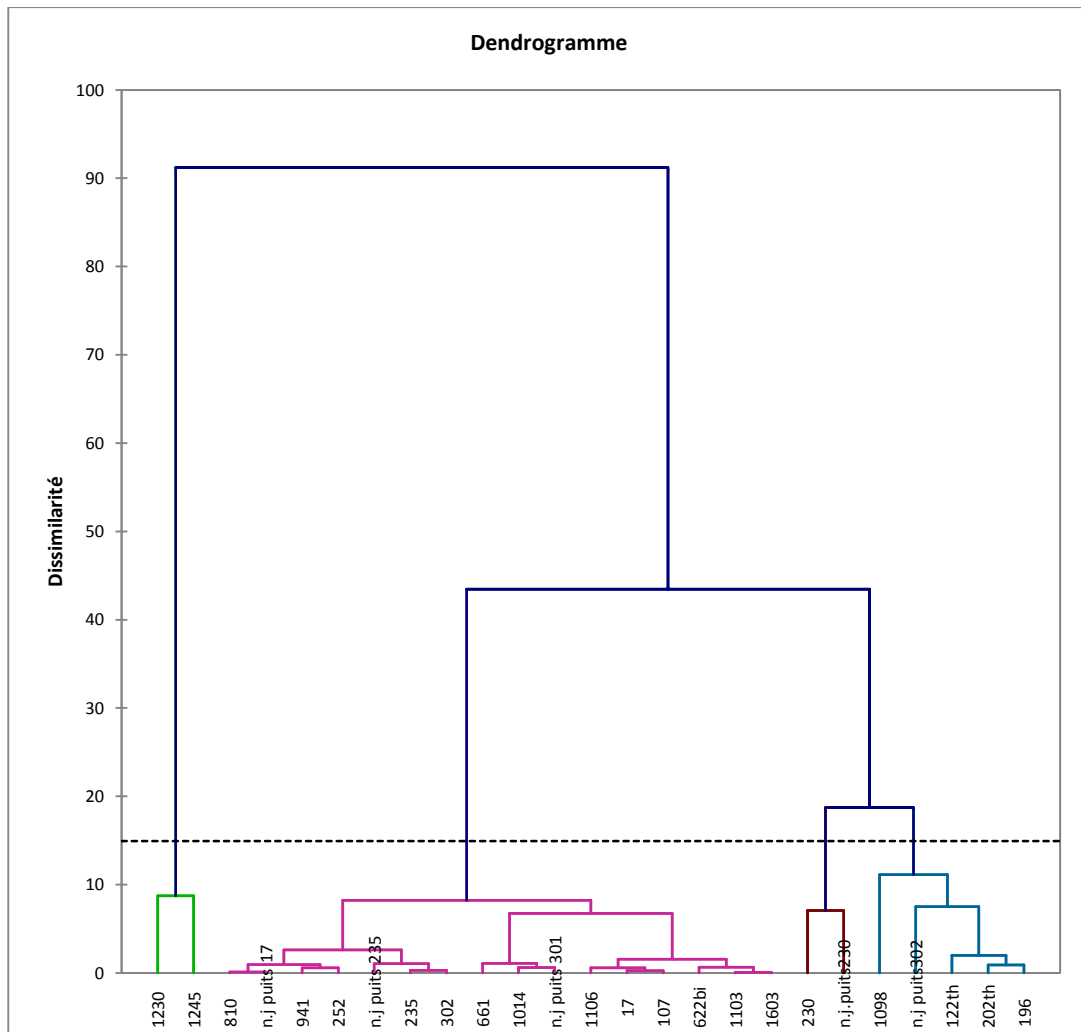


Figure 40 : CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHISEE DE LA PLAINE DE GHRIS

III- Caractérisation hydrochimique des Monts de Tlemcen :

Cette caractérisation sera effectuée à travers l'étude des eaux d'un forage et de quelques sources drainant les formations carbonatées du Jurassique supérieur.

Facies hydrochimiques :

1- Caractéristiques des eaux d'un forage captant les formations carbonatées du Jurassique supérieur (dolomie de Tlemcen).

L'analyse des eaux du forage TL7 (coordonnées dans le tableau d'annexe 8) effectuée sur une période de trois années ont fait l'objet d'une synthèse (Bensaoula F., 2006).

Tableau n°18 : Variabilité de la physico-chimie des eaux du forage TL7.

date	PH	Teneur en mg/l								
		R.S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
30/03/99	7.9	620	50	65	35	2	59	67	342	27
28/11/00	7.6	660	101	46	28	2	77	24	400	20
13/01/00	7.0	640	89	62	30	1	90	60	396	20
21/05/01	7.3	660	72	51	30	2	64	58	350	20
12/05/02	7.2	680	120	28	23	3	94	37	359	15
26/10/02	7.3	660	72	51	30		94	87	531	20
08/12/02	7.0	530	100	41	23	2	73	60	373	16
23/02/03	7.1	680	79	64	30	2	65	128	395	21
16/03/03	7.8	660	106	54	32	2	108	131	531	18
11/06/03	6.9	530	91	41	28	2	44	68	395	15
20/07/03	7.7	860	90	36	28	1	20	60	432	17

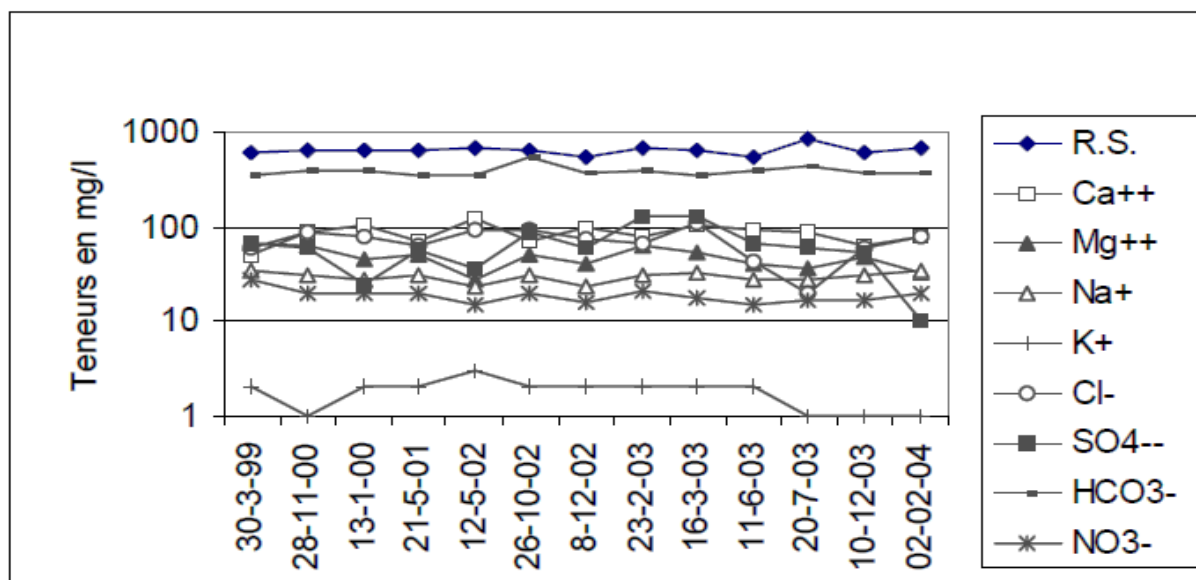


Figure 41 : Variabilité de la physico chimie des eaux du forage de TL7.

Les teneurs des eaux du forage TL7 paraissent relativement stables. Les teneurs en chlorures varient de 108 à 20 mg/l. Elles sont essentiellement dues à la nature des terrains traversés. Les teneurs en sulfates varient de 131 à 10 mg/l. Elles peuvent être dues soit à la nature des

formations traversées et le temps de contact entre ces dernières et l'eau souterraine, ou alors à l'utilisation des engrais par les agriculteurs.

Les teneurs en nitrates varient de 15 à 27 mg/l. Leur origine peut être expliquée soit par l'utilisation des engrais azotés ou alors par la contamination par les terrains miocènes.

Les teneurs en potassium sont très faibles. Le sodium varie de 23 à 35 mg/l. Les teneurs en sodium sont liées à la constitution géologique des formations traversées par les eaux, notamment le contact avec les marnes miocènes.

Le résidu sec varie de 530 à 860 mg/l.

