



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de

Master

En Sciences de La Terre et de L'univers

Option

Géo-Ressources

Présenté par :

Melle AZIZ Hadjira

APPLICATION DE QUELQUES TRAITEMENTS STATISTIQUES AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES DE LA NAPPE ALLUVIALE DU FOSSE DE SEBDOU (NORD-OUEST DE L'ALGERIE).

Soutenu le, 22 Juin 2014 devant les membres du jury:

Président :	M. A. BAGHLI	M.A.A	Université de Tlemcen
Encadreur:	Mme. K. BABA-HAMED	M.C.A	Université de Tlemcen
Co-encadreur:	M. A. BOUANANI	Pr.	Université de Tlemcen
Examinatrice:	Mme. F. HADJI	M.A.A	Université de Tlemcen
Examineur :	M. M. A. Tabet Helal	M.A.A	Université de Tlemcen

Année universitaire 2013 - 2014

« L'eau est la force conductrice de la
nature »

Léonard de Vinci

Nous savons très bien qu'il n'y a pas de **vie** sans **eau** :
malheureusement beaucoup de gens ignore cette réalité: il suffit
de les voir se laver les mains ou se brosser au lavabo.
Ils ne pensent pas aux étapes qu'a traversées cette eau pour
arriver jusqu'à chez eux.
Ils ne connaîtront la valeur de cette eau que le jour où ils
ouvriront le robinet et qu'aucune goutte ne tombe.
Nous devons apprendre à nos enfants et à tout le monde de
respecter l'eau, ne pas la gaspiller inutilement.
L'eau nous a toujours servi et c'est à notre tour de la servir.

Dédicace :

Te mémoire est dédié à :

Toute ma famille

Et

Tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Hadjira

Remerciements

Au nom d'**ALLAH** tout puissant, qui m'a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse, Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce modeste travail.

Je voudrais présenter mes vifs remerciements à mon encadreur Mme **K. BABA- HAMED**. Je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa patience, son soutien, ses précieux conseils et son aide inestimable durant toute la période du travail afin de mener ce travail à bon port.

Je tiens à remercier très chaleureusement M. **A. BOUANANI** qui m'a permis de bénéficier de son encadrement. Je le remercie pour sa générosité, sa sympathie et ses précieux conseils.

C'est un honneur pour moi de voir dans mon jury Monsieur **A. BAGHLI**, Madame **F. HADJI** et Monsieur **A. TABET HELAL**. Qu'ils soient vivement remerciés.

Toute ma gratitude à madame **F. GHITRI-SAOULI**, ingénieur de laboratoire à l'université de Tlemcen, pour son aide, sa disponibilité et ses précieux conseils, et surtout pour sa sympathie.

Je tiens à remercier également Mme **S. KAZI TANI**, pour avoir pris de son temps pour m'apprendre à utiliser le logiciel Corel, pour sa générosité et sa sympathie.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur le directeur de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) d'Oran, qui m'a facilité l'accès à son institution.

Mes remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Et enfin, je tiens à remercier tous mes amis (es) qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire, je cite spécialement **M. MEGUENNI TANI** et **Y. ALI BELHADJ**.

Résumé

La ville de Sebdou, située à 36 km au Sud de Tlemcen (Nord-Ouest de l'Algérie), constitue le relais entre les zones steppiques et la chaîne atlasique tellienne.

Le fossé de Sebdou contient une nappe assez importante localisée dans l'aquifère plio-quaternaire qui est formé principalement de conglomérats redressés. Le sens d'écoulement des eaux est vers le Nord-ouest. L'alimentation de cette nappe se fait généralement de deux manières, directement par son impluvium et par l'alimentation latérale à partir des formations adjacentes. La nappe est peu profonde donc elle est accessible par un simple puits. Le climat de la région est un climat semi-aride.

L'étude hydro-chimique, des eaux de la nappe, a permis de mettre en évidence un faciès prédominant bicarbonaté calcique et magnésien. Ces eaux sont majoritairement non utilisées pour l'alimentation en eau potable et peuvent être utilisées en irrigation.

L'approche de l'Analyse en Composantes Principales appliquée aux eaux de la nappe de l'aquifère a fait ressortir que les eaux sont réparties en deux groupes : le premier renferme les eaux faiblement minéralisées et le deuxième est celui des eaux fortement minéralisées.

Mots-clés : Sebdou – Algérie – Plio-Quaternaire - Haute Tafna – Monts de Tlemcen – Statistiques – Irrigation – Analyse en Composantes Principales.

Summary

The town of Sebdou is located 36 km South Tlemcen (North-western Algeria) and constitutes the link between the steppe zones and the atlasictellian mountain range.

The rift valley of Sebdou contains a rather significant water table localised in the Plio-Quaternary aquifer which is made mainly of straightened conglomerates. The water flow direction is North-West. The food of this The water table recharge is generally done in two manners, directly by its impluvium and/or lateral recharge from the adjacent formations. The water table is shallow thus it is accessible by a simple well. The climate of the area is a semi-aride climate.

The hydro-chemical study highlighted a prevailing calcic bicarbonate and magnesian facies. This water is mainly not used for drinking but it is used for irrigation.

Key words: Sebdou - Algeria - Plio-Quaternary - High Tafna - Mounts of Tlemcen - Statistics - Irrigation - Principal Components Analysis.

المخلص

تقع مدينة سبدو على بعد 36 كم جنوب ولاية تلمسان (شمال غرب الجزائر) و تمثل الرابط بين مناطق الهضاب و سلسلة الأطلس التلي.

منخفض سبدو يحتوي خزان مياه جوفية موضع في طبقات البليو- كوترنار المتكون أساسا من الحصى المتماسك. اتجاه تنقل المياه يتم نحو الشمال الغربي. يتم تموين هذا الخزان إجمالاً بطريقتين مباشرة عن طريق نفاذية مياه التساقط إلى الأعماق و بالانسكاب الجوفي لمياه الطبقات المجاورة. يتميز هذا الخزان بقلّة عمقه بحيث يمكن الوصول إليه عن طريق حفر بئر. تتميز المنطقة بمناخ متوسطي.

الدراسة الكيميائية للمياه بينت أن معظمها ذات نوعية غير جيدة وغير صالحة للشرب إلا بعد معالجة أولية خاصة مع وجود أعراض تبين بداية تلوث هذه المياه.

الكلمات المفتاحية: سبدو – الجزائر – البليو-كوترنار – تافنة العليا – جبال تلمسان – الاحصائيات – سقي – تحليل للمكونات الأساسية.

TABLE DE MATIERE

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Table de matière -----	1
INTRODUCTION GENERALE -----	5
CHAPITRE I : Généralités	
I. Situation géographique -----	8
I.1. Présentation géographique du bassin versant de la Tafna -----	8
I.2. Bassin versant de l'Oued Sebdou -----	8
II. Cadre géologique -----	10
II.1. Analyse Lithostratigraphique -----	10
II.1.1. Les séries anciennes -----	10
a. Les grès de Bou-Médine -----	11
b. Les calcaires de Zarifet -----	11
c. Les dolomies de Tlemcen -----	11
d. Les marno-calcaires de Raouraï -----	11
e. Les dolomies de Terny -----	11
f. Les marno-calcaires de Hariga -----	11
g. Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun -----	12
h. Les argiles de Lamoricière -----	12
i. Les grès de Berthelot -----	12
II.1.2. Les séries récentes -----	12
a. Formation de Sebdou -----	12
b. Formation Quaternaire -----	13
c. Travertins -----	13
d. Les alluvions récentes -----	13
II.2. Reconstitution du Log Lithostratigraphique -----	13
III. Cadre structural -----	15
III.1. L'analyse structurale (fig. I.5) -----	15
IV. Quelques caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de la haute Tafna -----	19
V. Hydrogéologie de la région d'étude -----	20
V.1. Principales formations lithologiques et leurs caractéristiques hydrologiques --- -----	20
V.2. Hydrodynamique de l'Aquifère -----	23
Conclusion -----	26

CHAPITRE II : Climatologie

Introduction	28
I. Etude des précipitations	29
I.1. Précipitations annuelles (fig. II.2)	29
I.2. Précipitations mensuelles (fig. II.3)	30
I.3. Précipitations saisonnières	31
I.4. Etude statistique des précipitations à la station de Sebdou (1940/1941 – 2012/2013)	32
I.4.1. Adéquation des données à une loi	32
a. Ajustement à la loi normale	33
II. Etude des températures	35
II.1. Températures moyennes mensuelles	35
III. Etude du climat	36
III.1. Méthode de visualisation (méthode graphique de Gaussen et Bagnouls)	36
III.2. Indice d'aridité annuel de De. Martonne	37
IV. Evapotranspiration potentielle et déficit d'écoulement (ETR)	38
IV.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)	38
IV.2. Evapotranspiration réelle (ETR)	40
V. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite	40
Conclusion	41

CHAPITRE III : Hydrochimie

Introduction	43
I. Calcul de la balance ionique	44
II. Corrélation entre les cations et les anions	45
III. Caractéristiques physico-chimiques des eaux	47
IV. Faciès des eaux souterraines (Diagramme de Piper)	49
V. Etude de la minéralisation	54
VI. Etude de la conductivité électrique (CE)	54
VII. Etude du potentiel d'hydrogène (pH)	55
VIII. Cartographie hydro-chimique (Carte d'iso-teneurs)	56
IX. Qualité des eaux à la consommation humaine et à des fins de d'irrigation	62
A. Potabilité chimique des eaux	62
B. Aptitude des eaux à l'irrigation	65
- L'indice Kelly's Ratio (KR)	65
- Pourcentage de Sodium (% Na) et classification des eaux par la méthode de Wilcox	66
- Sodium Absorption Ratio (S.A.R.) ou Pouvoir Alcalinisant	68
Conclusion	71

CHAPITRE IV
Traitement statistique des données
hydrochimiques

Introduction	74
I. Application et résultats	75
II. Origine de la minéralisation	86
Conclusion	90
CONCLUSION GENERALE	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95
Liste des figures	97
Liste des tableaux	99
Annexes	102

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'existence de toute sorte de vie est liée principalement à la présence de l'eau. Cette dernière est essentielle à la survie et au bien-être de l'homme (constitue plus de 60% de son corps) et est indispensable au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie.

Les ressources en eau sont inégalement réparties dans l'espace et le temps et souffrent des pressions qu'exercent sur elles les activités humaines. Ces pressions qui pèsent sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, principalement en raison des activités humaines notamment l'urbanisation, la croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie, la concurrence croissante pour les ressources en eau et la pollution. De plus, le changement climatique et les variations des conditions naturelles viennent aggraver ces pressions.

L'eau douce disponible (0,26 % du globe), seule ressource utilisable, est en quantité invariable alors que la population ne cesse d'augmenter et que la demande en eau est en pleine progression. Répondre à une demande continue et sans cesse croissante en eau requiert des efforts pour pallier la variabilité naturelle et améliorer la qualité et la quantité de l'eau disponible donc la gestion des ressources en eau devrait davantage veiller à accroître les ressources naturelles existantes et à réduire la demande et les pertes en eau. Des technologies plus récentes, telles que le dessalement d'eau de mer et la réutilisation de l'eau, viennent aujourd'hui s'ajouter aux techniques traditionnelles comme la collecte des eaux de pluie et ceux pour augmenter l'approvisionnement en eau.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets domestiques et industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Dans ce sens, ce travail constitue une contribution pour une meilleure connaissance de l'hydrochimie de la nappe de l'aquifère alluviale du fossé de Sebdu, l'appréciation de la qualité de l'eau et son aptitude à différents usages sont les principaux

but à atteindre. Nous nous sommes basées sur des données d'analyses chimiques réalisées au cours d'une campagne piézométrique en Mai 1990.

L'utilisation des diagrammes (Piper, Wilcos et Richards) et des méthodes statistiques (A.C.P et diagramme Quantille-Quantille) sur des données hydro-chimiques permet une visualisation des résultats et une meilleure interprétation.

Le travail est réparti en 4 chapitres, comme suit :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités (situation géographique, géologie et hydrogéologie de la région d'étude).
- Le second chapitre étudie les caractéristiques climatiques (précipitations et températures) régnant sur la région d'étude.
- Le troisième chapitre est spécifié à l'hydrochimie des eaux de la nappe (détermination de la qualité des eaux et leurs aptitudes aux différentes utilisations).
- Le dernier chapitre se concentre sur l'utilisation des méthodes statistiques pour caractériser les eaux du point de vue chimique ainsi que la détermination des origines des minéraux.
- Et enfin une conclusion générale dans laquelle nous exposerons les résultats obtenus.

CHAPITRE I:

Généralités

I. Situation géographique :

I.1. Présentation géographique du bassin versant de la Tafna :

Le bassin versant de la Tafna est comptabilisé parmi les plus grands bassins du Nord ouest algérien (fig.I.1), il couvre une superficie de 7245 km², dont moins d'un tiers se trouve sur le territoire marocain (A. KHALDI, 2005).

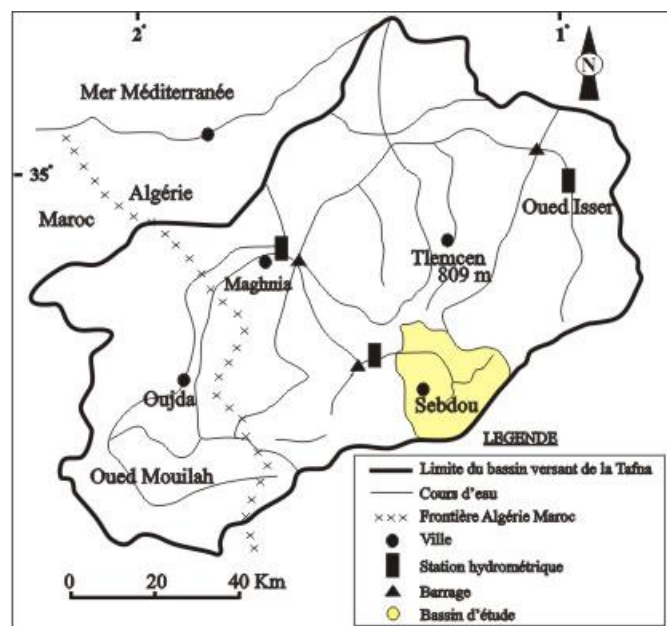


Figure I.1: Situation géographique du bassin versant de la Tafna (A. Megnounif et al, 2004).

Le bassin versant de la Tafna présente trois formations géologiques bien distinctes:

- Région du Nord, les massifs montagneux des monts des Beni-Snassen et des Traras,
- au Sud les massifs calcaires des Monts de Tlemcen,
- à l'Est, par les djebels Talet et Abiod,
- à l'Ouest par les djebels d'Ain-el-Hout et Hadid.
- Au centre : la dépression inter-montagneuse de la région de la plaine des Amgals et de Maghnia causée par les dépôts marins du Miocène supérieur et inférieur ainsi que des alluvions de sable et de gravier.

I.2. Bassin versant de l'oued Sebdo : faisant partie du bassin versant de la Haute-Tafna, il s'étale sur une superficie de 256 km², et se caractérise par un relief abrupt. 49% de la

superficie du bassin présente des pentes supérieures à 25%, le couvert végétal est pauvre et discontinu. Le cours d'eau principal oued Sebdo s'écoule sur une longueur de 27 km. Le Nord et le Nord - Est du bassin versant correspondent à un horst jurassique principalement carbonaté. Au Sud et à l'Est, on trouve un graben rempli de sédiments plio-quaternaires représentant le **Fossé de Sebdo** (K. Baba-Hamed, 1991) (A. Megnounif, 2004) (fig. I.2).

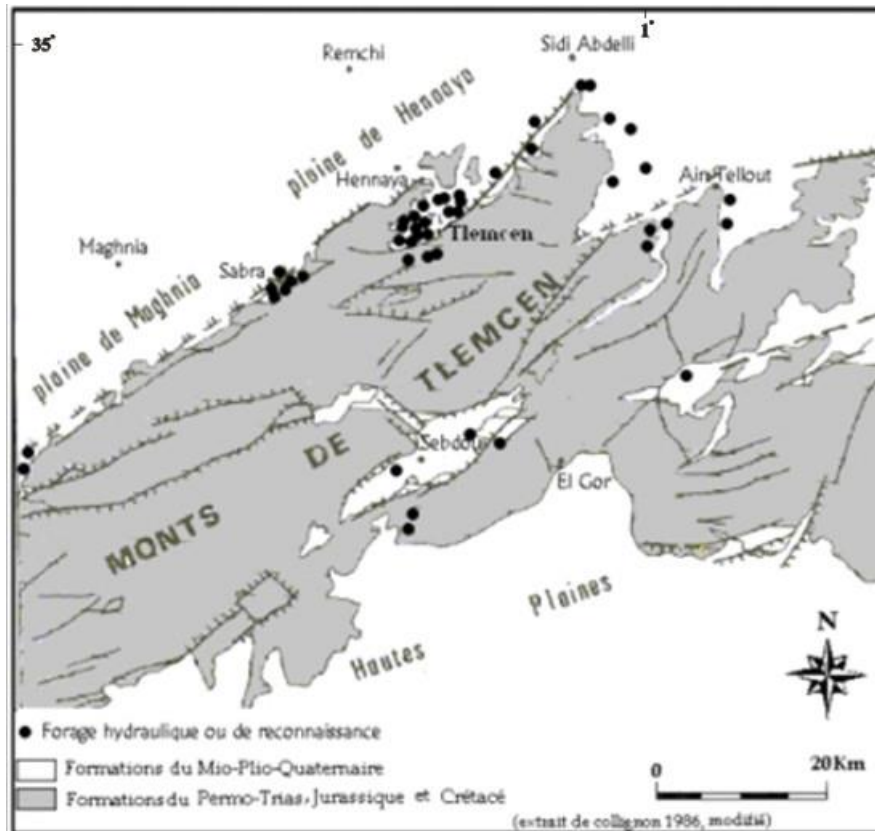


Figure I.2 : Carte illustrant l'étendue du fossé de Sebdo (F. BENSAOULA, 2005)

Cette formation alluviale étendue de part et d'autre de la plaine de Sebdo (fig.I.3) est limitée :

- au Nord, par le plateau de Titmokhen,
- au Sud, par Djebel Lato, Si Abdellah, Maiter, Zninia, Toumiet et Koudiat el Harcha,
- à l'Est, par Djebel Mazoudjène, Djebel El Ahmer, et Djebel el Arbi,
- à l'Ouest par le plateau des Azails.

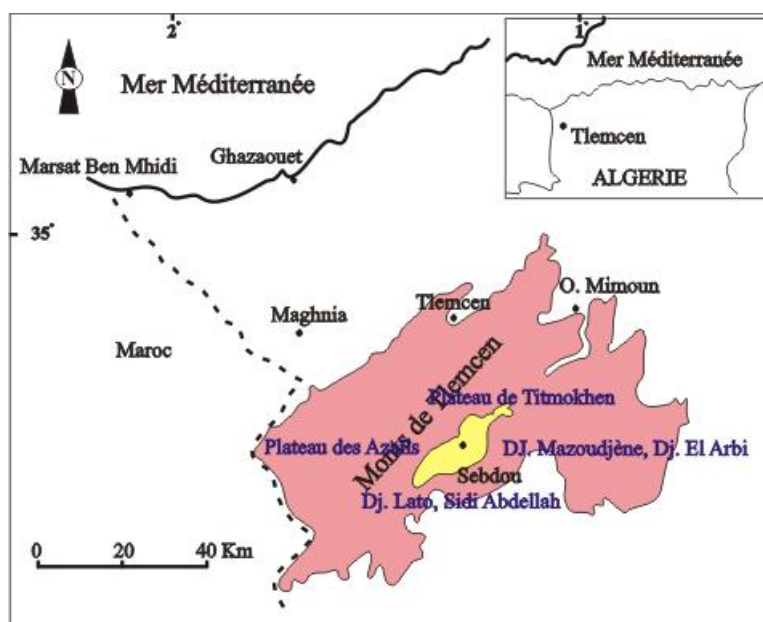


Figure I.3 : Carte de situation géographique de la région d'étude

II. Cadre géologique:

Les Monts de Tlemcen constituent un édifice régulier comportant essentiellement des terrains mésozoïques et cénozoïques. Les assises sédimentaires attribuées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur sont principalement formées de carbonates. Cet ensemble constitue la bordure méridionale des Monts de Tlemcen, situé dans le couloir délimité à l'Ouest par l'accident de la Tafna et à l'Est par celui d'Oued Chouly (K. Baba-Hamed & R. Kerzabi, 1991).

II.1. Analyse Lithostratigraphique :

La dépression de Sebdou se trouve entourée par des terrains appartenant essentiellement au Jurassique supérieur.

L'évolution verticale des terrains rencontrés va du Jurassique inférieur au Plio-Quaternaire, la coupe géologique (fig. I.4) montre deux grandes séries lithostratigraphiques distinctes, qui sont décrites de bas en haut :

- Les séries anciennes (Oxfordien supérieur – Crétacé basal) ;
- Les séries récentes (Plio-Quaternaire).

II.1.1. Les séries anciennes :

Sont représentées par les unités lithostratigraphiques suivantes :

a. Les grès de Bou-Médine :

D'âge Oxfordien supérieur - Kimméridgien d'après M. Benest (1974), il s'agit d'un ensemble à dominance gréseuse, avec des passées argileuses masquées, le plus souvent, par les éboulis ou la végétation.

b. Les calcaires de Zarifet :

Surmontant les grès de Bou-Médine, il s'agit de calcaires à grandes géodes de calcite en bancs épais, séparés par de minces intercalations de calcaires marneux, écailleux, parfois quelques peu fossilifères, marquant presque partout la base très nette du Kimméridgien et reposant directement en concordance sur les grès séquanais.

c. Les dolomies de Tlemcen :

Cette formation définie par Doumergue (1910), apparaît le plus souvent en falaises, elle est constituée par un ensemble de dolomies grises, macrocristallines, gréseuses, noirâtres, à veinules de calcite.

d. Les marno-calcaires de Raouraï :

Marnes grises, blanchâtres en surface, rognonneuses, esquilleuses, intercalées de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs, cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et au sommet par les calcaires de Lato ou les premières assises des dolomies de Terny. M. Benest (1982) lui donne un âge Tithonique inférieur (*in* K. Baba-Hamed & R. Kerzabi, 1991).

e. Les dolomies de Terny :

Elles correspondent à des dolomies parfois vacuolaires avec de nombreuses stratifications obliques, et un aspect très massifs, qui permet de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen. M. Benest (1982) lui donne un âge Tithonique inférieur (*in* K. Baba-Hamed & R. Kerzabi, 1991).

f. Les marno-calcaires de Hariga :

Il s'agit d'une alternance de marnes et de marno-calcaires d'âge Tithonique inférieur, la limite inférieure est représentée par un niveau repère de calcaires à oncolithes surmontant les dolomies de Terny.

Les calcaires sont bien lités, souvent graveleux, à patine gris clair, avec quelques huîtres noires et des algues (Clypeinea) (F. Doumergue, 1910 *in* K. Baba-Hamed & R. Kerzabi, 1991).

Cette formation peu transmissive couvre de grandes étendues, en bordure du fossé de Sebdu, dans les Djebels Lato, El Arbi, El Guern et le fossé de la Tafna.

g. Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun :

Il s'agit de calcaires, marnes et grès de Merchiche. La limite inférieure se place à l'apparition des grès de Merchiche, sur le rebord sud du plateau de Terny, la limite supérieure de cette formation est matérialisée par une corniche de calcaire, souvent biodétritique, avec des stratifications obliques. Cette formation est peu développée au niveau du flanc Est du Djebel Karaoui, au Nord de Sidi Moussa et au Djebel el Arbi.

h. Les argiles de Lamoricière :

Elles correspondent à l'Eocrétacé, à dominante argilo-gréseuse, nettement calcaire au sommet.

i. Les grès de Berthelot :

Caractérisés par une légère récurrence de la smectite et surtout par l'apparition de la chlorite (10 à 15%) (M. Benest, 1985). La base est riche en stratifications obliques, elle est marquée par un banc de dolomie pulvérulente. Notons que cette formation est peu développée au Sud de Sebdu, M. Benest (1982) lui donne un âge Barrémien.

II.1.2. Les séries récentes :

Elles comportent de bas en haut :

a. Formation de Sebdu :

Attribuée au Plio-Quaternaire, elle occupe tout le fossé de Sebdu et correspond à une série à éléments hétérométriques et hétérogènes, formant des couches redressées.

Ce sont des dépôts conglomératiques, des calcaires blancs et vacuolaires, qui recouvrent la plupart des terrains anciens, ces dépôts ne sont pas consolidés et forment parfois des sols arables.

b. Formation Quaternaire :

On considère ici aussi bien les alluvions anciennes formées le long des oueds que les terrasses, les formations de pentes et les croûtes calcaires du Quaternaire ancien.

Ce sont des dépôts continentaux formant la bordure des massifs secondaires, soulignée par des éboulis de piémont plus ou moins encroûtés.

Ces dépôts comprennent des éléments roulés, centimétriques ou décimétriques plus rarement métriques, au sein d'un ciment calcaire ou dolomitique ferrugineux.

Bien que leur épaisseur soit généralement faible, ces formations ont une extension spatiale considérable, ce qui permet l'existence de nappes phréatiques plus ou moins continues et facilement exploitables. Elles sont d'une grande extension dans le fossé de Sebdu, paradoxalement là où les précipitations sont les plus faibles.

c. Travertins :

Anciens et récents, constituent de puissants dépôts disposés en masse et s'avancent en hautes falaises à pic, aux abords des grandes sources disparues ou actuelles, originaires du Kimméridgien.

Ce sont des dépôts de sources, formés en un laps de temps relativement court à l'échelle géologique, et qui sont le plus souvent associés à des émergences thermales : c'est le cas, par exemple, d'Ain El Hammam, où ils atteignent une épaisseur variant de 35 à 50 m. Il a été difficile de dater ces dépôts, dépourvus de faune bien caractéristique. Toutefois, Pallary, les a attribués au Pleistocène inférieur à Lalla Setti et Ouchba (faunes de mollusques terrestres) (S. M. Hayane, 1983)

d. Les alluvions récentes :

Constituées par des dépôts récents indifférenciés, essentiellement dans les vallées et sur les pentes des reliefs, ce sont des limons qui occupent les fonds des oueds.