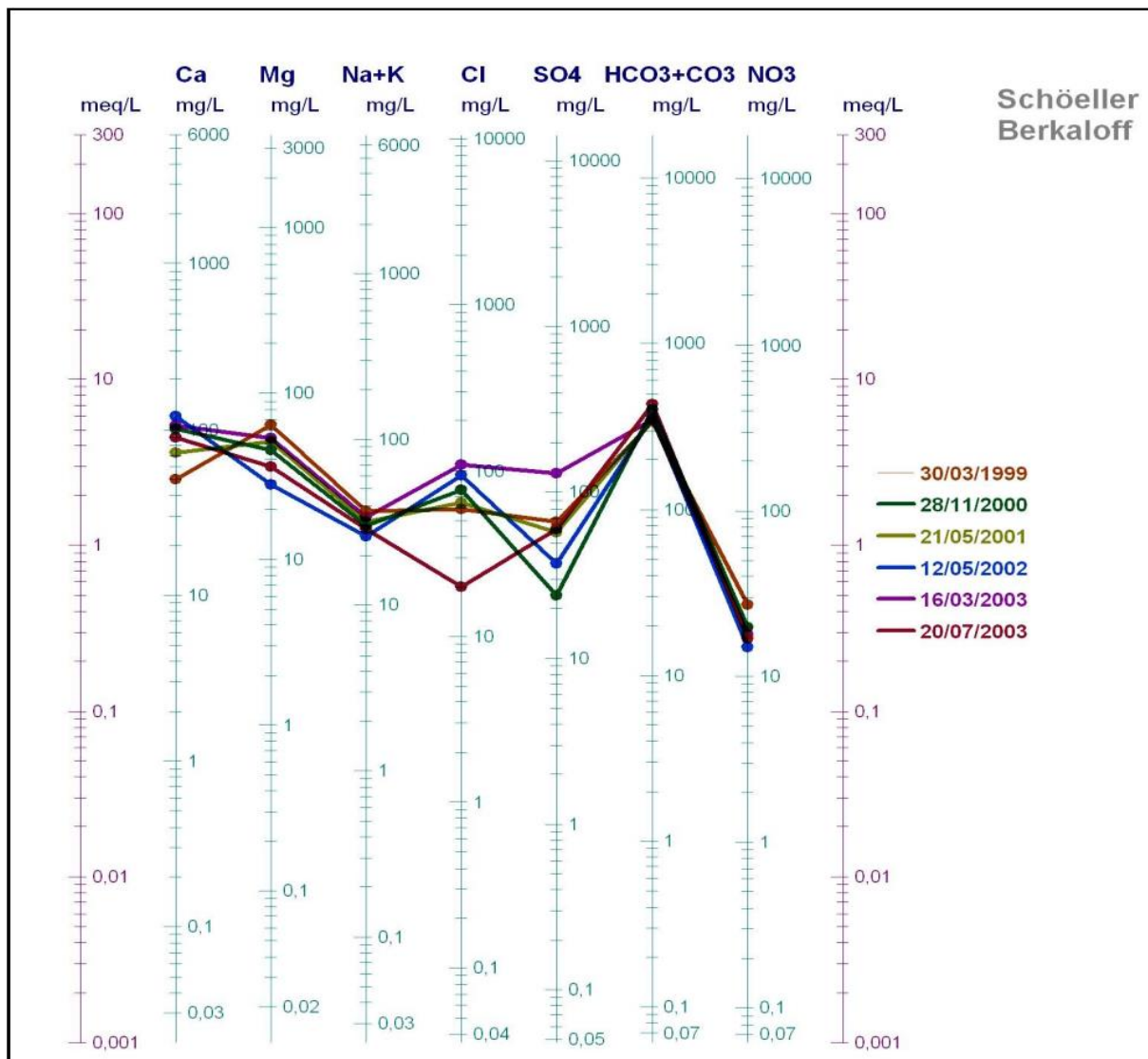


Figure 42 : Représentation par diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux du forage TL7.

D'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff, les eaux de forage TL7 (fig. 42) peuvent être classées sous le faciès : $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ et $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$.

2- Caractéristiques des eaux de quelques sources :

Les sources objet de l'étude : Aïn Fouara, Aïn Bendou et Aïn El Houtz (avec les coordonnées dans le tableau d'annexe 9) drainent les formations des calcaires dolomitiques et qui sont probablement alimentées latéralement par le karst.

2.1- Diagramme semi logarithmique de Schoeller-E.Berkaloff (Figure 43, 44 et 45)

Le report des résultats des analyses des sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff détermine un faciès bicarbonaté calcique à bicarbonaté magnésien.

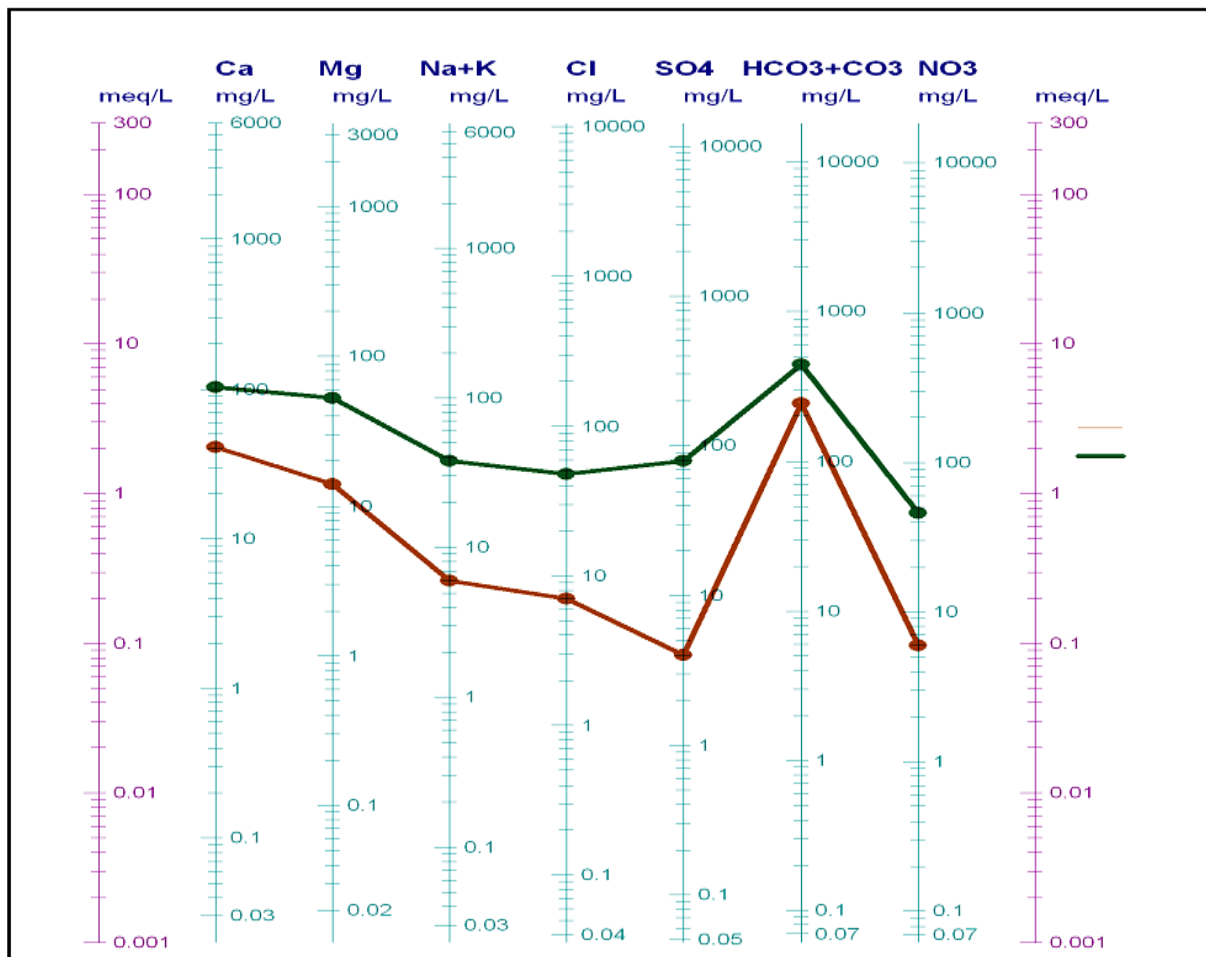


Figure 43 : Classification des eaux de la source Aïn Fouara Supérieure selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff .

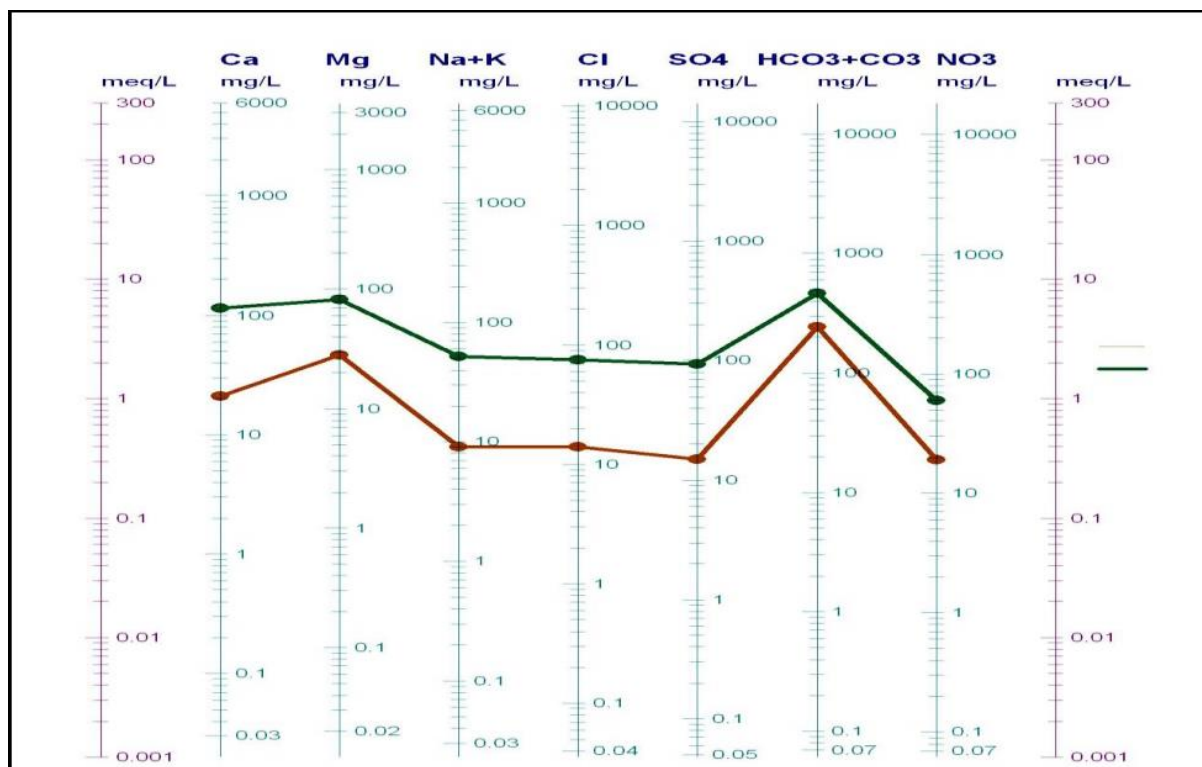


Figure 44 : Classification des eaux de la source Aïn Bendou selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff .

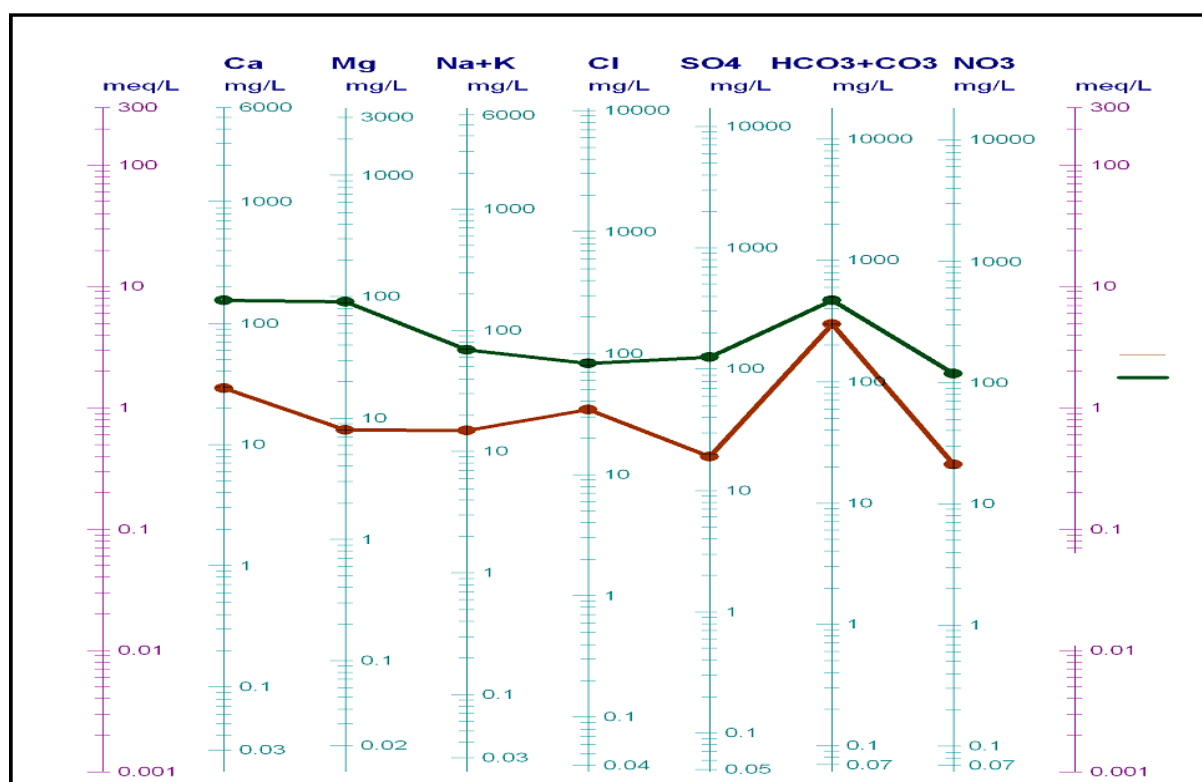


Figure 45 : Classification des eaux de la source Aïn El Houtz selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff .

2.2- Diagramme de Piper (Figure 46, 47 et 48):

Le report des analyses chimiques des trois sources sur le diagramme de Piper confirme les résultats de ceux de Schoeller-Berkaloff et permet de distinguer deux faciès chimiques :

- un faciès bicarbonaté calcique .
- un faciès bicarbonaté magnésien .

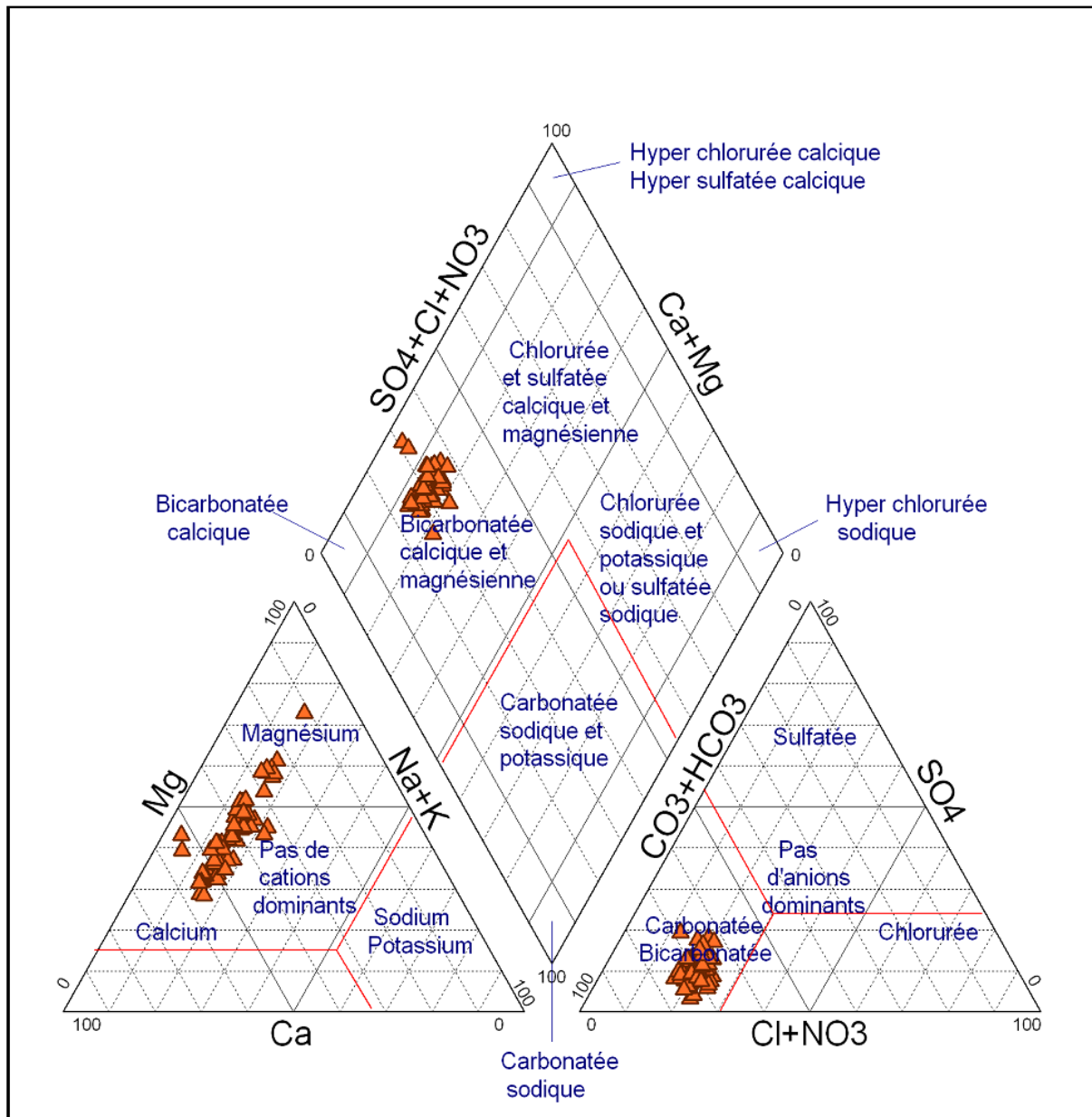


Figure 46 : Classification des eaux de la source Aïn Fouara supérieure d'après le diagramme Piper .