II.2. Reconstitution du Log Lithostratigraphique :

Pour la reconstitution du log lithostratigraphique K. Baba-Hamed & R. Kerzabi, 1991 se sont basés sur la description apportée par les sondages, forages et les travaux de M. Benest (1985) (fig. I.4) :

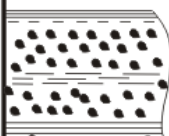
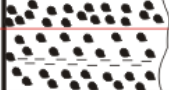
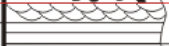
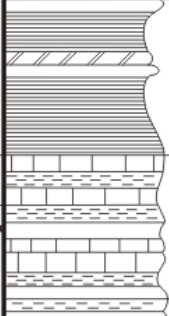
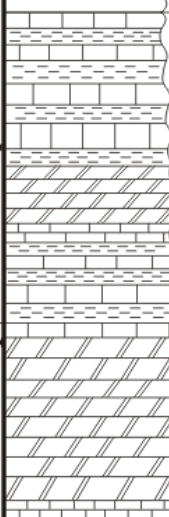
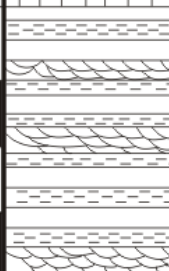
Age	Colonne lithologique	Formations rencontrées	Description
Quaternaire		Formation conglomératique	Alluvions, croûte calcaires et dépôts continentaux avec au sommet des couches marneuses
Plio-Quaternaire		Formation de Sebdou	Dépôts de conglomérats redressés Calcaires lacustres vacuolaires
Barremien		Grès de Berthelot	Grès avec de la chlorite
Berriasien supérieur	 sup Berriasien	Argiles de Lamoricière	Argiles avec des passées gréseuses
Tithonique supérieur Berriasien inférieur		Marno-calcaires d'Ouled Mimoun	Grès, calcaires et marnes souvent biodétritiques
Kimmeridgien	 Tithonique sup inf	Grès de Merchiche	
		Marno-calcaires de Hariga	Alternance de marnes et calcaires
		Dolomies de Terny	Dolomies vacuolaires à patine rousse avec des stratifications obliques
		Calcaire de Lato Marno-calcaires de Raourai Calcaires de Stah	Micrite et pelmicrite, alternance de marnes grises verdâtres et de calcaires
		Dolomies de Tlemcen	Dolomies cristallines grises à patine rousse, dans les dolomies on observe des lentilles stromatolitiques
		Calcaires de Zarifet	Calcaires bleus
Oxfordien supérieur	 300 200 100 0m	Grès de Boumédine	Grès bruns en gros bancs séparés par des interlits argileux Au sommet, on trouve quelques passées marneuses et calcaires

Figure I.4: Log stratigraphique des Monts de Tlemcen (K. Baba-Hamed et R. Kerzabi, 1991)

Pour plus de précisions sur la géologie de la région d'étude, des forages ont été recueillis auprès de la direction des ressources hydriques de la wilaya de Tlemcen et sont donnés en annexes (1, 2 et 3).

III. Cadre structural :

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines. En Oranie, nous avons du Nord au Sud :

- Le domaine Tellien,
- Les Monts de Tlemcen parfois qualifiés de Meseta Oranaise,
- Le domaine atlasique,
- Le domaine saharien.

Les Monts de Tlemcen, domaine intracratonique plissé, s'interposent entre :

- Le domaine nappé du Tell au Nord,
- Le domaine stable des hautes plaines oranaises, au Sud (K. Baba-Hamed et R. Kerzabi, 1991).

III.1. L'analyse structurale (fig.I.5) :

L'étude structurale des monts de Tlemcen et celle du fossé de Sebdou en particulier, met en évidence la présence de deux systèmes de décrochements, parfois conjugués :

- L'un senestre, sensiblement N.S. et lié à de nombreux chevauchements vers le NW.
- L'autre dextre, en moyenne E.W. (N 50° - N110°) fréquemment impliqué dans le rejeu des failles les plus récentes (Plio-Quaternaire).

- **Les principales phases tectoniques :**

Selon M. Benest (1982, pp. 354-359), cinq phases tectoniques principales peuvent être envisagées de l'Eocrétacé à une période récente.

- **Phase éocrétacée :**

Dans les monts de Tlemcen aucune discordance ne sépare les dépôts de la plate forme carbonatée du Jurassique supérieur-Berriasien inférieur des faciès terrigènes transgressifs du Berriasien moyen et supérieur. Mais on constate que la subsidence durant le

Jurassique supérieur et l'Eocène y est largement contrôlée par le jeu ou le rejeu des grands accidents SW-NE et subméridiens, hérités de l'orogénèse hercynienne (M. Benest, 1981).

- **Phase atlasique :**

Elle doit correspondre sensiblement aux mouvements qui, dans les Monts des Traras (P. Guardia, 1975), se sont produits à partir du Sénonien et se terminent avant la mise en place des nappes telliennes.

L'analyse tectonique effectuée dans les Monts de Tlemcen et des Daïas permet d'envisager des mouvements d'abord compressifs puis distensifs.

- **Une phase à dominance distensive:**

En continuité apparente avec la précédente, elle a contribué à la surrection de la plupart des reliefs actuels.

- **Une phase récente (plio-quadernaire) :**

Elle s'est traduite par des mouvements, soit compressifs, soit distensifs.

• **Les unités structurales :** elles s'individualisent ainsi :

- La zone effondrée de Tlemcen,
- La zone synclinale de Terny,
- Le synclinal de Rhoraba,
- La zone effondrée de Sebdou,

Cette distribution en horsts et grabbens tend parfois à isoler les aquifères karstiques les uns des autres. Le style tectonique déterminera la caractéristique hydrogéologique majeure des Monts de Tlemcen : l'existence de nombreux compartiments mal interconnectés (M. Benest, 1981, 1982).

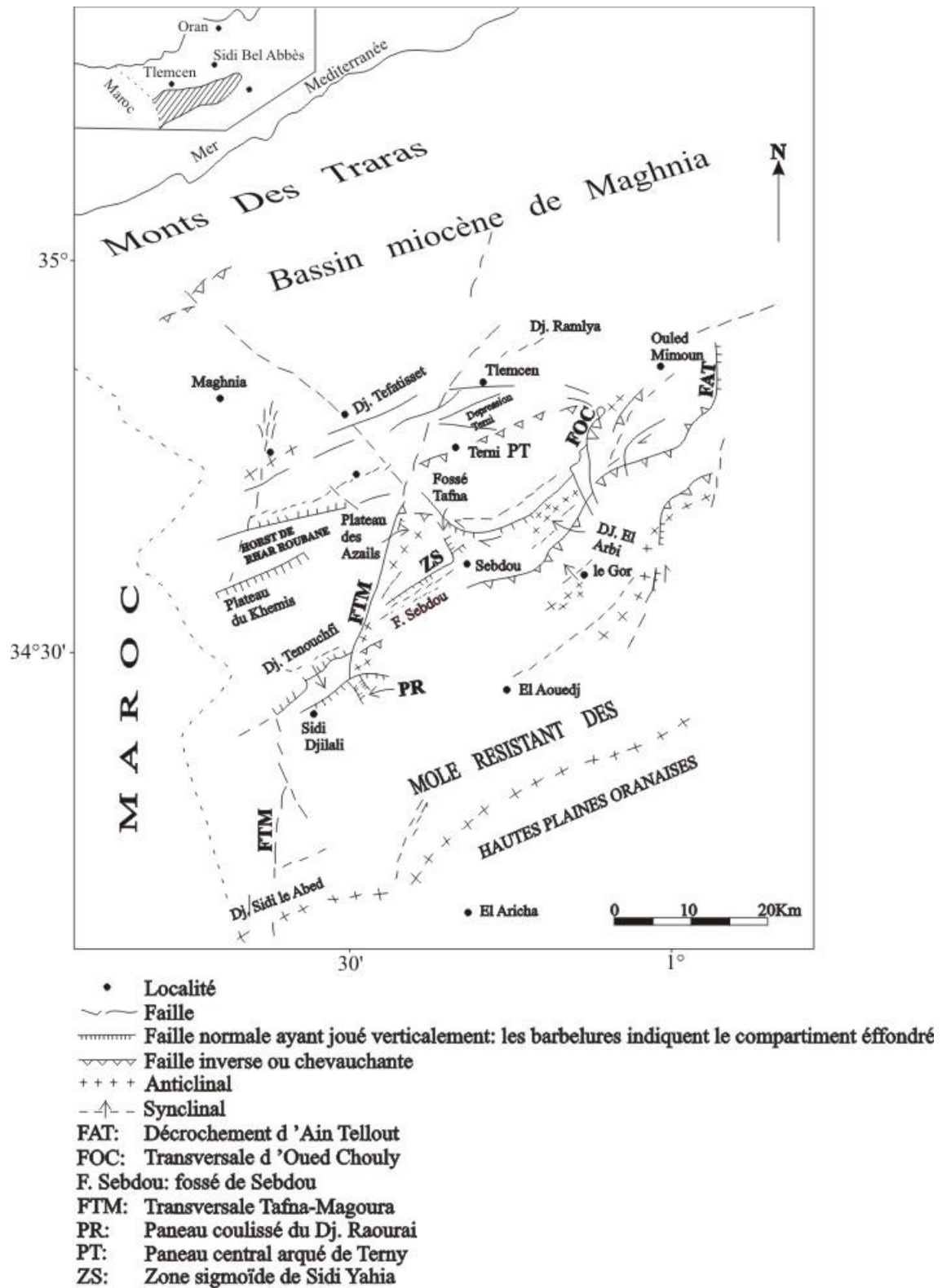


Figure I.5 : Schéma structural des Monts de Tlemcen d'après M. Benest, 1985

L'anticlinal du Djebel El Arbi, constitue le prolongement décalé pincé et tectonisé de l'anticlinal de Lamoricière, entre le bloc surélevé de Titmokhen et de Lato. Les failles qui ont engendré le morcellement en horsts et grabens ont favorisé la montée du Trias gypseux et son

affleurement au centre du Djebel El Arbi. Dans son ascension, il a entraîné un lambeau des « argiles de Saïda ». Cet anticlinal est légèrement dissymétrique, les accidents majeurs suivent la direction SW-NE, ils se prolongent à l'Ouest sous les recouvrements quaternaires de la plaine de Sebdu, et sont relayés à l'Est par les failles de l'anticlinal de Lamoricière (Fig. I.6).

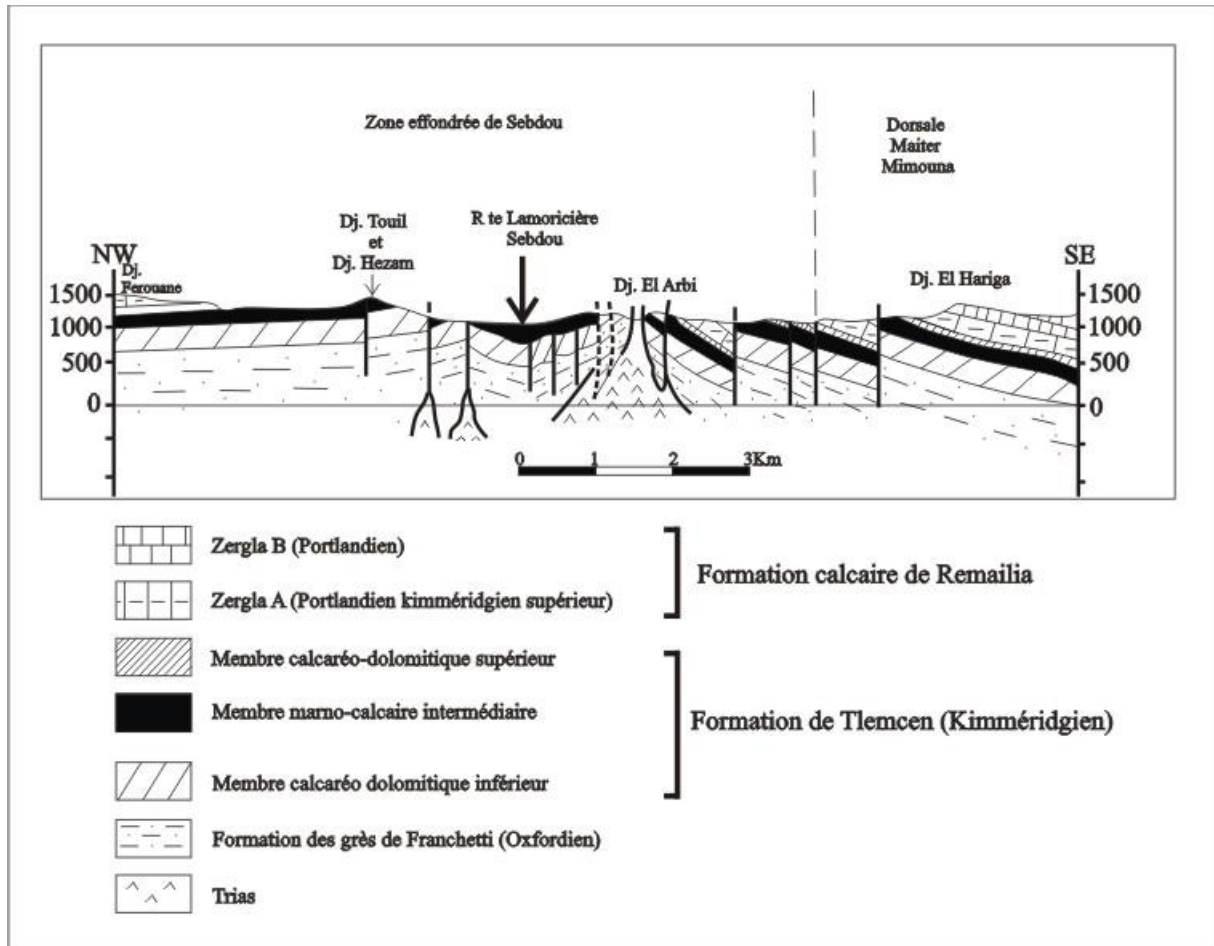


Figure I.6 : Coupe structurale au niveau du Fossé d'effondrement de Sebdu d'après D. Auclair et J. Biehler, 1967

IV. Quelques caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de la haute Tafna :

La haute vallée de la Tafna constitue un système bien différencié comportant:

- Au Nord et à l'Est des reliefs montagneux culminant à 1387 m au Djebel El Guern,
- Au Sud, un fossé d'effondrement et ses digitations, en particulier, le bassin de Sebdou.

Dans cette partie nous nous contentons de présenter les résultats de l'étude morphométrique ayant déjà fait l'objet d'un mémoire d'ingénieur en 1991 par K. Baba-Hamed et R. Kerzabi, 1991:

Tableau I.1.a : Caractéristiques de forme et paramètres du rectangle équivalent

Bassin	Superficie A (km ²)	Périmètre P (Km)	Indice de compacité Ip	Indice de pente Ip	Indice de pente global Ig (m/Km)	Classe de relief	Longueur L (Km)	Largeur l (Km)
Bassin de Sebdou	255,5	78	1,37	7,52	16,61	Modéré	30,70	8,32

K. Baba-Hamed et R. Kerzabi 1991

Tableau I.1.b: Rapports caractéristiques (Réseau hydrographique)

Bassin	Rapport de confluence	Rapport de longueur	Rapport des aires	Coefficient de torrentialité	Coefficient d'allongement de Schum	Densité de drainage km/km ²
Bassin de Sebdou	3,16	3,16	1,78	15,27	5,10	2,88

K. Baba-Hamed et R. Kerzabi 1991

V. Hydrogéologie de la région d'étude :

Nous examinerons dans cette partie, les caractéristiques hydrogéologiques des formations occupant le bassin de Sebdou, dans l'intention d'en déterminer les potentialités aquifères.

Nous serons donc amenés à décrire les principales formations lithologiques et à préciser leur rôle au niveau de l'hydrodynamique souterraine. Pour ce faire, il nous a paru intéressant de regrouper ces formations en deux grands ensembles lithologiques et hydrogéologiques tenant compte aussi bien de la perméabilité d'interstices que celle de fissures ou de chenaux et prenant en compte l'extension des différents faciès.

V.1. Principales formations lithologiques et leurs caractéristiques hydrologiques :**• Les formations à fort potentiel aquifère :**

Ce sont les formations calcaréo-dolomitiques (dolomie de Tlemcen et de Terny), les formations gréseuses (grès de Merchiche) et les formations du Plio-Quaternaire. Il s'agit là d'ensembles lithologiques forts tant en ce qui concerne leur structure physique, que leur composition chimique, mais ils ont pour caractère commun une capacité d'accumulation en eau élevée, surtout en ce qui concerne les massifs dolomitiques qui donnent naissance à de nombreuses émergences karstiques.

- Dolomie de Tlemcen :

Avec à leur base les calcaires de Zarifet, elles affleurent en grande partie vers le Nord-Ouest et le Nord-Est du Bassin.

- Plio-Quaternaire :

Nous considérons ici, aussi bien les alluvions récentes formées le long des Oueds que les terrasses, croûtes calcaires du Quaternaire ancien et les conglomérats qui combleront le fossé de Sebdou. Bien que leur épaisseur soit généralement faible, ces formations ont une extension spatiale considérable, ce qui favorise l'extension d'une nappe phréatique plus ou moins continue et facilement exploitable.

Parmi les sources qui drainent ces formations, nous citons : Ain Soltane, Deillen, Sidi Aissa, Berdil, Hadjar.

- **Les formations à faible potentiel aquifère :**

Cet ensemble regroupe un ensemble de formations de nature lithologique très variée, mais où les séries à dominance argileuse ou marneuse occupent une place prépondérante.

L'ensemble des formations concernées présente une faible perméabilité d'interstices ou de fissures, il n'y existe donc pas d'aquifères notables.

- **Grès de Bou-Médine :**

Ces grès présentent une perméabilité généralement faible ou nulle, sauf cependant pour les bancs de grès puissants qui s'intercalent dans les marnes, montrant une augmentation de perméabilité grâce aux diaclases qu'ils présentent et au rôle aquifère des lentilles calcaires qui y sont incluses.

Le rôle principal de ces grès est de maintenir, grâce aux formations marneuses intercalées le niveau aquifère des dolomies de Tlemcen.

- **Marno-calcaires de Raourai, Hariga et d'Ouled Mimoun :**

Même si les niveaux calcaires présentent une certaine perméabilité, ils sont imperméables dans le sens vertical.

- **Argiles de Lamoricière :**

Ne recèlent aucune réserve aquifère.

L'étude des propriétés hydrogéologiques des différentes formations montre trois grands types d'aquifères (fig. I.7):

- les aquifères perchés, entièrement limités par les terrains imperméables,
- les aquifères à plongement nord, sous les terrains miocènes,
- les aquifères à plongement sud, sous les conglomérats des hauts plateaux.

- **Aquifères karstiques perchés :**

On considérera ici les aquifères karstiques entièrement délimités par des affleurements de terrains peu perméables qu'ils surmontent (fig. I.7). Toute l'eau qui s'y infiltre ressort donc le long des limites d'affleurement.

** Le synclinal de Merchiche :

Les eaux qui s'infiltreront dans le synclinal sont drainées vers Aïn Taga à travers l'immense réseau souterrain de Ghar Bou'Maaza (fig. I.7). La superficie du bassin est de: 185 Km², dont 109 Km² (soit 59 %) sont karstifiées (B. Collignon, 1986).

** Le bassin de Meffrouche :

L'écoulement total (superficiel et souterrain) du bassin du Meffrouch est contrôlé grâce aux jaugeages effectués à la station d'Aïn Méharras située à l'extrême exutoire. La superficie du bassin versant à partir de la station est de 90 Km² dont 60 Km² karstifiées.

- **Les aquifères drainés par un oued :**

Ces aquifères pourraient tous rangés les autres catégories, soit parce qu'ils s'ensoufflent sous le Miocène (comme pour l'oued Chouly ou l'oued Isser), soit parce qu'ils sont entièrement délimités par des marnes imperméables (comme pour l'oued Khemis, le bassin du Kef et la haute Tafna). Néanmoins, ils posent des problèmes d'étude et d'exploitation qui justifient un traitement.

- **Les aquifères s'enfouissant sous le Miocène au Nord des Monts de Tlemcen :**

Les aquifères karstiques du Nord du massif sont nombreux et isolés les uns des autres par des terrains peu perméables (grès jurassiques et marnes miocènes). La plupart d'entre eux possèdent des exutoires concentrés bien connus, au tour desquels s'est rassemblée la population et qui ont donné à la région sa réputation de 'pays des sources'

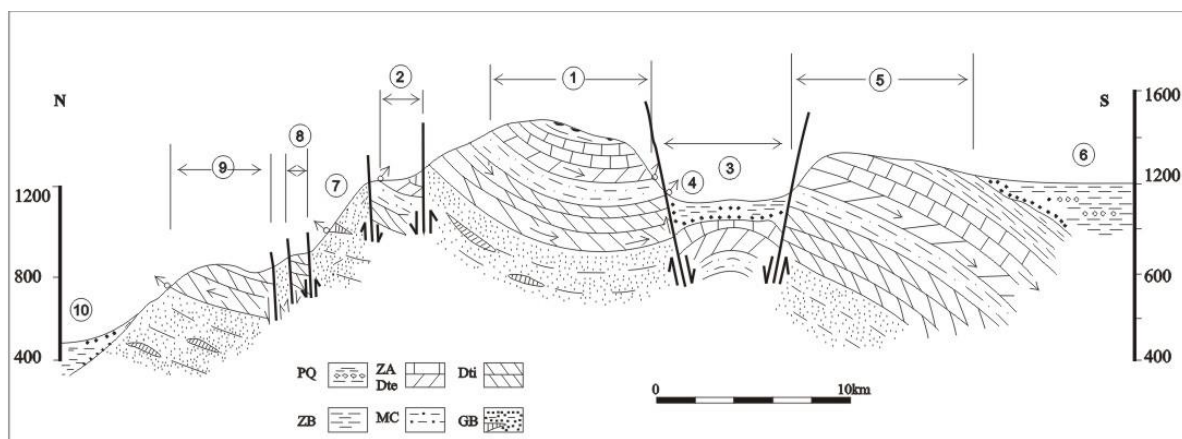


Figure I.7: Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères d'après B. Collignon, 1986.

V.2. Hydrodynamique de l'Aquifère :

Cette partie est consacrée à l'étude hydrodynamique souterraine de la nappe alluviale du fossé de Sebdou. La carte piézométrique (fig. I.9) a été établie à partir de données de la campagne piézométrique réalisée au mois de Mai 1990 basée sur un inventaire de 24 points d'eau dont les données sont reportées en annexe 4.

Concernant la répartition des points d'eau, nous remarquons qu'ils couvrent globalement la totalité de la nappe ce qui donne une fidélité de représentation (fig. I.8).

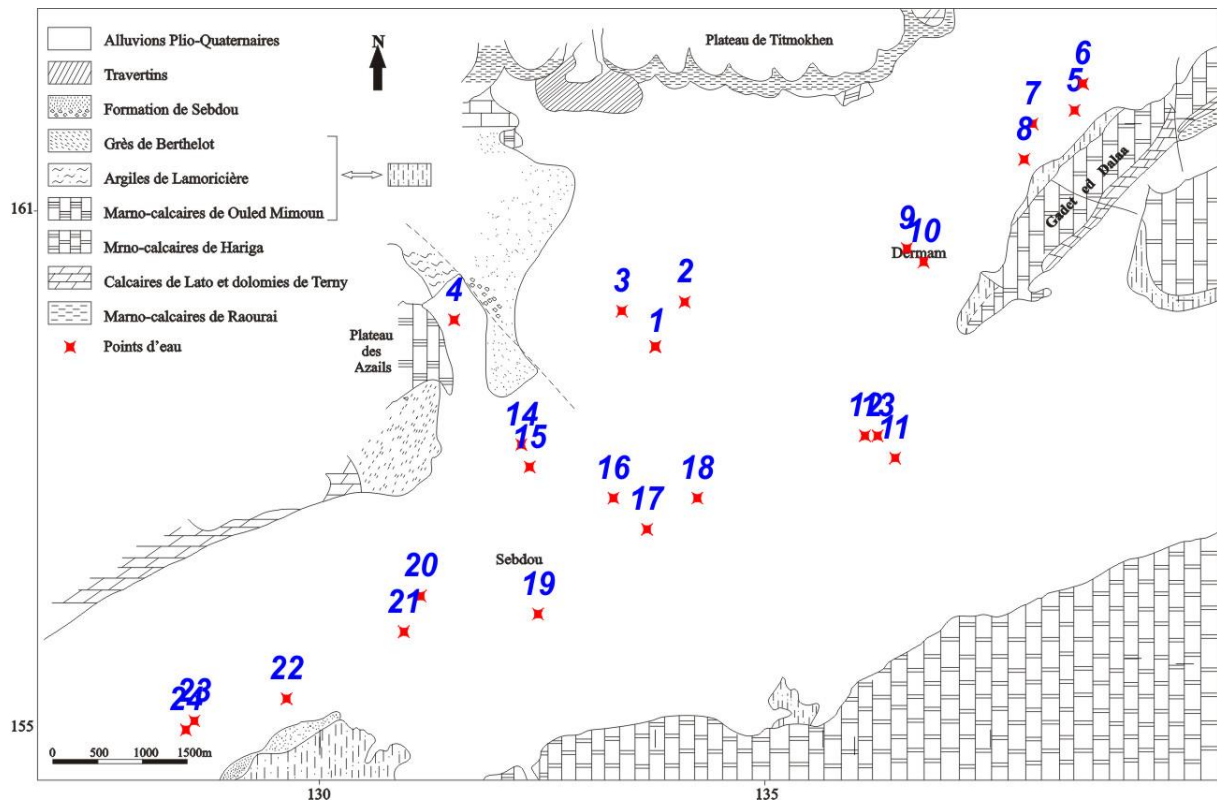


Figure I.8: Répartition des points d'eau au niveau du fossé de Sebdu

La carte piézométrique (fig. I.9) nous montre que le sens d'écoulement des eaux se fait vers le Nord-ouest de l'aquifère.

La zone Nord-Est est caractérisée par des courbes isopièzes presque régulières plus ou moins espacées, et plus nous allons vers l'Ouest les courbes deviennent serrées.

Au centre, nous remarquons une légère convexité dans le sens d'écoulement témoignant éventuellement d'une drainance de la nappe ou d'une élévation du substratum de l'aquifère.

Au Sud-ouest, nous remarquons que les courbes isopièzes sont assez régulières, les axes d'écoulement distingués se dirigent vers le Nord-Ouest (exutoire).

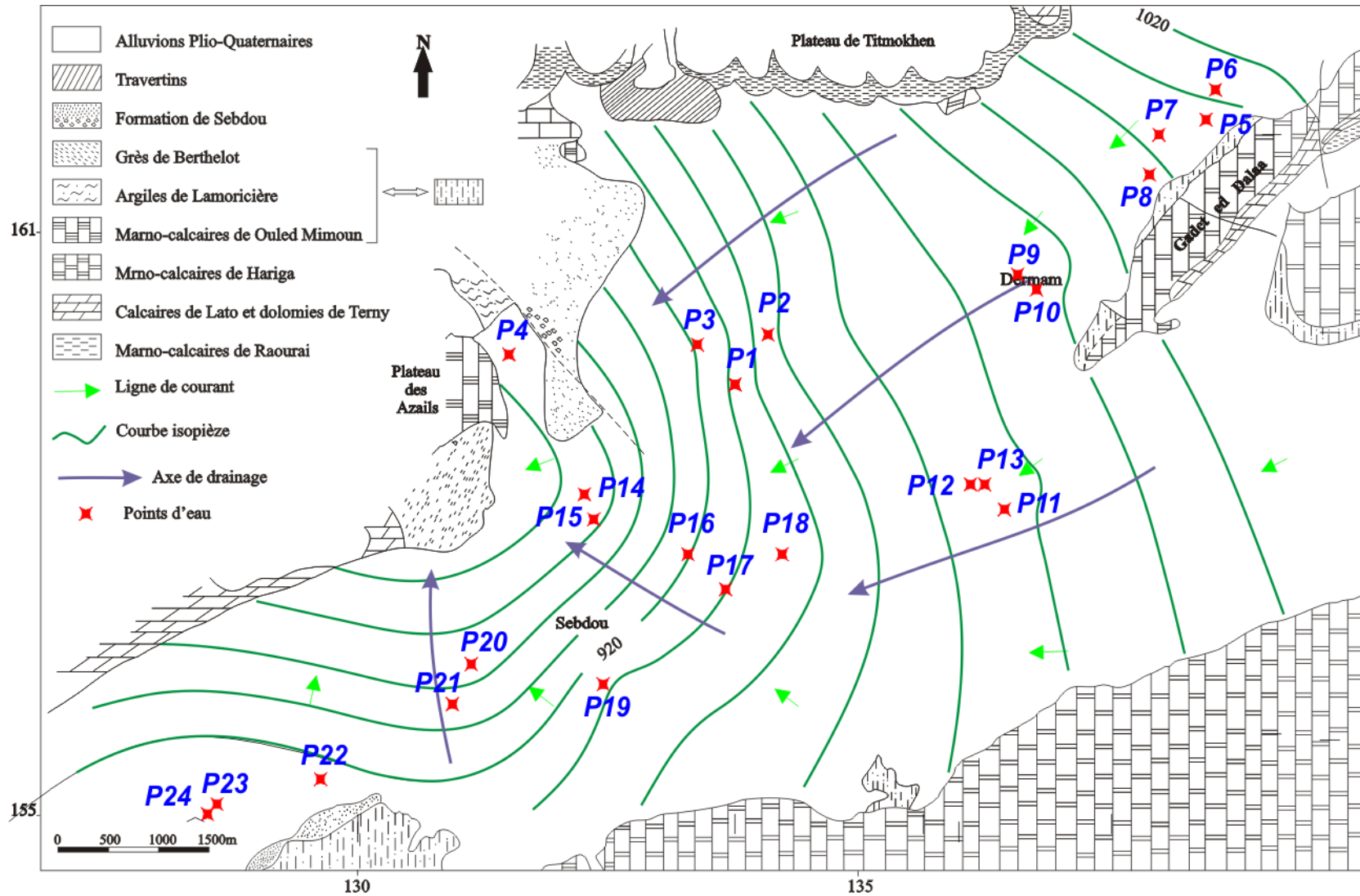


Figure I.9: Carte piézométrique de la nappe du Fossé de Sebdo (Mai, 1990)

La nappe du Plio-quadernaire reçoit des quantités d'eau appréciables, selon deux processus différents :

- Directement sur son impluvium, en quantités variables suivant l'intensité de la pluviométrie de l'année hydrologique.
- Latéralement, par communication hydraulique directe le long des marges en contact avec les réservoirs jurassiques.

En effet, la carte piézométrique met en évidence des apports, venant de l'Est (Gaâdet el Dalaâ) et du Sud (Djebel El Ahmer, Lato).

L'alimentation de la nappe du Plio-quadernaire serait plus importante vers le Sud, vue l'extension latérale importante des reliefs sud du bassin.

La faille majeure limitrophe du fossé vers le Nord constitue une limite étanche, la carte montre en effet des lignes de courants presque parallèles à cette limite.

Conclusion :

Le bassin versant de l'oued Sebdou situé au Nord ouest algérien d'une superficie de 255,5 Km² et d'un périmètre de 78 km se caractérise par un indice de compacité de 1,37 et par un relief globalement modéré. Le profil en long montre une forte pente au sommet qui s'affaiblit de plus en plus en allant vers l'aval. L'interprétation de la courbe hypsométrique témoigne d'une phase d'érosion active.

Le fossé de Sebdou est caractérisé par un aquifère superficiel plio-quadernaire formé principalement de conglomérats redressés tel que le montre le log stratigraphique des Monts de Tlemcen établi par M. Benest, 1985.

L'interprétation de la carte piézométrique de la nappe du fossé de Sebdou montre un sens d'écoulement des eaux vers le Nord-ouest. L'alimentation de cette nappe se fait généralement de deux manières, directement par son impluvium et/ou par l'alimentation latérale à partir des formations adjacentes.

CHAPITRE II:

Climatologie

Chapitre II : Climatologie

Introduction :

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. On peut le définir aussi comme « *la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée* ». Gibbs (1987).

Le climat a une influence sur tous les êtres vivants. Il régit le cycle biologique des plantes et des animaux, influe sur leur croissance et leur vitalité et est l'un des principaux facteurs qui déterminent leur répartition autour de la planète. Presque toutes les formes de vie sont adaptées pour vivre dans une zone climatique particulière et relativement limitée.

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans les comportements hydrologiques des cours d'eau et des conditions de recharge des aquifères.

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés par les précipitations et la température au niveau de la station de Sebdou (tableau. II.1 et figure. II.1) et vue l'absence de données de température dans la station de Sebdou nous avons fait recours à la station de Béni Bahdel parce que c'est la station la plus proche en plus c'est le même contexte climatique et ceci pour donner une idée globale sur les caractéristiques climatiques de la région d'étude:

Tableau II.1: Caractéristiques de la station de mesure

Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (Altitude m)
Sebdou	160401	131,25	158,55	875

Les données météorologiques utilisées dans ce chapitre ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H, Oran).

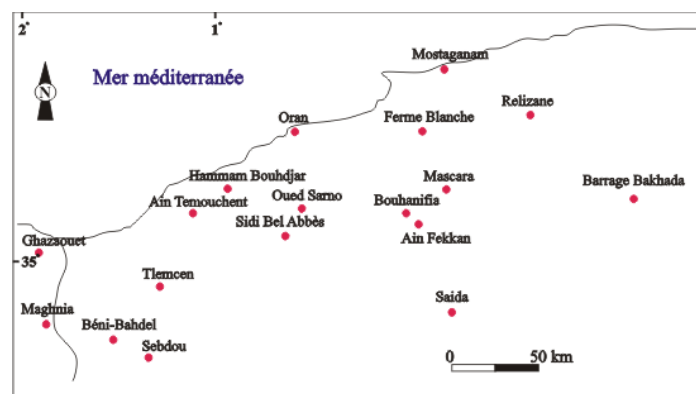


Figure II.1: Situation géographique de la station de Sebdou

Chapitre II : Climatologie

I. Etude des précipitations :

Les précipitations constituent la principale « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (brume, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grêle). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression (*in* H. AZIZ & M. MEGUENNI TANI, 2013).

I.1. Précipitations annuelles (fig. II.2):

Le tableau suivant montre les précipitations moyennes annuelles au niveau de la station de Sebdou sur une période allant de 1940/1941 jusqu'au 2012/2013.

Tableau II.2: Précipitations moyennes annuelles à la station de Sebdou

Années	1940/1941	1941/1942	1942/1943	1943/1944	1944/1945	1945/1946	1946/1947	1947/1948
P (mm)	403,9	437,2	287,3	406,7	185,9	290,0	485,9	435,9
Années	1948/1949	1949/1950	1950/1951	1951/1952	1952/1953	1953/1954	1954/1955	1955/1956
P (mm)	331,0	494,2	587,0	390,7	547,8	570,9	492,4	397,6
Années	1956/1957	1957/1958	1958/1959	1959/1960	1960/1961	1961/1962	1962/1963	1963/1964
P (mm)	402,5	530,6	473,9	340,7	325,9	359,8	537,1	567,8
Années	1964/1965	1965/1966	1966/1967	1967/1968	1968/1969	1969/1970	1970/1971	1971/1972
P (mm)	336,7	442,4	611,9	460,4	421,1	352,7	407,7	487,7
Années	1972/1973	1973/1974	1974/1975	1975/1976	1976/1977	1977/1978	1978/1979	1979/1980
P (mm)	494,8	598,0	497,7	418,7	416,6	394,3	339,1	591,1
Années	1980/1981	1981/1982	1982/1983	1983/1984	1984/1985	1985/1986	1986/1987	1987/1988
P (mm)	497,5	213,6	283,8	329,1	404,2	430,7	231,5	337,8
Années	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992	1992/1993	1993/1994	1994/1995	1995/1996
P (mm)	265,7	451,8	477,3	225,1	286,9	351,1	694,0	222,2
Années	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
P (mm)	342,8	247,8	198,0	411,4	433,3	463,1	351,1	222,3
Années	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012
P (mm)	394,5	327,0	272,4	668,9	389,2	360,9	360,9	273,9
Années	2012/2013	P moy (mm)						
P (mm)	548,3	369,4						

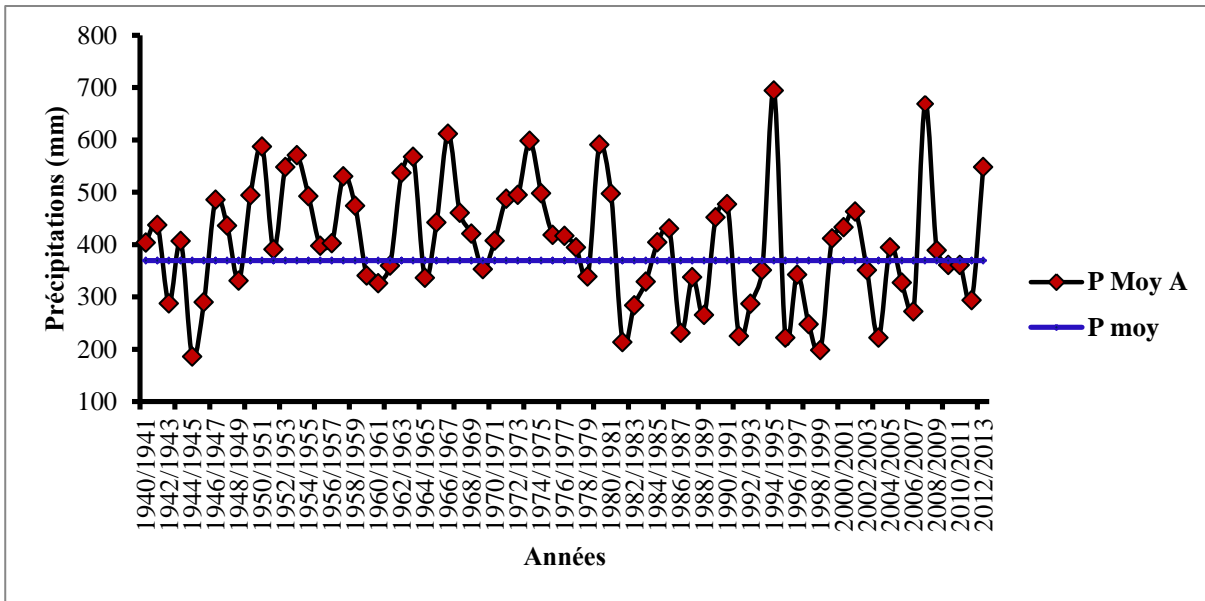


Figure II.2: Variations interannuelles des précipitations à la station de Sebdu

La figure II.2 représente les variations interannuelles des précipitations à la station de Sebdu où nous remarquons des irrégularités assez prononcées confirmées par le coefficient d’irrégularité qui est de 3,73. La région est caractérisée par des périodes humides dont les valeurs sont supérieures à la moyenne avec un maximum de 694 mm en 1994/1995, et des périodes sèches dont les valeurs sont inférieures à la moyenne avec un minimum de 185,9 mm enregistré en 1944/1945, la moyenne interannuelle le long de la période d’étude est de 369,4 mm.

I.2. Précipitations mensuelles (fig. 2.3):

Les données des précipitations mensuelles sont données par le tableau II.3 sur une période allant de 1940/1941 jusqu’au 2012/2013.

Tableau II.3: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdu (1940/1941-2012/2013)

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P (mm)	23,4	33,2	43,4	38,6	51,6	44	43,1	38	29,3	10,6	5,4	8,8	369,4

Chapitre II : Climatologie

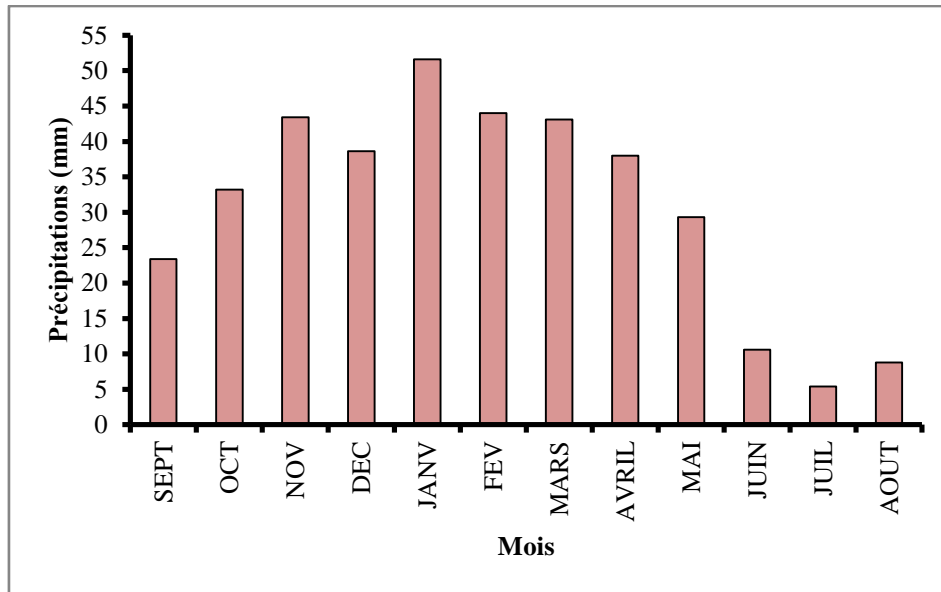


Figure II.3: Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sebdu

Les variations mensuelles des précipitations montrent que les valeurs des précipitations maximales sont marquées aux intersaisons, principalement en Janvier, Février et Novembre avec un maximum de **51,6 mm** pour le mois de Janvier et un minimum de **5,4 mm** réservé pour le mois de Juillet.

I.3. Précipitations saisonnières :

Les quatre saisons de l'année avec leurs précipitations sont consignées au tableau II.4.

Tableau II.4: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdu (1940/1941-2012/2013)

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Mois correspondants	Septembre Octobre Novembre	Décembre Janvier Février	Mars Avril Mai	Juin Juillet Aout
P (mm)	100,0	134,2	110,4	24,8

La figure II.4 montre la distribution saisonnière des précipitations où l'Hiver représente la saison la plus humide et l'Eté la plus sèche.

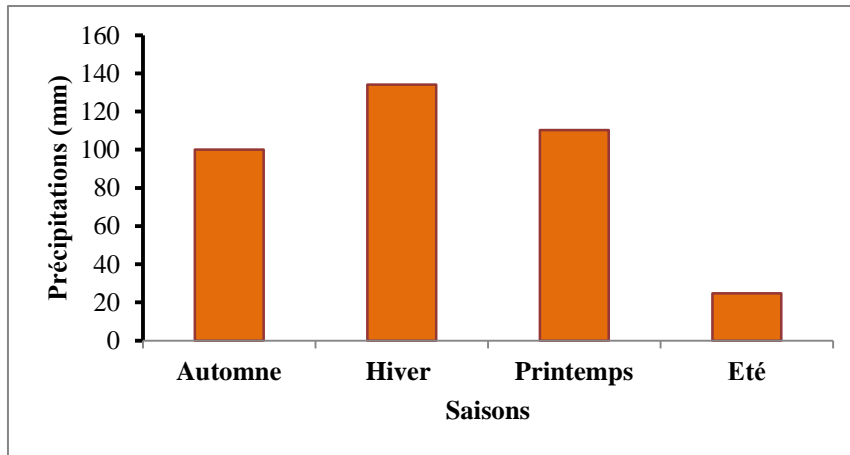


Figure II.4: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdu

I.4. Etude statistique des précipitations à la station de Sebdu (1940/1941 – 2012/2013):

L'ajustement statistique consiste à vérifier des hypothèses d'homogénéité entre une variable aléatoire et un modèle calculé, si ce modèle est bien superposé à l'échantillon étudié, on peut dire qu'il est bien ajusté. L'objet de la méthode statistique est la réduction de la masse de données, qui si importe, devrait être remplacée par un nombre réduit de paramètres statistiques pouvant représenter correctement cette masse. (Dadi, 1998 *in* Rahmani, 2012).

I.4.1. Adéquation des données à une loi d'ajustement :

La série obtenue par la station de référence précitée nous permet de calculer les paramètres statistiques et de juger la distribution des précipitations annuelles.

Les paramètres de position sont donnés par le tableau qui suivra, à cet effet on a 2 lois de probabilité à connaître :

- Loi normale.
- Loi log normale.

Chapitre II : Climatologie

Tableau II.5: Paramètres statistiques des précipitations à la station de Sebdou
– loi normale -

Paramètres	Formules	Valeurs
Moyenne (mm)	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_i$	369,4
Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2$	13254,92
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	115,13
Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0.32

D'après le résultat du coefficient de variation de la station de Sebdou ($Cv < 0,5$ et très proche de 0,3), on peut prétendre à un ajustement suivant une loi symétrique dont la loi normale.

- **Ajustement à la loi normale :**

Le calcul des fréquences de chaque valeur sera donné par la relation suivante :

$$F_i = \frac{I}{N+1}$$

F_i : Fréquence

I : Rang

N : période d'observation (nombre d'années)

- ❖ **Test numérique :**

Pour pouvoir déterminer la valeur de χ^2_c , on a repris la série du module observé et on a réparti cette série en 8 classes, les résultats sont donnés par le tableau ci-dessous :

Chapitre II : Climatologie

Tableau II.6: Calcul du χ^2 pour la station de Sebdu pour une loi normale

Nombre de classes k	Limites de classes (mm)	Effectifs observés (ni)	Effectifs théoriques (npi)	$\frac{(ni - npi)^2}{(npi)}$
1	$\leq 249,4$	8	7,57	0,02
2	]249,4 ; 312,9]	7	6,99	0,00
3	]312,9 ; 376,4]	15	14,95	0,00
4	]376,4 ; 493,9]	18	17,41	0,02
5	]439,9 ; 503,4]	13	11,81	0,12
6	]503,4 ; 566,9]	4	2,6	0,75
7	]566,9 ; 630,4]	6	5,97	0,00
8	]630,4 ; 694]	2	1,52	0,15
Total				1,07

k : nombre de classes ($k = \sqrt{N}$),

ni : effectifs observés nombre d'éléments de chaque classe.

npi : effectifs théoriques

$$\chi^2_{\text{cal}} = \sum_{i=1}^n \frac{(ni - npi)^2}{(npi)}$$

$V = \text{ddl} = k - p - 1$ avec : **ddl** : degré de liberté et **P** : nombre de paramètres utilisés (pour une loi normale $p = 2$).

Donc on aura : **ddl = 5**

Tableau II.7: Comparaison entre χ^2 calculé et χ^2 tabulé

χ^2 calculé	χ^2 tabulé	Comparaison	jugement
1,07	11,070	$\chi^2_{\text{calc}} < \chi^2_{\text{tabu}}$	Accepte la loi normale

χ^2 calculé < χ^2 tabulé pour un ddl = 5 et un seuil de probabilité de 5% ($\alpha = 0,05$).

❖ Test graphique :

On représente la fonction : $P = f(Fi)$ on utilisant le logiciel Statistica.10. L'axe des abscisses porte les fréquences en échelle gaussienne et l'axe des ordonnées la variable statistique (précipitations) en échelle arithmétique. Le résultat est une droite appelée droite d'Henry qui donne la distribution des précipitations de la station de Sebdu.

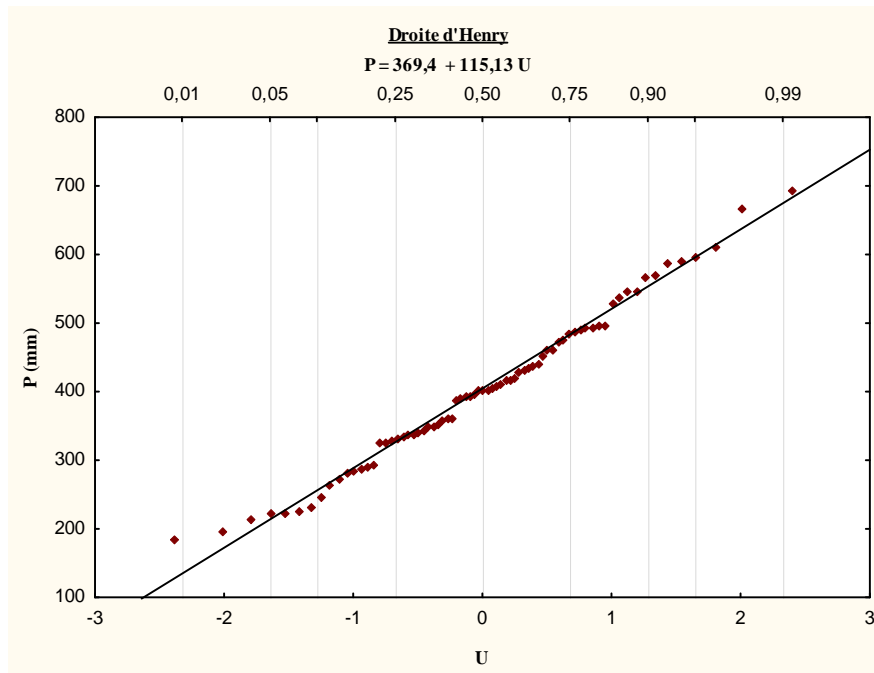


Figure II.5: Ajustement à la loi normale des précipitations de la station de Seb dou

La figure II.5 montre une bonne représentation selon la droite, c'est donc cette loi qui présentera un meilleur ajustement.

II. Etude des températures :

Les données de température utilisées sont celles de la station de Béni Bahdel.

II.1. Températures moyennes mensuelles :

Les valeurs de températures moyennes mensuelles sont données par le tableau suivant :

Tableau II.8: Valeurs des températures moyennes mensuelles (°C)
à la station de Béni Bahdel

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T_m	20,6	16,3	11,8	9,4	7,4	7,1	10,4	12,8	16,3	18,5	24,4	25,5	15,04
T_M	25,7	22,2	15,3	12,7	11,7	13,1	15,25	16,3	21,7	26,3	29,8	29,4	19,95
$T_{moy.}$	23,15	19,25	13,55	11,05	9,55	10,1	12,83	14,55	19	22,4	27,1	27,45	17,50

- T_M : Températures moyennes mensuelles maximales (°C).
- T_m : Températures moyennes mensuelles minimales (°C).
- $T_{moy.} (T_M + T_m) / 2$: Températures moyennes mensuelles (°C).

Chapitre II : Climatologie

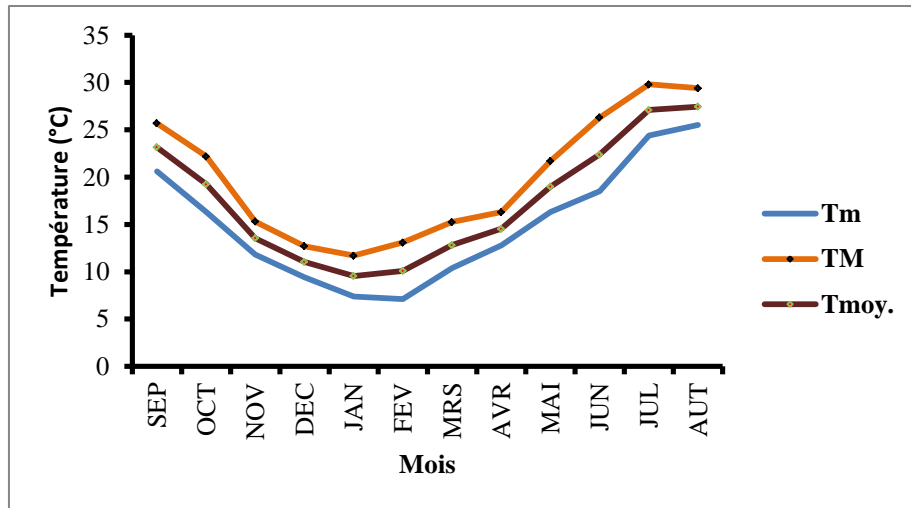


Figure II.6: Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à la station de Béni Bahdel

La température moyenne mensuelle caractérisant la région le long de cette période est de 17,50 °C, le maximum est de 27,45 °C observé au mois d'Août, tandis que le minimum, il est de 9,55 °C enregistré en mois de Janvier.

III. Etude du climat :

La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. H. Meddi & M. Meddi (2009).

Pour déterminer le type climatique dominant dans la région d'étude nous avons utilisé deux méthodes à partir de la moyenne annuelle des précipitations et de température comme suit :

- La méthode de visualisation (méthode graphique de Gaussen et Bagnouls).
- Calcul de l'indice climatique annuel de De. Martonne.

III.1. Méthode de visualisation (méthode graphique de Gaussen et Bagnouls) :

Pour Gaussen et Bagnouls, un mois humide est celui où le total moyen des précipitations (mm) est supérieur au double des températures moyennes (°C) ($P > 2T$). Par contre, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur au double des températures moyennes (°C) ($P < 2T$), c'est ce qui nous amène à déduire deux périodes :

- Pour la période sèche, la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations.

Chapitre II : Climatologie

- Pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures.