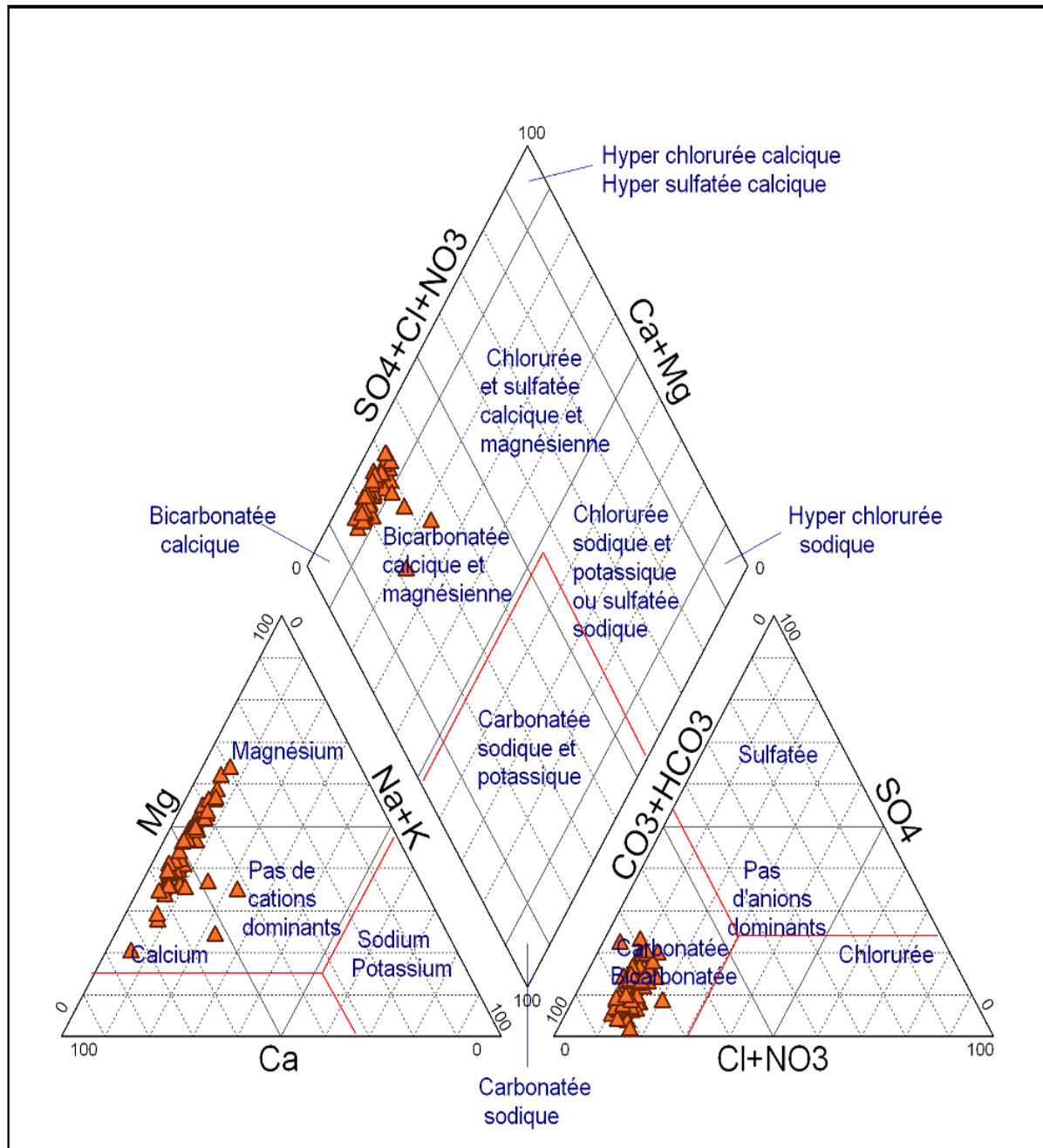


Figure 47: Classification des eaux de la source Aïn Bendou d'après le diagramme de Piper .

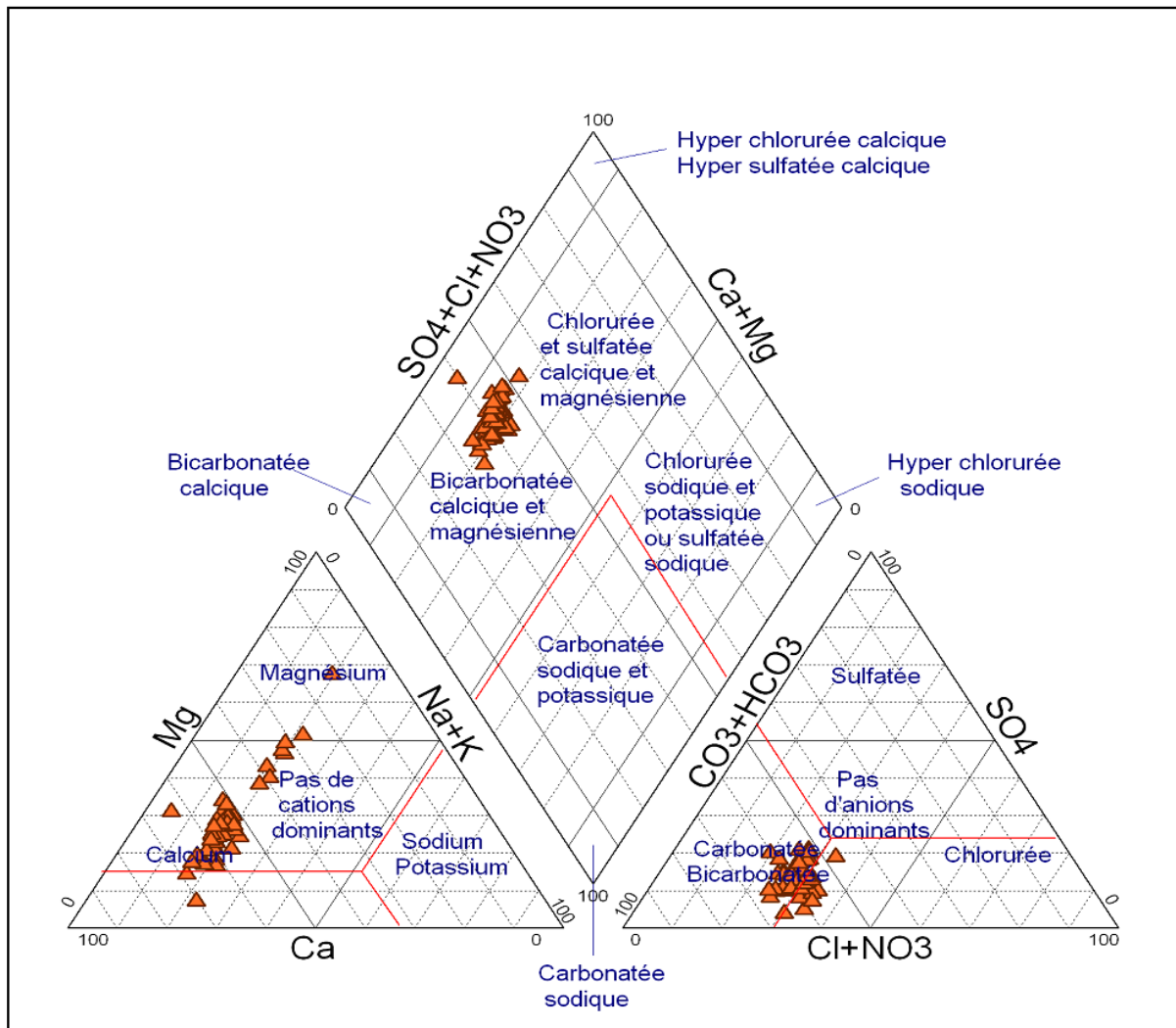


Figure 48 : Classification des eaux de la source Aïn El Houtz d'après le diagramme de Piper .

2.3- Etude du comportement hydrochimique de la source d'Aïn Fouara:

De nombreux travaux ont montré que l'évolution de la concentration des éléments chimiques des eaux karstiques est directement liée à la structure et au fonctionnement d'un aquifère karstique. Par ailleurs, la composition chimique des eaux dans les aquifères karstiques est fortement influencée par l'enchaînement des événements hydrologiques et en particulier par les crues.

Les figures suivantes (figure 49,50 et 51) permettent particulièrement de rendre compte de l'évolution du chimisme des eaux de la source Aïn Fouara sur près d'une année, soit, du 12/12/2005 au 16/01/2007 (Ablaoui A., 2010).

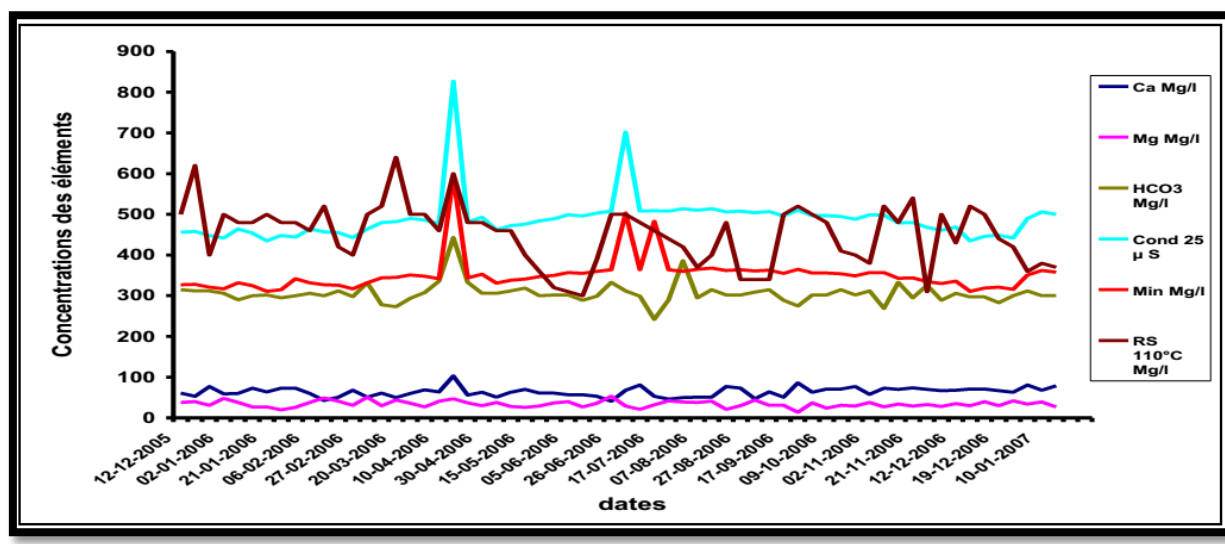


Figure 49: Variations de calcium, magnésium, minéralisation, bicarbonates, conductivité d'Aïn Fouara pendant un cycle hydrologique.