Le tableau suivant nous a permis de tracer le diagramme pluviothermique caractérisant la station de Sebdoou :

Tableau II.9: Précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	23,4	33,2	43,4	38,6	51,6	44	43,1	38	29,3	10,6	5,5	8,8
T (°C)	23,15	19,25	13,55	10,05	9,55	10,10	12,83	14,55	19,00	22,40	27,10	27,45

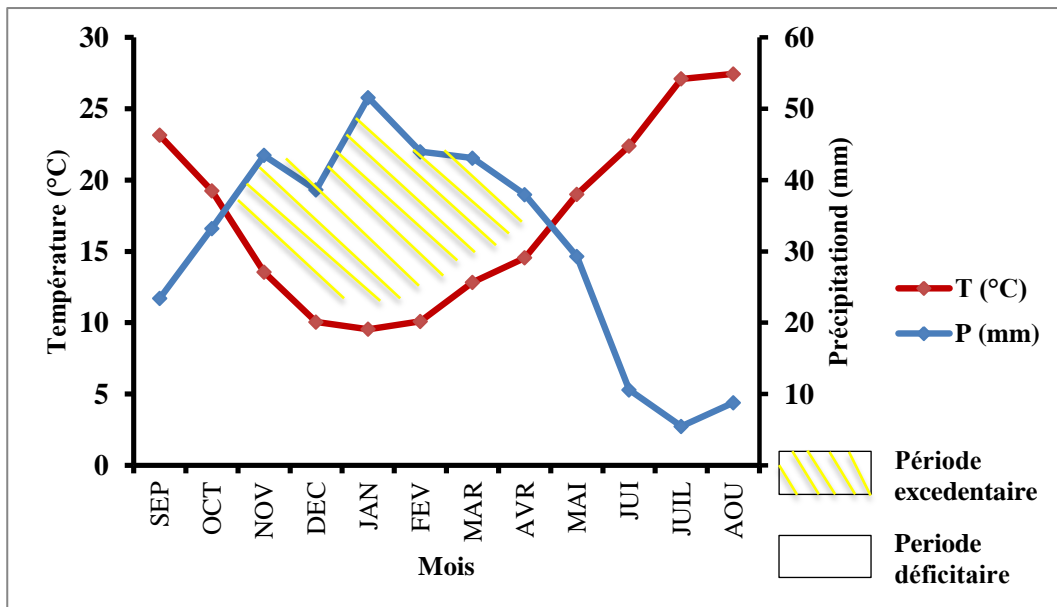


Figure II.7: Le Diagramme Pluviothermique pour la station de Sebdoou

Cette figure nous permet de discriminer deux périodes très distinctes : une période pluvieuse (humide) s'étendant du mois d'Octobre jusqu'à la fin du mois d'Avril, et une période sèche s'étendant sur le reste de l'année.

III.2. Indice d'aridité annuel de De. Martonne :

De. Martonne (1923) a défini un indice appelé indice d'aridité annuel « I » donné par :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P : précipitations moyennes annuelles = 369,4 mm

Chapitre II : Climatologie

T : température moyenne annuelle = 17,50 °C

Donc : **I = 13,43**

De. Martonne propose la classification suivante :

- $I < 5$: Climat hyperaride.
- $5 < I < 10$: Climat désertique.
- $10 < I < 20$: Climat semi-aride.
- $I > 20$: Climat humide.

Le calcul du coefficient d'aridité annuel de De. Martonne pour la station de Sebdou montre que la région jouit d'un climat *semi-aride*.

Le résultat du calcul de l'indice de De Martonne confirme le résultat de la classification précédente pour la zone à *climat semi-aride* caractérisée par un écoulement temporaire (fig. II.8).

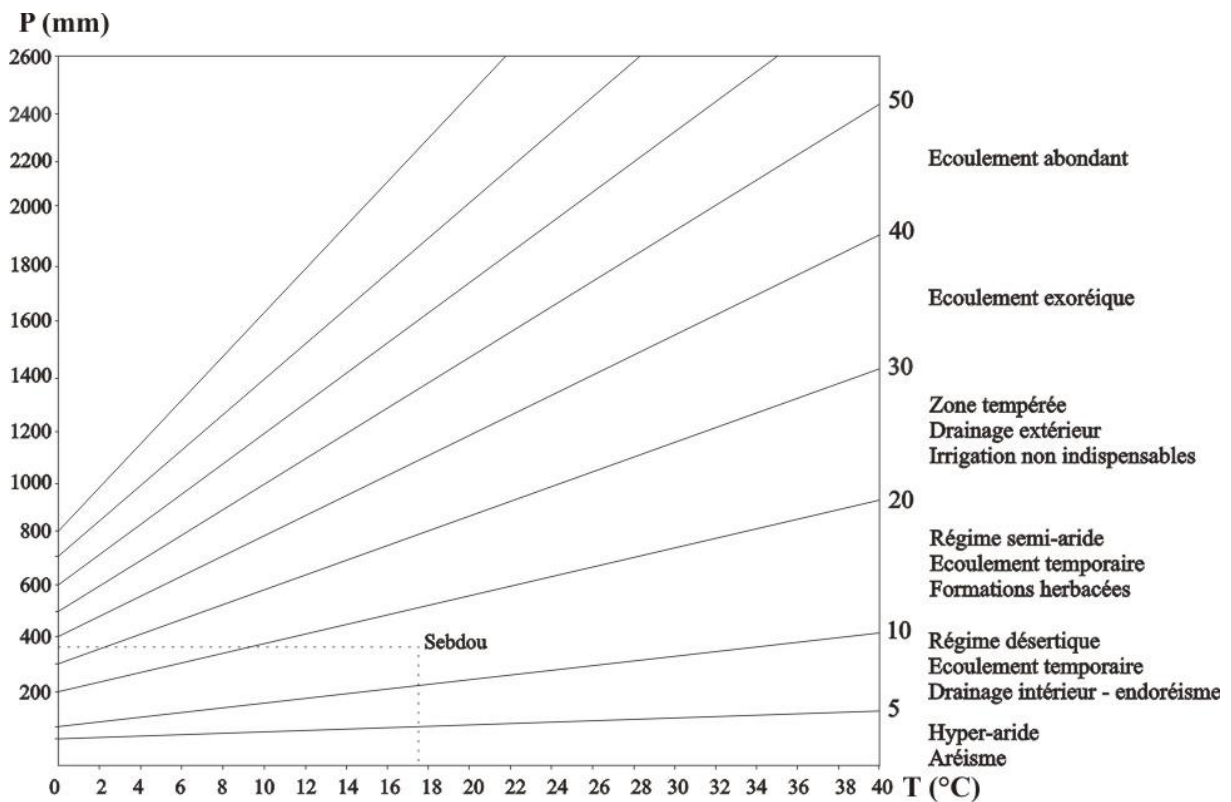


Figure II.8: Abaque de De. Martonne

Chapitre II : Climatologie

IV. Evapotranspiration potentielle et déficit d'écoulement (ETR) :

IV.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'ETP : est un facteur déterminant dans l'évaluation du bilan hydrique d'une région. C'est un phénomène important du cycle hydrologique. Elle résulte de deux phénomènes, l'un physique : l'évaporation et l'autre biologique : la transpiration. Elle est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation, la vitesse de turbulence du vent, la pression atmosphérique, du couvert végétal et du sol). Pour l'estimation de ce paramètre, on utilise les formules de Thornthwaite.

- Méthode de Thornthwaite :

Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle, il définit d'abord un indice mensuel tel que :

$$i = (t/5)^{1,514} \text{ avec : } t : \text{température moyenne du mois considéré exprimée en } ^\circ\text{C.}$$

$$\text{E.T.P} = 1,6 (10 T / I)^a$$

Avec:

ETP: évapotranspiration potentielle (mm/an).

I: indice thermique annuel ($I = \sum i$)

$$a = (1,6 * I) / 100 + 0,5$$

Nous calculons d'abord des indices thermiques mensuels en fonction des températures, ensuite nous passons à un indice annuel permettant d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour les différents mois en multipliant chaque valeur par un coefficient de correction mensuel (K). Les résultats sont donnés par le tableau II.11:

Tableau II.10: Calcul et correction des valeurs de l'ETP

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T (°C)	23,15	19,25	13,55	10,05	9,55	10,10	12,83	14,55	19,00	22,40	27,10	27,45	17,50
ETP non corrigée (cm)	10,41	7,42	3,90	2,25	2,05	2,27	3,53	4,44	7,25	9,80	13,90	14,23	81,47
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	
ETP corrigée (mm)	107,2	72,0	33,9	19,4	18,1	19,3	36,3	48,4	87,0	117,6	169,6	165,1	894,0

Chapitre II : Climatologie

IV.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

- Méthode de Turc :

La formule de Turc pour le calcul de l'ETR est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

- ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an)
- $L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 1012,59$
- P : Précipitations moyennes annuelles (mm)
- T : Température moyenne annuelle (°C)

Tableau II.11: Calcul d'ETR par la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	Écoulement (mm)
Sebdou	369,4	17,50	1012,6	363,4	6

Cette méthode a donné une valeur de 363,4 mm d'évapotranspiration réelle, nous remarquons que cette valeur est inférieure à celle de la moyenne annuelle des précipitations, ce qui donne naissance à un écoulement de 6 mm.

V. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :

La présence de données des précipitations et des évapotranspirations potentielles nous permettent également de calculer le bilan hydrologique comme suit :

Evapotranspiration réelle est liée à la réserve en eau disponible nous considérons deux possibilités :

Possibilité	ETR = ETP	ETR = ETP	ETR = P
Condition	P > ETP	P < ETP et existence de réserve	P < ETP et pas de réserve

Nous considérons une réserve utile de 100mm (K Baba-Hamed, 1991).

Tableau II.12: Eléments du bilan hydrologique calculés pour la station de Sebdou (1941/2013)

Chapitre II : Climatologie

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J'	A	An
P (mm)	23,4	33,2	43,5	38,6	51,6	44,0	43,1	38,0	29,3	10,6	5,5	8,8	369,4
ETP (mm)	107,2	72	33,9	19,4	18,1	19,3	36,3	48,4	87	117,6	169,6	165,1	894
DU	-83,8	-38,79	+9,56	+19,22	+33,47	+24,69	+6,79	-10,43	-57,71	-107,02	-164,14	-156,31	
RU (100mm)	0	0	9,56	28,78	62,25	86,94	93,73	83,3	25,59	0	0	0	
ETR (mm)	23,4	33,2	33,9	19,4	18,1	19,3	36,3	48,4	87	36,19	5,5	8,8	369,5
D.A (mm)	83,8	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,7	164,1	156,3	523,7
Exc (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

P : précipitations (mm), ETP : évapotranspiration potentielle (mm), ΔU : variation de la réserve, RU: réserve utile (mm), ETR : évapotranspiration réelle (mm), D.A: déficit agricole (mm), Exc : excédent (mm).

La valeur de l'ETP calculée est de 894 mm, elle représente plus que le double de la moyenne annuelle des précipitations.

Conclusion :

La région de Sebdoou est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La température moyenne annuelle est d'environ 17.50 °C. Les deux mois les plus chauds sont Juillet et Août, et ont une température moyenne de 27 °C.

Le régime général des pluies est celui des zones semi-arides méditerranéennes de l'Afrique du Nord. Il est caractérisé par des précipitations d'hiver avec un maximum enregistré en mois de Janvier de 51,6 mm, et une période de sécheresse, pratiquement sans pluie de Juin à Août.

L'évaporation transpiration potentielle atteint une valeur moyenne annuelle de 894 mm.

CHAPITRE III:

Hydrochimie

Introduction :

Chapitre III : Hydrochimie

La Compréhension des propriétés hydrauliques des couches aquifères et la caractérisation hydrochimique de l'eau qu'elles contiennent sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau souterraines dans le secteur d'étude.

Généralement, la circulation des eaux souterraines dans les vides des formations aquifères augmente sa concentration en éléments chimiques. Par conséquent, le faciès chimique des eaux souterraines donne des informations pertinentes sur la lithologie des formations aquifères et sur leur comportement hydrogéologique, ainsi que le type d'usage auxquels les eaux souterraines peuvent servir. L'étude hydrochimique des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec les faciès lithologiques et la piézométrie de la nappe.

La quasi-totalité des points d'eau de l'aquifère sont destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation des terres agricoles. Pour être utilisée l'eau doit répondre à certaines normes qui varient en fonction du type d'utilisation.

La caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines est habituellement basée sur la disponibilité d'une grande quantité de données physico-chimiques. La chimie des eaux souterraines, dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature pétrographique, le degré de météorisation chimique de divers types de roches, la qualité de l'eau de recharge et des diverses sources d'alimentation des formations aquifères. De tels facteurs et leur interaction est le résultat d'une qualité complexe d'eaux souterraines.

Il faut rappeler que l'action de la qualité de l'eau sur la santé est déjà relativement bien connue. La composition de l'eau de boisson doit répondre à certaines normes de caractères physiques, organoleptiques, chimiques et bactériologiques. Notre étude concerne les critères physico-chimiques.

Nous exposons dans ce chapitre les caractéristiques physico-chimiques de la nappe aquifère de la région du fossé de Sebdou et nous allons faire une interprétation des résultats des compositions chimiques. En commençant au premier lieu par la classification des eaux.

Notre travail est basé sur des données physico-chimiques de 34 points d'eau prélevés à partir de la nappe alluviale du fossé de Sebdou (voir Annexe. 5). Ces données concernent

Chapitre III : Hydrochimie

les éléments majeurs : cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et anions (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-), le pH, la température, la conductivité électrique et la minéralisation.

I. Calcul de la balance ionique :

Avant de traiter et d'interpréter les résultats d'analyses des eaux prélevées, il faut analyser leur fiabilité. La méthode utilisée est la Balance Ionique (B.I.). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle a une électro-neutralité. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents-chimiques). En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$B.I. = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-} \cdot 100$$

Avec :

$\sum r^+$: somme des concentrations des cations en meq/L,

$\sum r^-$: somme des concentrations des anions en meq/L.

Cette relation permet de définir trois classes comme suit :

- **B.I. < 2** : Bonne analyse.
- **2 < B.I. < 5** : Analyse acceptable.
- **5 < B.I.** : Mauvaise analyse.

Le calcul de cet indice nous a donné les résultats qui se résument comme suit : 11 bonnes analyses, 15 analyses acceptables et 08 mauvaises analyses. Donc, nous allons travailler avec seulement 26 points d'eau (figure III.1).

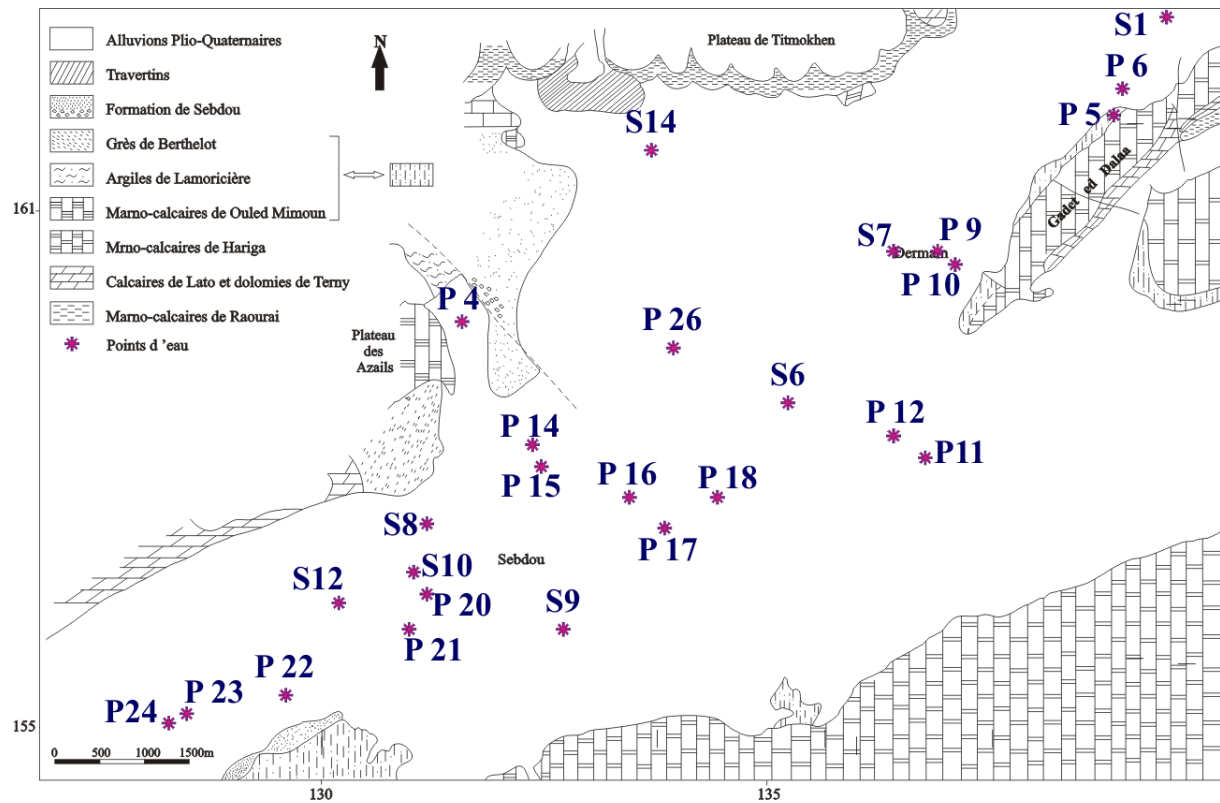


Figure. III.1 : Carte de répartition des points d'eau de la nappe du Plioquaternaire du fossé de Sebdoou

La figure III.1, montre que les points d'eau couvrent presque la totalité de l'aquifère.

II. Corrélation entre les cations et les anions :

Pour confirmer la fiabilité des analyses nous allons soumettre les données hydrochimiques à un test statistique et mettre en évidence une corrélation linéaire si elle existe entre la somme des cations et celle des anions. La figure III.2 est un modèle représentant et témoignant des résultats d'analyses chimiques de 34 points d'eau prélevés au niveau de la nappe du fossé de Sebdoou.

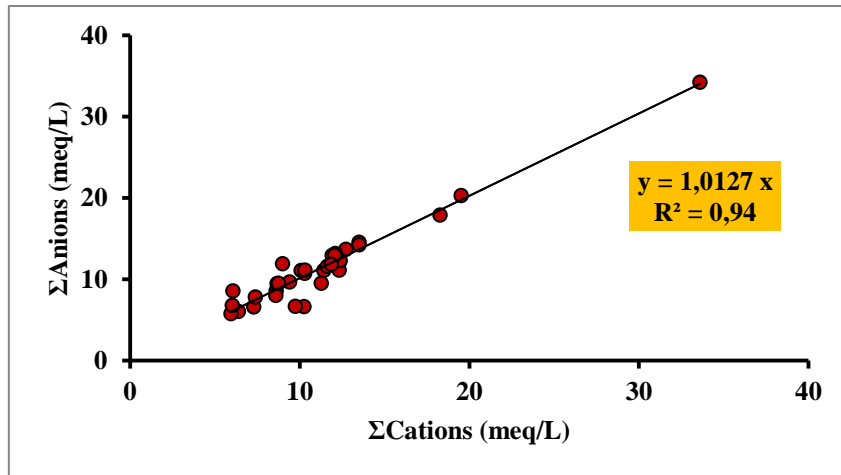


Figure. III.2 : Corrélation entre les cations et les anions

La corrélation entre la somme des cations et celle des anions montre une évolution suivant une droite linéaire de la forme $y = ax+b$, dont l'équation est : $y = 1,0127 x$ et un coefficient de corrélation $R = 0,97$. Ce coefficient de corrélation est proche de 1 et représente 90%, ce qui permet de juger le modèle comme bon. Les analyses sont donc dans l'ensemble acceptables, cependant le test de la balance ionique reste obligatoire pour pouvoir éliminer les mauvaises analyses.

Après avoir éliminé les mauvaises analyses nous avons refait le modèle qui a donné le résultat suivant :

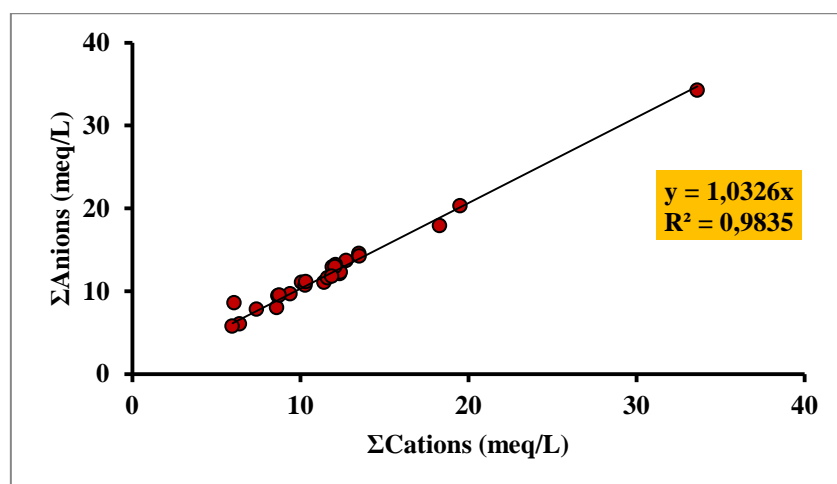


Figure III.3 : Corrélation entre les cations et les anions après correction

Le nouveau modèle montre une augmentation du coefficient de corrélation qui est de : $R = 0,99$ ce qui témoigne de l'influence des mauvaises analyses sur la qualité d'analyses et sur les résultats tirés par la suite à partir des différents tests et méthodes.

III. Caractéristiques physico-chimiques des eaux :

Le tableau suivant montre les caractéristiques physico-chimiques de 26 points d'eau utilisés dans ce chapitre :

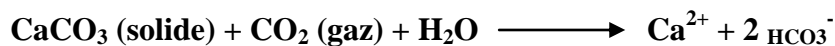
Tableau III.1 : Caractéristiques physico-chimiques des points d'eau

Eléments	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
HCO ₃ ⁻	mg/L	197	458	316,00	67,54
SO ₄ ²⁻	mg/L	24	336	95,77	70,67
Cl ⁻	mg/L	34	782	161,04	156,88
Ca ²⁺	mg/L	58	421	127,50	74,14
Mg ²⁺	mg/L	3	68	37,00	16,55
Na ⁺	mg/L	9	281	58,31	50,82
NO ₃ ⁻	mg/L	11	105	51,69	22,81
K ⁺	mg/L	1	8	3,08	1,44
Ph	-	7,5	8,4	7,86	0,22
Ce.	μS/cm	600	2800	1090	450

- Température** : Paramètre jouant un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique, elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur ou en surface. L'augmentation de la température est en fonction de la profondeur (1°C pour 33m) (DAHALI S., 2013). Les eaux de l'aquifère alluvionnaire du fossé de Sebduou enregistre des températures oscillant entre 14,3 et 18,6 °C.
- L'ion Calcium (Ca²⁺)** : Les résultats des analyses des eaux de la région de Sebduou ont montré que la présence des ions Ca²⁺ dans les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ainsi que les formations gypseuses (Trias) (CaSO₄). Les teneurs de l'ion Ca²⁺ sont comprises entre 58 mg/L comme valeur minimale et atteignent une valeur maximale de 421 mg/L avec un écart type significatif de l'ordre 74,14 mg/L, alors plus que 84% des eaux ont une teneur inférieure à la concentration maximale admissible (C.M.A) (200 mg/L) (comparaison aux normes algériennes données en annexe 6).

Chapitre III : Hydrochimie

- **L'ion Magnésium (Mg^{+2})** : Les normes fixent sa concentration maximale à 150 mg/L valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable. Dans notre étude la teneur de cet élément est comprise entre 3 et 68 mg/L avec un écart type de l'ordre 16,55 mg/L, aucun point ne dépasse la CMA.
- **L'ion Sodium (Na^+)** : La teneur de l'ion Sodium est toujours inférieure à la CMA (200 mg/L) dans les eaux analysées sauf pour le point P12 (281) où elle dépasse la CMA, la concentration est comprise entre 9 et 108 mg/L avec un écart type assez élevé de l'ordre 50,82 mg/L.
- **L'ion Potassium (K^+)** : Malgré son abondance dans certaines roches magmatiques et sédimentaires (Argile – Grès), l'ion Potassium est généralement peu concentré dans les eaux souterraines, sa teneur dans l'eau naturelle est constante et ne dépasse pas habituellement les 15mg/L, Les normes fixent sa concentration maximale à 20 mg/L. Les analyses montrent que les eaux de l'aquifère du fossé de Sebdu présentent des teneurs comprises entre 1 et 8 mg/L, avec un écart type égal à 1,44 mg/L.
- **L'ion Bicarbonate (HCO_3^-)** : Se forme à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux météoriques qui se chargent en CO_2 libre lors de leur percolation à travers le sol.



Dans les eaux de la nappe les concentrations varient entre 197 et 458 mg/L.

- **L'ion Chlorure (Cl^-)** : Quelque soit la lithologie, les teneurs en ion (Cl^-) sont généralement faibles. Dans les aquifères libres la concentration en Cl^- est directement liée à la teneur en chlorures des précipitations. Les normes fixent sa concentration maximale à niveau guide 200 mg/L. Dans les eaux de la nappe alluvionnaire de Sebdu les concentrations moyennes en ions chlorures observées sont de l'ordre 161,04 mg/L avec des teneurs très élevées (de 34 à 782 mg/L).
- **Les ions Sulfates (SO_4^{-2})** : La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 100 à 200 mg/L, mais ce chiffre peut être largement dépassé (jusqu'à 1000 mg/L) dans les zones contenant du Gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (DAHALI S., 2013). Les normes fixent 400 mg/L comme CMA. Dans la région de Sebdu leur teneur est conforme avec les normes allant de 24 à 336 mg/L.

Chapitre III : Hydrochimie

- **Les ions Nitrates (NO_3^-)** : Représentent la forme la plus oxygénée de l'Azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier (DEBIECHE T. H., 2002, P. 66). Les teneurs en nitrates observées sont de l'ordre de 11 à 105 mg/L, cependant la moitié des échantillons ont des valeurs supérieures aux normes (50 mg/L). Les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés, en second lieu des rejets des stations d'épuration (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des traitements de dénitrification avant rejet dans le milieu naturel.
- **Le résidu sec** : il varie entre 420 à 2600 mg/L, il est fonction des teneurs des éléments chimiques contenus dans une eau.

IV. Faciès des eaux souterraines (Diagramme de Piper) :

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrochimie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on a utilisé le diagramme de Piper.

La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (fig. III.4.a et b) montre que la moitié des échantillons se situent sur le pôle caractérisant le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien.