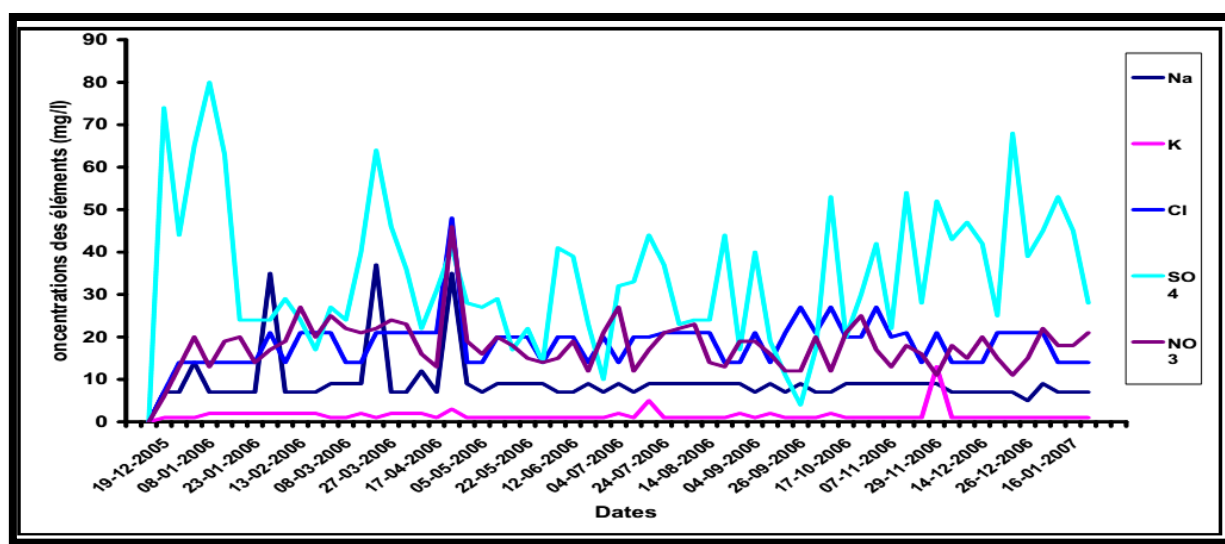


Figure 50: Variations de sodium, potassium, chlore, sulfates et nitrates d'Aïn Fouara pendant un cycle hydrologique.

L'élément Ca et Mg présentent des variations ne dépassant pas 100 Mg/l, contrairement à la conductivité, minéralisation et résidu sec qui présentent des variations de fortes amplitudes suite à une précipitation traduisant une circulation rapide des eaux dans l'aquifère.

L'ion Cl augmente en période pluvieuse, puis diminue montrant que le réservoir ne fournit pas cet élément mais sa seule origine est l'eau des précipitations.

Na et K ne varient pas trop dans le cycle hydrologique contrairement à SO_4 qui tend à diminuer en période pluvieuse puis il augmente traduisant le caractère des eaux de la zone noyée (acquisition lente).

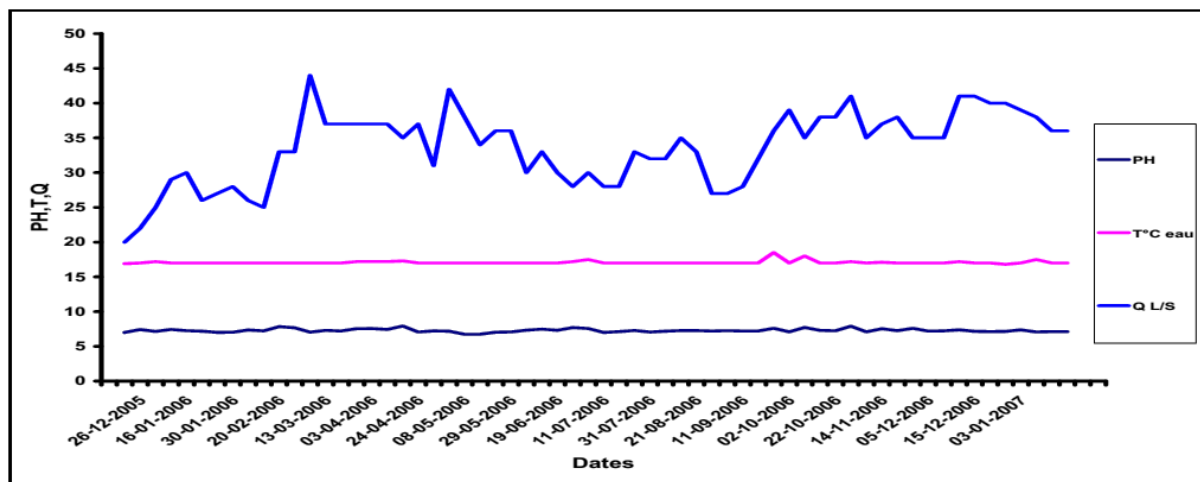


Figure 51: Variations de PH, températures et débits d'Aïn Fouara durant un cycle hydrologique.

La température et le PH ne varient pas trop pendant le cycle hydrologique, quant au débit il ne varie pas trop et marque des pics après les épisodes pluvieux.

ETUDE STATISTIQUES

a)- statistiques descriptive :

Dans le tableau n° nous avons présenté le calcul des moyennes et des écarts -types de la série de différents éléments chimique.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PH	6.900	7.900	7.350	0.369
Ca	50.000	120.000	89.800	19.504
Mg	28.000	65.000	48.800	12.586
Na	23.000	35.000	28.700	3.683
K	1.000	3.000	1.900	0.568
Cl	20.000	108.000	69.400	25.457
HCO ₃	342.000	531.000	397.300	54.214
SO ₄	24.000	131.000	69.300	34.548
NO ₃	15.000	27.000	18.900	3.604
R.S	530.000	860.000	652.000	91.869

Tableau 19 : Tableau des valeurs statistique des ions

b-ANALYSE EN COMPOSENTES PRINCIPALE (ACP) :**Tableau 20 : Représentation des axes factoriels.**

	F1	F2	F3
Valeur propre	3.854	2.027	1.817
Variabilité (%)	38.536	20.271	18.168
% cumulé	38.536	58.807	76.975

Dans le tableau 20 sont consignés les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leurs cumuls. Le facteur F1, avec une variance exprimée de 38.5% ,est le plus important ,ensuite vien le facteur F2 avec 20.2% delà variance exprimée.

Tableau 21 : matrice de corrélation de pearson

Variables	PH	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO3	SO4	NO3	R.S
PH	1									
Ca	-0.255	1								
Mg	0.165	-0.690	1							
Na	0.560	-0.734	0.811	1						
K	-0.080	0.309	-0.330	-0.335	1					
Cl	-0.037	0.446	0.172	-0.045	0.411	1				
HCO3	0.340	0.406	0.032	0.200	-0.259	0.266	1			
SO4	0.085	-0.151	0.518	0.450	-0.078	0.169	0.582	1		
NO3	0.506	-0.822	0.810	0.801	-0.168	-0.020	-0.262	0.136	1	
R.S	0.495	0.034	-0.150	0.107	-0.358	-0.315	0.264	0.011	0.041	1

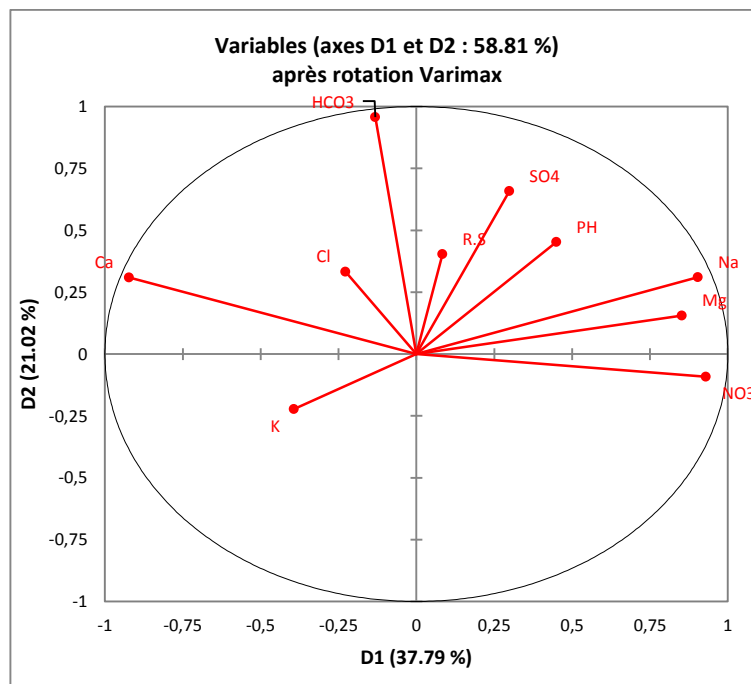
L'analyse de la matrice permet de remarquer Ca est corrélé avec Na et Mg et NO3, les coefficients de corrélation étant -0,82 ; -0.73 ; -0.69 , les magnésiums sont corrélé avec les calciums et les nitrates r 0.81 ; 0.81 , les sodiums sont corrélés avec les nitrates r 0.81, ceci laisse penser que ces éléments peuvent avoir une origine dues a la nature des terrains traversés , les teneurs en nitrates dues par utilisation des engrais par agricultures .(tab.21)

Tableau 22 : Tableau des Facteurs après rotation varimax

	D1	D2
Variabilité (%)	37.787	21.020
% cumulé	37.787	58.807

après rotation varimax , le Facteur 1 exprime 37.78 de la variance totale(fig 52); il présentent les paramètres qui sont : Ca et Mg ,Na et NO₃ (corrélation forte) due a utilisation des engrais et la nature des terrains traversés.

le facteur 2 exprime 21.02 % de la variance totale indiquant la dissolution des formations carbonatées .

**Figure 52 : présentation des variables après rotation vari max**

C-CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHISEE (fig 53)

La classification ascendante hiérarchisée réalisée montre trois grandes familles. On distingue

Classe 03 : cette famille regroupe les sources d'Ain Bendou, ces eaux sont les plus minéralisées caractérisée par ses fortes teneurs en HCO_3 à cause des terrains carbonatés

Traversés durant leur parcours.

Classe 02 : cette famille regroupe un peu les eaux moins minéralisées que la classe 03.

Classe 01 : cette famille regroupe les eaux les moins minéralisées à cause de sa faible teneur en HCO_3 .

Classe 01	Classe 02	Classe 03
tl7	tl7	s.ain bendou
tl7	s.ain bendou	
s.ain houtz	s.ain bendou	
s.ain fouara	s.ain houtz	
s.ain fouara	s.ain fouara	

Tableau 23 : Classe des eaux de la région des monts de Tlemcen.

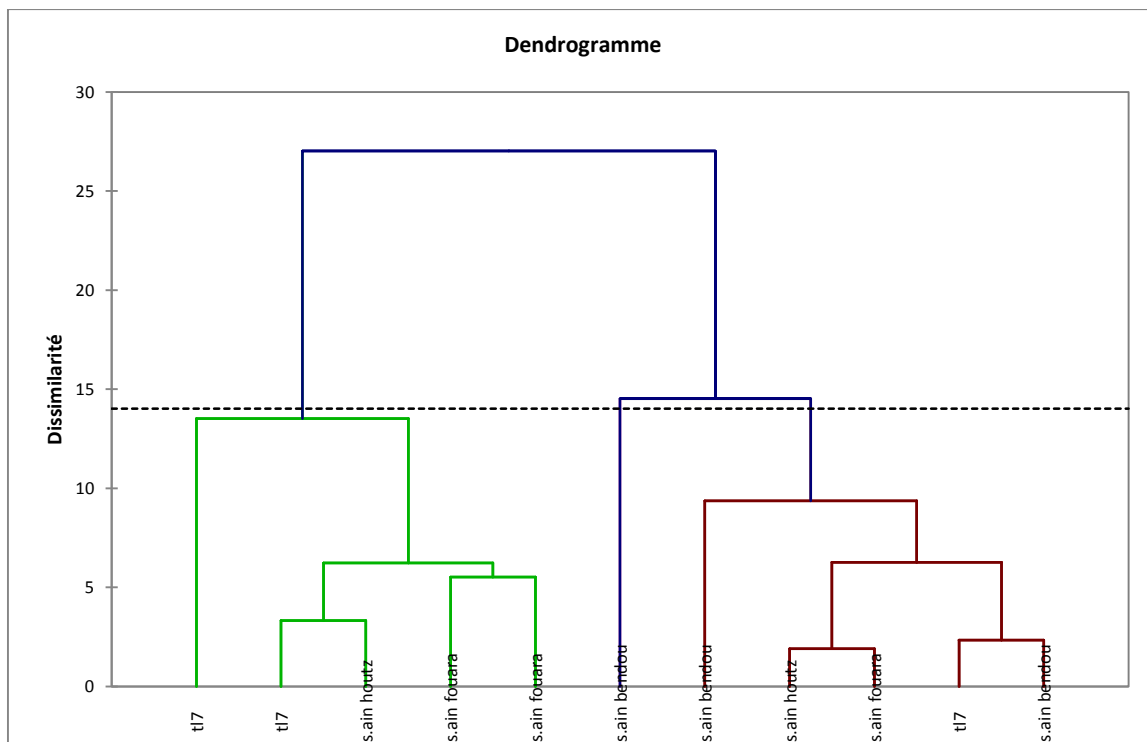


Figure 53 : Classification ascendante hiérarchisée des eaux de la région des Monts de Tlemcen.

IV- Contexte hydrochimique des sources thermales de Hammam Bou-Hadjar et de plateau de Saïda:

La synthèse se base sur les résultats d'analyses effectuées à différentes périodes (1996, 2005 et 2007) par l'A.N.R.H. (Benaoum B., 2009) Les résultats d'analyses ont concerné les éléments physico-chimiques majeurs portés au tableau n° 24 ("5" sources du Hammam Bou-Hadjar et une seule source dans le plateau de Saïda).

1-Etude des paramètres physiques (tableau n° 24)

1.1-Le PH:

Aux sources de Hammam Bou-Hadjar, le PH varie entre 6,5 et 6,9. Il est de l'ordre de 7,66 dans la source de Hammam Rabi.

1.2-La température :

Les eaux des sources sont classées en fonction de leurs températures en:

-Eaux hypothermales : les sources "Froide Baraka" (24°C) et "Froide Sidi Abderrahmane" (24,4 °C).

-Eaux orthothermales : les sources "Chaude Baraka" (45,1°C), "Hôtel Œil" et "Hammam Rabi" (45°C) et "Puits Eau Chaude" (47,5°C).

-Eaux hyperthermales : les sources "Chaude Sidi Abderrahmane" (51,5°C), du "Rocher" (51,5 °C) et la source du "Bungalow" (52,7°C).

1.3-Le résidu sec :

Le résidu sec des sources de Hammam Bou-Hadjar est important à la source "Froide Baraka" (6 060 mg/l) et varie entre 3 680 et 4 680 mg/l pour les autres sources. Et il devient moins important dans la source de Hammam Rabi (1860 mg/l).

2- Paramètres chimiques majeurs :

La teneur en éléments majeurs (cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ et anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) des eaux de source de Hammam Bou-Hadjar et de source de Hammam Rabi se répartissent comme suit (tableau n° 24).

Tableau n°24 : Valeurs d'analyses physico-chimique des eaux des sources de Hammam Bou-Hadjar et la source de plateau de Saïda (données A.N.R.H, 06/07/2005)

Paramètres		PH	T ⁰ c	Cond us/cm	R S	Ca ²⁺ Mg/l	Mg ²⁺ Mg/l	Na ⁺ Mg/l	K ⁺ Mg/l	Cl ⁻ Mg/l	So ₄ ⁻ Mg/l	No ₃ ⁻ Mg/l	Hco ₃ ⁻ Mg/l
Sources													
Hammam Bou-Hadjar	Chaude Sidi Abderrahmane	6.8	51.5	5110	3840	206	21	1001	47	1441	88	4	745
	Froide Sidi Abderrahmane	6.9	24.4	6300	4680	278	158	1150	60	1928	171	2	1121
	Chaude Baraka	6.8	45.1	5340	3940	339	24	955	48	1402	146	3	980
	Froide Baraka	6.5	24	7120	6060	396	26	1300	70	1904	161	3	1134
	Puits eau chaude	6.74	47.5	4830	3680	171	38	966	46	1267	199	5	799
	Hôtel œil	6.85	45	4960	3880	167	35	1001	46	1345	28	5	1013
	Rocher	6.87	51.5	4880	3680	180	8	1024	46	1203	188	3	921
	Bungalow	6.55	52.7	5010	1860	199	177	955	46	1690	35	3	866
	Hammam Rabi	7.66	45	1980	1860	200	28	331	11	375	457	5	284
Plateau De Saïda													

Facies hydrochimique :

3- Faciès hydrochimique des eaux des sources :

Les eaux peuvent également être classées par leurs faciès caractéristiques (tableau n° 25).

Tableau n° 25: Faciès caractéristiques des eaux de Hammam Bou-Hadjar et Hammam Rabi.

	Sources	Anions	Cations
Hammam Bou-Hadjar	Chaude Sidi Abderrahmane	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Froide Sidi Abderrahmane	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Chaude Baraka	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Froide Baraka	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Puits Eau Chaude	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Hôtel Œil	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Rocher	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$
	Bungalow	$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{++}$
Plateau de Saïda	Hammam Rabbi	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{+2}$

*** Diagramme semi-logarithmique de Schoeller- Berkaloff (Figure 54).**

La méthode graphique de Schoeller- Berkaloff confirme le faciès chloruré sodique de l'ensemble des eaux de source de Hammam Bou-Hadjar et de Hammam Rabi.