Tableau III.2 : Classification hydro-chimique des eaux

Faciès chimique	Formule caractéristique	Points d'eau
Chloruré et sulfaté calcique et magnésien	$r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$ $r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$ $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$	P5 - P9 - S10 - P11 - P14 - P20 - P21
Chloruré calcique et magnésien	$r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$ $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-}$ $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$	S8 - P10 - P16 - P17 - P18 -
Chloruré calcique	$r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$	P12
Bicarbonaté calcique et magnésien	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$ $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+$	S1 - S6 - S7 - S9 - S12 - S14 - P4 - P6 - P15 - P22 - P23 - P24 - P26

Chapitre III : Hydrochimie

Les figures (III.4.a et b) reproduisent la position des eaux dans le diagramme de Piper. Cette représentation permet de comparer aisément les échantillons d'eau. Les eaux de la nappe de l'aquifère alluvionnaire du fossé de Sebdou montrent dans le losange majoritairement 03 classes hydrochimiques : nous avons les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes qui dominent sur toute la nappe, les eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (se localisent généralement au Nord, au centre et vers l'exutoire de l'aquifère) et un seul échantillon occupe la classe chlorurée calcique (Sud-Est de la nappe).

Un essai de cartographie de faciès hydrochimiques des eaux de la nappe étudiée a permis d'établir la figure III.5 sur laquelle sont représentés les faciès décelés du diagramme de Piper et ceci en fonction de la répartition des points d'eau.

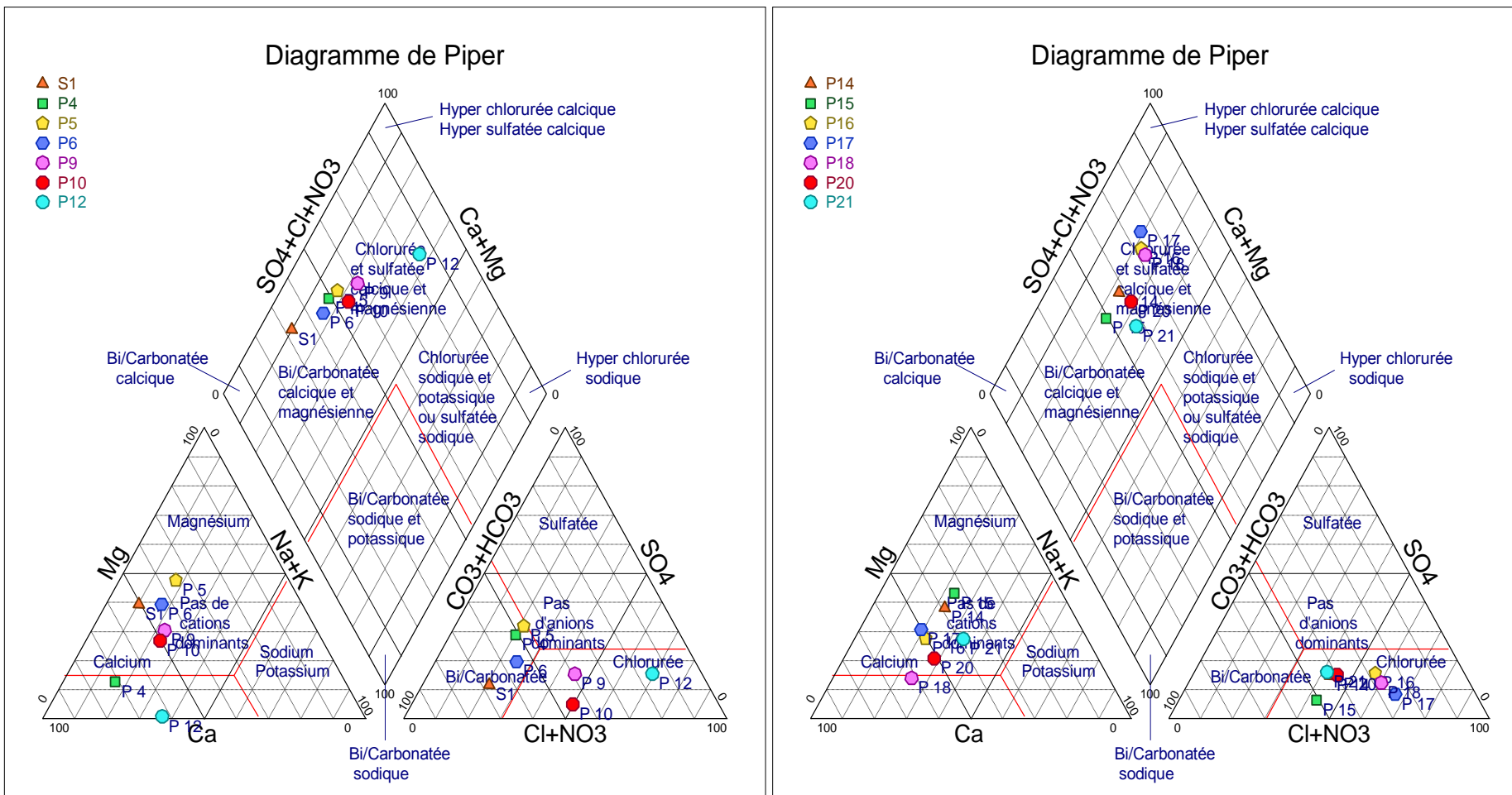


Figure III.4.a : Représentation des faciès hydro-chimiques selon le Diagramme de Piper (S1, P4, P5, P6, P9, P10, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P20)

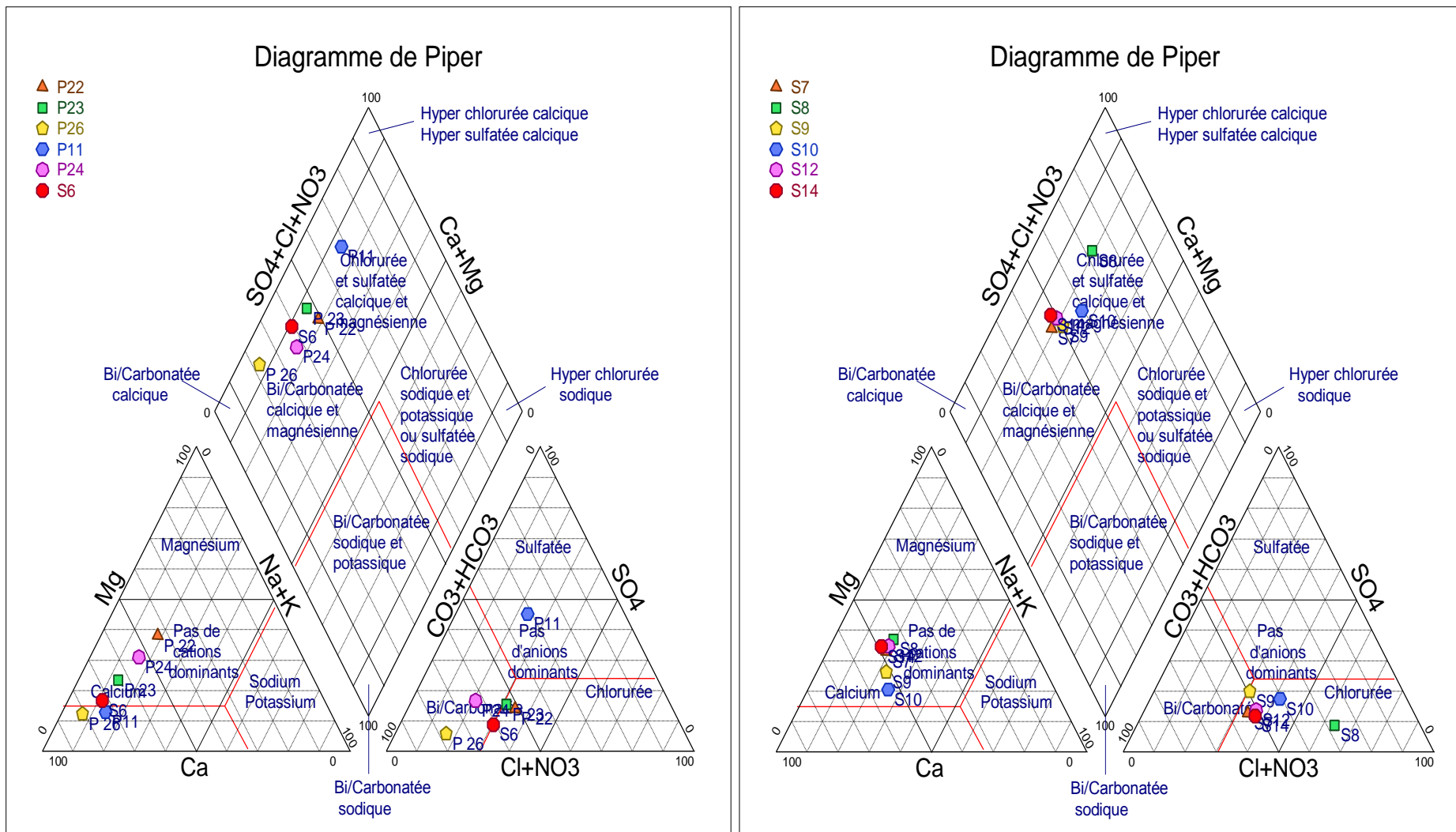


Figure III.4.b : Représentation des faciès hydro-chimiques selon le Diagramme de Piper (P21, P22, P23, P26, P11, P24, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14)

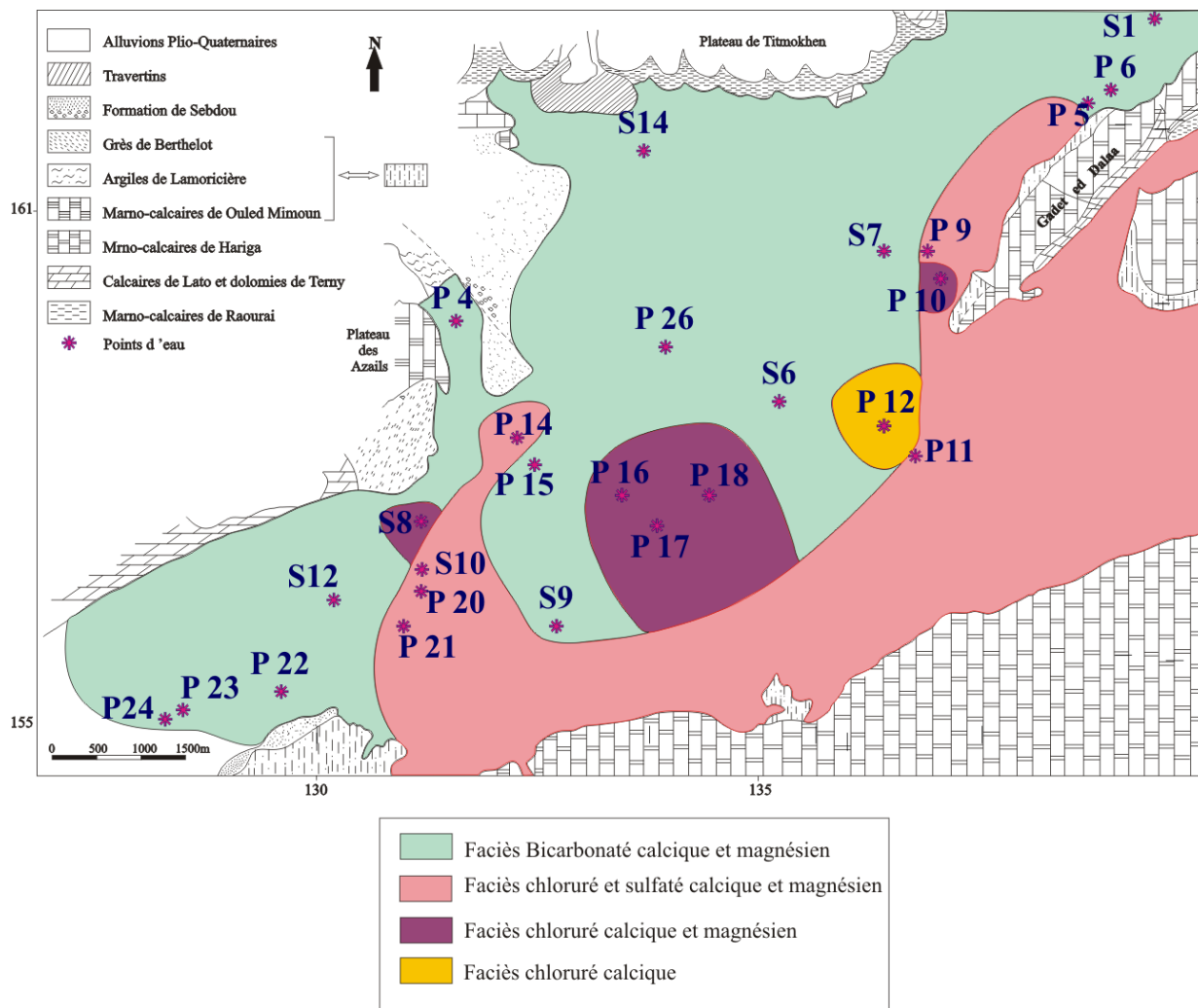


Figure III.5 : Cartographie des faciès hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale du fossé de Sebdu

V. Etude de la minéralisation :

La minéralisation d'une eau évolue de la même manière que sa conductivité donc il y a une relation proportionnelle entre ces deux paramètres. La variation de ce paramètre au niveau des différents points d'eau de la nappe du fossé de Seb Dou est illustrée sur la figure III.6 :

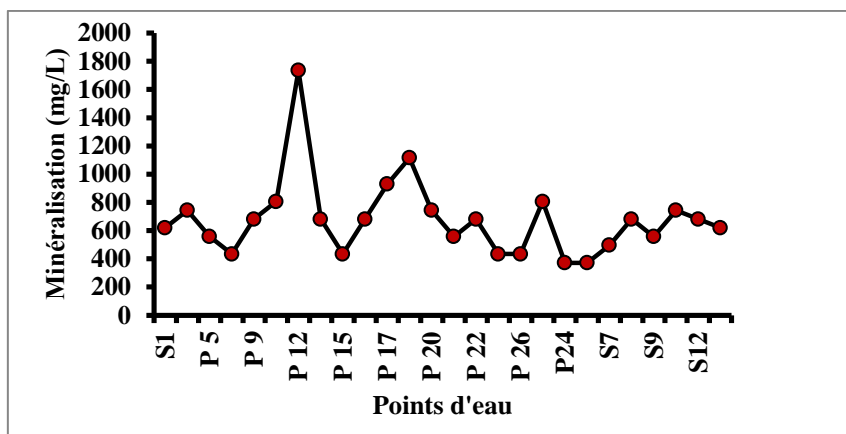


Figure III.6 : Variation de la minéralisation des points d'eau

Cette figure montre que les valeurs de la minéralisation sont comprises entre 400 et 1200 mg/L sauf un seul point qui porte une valeur un peu élevée de 1800 mg/L ceci est dû à la présence de forte concentration en éléments chimiques.

VI. Etude de la conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

La conductivité mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

Le tableau suivant montre la gamme des conductivités électriques mesurées sur différents échantillons et leurs minéralisations correspondantes.

Tableau III.3: Classification d'une eau en fonction de sa conductivité électrique

Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Correspondance
80 à 100	Eau peu minéralisée
300 à 500	Eau moyennement minéralisée
1000 à 3000	Eau saline
>3000	Eau de mer

La figure III.7 montre que les valeurs de conductivité électrique varient globalement entre 600 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui caractérise les eaux par une minéralisation moyenne sauf les puits P12 et P18 qui se caractérisent par des valeurs plus élevées respectivement 2800 et 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ceci est du probablement aux fortes concentrations en ions chlorures.

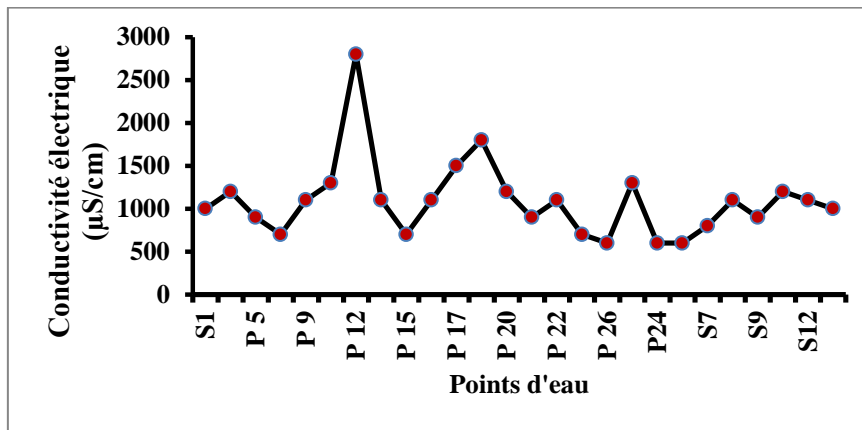


Figure III.7: Variation de la conductivité électrique des différents points d'eau

Si on compare les figures III.6 et III.7 on remarque que les variations sont pratiquement les mêmes étant donné que le calcul de l'un dépend de l'autre.

VII. Etude du potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[\text{H}^+]$ présent dans l'eau ou les solutions. Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions (H^+) comme le montre la relation suivante : **$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$** .

Le pH mesure l'activité en ions HO_3^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples dont la température et l'origine de l'eau.

L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7.

Tableau III.4 : Classification des eaux selon le pH (Rodier, 2009)

pH	Correspondance
pH < 5	Acidité forte
pH = 7	Neutralité (eau pure)
7 < pH < 8	Neutralité rapprochée (eau de surface)
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense

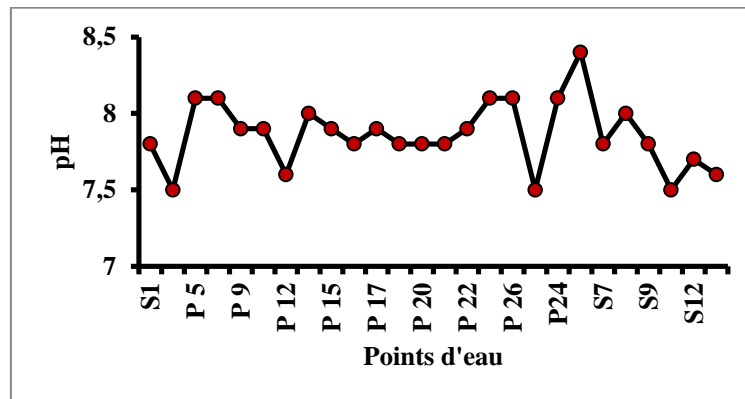


Figure III.8 : Variation du pH des points d'eau

La plage des valeurs de pH est comprise entre 7,5 et 8,4 avec une moyenne de 7,86. Les variations de pH sont assez homogènes (coefficients de variation égale à 1,12). Donc les eaux de la nappe du fossé de Sebdu sont rangées dans la gamme correspondante aux eaux souterraines et au même temps leur pH ressemble à celui des eaux de surface (tableau III.4) du fait de la faible profondeur de l'aquifère dans certains endroits.

En général, les eaux sont alcalines. Ceci est lié à la nature des roches présentes dans la région et qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante gréseuse carbonatée importante.

VIII. Cartographie hydro-chimique (Carte d'iso-teneurs) :

Les résultats d'analyses chimiques des eaux de la nappe du fossé de Sebdu (cations et anions) permettent d'établir des cartes d'iso-teneurs de chaque élément qui sont données par les figures suivantes (III.9.a, b, c, d) :

Chapitre III : Hydrochimie

- **Cations :**

Sur la carte de variation d'ion calcium, nous remarquons que les fortes concentrations sont observées au Sud-Est de la nappe, et elles diminuent de plus en plus que l'on se dirige vers l'exutoire. Ces concentrations sont dues probablement à l'alimentation de la nappe par les eaux des formations adjacentes (Jurassique carbonaté). Leur diminution s'explique par l'échange ionique des eaux d'alimentation avec celles de la nappe qui sont considérées comme pauvre en ion calcium par rapport aux eaux d'alimentation.

Concernant la répartition de l'ion magnésium, nous remarquons qu'il est globalement homogène sur l'étendue de la nappe. Il est dû à la dissolution des dolomies des formations adjacentes.

La carte de variation d'ion sodium et d'ion potassium montre la même évolution que celle d'ion calcium.

- **Anions :**

Pour les ions chlorures, nous remarquons que les concentrations élevées se localisent au Sud-Est et au centre de la nappe. Cette variation évolue de la même manière que celle d'ion sodium et l'ion potassium qui peut être due à la présence de minéraux salifères (halite et/ou la sylvite).

La carte de variation des ions sulfates montre que les fortes concentrations sont observées au Sud-Est, les valeurs sont également peu élevées au niveau de l'exutoire. Ceci est dû probablement à la présence de minéraux sulfatés dans les argiles et les marnes.

Les ions bicarbonates montrent une répartition croissante dans le sens d'écoulement avec un maximum observé au centre de la nappe, leur présence est due à l'alimentation de la nappe par des eaux provenant des aquifères carbonatés adjacents.

La variation des ions nitrates montre des valeurs un peu élevées par rapport à celle fixée par les normes algériennes (50 mg/L). Les concentrations les plus élevées sont rencontrées au Sud-Est et sont supérieures à la norme, chose qui nous pousse à penser à une contamination de la nappe par les engrais utilisés en agriculture et/ou rejet des eaux des stations d'épuration.

Chapitre III : Hydrochimie

Les cartes de variation de la minéralisation et celle de la conductivité électrique viennent affirmer les résultats précités, elles montrent également que les valeurs les plus élevées sont rencontrées dans la zone Sud-Est de la nappe du fossé de Sebdu.

En somme, nous remarquons globalement que les valeurs maximales sont enregistrées au Sud-Est de la nappe, et nous supposons que ceci revient essentiellement à l'emplacement et la géométrie de l'aquifère (qui peut être moins épais à cet endroit) et ou que la nappe est libre donc vulnérable aux agents atmosphériques (évaporation) et anthropiques (sources de pollution).

Chapitre III : Hydrochimie

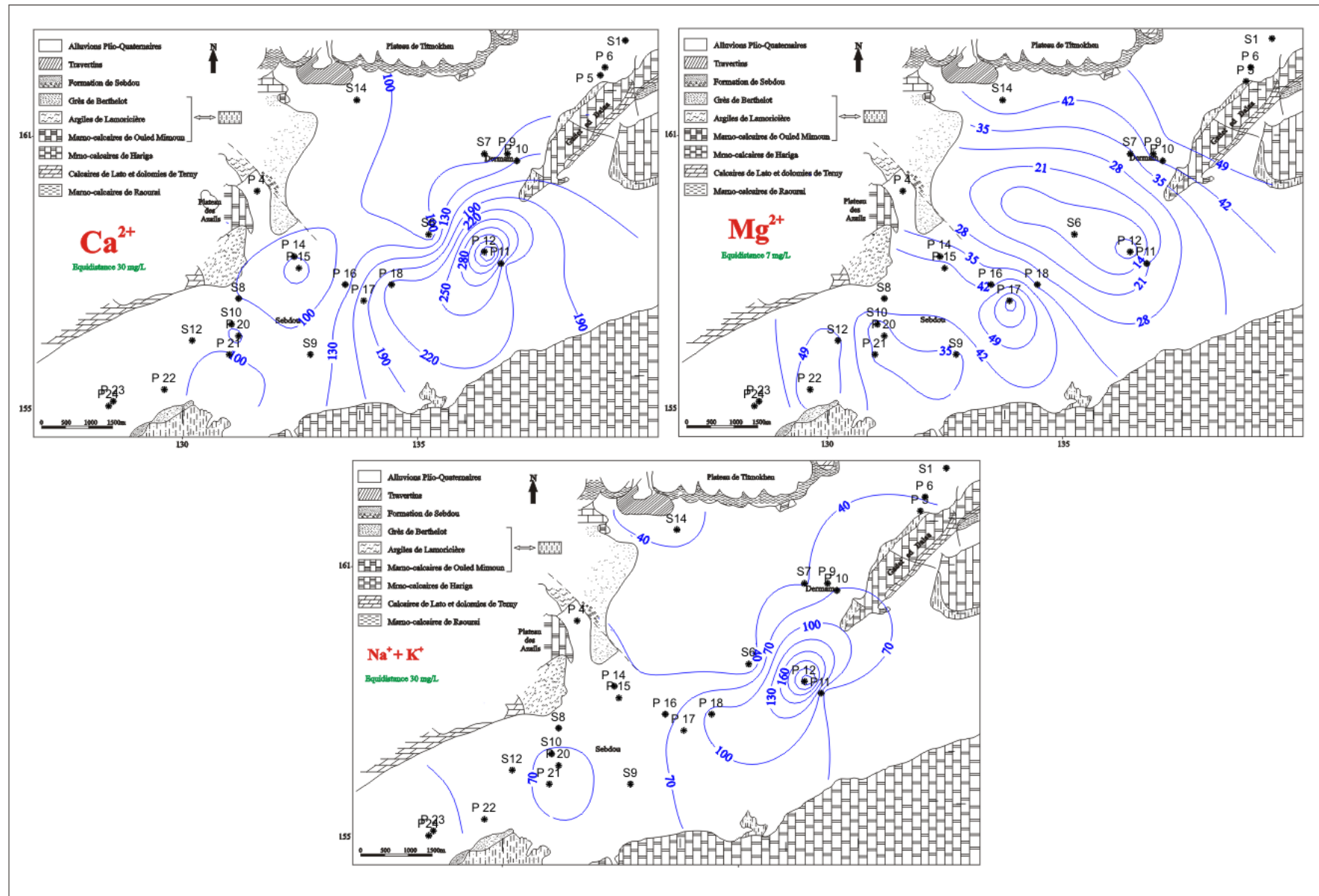


Figure III.9.a : Carte d'iso-teneurs en cations

Chapitre III : Hydrochimie

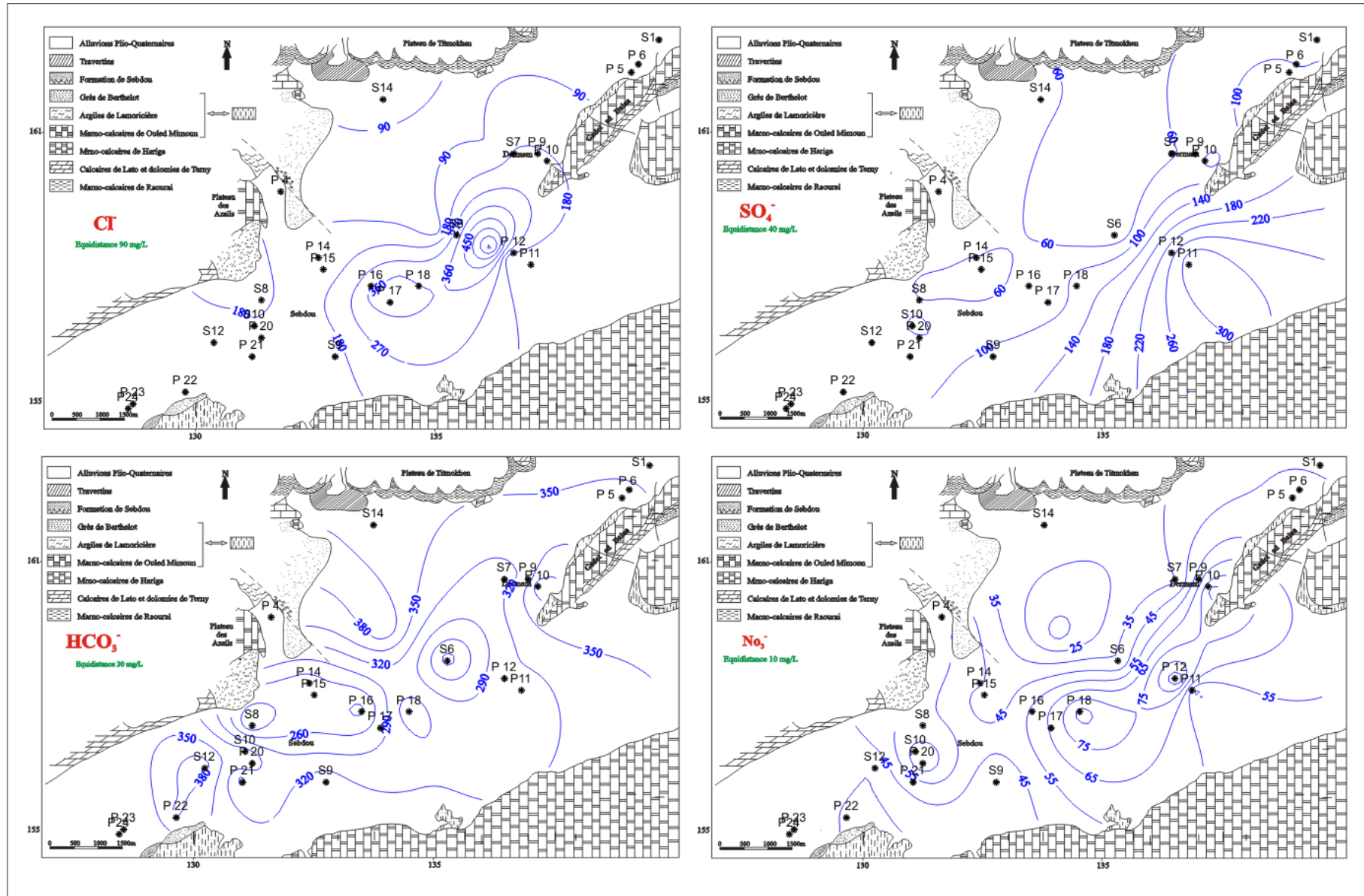


Figure III.9.b : Carte d'iso-teneurs en anions

Chapitre III : Hydrochimie

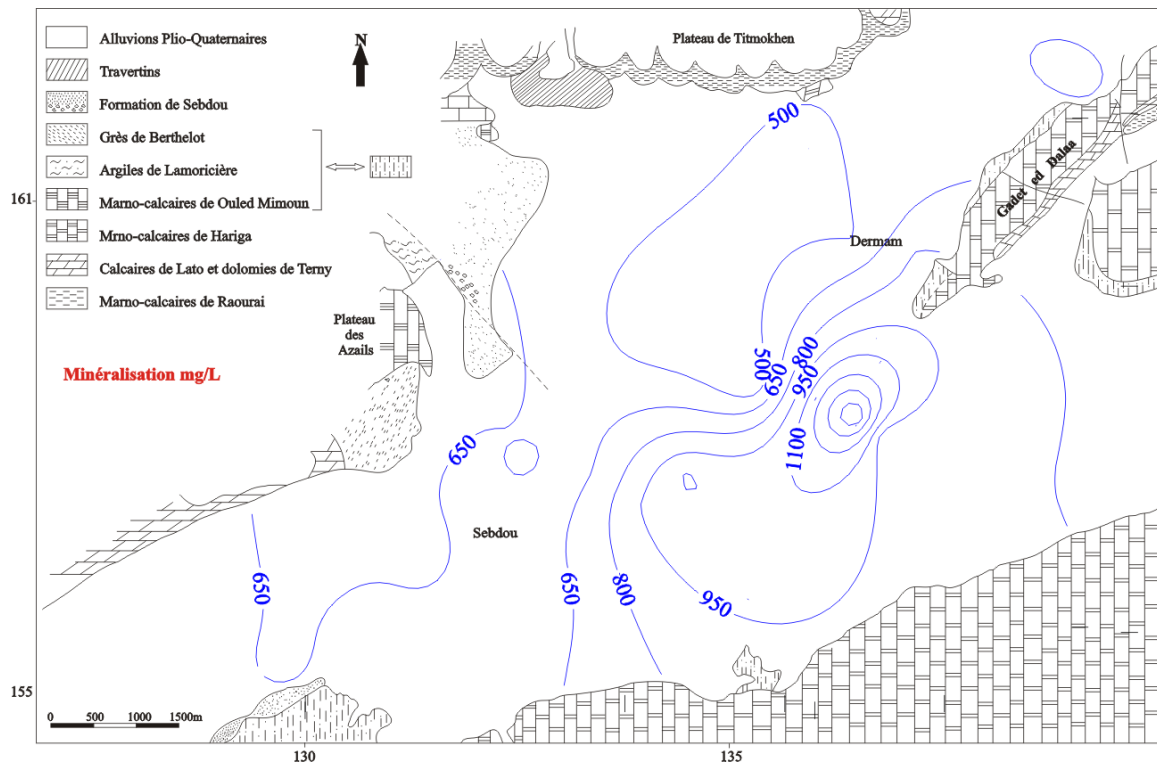


Figure III.9.c : Carte de variation de la minéralisation

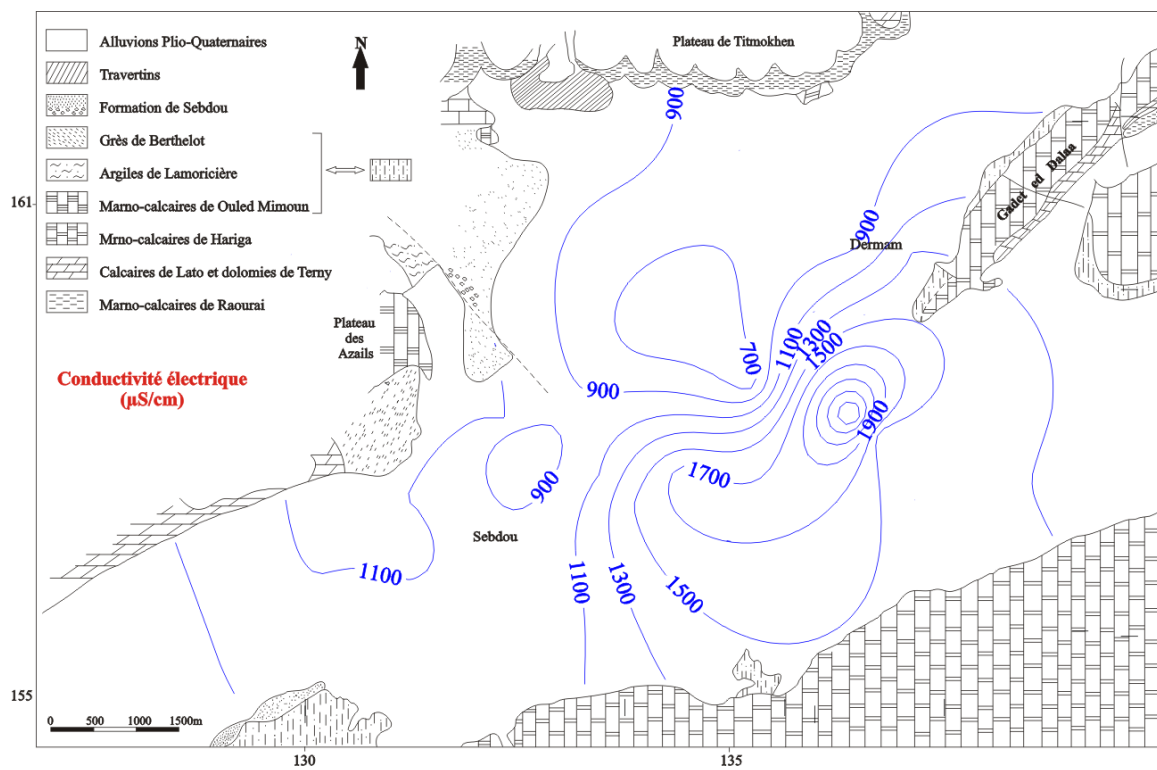


Figure III.9.d : Carte de variation de la conductivité électrique

IX. Qualité des eaux à la consommation humaine et à des fins d'irrigation :

Lors de l'utilisation de l'eau hors de son milieu, sa qualité est souvent mentionnée, elle est fonction du type d'usage. Ainsi, les exigences relatives à la qualité sont différentes d'une utilisation à l'autre. Dans ce travail, seule la qualité d'eau destinée à la consommation humaine et aux activités agricoles est soulevée. Dans cette optique, nous allons profiter des données analytiques disponibles pour évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et aux activités agricoles. En effet, la quasi-totalité des eaux mobilisables dans la région sont utilisées pour ces deux activités.

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture. La mauvaise qualité des eaux peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels.

A. Potabilité des eaux :

L'appréciation de la qualité des eaux de la zone étudiée se fait à partir des normes de qualité basées sur les paramètres physico-chimiques, chimiques, bactériologiques et organoleptiques. A chaque paramètre est affecté une valeur guide ou idéale et une valeur maximale admissible (CMA). On parle de non-conformité à la norme lorsque cette dernière est dépassée. Les normes de qualité peuvent être légèrement différentes d'une région à une autre, d'un pays à un autre et dépendent des conditions environnementales, socio-économiques et culturelles locales ou régionales.

Dans ce travail, seule la potabilité de point de vue chimique a été prise comme critère de potabilité tout en se référant aux normes algériennes.

Le tableau III.5 montre que : Dans la nappe du fossé de Sebdou nous avons des eaux potables et de bonne qualité et d'autres signalées comme non potables (qui se localisent au Sud-Est et au Sud de la nappe) (certaines concentrations en éléments chimiques sont élevées et dépassent les normes), ce qui impose un traitement antérieur avant leur utilisation.

La représentation des points d'eau sur un diagramme de Schöeller Berkallof (fig. III.10) a montré que tous les points se rangent dans la classe de potabilité sauf le point P12 qui se range dans la classe médiocre.

Chapitre III : Hydrochimie

Pts d'eau	X	Y	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	pH	R. s (mg/L)	Remarque
Normes			200	150	200	20	500	400	50	6,5 - 8,9	2000	Potable
S1	139,6	163,45	102	48	23	1	61	62	35	7,8	680	Potable
P 4	131,6	159,8	176	19	44	3	54	168	57	7,5	1000	non Potable
P 5	139	162,15	80	66	44	3	61	169	39	8,1	760	Potable
P 6	139,1	162,45	82	45	35	3	54	91	57	8,1	640	non Potable
P 9	137	160,6	120	47	64	3	182	101	66	7,9	780	non Potable
P 10	137,2	160,45	136	44	69	3	206	34	90	7,9	900	non Potable
P 12	136,5	158,5	421	3	281	4	782	254	105	7,6	2600	non Potable
P 14	132,4	158,4	68	40	44	3	118	67	46	8	760	Potable
P 15	132,5	158,15	58	45	44	3	101	24	36	7,9	620	Potable
P 16	133,5	157,8	120	40	58	4	226	96	58	7,8	940	non Potable
P 17	133,9	157,45	184	68	78	4	384	72	67	7,9	1380	non Potable
P 18	134,5	157,8	240	33	108	4	381	120	90	7,8	1700	non Potable
P 20	131,2	156,7	138	34	83	8	185	103	74	7,8	900	non Potable
P 21	131	156,3	80	34	78	4	128	82	51	7,8	640	non Potable
P 22	129,6	155,55	108	57	51	3	135	82	30	7,9	800	Potable
P 23	128,5	155,3	94	21	21	2	47	58	70	8,1	480	non Potable
P 26	134	159,5	98	9	9	1	44	24	11	8,1	580	Potable
P11	136,86	158,25	206	22	44	3	104	336	43	7,5	1240	Potable
P24	128,4	155,2	68	24	21	4	34	48	18	8,1	440	Potable
S6	135,3	158,876	86	12	14	2	41	24	37	8,4	420	Potable
S7	136,5	160,6	84	35	37	2	94	58	35	7,8	580	Potable
S8	131,2	157,5	102	52	51	1	229	48	57	8	1080	non Potable
S9	132,75	156,3	106	33	51	3	101	106	35	7,8	680	Potable
S10	131,05	156,95	130	30	69	5	155	110	70	7,5	880	non Potable
S12	130,2	156,6	112	51	51	2	145	86	35	7,7	840	Potable
S14	133,75	161,75	116	50	44	2	135	67	32	7,6	820	Potable

Tableau III.5 : Potabilité chimique des eaux de la nappe du fossé de Sebdu

Chapitre III : Hydrochimie

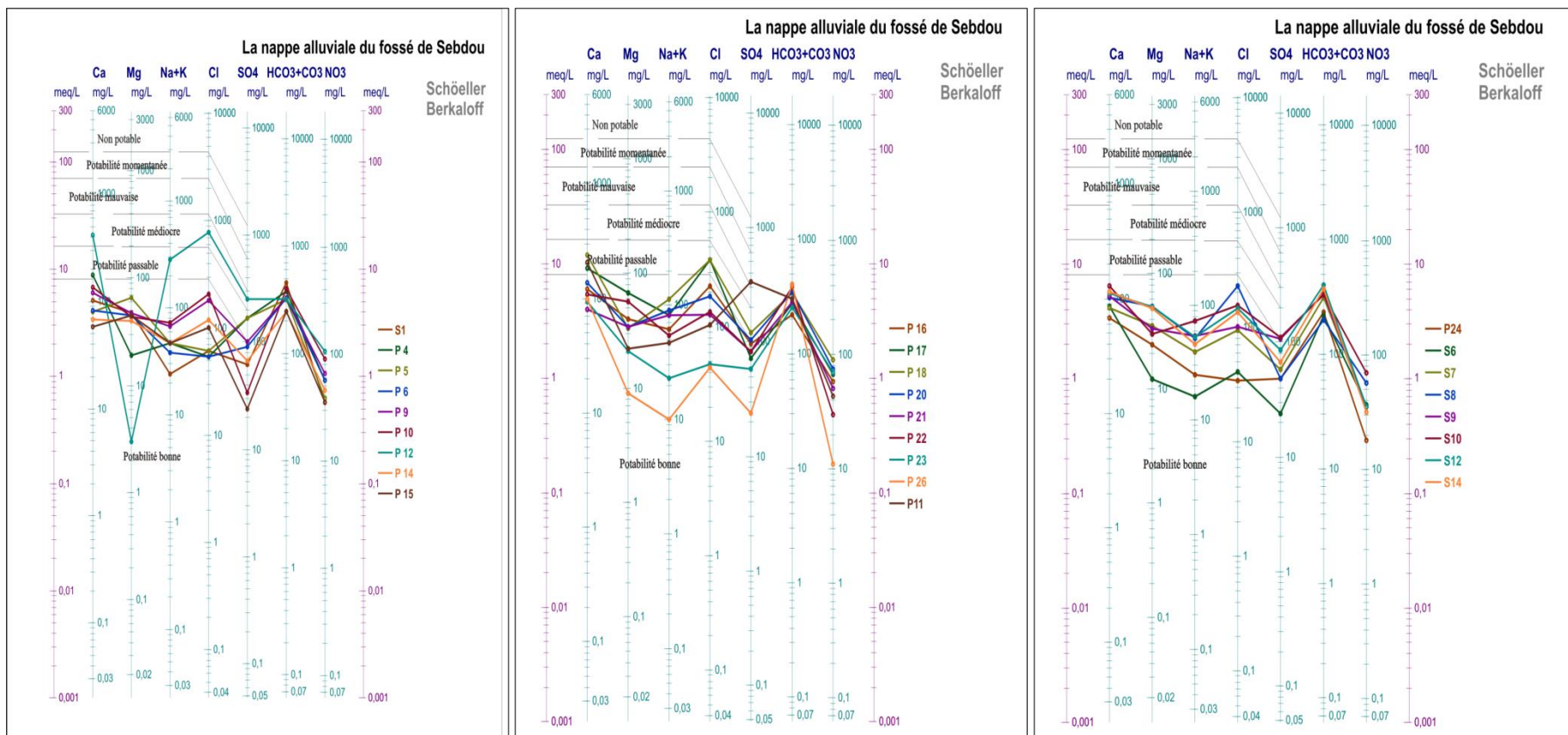


Figure III.10 : Représentation des points d'eau sur le Diagramme de Schöeller Berkalfoff

Chapitre III : Hydrochimie

B. Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation du sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie (GOUAIDIA L. et *all.*, 2012).

La région de Sebdou est caractérisée par un climat semi-aride, où la salinisation et l'alcalinisation des eaux sont les principaux risques que peuvent encourir les eaux destinées à l'irrigation. Dans le but d'évaluer ces deux risques, les résultats des analyses physico-chimiques ont été projetés sur le digramme Riverside. Sur cette représentation graphique, le risque de salinité est estimé par la conductivité exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Alors que le risque d'alcalinisation des sols est quantifié par le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio).

Pour déterminer la qualité des eaux de la nappe du fossé de Sebdou à des fins d'irrigation, nous avons eu recours au calcul de quelques indices qui peuvent donner des indications pertinentes sur la qualité ainsi que l'usage auquel sont destinées ces eaux.

- L'indice Kelly's Ratio (K.R.) :

Cet indice est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ (meq/L) et la somme de Ca^+ (meq/L) et Mg^+ (meq/L). Il est parmi les indices constituant une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Une grande concentration en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation, cet indice est donné par la relation suivante :

$$K. R. = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

Si : **K.R.** < 1 : l'eau est considérée comme bonne pour l'irrigation.

Si : **K.R.** > 1 : l'eau est mauvaise pour l'irrigation (elle est déconseillée).

Chapitre III : Hydrochimie

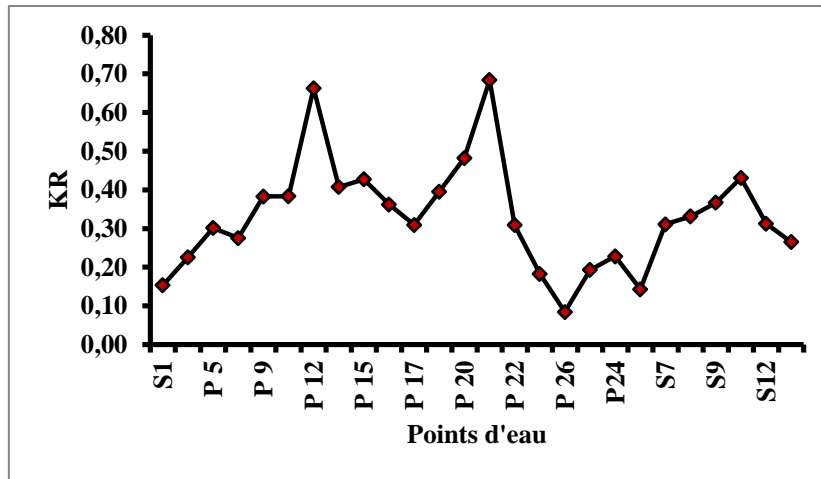


Figure III.11 : Valeurs des KR

Le calcul de l'indice de Kelly's Ratio montre des valeurs inférieures à 1 ce qui confère à ces eaux une bonne qualité vis-à-vis de son utilisation en irrigation.

- **Pourcentage de Sodium (% Na⁺) et classification des eaux par la méthode de Wilcox :**

Le % Na⁺ peut être calculé par la relation suivante :

$$\% \text{Na}^+ = \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} 100$$

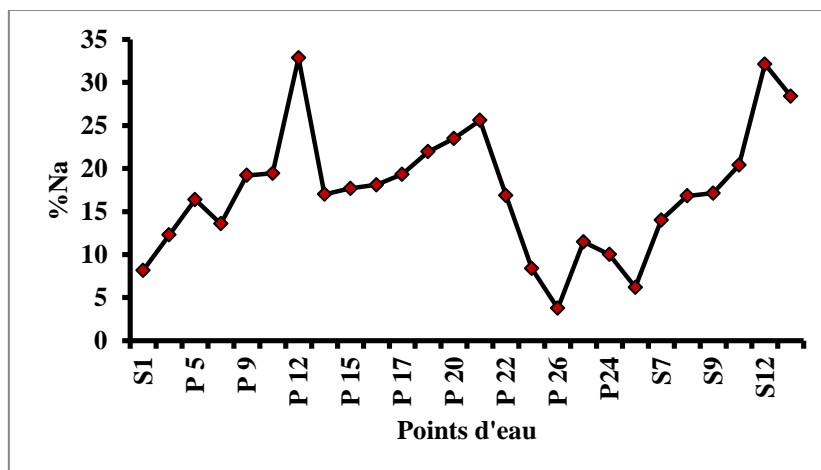


Figure III.12 : Variation du % Na⁺

La variation du pourcentage de sodium est comprise entre un minimum de 3 et un maximum de 34%, les résultats correspondant au calcul de cet indice sont donnés au tableau III.6 :

Chapitre III : Hydrochimie

Tableau III.6 : Classification des eaux en fonction du % Na⁺ (in ALI BEL HADJ Y. & CHOUAKI A., 2013)

Paramètres	% Na ⁺	Résultats
Classe 1 : Très bonne	< 20	S1 - P4- P5- P6- P9- P10- P14 P15- P16- P17- P22- P23- P26- P11 P24- S6- S7- S8- S9
Classe 2 : Bonne	20 – 40	P12- P18- P20- P21- S10- S12 S14
Classe 3 : Admissible	40 – 60	-
Classe 4 : Médiocre	60 – 80	-
Classe 5 : Mauvaise	>80	-

Le calcul du pourcentage en sodium montre que les points d'eau sont rangés dans les classes 1 et 2 c.à.d. que leur qualité est bonne pour l'irrigation voir même très bonne pour certains points d'eau.

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium (in DAHALI S., 2013). Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti à un diagramme donnant la classification des eaux en fonction du pourcentage en Sodium et de la conductivité électrique calculée (figure III.13).

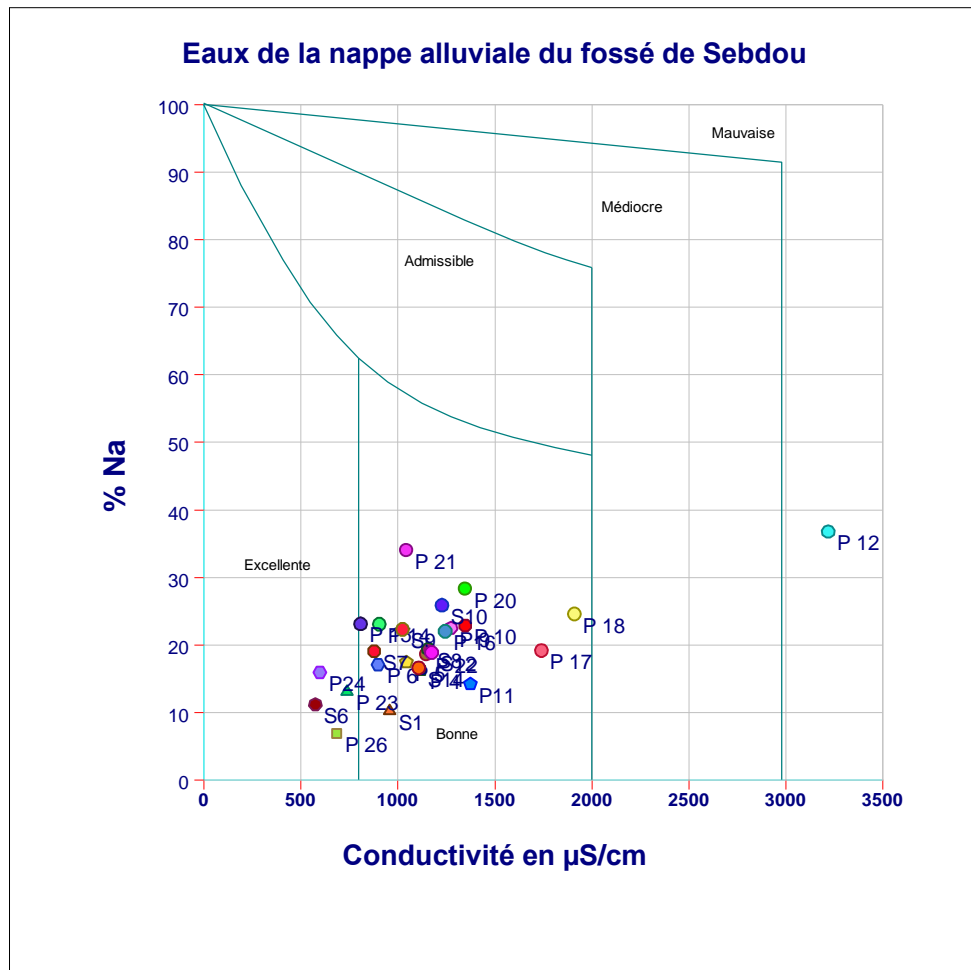


Figure III.13 : Diagramme de Wilcox

Le diagramme de Wilcox montre que la quasi-totalité des points d'eau sont dans les normes : 4 points d'eau sont rangés dans la classe excellente, 21 points dans la classe bonne et uniquement un seul point dans la classe mauvaise.

- **Sodium Absorption Ratio (S.A.R.) ou Pouvoir Alcalinisant:**

Le sodium est un élément des bases alcalines, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, **Riverside** a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale (*in* DAHALI S., 2013).

La toxicité en sodium a lieu avec son accumulation dans les tissus des plantes. Une augmentation du SAR des eaux d'irrigation augmente celle des solutions du sol et de ce fait le sodium échangeable du sol (Isaac St. & al. 2009 *in* MOUDJIB A., 2010). Ce dernier coefficient est calculé ainsi :

Chapitre III : Hydrochimie

$$S.A.R. = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+})/2}}$$

- **S.A.R. < 10** : Eaux excellentes (eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols).
- **10 ≤ S.A.R. ≤ 18** : Eaux bonnes (eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation).
- **18 ≤ S.A.R. ≤ 26** : Eaux convenables (eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation)
- **S.A.R. > 26** : Eaux médiocres (eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort).