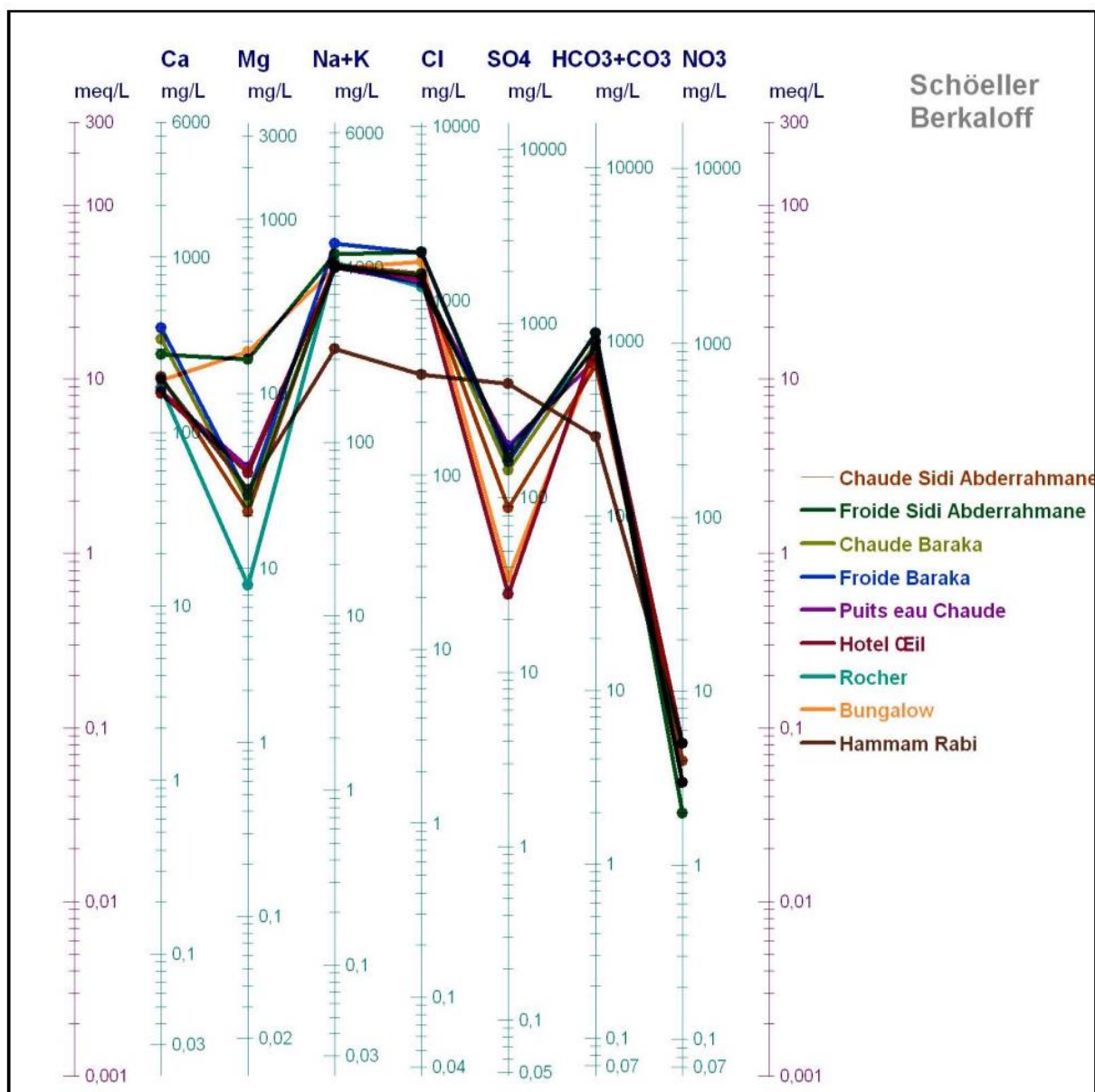


Figure 54: Représentation des sources de Hammam Bou-Hadjar et la source de Hammam Rabi (Diagramme de Schoeller-Berkaloff).

*** Diagramme de Piper (figure 55)**

Les résultats des analyses chimiques de Hammam Bou-Hadjar et Hammam Rabi sont présentés dans le tableau en annexe 4.

La représentation graphique par diagramme de Piper des faciès hydrochimiques des différentes sources confirme les autres méthodes de classification et fait nettement ressortir la forte homogénéité du faciès hydrochimique confirmant l'alimentation des sources de Hammam Bou-Hadjar par un réservoir unique et sans notable interaction avec les eaux de surface. Les eaux de

ces sources et de Hammam Rabi présentent un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

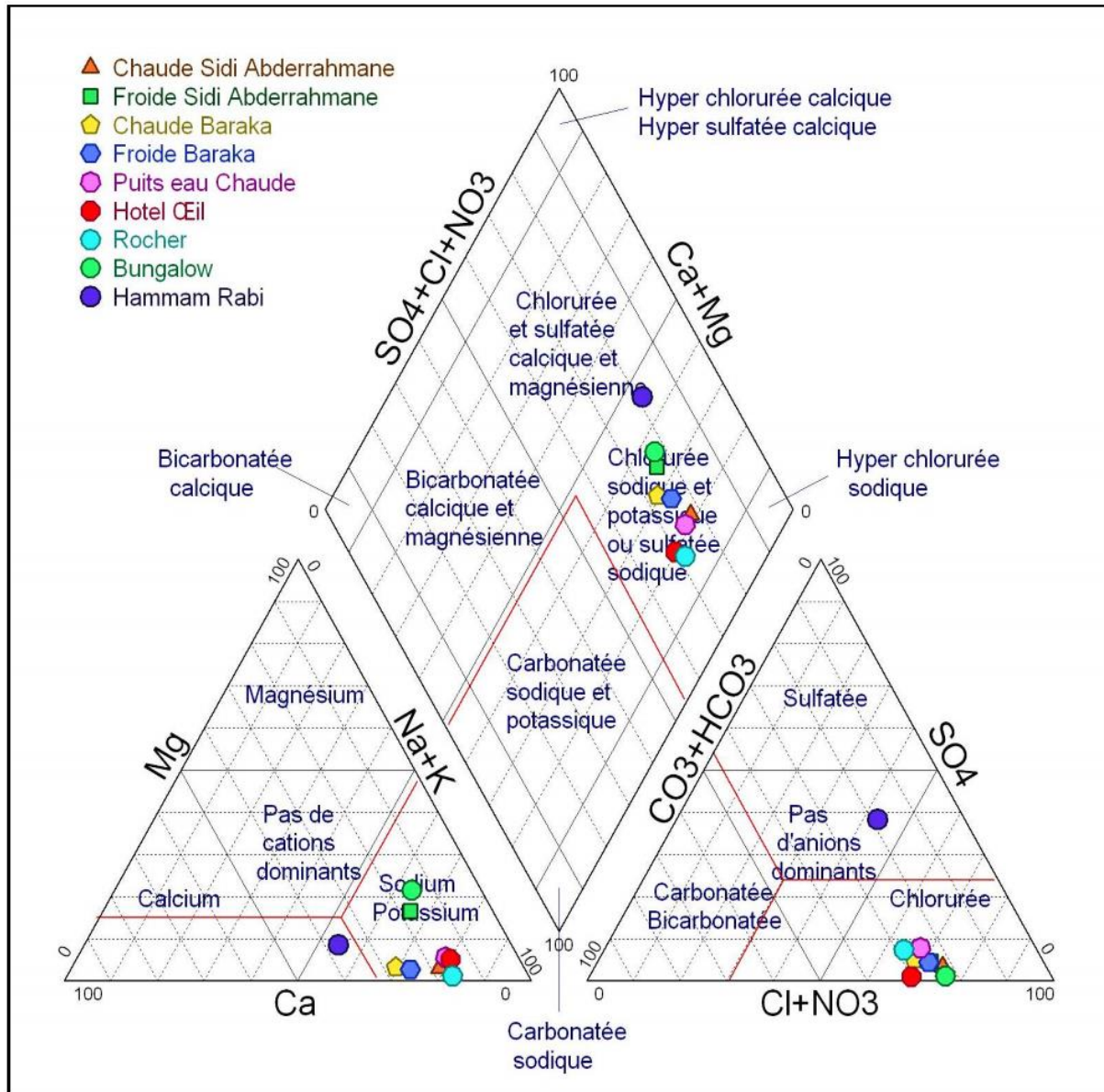


Figure 55 : Représentation graphique par diagramme de Piper des analyses physicochimiques des eaux de Hammam Bou-Hadjar et de Hammam Rabi.

4-CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES**4-1 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES CHIMIQUES****A-Analyse statistique descriptive :**

Le tableau (26) montre que les valeurs de la moyenne dans la plupart des cas sont supérieures à celles de l'écart type. Qui indique que les valeurs des variables sont moins ou non dispersées autour de la moyenne.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PH	6.550	7.660	6.891	0.330
Ca	167.000	339.000	217.500	60.145
Mg	8.000	177.000	61.125	66.480
Na	331.000	1150.000	922.875	247.346
K	11.000	60.000	43.750	14.069
Cl	375.000	1928.000	1331.375	453.091
HCO3	284.000	1121.000	841.125	255.108
SO4	28.000	457.000	164.000	135.718
NO3	2.000	5.000	3.750	1.165
COND	1980.000	6300.000	4801.250	1234.451

Tableau 26 : tableau des valeurs statistiques des ions.

B-ANALYSE EN COMPOSENTES PRINCIPALE (ACP) :

le tableau (27) présente les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leurs cumuls .Le facteur F1, avec une variance exprimée de 68.8%, est le plus important, ensuite Vient le facteur F2 avec 15.15 % de la variance exprimée.

Tableau 27 : Représentation des axes factoriels.