Les variations du S.A.R. des différents points d'eau sont données par la figure 3.14 :

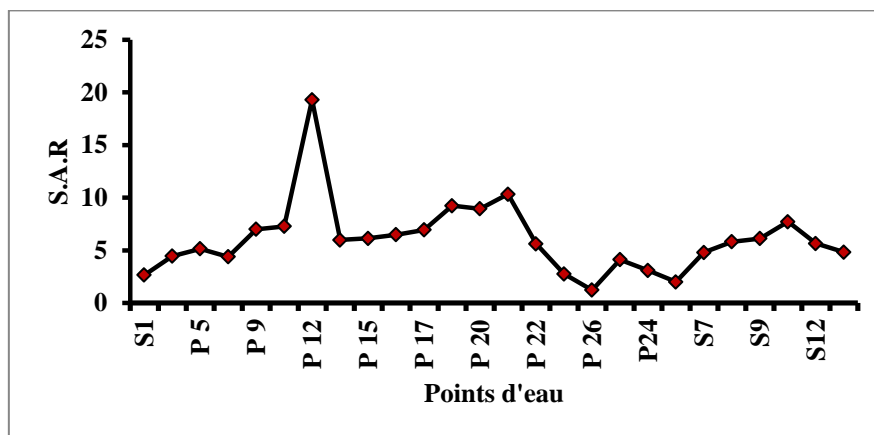


Figure III.14: Variations du S.A.R.

Les variations du S.A.R. des différents points d'eau montrent qu'ils sont inférieurs à la valeur 18, elles sont qualifiées comme bonnes pour l'irrigation sauf un seul point (P12) qui a un S.A.R. supérieur à 18 avec une valeur de 19,30 donc une qualité convenable avec un danger d'alcalinisation.

Le diagramme de Richards donne une classification des eaux en fonction du S.A.R. et de la conductivité électrique calculée (figure III.15).

Le S.A.R. permet d'évaluer le risque d'alcalinisation du sol par l'eau d'irrigation, selon le risque croissant, les eaux sont classées de S1 à S4. Le tableau suivant montre la désignation de différentes classes de ce dernier.

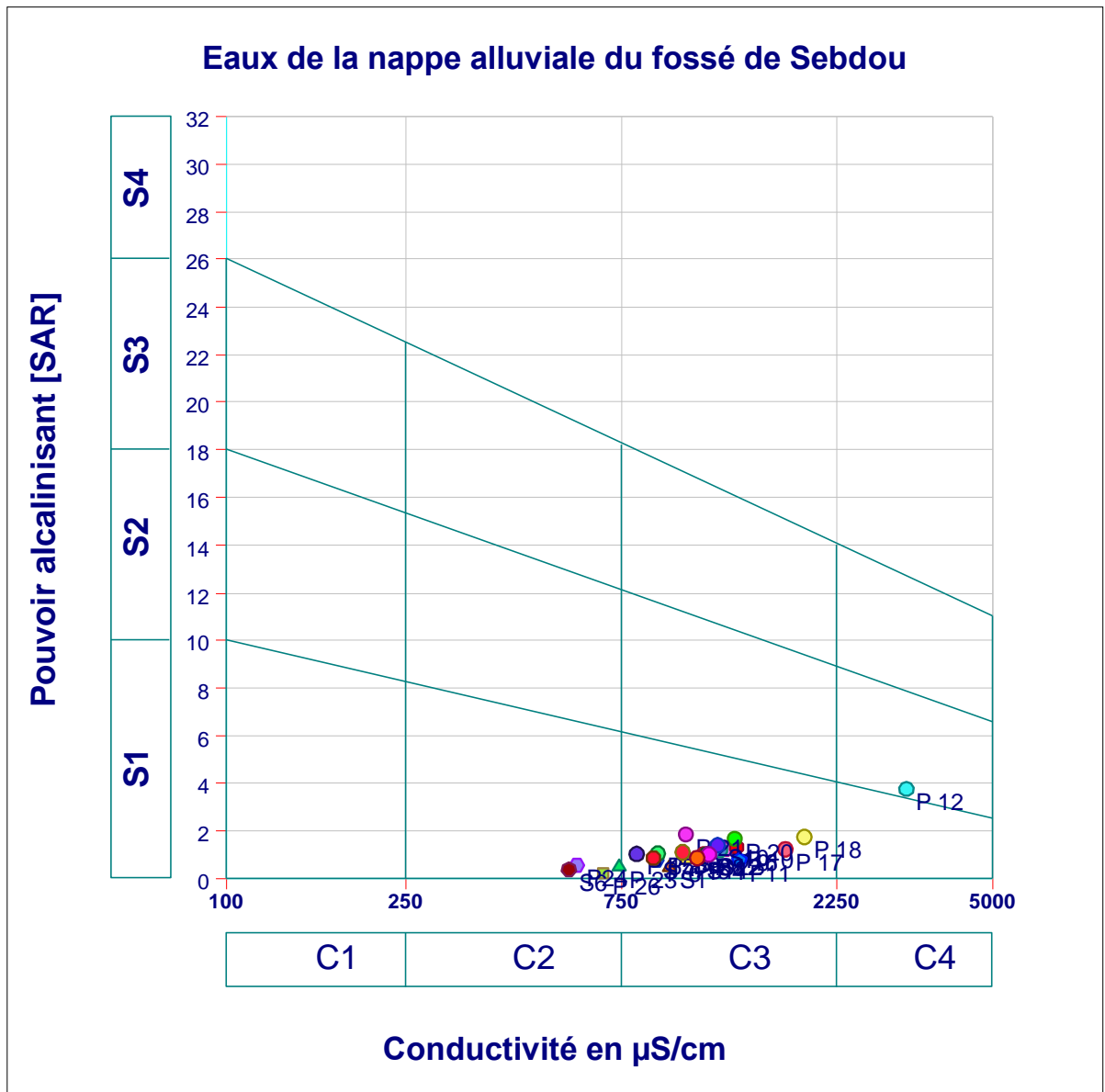


Figure III.15 : Diagramme de Richards

Les résultats tirés de ce diagramme sont mentionnés au tableau III.7.

Chapitre III : Hydrochimie

Tableau III.7 : Classification de Richards (*in* DAHAILI S., 2013)

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation	Points d'eau
1	Excellente	C1 – S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.	S6- P23 – P24 – P26
2	Bonne	C2 – S1 C2 – S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.	-
3	Admissible	C3 – S1 C3 – S2 C2 – S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.	-P18- P20- P21- S10- S12 - S14 S1 - P4- P5- P6- P9- P10- P14 P15- P16- P17- P22 - P11 -- S7- S8- S9
4	Médiocre	C4 –S1 C4 – S2 C3 – S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols biens drainés et lessivés.	-P12-
5	Mauvaise	C3 – S4 C4 – S3 C4 – S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certaines conditions : sol très perméable, bon lessivage et plantes tolérantes très bien au sel.	-

Conclusion :

L'étude hydro-chimique montre l'existence de trois classes importantes : les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes (faciès prédominant), les eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (au centre et vers l'exutoire), et un seul échantillon appartient à la classe Chlorurée calcique (Sud-Est).

Les cartes d'iso-teneurs montrent que les concentrations les plus élevées sont rencontrées au Sud-Est de la nappe comme nous pouvons le voir sur la carte de répartition de la minéralisation ou celle de la conductivité électrique.

Chapitre III : Hydrochimie

L'acquisition de la minéralisation des eaux au niveau de la plaine du fossé de Sebdou est dépendante, en premier lieu de la lithologie du fossé qui est caractérisé par une hétérogénéité. La discrimination de ces différentes origines peut s'avérer utile dans un contexte où les nitrates représentent un indicateur de la qualité des eaux souterraines.

Le test des eaux pour des fins d'irrigation montre qu'elles sont globalement utiles pour cet usage.

La confrontation des analyses chimiques des différents points d'eau avec les normes chimiques de potabilité des eaux algériennes montrent que la majorité des eaux sont consommables par l'être humain et que presque la moitié des points d'eaux sont caractérisés comme non potables (ces points d'eau se situent au Sud et au Sud-Est de la nappe du fossé de Sebdou) et ceci à cause des teneurs un peu élevées des nitrates.

Les eaux de la nappe alluviale du fossé de Sebdou sont destinées à l'irrigation de terres agricoles. En ce qui concerne la consommation humaine, il est privilégié de les traiter avant leur consommation pour lutter contre tout type de toxication ou de maladies.

Il est nécessaire de contrôler la qualité de ces eaux continuellement et de détecter l'origine de cet enrichissement en éléments désagréables (sources de pollution) et d'essayer de les éliminer ou au moins les réduire.

L'utilisation des engrais est un facteur major dans la pollution de ce type de nappe pour cela il est recommandé de sensibiliser les Fellahs de les utiliser en quantités adéquates et aux bons moments.

Les eaux usées domestiques ou industrielles rejetées dans la nature doivent subir un traitement préalable avant leur rejet.

CHAPITRE IV:

Traitement statistique
des
données
hydrochimiques

Introduction :

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) est l'une des méthodes d'analyse de données multi-variées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel n observations (des individus, des produits, ...) sont décrites par p variables (des descripteurs, attributs, mesures, ...), si p est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives multi-variées ou même une matrice de corrélation (KAOUANI A. et al., 2007).

L'Analyse en Composantes Principales peut être considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'informations soit conservée (l'information est ici mesurée au travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation (KAOUANI A. et al., 2007).

Mode opératoire : L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une technique d'analyse statistique, portant sur au moins deux variables, permettant une représentation graphique des liens entre variables n et des positions des individus par rapport aux vecteurs de ces variables. Les graphiques sont construits à partir de la matrice des corrélations, et l'ACP représente graphiquement les liens entre les différentes variables et les facteurs choisis. Ces graphiques sont projetés dans un cercle de rayon 1. Plus la coordonnée de la variable est forte (proche de 1 ou -1) sur un facteur, plus la variable a de liens avec ce facteur. La position des variables est donc déterminée par leurs coordonnées selon les facteurs. Plus deux variables sont proches, plus leur lien est sensé être fort. Cette méthode a été adoptée dans de nombreuses études hydrogéochimiques (Blavoux et Mudry, 1985; Lasne, 1992; Muet 1985, Maqsooud 1996, A. Khaldi, 2005). Son efficacité est supérieure à d'autres méthodes telles que les diagrammes en barres de Collins, en camembert de Stiff, de Schoeller et de Piper (Güler et al. 2002).

Chapitre IV: Traitement statistique des données hydrochimiques

Il existe plusieurs applications pour l'Analyse en Composantes Principales, parmi lesquelles :

- l'étude et la visualisation des corrélations entre les variables, afin de limiter éventuellement le nombre de variables à mesurer par la suite,
- l'obtention de facteurs non corrélés qui sont des combinaisons linéaires des variables de départ, afin d'utiliser ces facteurs dans des méthodes de modélisation telles que la régression linéaire, la régression logistique ou l'analyse discriminante,
- la visualisation des observations dans un espace à deux ou trois dimensions, afin d'identifier des groupes homogènes d'observations, ou au contraire des observations atypiques.

Donc l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles (OUANDAOGO-YAMEOGO S., 2008).

On peut résumer les objectifs d'une A.C.P en deux points importants :

- Réduction du nombre des variables à un nombre plus petit de variables « représentatives » et « non corrélées ».
- Classification des variables et individus.

I. Application et résultats :

Une analyse en composante principale a été réalisée en utilisant les données hydrochimiques des eaux des sources ainsi que celles des eaux des puits (26 points d'eau utilisés au chapitre précédent) à l'aide du Logiciel Statistica (version.10). Les variables sont au nombre de 13 et sont : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-), la minéralisation (M.), pH, résidu sec (R.S.), la conductivité électrique (C.E.) et la température (T°).

L'approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces variables à partir d'une analyse statistique. L'A.C.P est en fait utilisé pour les études englobant plusieurs paramètres dont les interprétations sont déterminantes pour la compréhension de certains phénomènes. Cette méthode permet de mettre en évidence les liens éventuels que présenteraient ces variables au cours de leur évolution.

Chapitre IV: Traitement statistique des données hydrochimiques

La méthode d'A.C.P utilisée pour cette étude est basée sur l'interprétation des différents facteurs de même que la matrice de corrélation obtenue à la suite du traitement des données. Le nuage de points résultant de ce traitement a été projeté dans les différents plans factoriels qui sont déterminés dans l'espace des variables et dans celui des unités statistiques.

Le choix des axes principaux tient compte de la réduction du nombre de facteurs. Ce nombre est tel que la somme cumulée des contributions est importante (75 % qui représente les trois quarts de l'inertie totale). En effet, deux variables sont corrélées lorsque leur coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 0,7. De plus au niveau des plans factoriels, des variables ne sont représentatives que lorsqu'elles sont proches de l'extrémité de ces facteurs. Lorsque deux variables sont corrélées, la variation de l'une entraîne celle de l'autre.

Le coefficient de corrélation exprime le niveau de corrélation (linéaire) entre les variables: plus il est proche de 1, plus les variables sont corrélées positivement, plus il est proche de -1, plus elles sont corrélées négativement. Un coefficient de corrélation nul indique l'absence de corrélation linéaire.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation. Les coefficients de corrélation entre les éléments sont reportés dans le tableau suivant :

Chapitre IV: Traitement statistique des données hydrochimiques

A. Analyse en Composants principales :

Tableau IV.1: Matrice des coefficients de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe de l'aquifère alluviale du fossé de Sebdu

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	So4 ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	M	pH	R. S	C. E	T (°C)
Ca ²⁺	1,00												
Mg ²⁺	-0,37	1,00											
Na ⁺	0,88	-0,23	1,00										
K ⁺	0,27	-0,05	0,40	1,00									
Cl ⁻	0,87	-0,11	0,94	0,30	1,00								
So4 ²⁻	0,67	-0,24	0,49	0,26	0,38	1,00							
HCO ₃ ⁻	0,16	0,09	0,03	-0,10	-0,04	0,09	1,00						
NO ₃ ⁻	0,67	-0,10	0,71	0,46	0,71	0,31	-0,03	1,00					
M	0,95	-0,15	0,92	0,32	0,93	0,58	0,16	0,73	1,00				
Ph	-0,50	0,06	-0,41	-0,27	-0,33	-0,58	-0,39	-0,28	-0,52	1,00			
R. S	0,95	-0,16	0,90	0,27	0,93	0,61	0,07	0,68	0,98	-0,48	1,00		
C. E	0,94	-0,14	0,92	0,33	0,93	0,58	0,15	0,74	1,00	-0,53	0,97	1,00	
T (°C)	-0,30	-0,29	-0,26	-0,12	-0,30	-0,40	0,10	-0,36	-0,37	0,03	-0,38	-0,38	1,00

Très bonne corrélation
 Bonne corrélation
 Corrélation moyenne
 Faible corrélation

Ca²⁺ (Calcium), Mg²⁺ (Magnésium), Na⁺ (Sodium), K⁺ (Potassium), Cl⁻ (Chlorures), SO₄²⁻ (Sulfates), HCO₃⁻ (Bicarbonates), NO₃⁻, la minéralisation (M.), pH (Potentiel d'Hydrogène), R.S (résidu sec), Conductivité électrique (C.E.), Température (T°).

La matrice des coefficients de corrélation montre que les fortes corrélations entre les variables sont positives donc leurs concentrations évoluent dans le même sens:

- Le Ca^{2+} est fortement corrélé au Na^+ , Cl^- , M, RS, C.E, et le Na^+ est fortement corrélé au Cl^- , M, RS, C.E., ceci montre que ces éléments sont liés entre eux et/ou proviennent de la même origine.
- le SO_4^{2-} est moyennement corrélé au Ca^{2+} et faiblement corrélé au Na^+ , le NO_3^- est moyennement corrélé au Ca^{2+} , Na^+ et Cl^- .

B. D'abord elle consiste à sélectionner le nombre d'axes factoriels que l'on souhaite conserver. A cet effet il y a quelques règles :

- **Règle de Kaiser** en A.C.P normée: on ne s'intéresse qu'aux axes avec une valeur propre supérieure à 1 (= inertie d'une variable initiale).
- **Règle de l'inertie minimale** : On sélectionne les premiers axes afin d'atteindre un % donné d'inertie expliquée (70% par exemple).
- **Règle du coude** : On observe souvent de fortes valeurs propres au départ puis ensuite de faibles valeurs avec un décrochage dans le diagramme. On retient les axes avant le décrochage.

Le tableau des valeurs propres (tab. IV.2) qui donne le pourcentage exprimé par chaque facteur, permet de connaître le nombre de facteurs nécessaires pour l'interprétation de ces phénomènes à partir du pourcentage cumulé de ces différents facteurs.

Tableau IV.2 : Valeurs propres des axes et leurs contributions

Numéro	Variabilité%	Cumulé %
1	55,42	55,42
2	11,15	66,57
3	9,91	76,47

Le calcul a été arrêté à trois axes, à savoir les axes F1, F2 et F3. Ainsi, le facteur **F1** exprime **55,42 %** de la variance, le facteur **F2 : 11,15 %**, et le facteur **F3 :9,91 %**. Ces trois facteurs expriment donc **76,47 %** de la variance totale. Donc nous sélectionnons les 3 premières valeurs propres, qui expliquent ensemble plus de 76 % de l'inertie totale du nuage de points.

La figure IV.1 présente une courbe décroissante du pourcentage de l'ensemble des facteurs, c'est une représentation graphique qui permet aussi de déceler le nombre de facteurs nécessaires pour mieux visualiser les résultats:

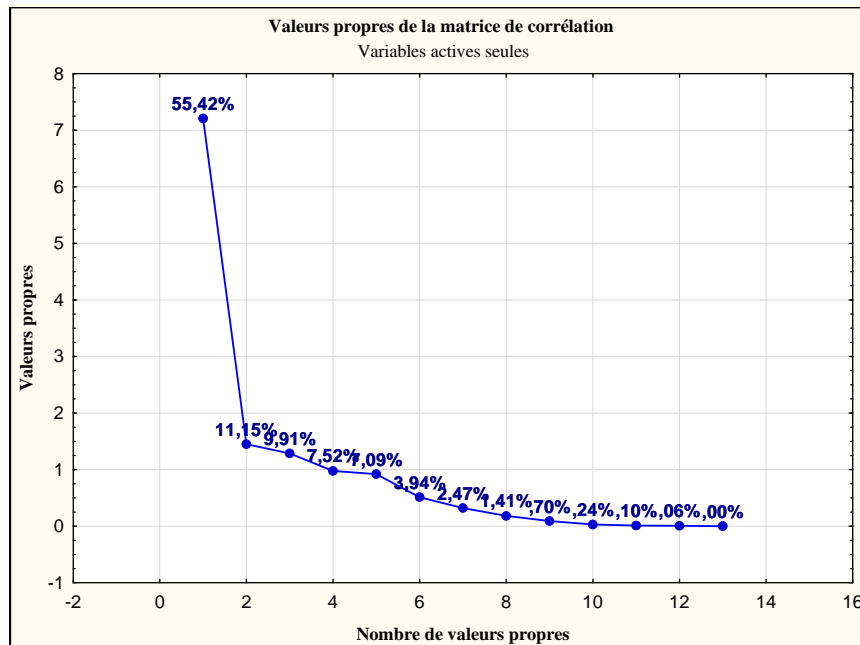


Figure IV.1 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

C. Le tableau IV.3 permet de voir la corrélation entre les facteurs et les variables :

Tableau IV.3 : Corrélation entre les variables et les axes

Variables	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
Ca ²⁺	-0,96	-0,12	0,12
Mg ²⁺	0,20	0,30	-0,82
Na ⁺	-0,93	0,07	0,14
K ⁺	-0,41	0,19	0,08
Cl ⁻	-0,92	0,20	0,08
SO ₄ ²⁻	-0,66	-0,25	-0,13
HCO ₃ ⁻	-0,11	-0,74	-0,41
NO ₃ ⁻	-0,77	0,29	0,04
M	-0,98	-0,02	-0,03
pH	0,55	0,59	0,24
R. S	-0,97	0,03	-0,01
C E	-0,98	0,00	-0,04
T (°C)	0,39	-0,48	0,56

- Le facteur F1 est corrélé négativement au Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , M, RS, C.E, Cl, et positivement au pH.
- Le facteur F2 est corrélé négativement au HCO_3^- Quant au facteur F3, il est corrélé négativement au Mg^{2+} .

La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 permet d'extraire la figure IV.2.

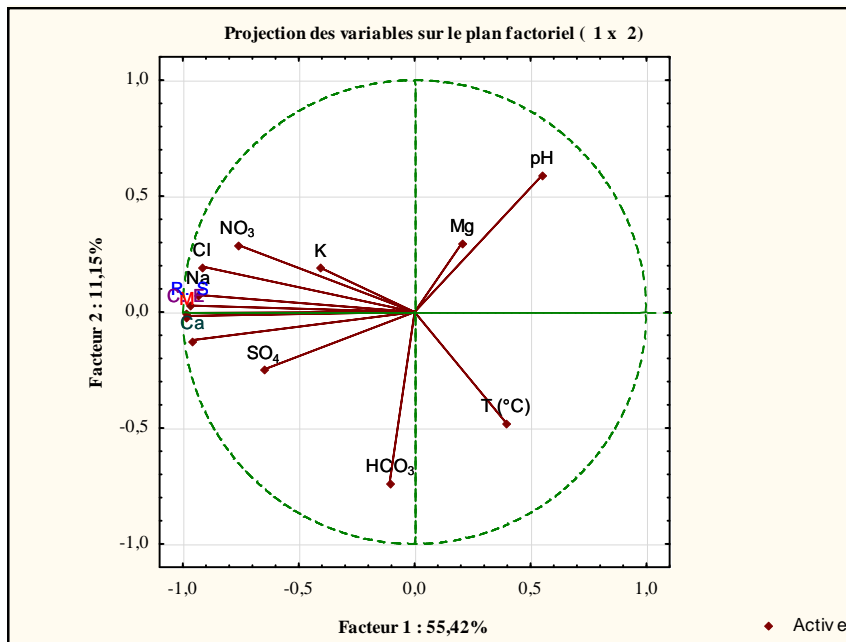


Figure IV.2: cercle de corrélation pour le premier plan factoriel (F1-F2)

La projection des individus sur le plan factoriel F1-F2 a permis d'extraire la figure IV.3.

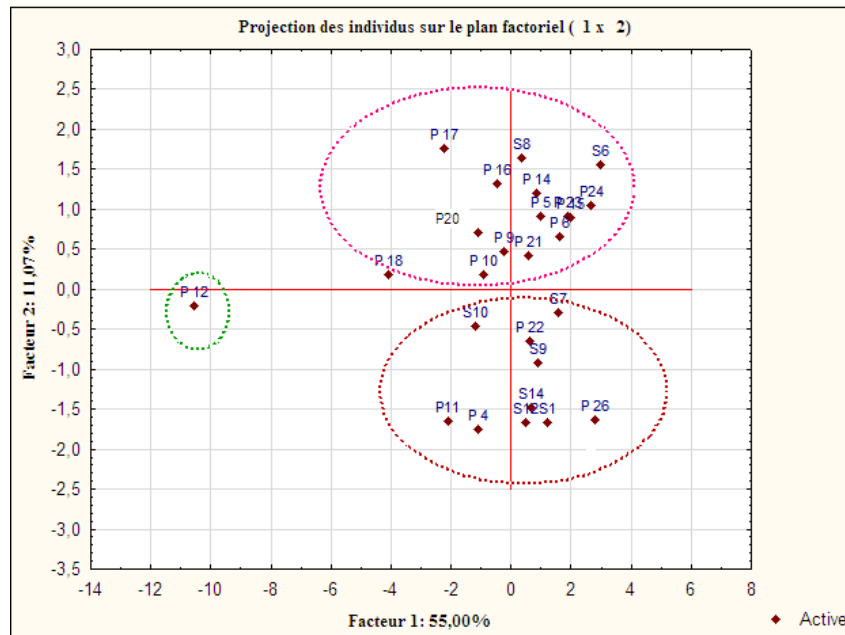


Figure IV.3 : Projection (individus) des puits sur le premier plan factoriel (F1 – F2)

Presque toutes les variables sont bien représentées dans ce plan factoriel (figure IV.3) puisque leurs corrélations avec les axes sont relativement importantes (les projections sont proches du cercle de corrélation sauf : (Mg^{2+} , HCO_3^- , T°). L'interprétation que l'on peut faire des deux premiers axes factoriels est la suivante :

- Le premier axe factoriel semble opposé aux: Ca^{2+} , Na^+ , C.E, M, Cl^- , R.S et d'un degré moindre aux NO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , et corrélé positivement au pH. C'est le pôle des minéralisations, il est en bonne partie issus de l'interaction eau-roche.
- Le second axe factoriel semble opposé au : T° , HCO_3^- et corrélé positivement au pH et NO_3^- .
- La température est dissociée aux autres paramètres.
- La minéralisation, résidu sec, conductivité électrique, les ions chlorures, le sodium et le calcium sont associés, ceci montre que ces ions sont responsables de la minéralisation et les valeurs de cette dernière sont liées directement aux concentrations de ces ions.
- Le sodium et le potassium sont associés aux chlorures d'où une origine commune. En effet, le sodium et le potassium peuvent être apportés par les précipitations. Le calcium et les sulfates sont associés, il est fort probable qu'ils aient une origine commune due à la présence des formations marno-calcaires.
- Les sulfates ne sont pas associés aux nitrates, cela permet de supposer des origines différentes. L'ion sulfate peut provenir des précipitations atmosphériques ou par

oxydation des minéraux sulfurés. L'origine atmosphérique suppose que les sulfates et les chlorures auraient une évolution similaire, c'est-à-dire que ces deux ions doivent évoluer ensemble. Par conséquent, une augmentation en chlorures est accompagnée d'une augmentation en sulfates. Dans notre cas, la majorité des échantillons ne présentent pas cette relation, c'est-à-dire que l'augmentation en sulfate n'est pas accompagnée d'une augmentation en chlorures et, de ce fait, l'origine externe des sulfates est exclue de même que l'effet de l'activité biologique en été, qui a tendance à immobiliser le soufre dans la matière vivante (Giesecking, 1975, Bakalowicz, 1980).

L'examen de cet espace factoriel (figure IV.3) montre des groupements d'individus formant ainsi différentes familles d'eaux, où nous remarquons que presque tous les points d'eau sont regroupés excepté un point qui s'écarte clairement. Aussi, il semble se dégager 3 groupes :

- **Groupe 1** : P10 - P18 - P9 - P21 - P20 - P6 - P5 - P24 - S6 - P23 - P14 - P15 - P16 - S8 - P17 sont les puits qui se caractérisent par des teneurs élevées de Mg et K et les fortes valeurs du pH.
- **Groupe 2** : S7 - S10 - S9 - P22 - S14 - P26 - S1 - S12 - P4 - P11 sont les points d'eau qui se caractérisent par les températures les plus élevées ainsi que des teneurs en HCO_3^- les plus fortes (ceci témoigne de la dissolution des carbonates dans les eaux les plus chaudes).
- **Groupe 3** : P12 c'est le groupe d'eau se caractérisant par les concentrations les plus élevées de ces éléments (Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , M, RS, CE, NO_3^- , SO_4^{2-}).