	F1	F2
Valeur propre	6.882	1.516
Variabilité (%)	68.824	15.157
% cumulé	68.824	83.980

Tableau 28 : Matrice de corrélation de pearson

Variables	PH	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO3	SO4	NO3	COND
PH	1									
Ca	-0.035	1								
Mg	-0.329	0.166	1							
Na	-0.853	0.161	0.283	1						
K	-0.832	0.285	0.367	0.987	1					
Cl	-0.816	0.318	0.626	0.904	0.943	1				
HCO3	-0.745	0.321	0.332	0.930	0.939	0.869	1			
SO4	0.881	0.012	-0.297	-0.805	-0.768	-0.788	-0.753	1		
NO3	0.361	-0.614	-0.557	-0.541	-0.606	-0.677	-0.592	0.272	1	
COND	-0.813	0.357	0.385	0.973	0.996	0.953	0.941	-0.763	-0.641	1

L'analyse de la matrice permet de remarquer que PH est corrélé avec Na et K, Cl et HCO₃ et SO₄ et la conductivité les coefficients

de corrélation étant -0.85,-0.83,-0.81,-0.74, 0.88,-0.81, la conductivité est corrélé avec les anions et Na et le PH. , le sodium est corrélé avec K et Cl, HCO₃, SO₄, et la conductivité. Ceci penser que ces éléments prennent naissance à partir de la dissolution de la calcaire (carbonates). Le Cl est corrélé positivement avec Na due a la dissolution des évaporites. Le SO₄ due à l'utilisation des engrais par les agricultures.(tab.28)

Tableau 29 : Tableau des Facteurs après rotation varimax

	D1	D2
Variabilité (%)	61.487	22.493
% cumulé	61.487	83.980

Après rotation varimax :

le Facteur 1 exprime 61.48 de la variance totale; il présentent les paramètres qui contribuent le plus à la minéralisation et la conductivité sont: le Na ,k , SO₄ et Cl et HCO₃ (corrélation positive).

le facteur 2 exprime 22.5 % de la variance totale indiquant la dissolution des formations carbonatées (calcaire) puisqu'il est fortement corrélé avec le Ca et Mg .(fig.56)

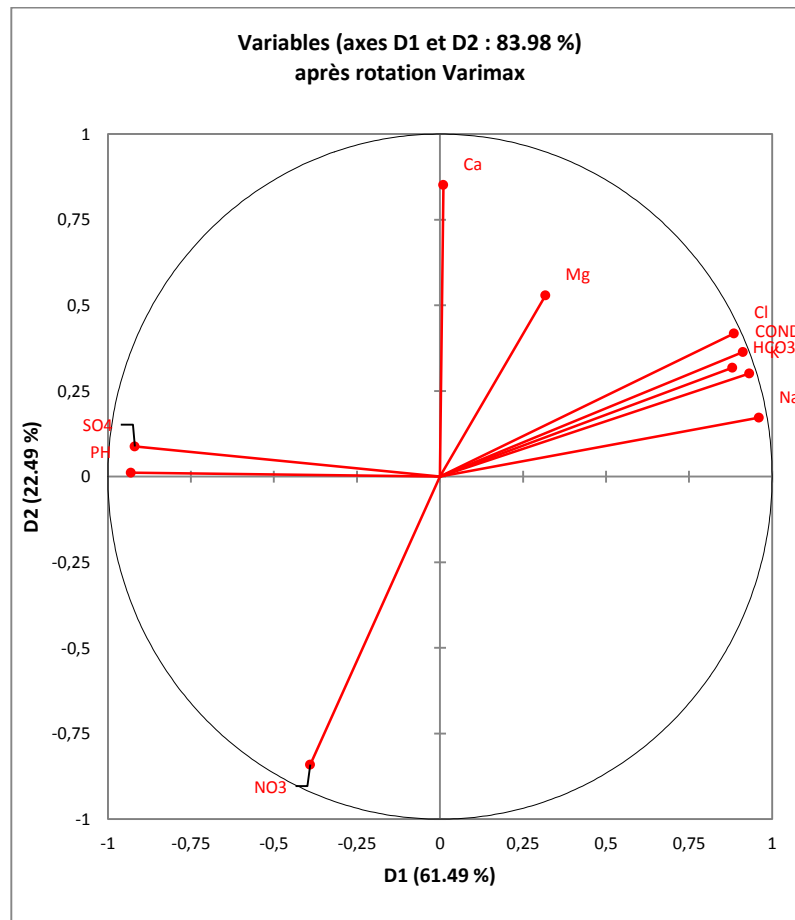


Figure 56 : Présentation des variables après rotation varimax

C-Classification ascendante hiérarchisée :(fig 57)

La classification ascendante hiérarchisée réalisée montre quatre grandes familles (tab.29) On distingue :

-les classes 01, 02, 03 sont localisées au niveau de Hammam Bouhdjar, et la classe 04 au niveau de Hammam Rabi.

Classe 03 : cette famille regroupe les eaux les plus minéralisées qui sont caractérisées par leurs fortes teneurs en Cl, Na et HCO₃ à cause des terrains traversés durant leur parcours. Soit les roches évaporites ou les roches carbonatées.

Classe 02 : cette famille regroupe un peu les eaux de Hammam Bouhdjar qui sont les moins minéralisées que la classe 03 à cause de leurs teneurs en chlorure et sodium et bicarbonate.

Classe 01 : cette famille regroupe les eaux moins minéralisées que la classe 02,

Classe 04 : cette famille regroupe les eaux les moins minéralisées à cause de sa faible teneur en inions majeur.

Tableau 29 : Classe des sources de Hamma Bouhdjar et Hammam Rabi.

Classe 01	Classe 02	Classe 03	Classe 04
c.s.abder	f.s.abder	fr.baraka	ham.rabi
ch.baraka	bungalow		
pui.chaud			
hotel œil			
roher			

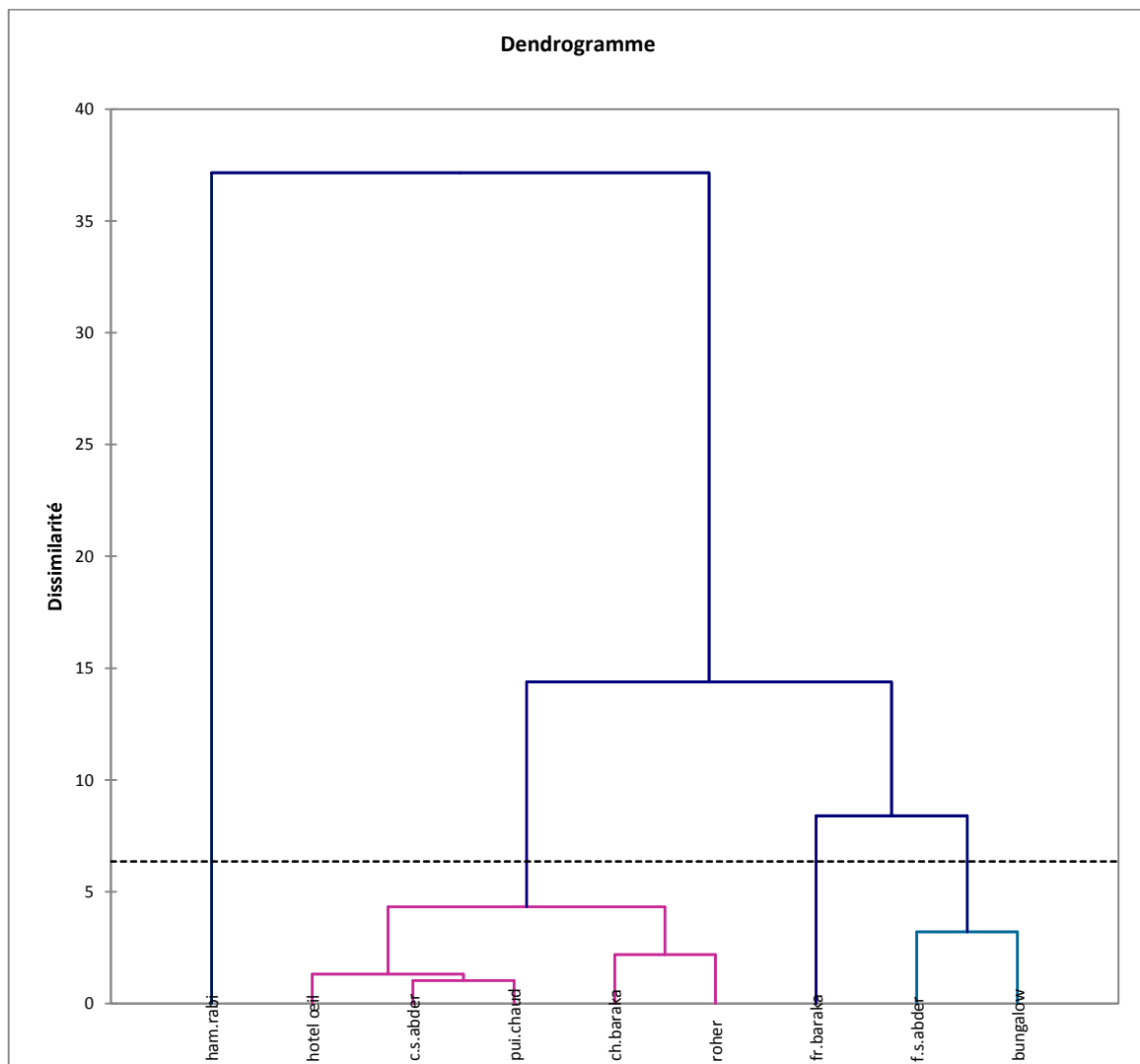


Figure 57 : Calassfication ascendante hiérarchisée des eaux de Hammam Bouhdjar et Hammam Rabi