La projection des variables dans le plan factoriel F1-F3 donne la figure IV.4:

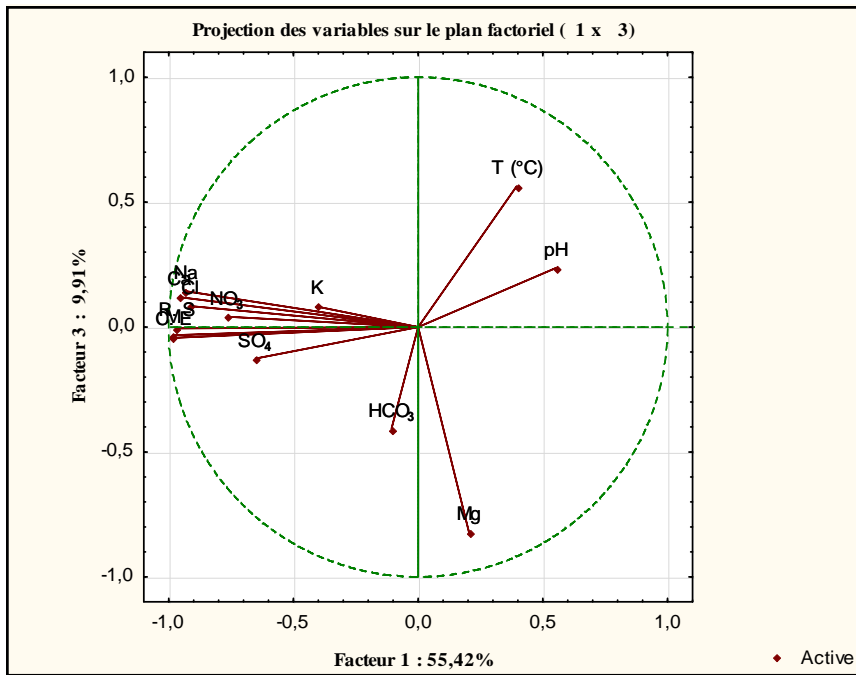


Figure IV.4 : Cercle de corrélation pour le deuxième plan factoriel (F1-F3)

La projection des individus dans le plan F1-F3 permet d'extraire la figure IV.5:

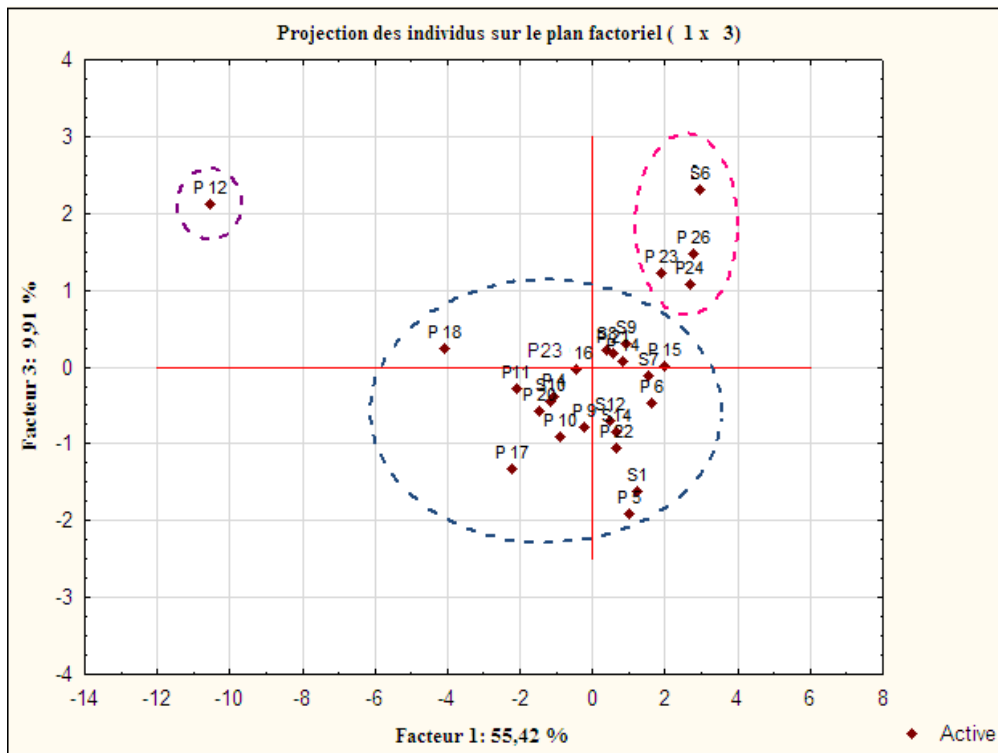


Figure IV.5 : Projection des points d'eau sur le plan factoriel F1 – F3

La projection sur un plan F1-F3 montre les mêmes corrélations que celles dégagées du plan précédent :

- Le premier axe semble corrélé négativement aux : Ca^{2+} - M - RS - CE - Na^+ - Cl^- - NO_3^- et positivement au pH.
- Le deuxième axe est corrélé négativement au Mg^{2+} et positivement au T° .
- Le fait que les K^+ et Na^+ soient opposés par rapport à l'axe F3, suggère qu'une partie de ces ions provient des minéraux silicatés présents dans le sol.
- En raison de l'association entre les sulfates et les nitrates dans le plan F1-F3, l'origine anthropique est probable et par conséquent, présence d'une pollution. Quant aux nitrates, ils sont généralement concentrés dans la biomasse. Ils ont une origine essentiellement anthropique, ils sont introduits dans le système soit par lessivage des engrais épandus, soit par le rejet des eaux usées.

Donc on peut déterminer trois groupes comme suit :

- **Groupe 1** : S6 - P26 - P23 - P24 se caractérise par les températures et les pH les plus élevés.
- **Groupe 2** : P18 - P17 - P11 - S8 - S1 - P5 - P6 - S7 - P15 - S9 - P9 - P21 - P14 - P16 - P23 - P20 - P10 - S10 - P22 - S14 - S12 - P4 se caractérise par les teneurs les plus élevées du HCO_3^- , K^+ , Mg^{2+} .
- **Groupe 3** : P12 se caractérise par Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , M, RS et CE les plus élevés.

La cartographie des groupes issue du plan factoriel (F1-F2) nous a donné la figure IV.6 :

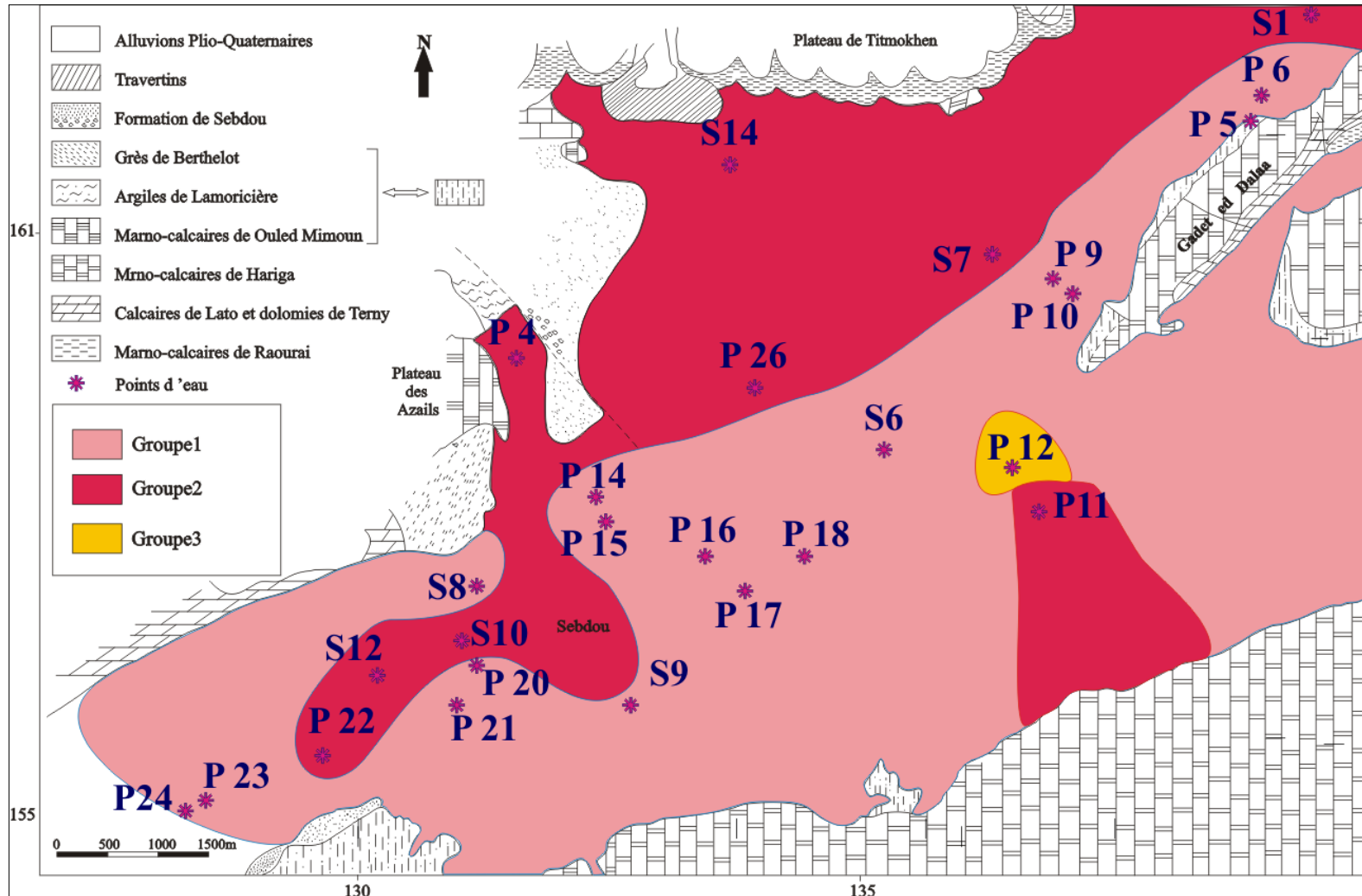


Figure IV.6 : Cartographie des groupes d'eau de la nappe alluviale du fossé de Sebdou

II. Origine de la minéralisation (figures IV.7 et IV.8):

Pour avoir une idée plus claire de l'origine de la minéralisation, il nous a paru intéressant d'établir un traitement des principaux cations et anions des paramètres hydro-chimiques en utilisant une loi normale appelée aussi : loi gaussienne, loi de Gauss ou loi de Laplace-Gauss (Diagramme Quantile-Quantile).

La loi normale est l'une des lois de probabilité les plus adaptées pour modéliser des phénomènes naturels issus de plusieurs événements aléatoires. Une des premières apparitions de la loi normale est due à Abraham de Moivre en 1733 en approfondissant l'étude de la factorielle lors de l'étude d'un jeu de pile ou face. (ARMATTE M., 1995).

En statistiques, le diagramme Quantile-Quantile ou diagramme Q-Q ou Q-Q plot est un outil graphique permettant d'évaluer la pertinence de l'ajustement d'une distribution donnée à un modèle théorique. Le terme de quantile-quantile provient du fait que l'on compare la position de certains quantiles dans la population observée avec leur position dans la population théorique. Il permet également de comparer deux distributions que l'on estime semblables. Le diagramme quantile-quantile très facile à construire, sur ce graphe, l'axe des ordonnées porte les quantiles de la distribution observée, tandis que l'axe des abscisses porte les quantiles correspondants de la loi théorique. Le nuage des points s'aligne sur la première bissectrice lorsque la distribution théorique proposée est une bonne représentation des observations. On doit remarquer que l'appréciation de l'alignement des points le long de la bissectrice peut être considérée comme subjective. Toutes les déviations par rapport à l'alignement (extrémités présentant une courbure, points éloignés, ...) peuvent être repérées et analysées.

Le diagramme Q-Q de comparaison d'une distribution observée avec une loi gaussienne réduite permet une validation subjective : si les points sont alignés sur la première bissectrice c'est que la distribution suit probablement une loi de distribution gaussienne normalisée. Si les points sont alignés sur une autre droite d'équation : $y = ax + b$, c'est que la distribution observée suit une loi normale d'espérance b et d'écart type a .

On peut tracer un diagramme quantile-quantile pour tout ajustement par une loi continue dont la fonction de répartition est strictement croissante, c'est-à-dire une loi dont la fonction de répartition est bijective sur l'intervalle correspondant à des valeurs non nulles de la fonction de densité et ne présentant pas de « trous ». (GOLDFARB B. & PARDOUX C.).

L'obtention d'une droite unique nous permet de dire que l'ion concerné appartient à une seule famille (distribution homogène). La droite comportant deux segments montre que l'ion appartient à deux familles (fig. IV.7 et IV.8).

- **Origine des bicarbonates** : La droite obtenue montre leur appartenance à une seule famille, l'origine de cette minéralisation est due aux formations carbonatées du Kimméridgien.
- **Origine des nitrates** : Ils sont caractérisés par un segment donc une origine unique, lessivage d'engrais chimiques et rejets des eaux usées.
- **Origine du calcium** : Il provient des formations carbonatées du Jurassique du plateau du Titmokhen et Djebel el Arbi.
- **Origine du Magnésium** : Dolomies de Terny.
- **Origine du Sodium** : Provient de la formation du Jurassique terminal (Formation de Sebdou du plateau des Azails).
- **Origine des chlorures** : La teneur en ion chlore est essentiellement liée à celle du sodium, ils proviennent des eaux de pluie, comme ils peuvent avoir une origine anthropique (contamination ou pollution de la nappe).
- **Origines des sulfates** : Provient des eaux de pluie infiltrées en plus du lessivage du terrain traversé.

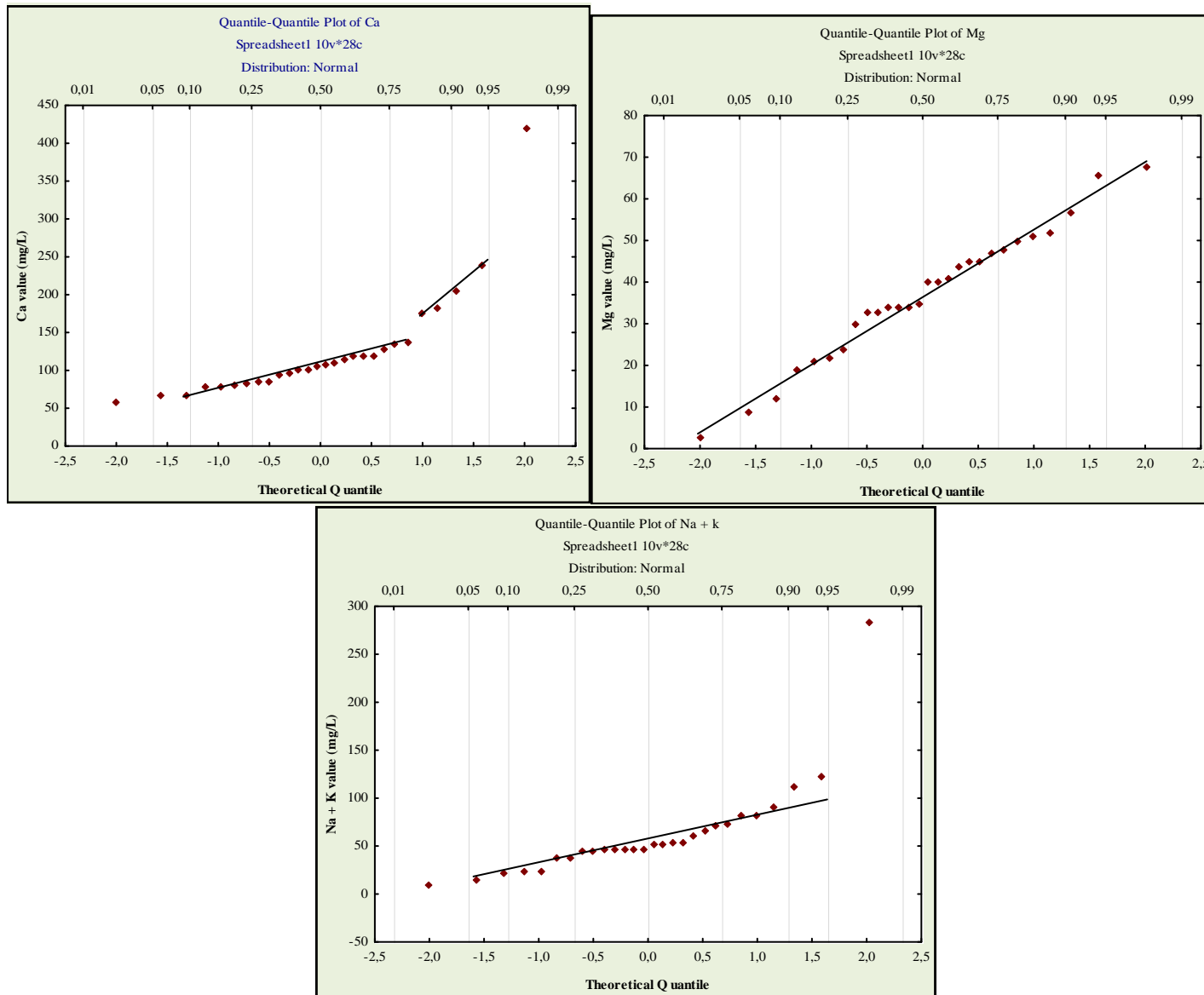


Figure IV.7 : Droite d'ajustement à une loi normale des cations

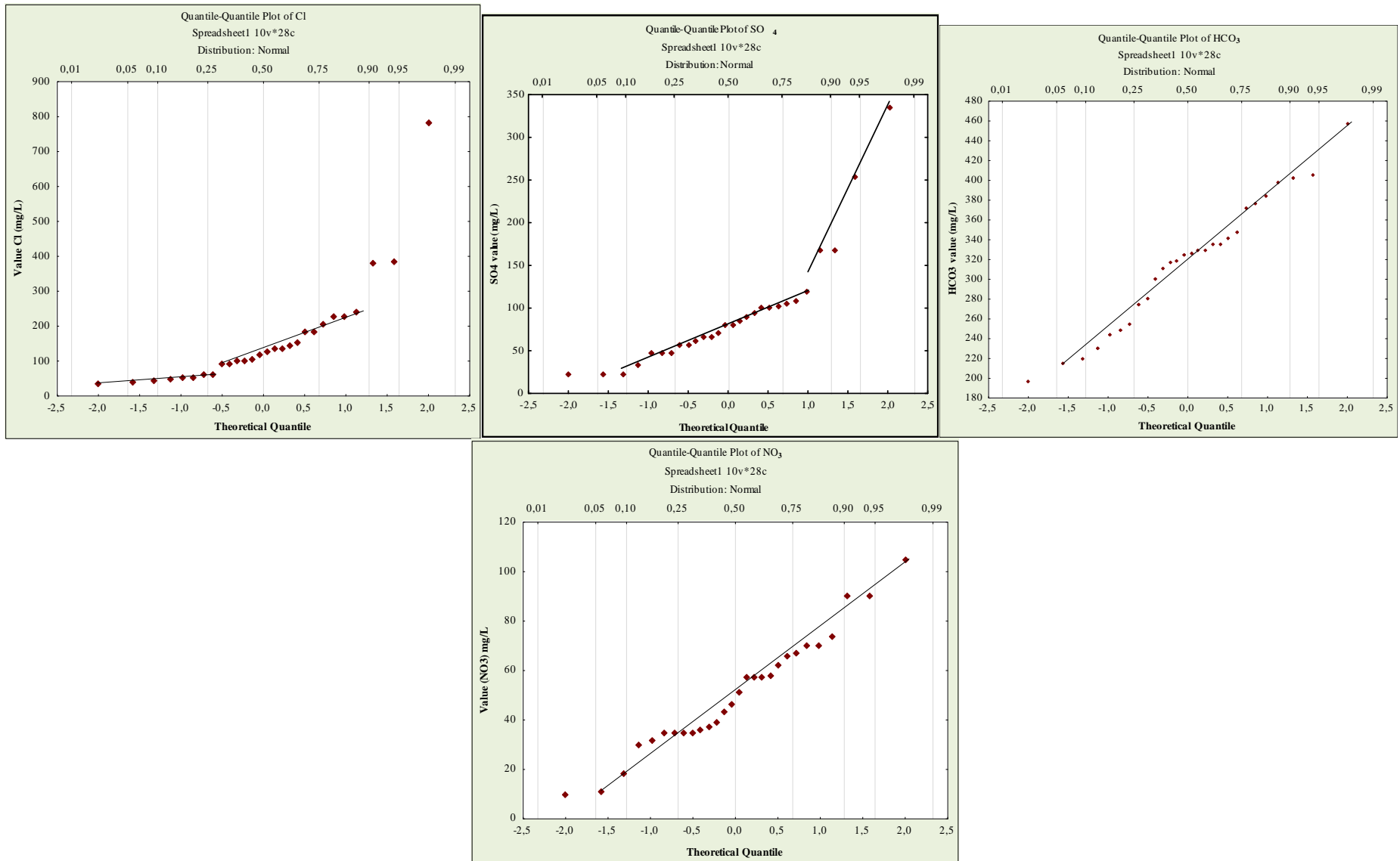


Figure IV.8: Droite d'ajustement à une loi normale des anions

Conclusion :

Au cours de ce travail, une analyse statistique (A.C.P) a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel Statistica. Les données portent sur l'ensemble des 26 points d'eau, 13 variables ont été traitées, à savoir les paramètres physico-chimiques (T, pH, conductivité électrique, Résidu sec et la minéralisation) et les ions majeurs (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} et HCO_3^-).

L'analyse des données chimiques a permis de distinguer (nous avons trouvé presque les mêmes résultats que ceux résultant du diagramme de Piper) globalement deux pôles de mélanges :

- **les eaux faiblement minéralisées** caractérisant la totalité des points d'eau de la nappe ceci revient : à l'alimentation de la nappe qui se fait principalement par les précipitations donc des concentrations faibles en éléments chimiques, au temps de séjour de ces eaux dans les formations géologiques qui est relativement court et le facteur le plus important est la nature de l'encaissant qui joue le rôle primordiale dans l'acquisition de la minéralisation (l'aquifère est formé par des dépôts conglomératiques et croûte calcaire). Cette catégorie d'eau se divise en 2 groupes : le premier se caractérise par des teneurs élevées en Bicarbonates et Magnésium ainsi que les fortes températures (leur origine revient aux formations carbonatées adjacentes), le deuxième groupe couvrent la totalité de la nappe ou les corrélations entre les individus sont relativement très faibles d'où nous supposons des origines très variées des éléments chimiques.
- **les eaux fortement minéralisées** : représentées par un seul échantillon qui englobe les teneurs les plus élevées de la minéralisation (également un excès en nitrates), c'est un point qui pose un problème (pour cela il est nécessaire de faire d'autres prélèvements dans cette zone pour s'assurer de ce résultat et pour comprendre mieux le mécanisme qui se passe à cet endroit).

En conclusion nous pouvons estimer que la qualité des eaux de la nappe du fossé de Sebdoou est en général bonne avec une menace certaine d'une pollution anthropique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le Fossé de Sebdou situé au Nord-Ouest algérien (wilaya de Tlemcen), comporte un aquifère alluvial d'âge Plio-Quaternaire. L'alimentation de cet aquifère se fait principalement par son impluvium (infiltration des eaux de précipitations) et par le déversement souterrain des formations carbonatées adjacentes.

La carte piézométrique de Mai 1990 a montré que le sens d'écoulement est généralement orienté vers le Nord-Ouest de l'aquifère.

L'étude climatique a montré que la région de Sebdou est caractérisée par un climat méditerranéen à hiver froid, avec une température moyenne annuelle de 17,50 °C et des précipitations moyennes annuelles de 369,4 mm.

Les analyses physico-chimiques des eaux révèlent que celles-ci se classent en 3 hydro-faciès, prédominées par les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, suivi de celui des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes et un seul point d'eau se range dans le faciès Chloruré calcique (Sud-Est de l'aquifère).

L'analyse des cartes en iso-valeurs a montré que les fortes concentrations sont rencontrées au Sud-Est de l'aquifère et elles diminuent de plus en plus en se dirigeant vers l'exutoire. Effectivement l'analyse des cartes de la minéralisation et celle de la conductivité confirment les résultats décelés.

L'utilisation de la méthode statistique l'A.C.P. sur ces données permet de mettre graphiquement en évidence les liens entre les éléments chimiques et faciliter donc leur interprétation. Elle a permis de déceler globalement deux groupes : les eaux faiblement minéralisées représentant la majorité de l'étendue de la nappe et celles fortement minéralisées ne représentant qu'un échantillon unique situant au Sud-Est de l'aquifère. Ce point d'eau pose aussi un problème quant à sa concentration très élevée en nitrates relevant d'une pollution probable, et pour y remédier, il est important d'effectuer d'autres prélèvements au voisinage de ce puits pour pouvoir confirmer ou pas cette contamination.

Le test chimique des eaux a montré que les eaux sont dans l'ensemble potables mise à part quelques points qui présentent des concentrations dépassant les normes algériennes, et qu'elles sont aptes à être utilisées en irrigation.

D'une façon générale et jusqu'a maintenant la qualité chimique de la nappe du fossé de Sebdou est, globalement, satisfaisante mais n'est pas loin d'être contaminée et ça n'empêche de prévoir une contamination et une diffusion de polluants notamment avec les quelques valeurs rencontrées qui sont non- conformes aux normes de potabilité algériennes et que les rejets augmentent d'une année à l'autre sans nier la forte probabilité de l'existence d'un risque de pollution.

On recommande donc de faire des prélèvements et intensifier le nombre d'échantillons au Sud-Est de l'aquifère et procéder même à des analyses bactériologiques.

Pour protéger cette ressource en eau contre la pollution, il est recommandé d'établir une carte de vulnérabilité à la pollution du secteur d'étude et limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques.

En guise de conclusion, nous pourrions dire que les différentes approches utilisées ont permis d'avoir de plus amples informations sur les eaux du fossé de Sebdou.

En effet, nous souhaitons avoir une chronique de données spatio-temporelles récente et continue pour pouvoir procéder à une comparaison et mieux cerner l'évolution du chimisme de ces eaux.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKA NATCHIA et al. (2013)** - Etude hydrochimique et microbiologique des nappes D'Altérites sous climat tropical humide : Cas du Département d'Abengourou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°16, Décembre 2013, pp. 31-52
- ALI BELHADJ Y., CHOUAKI A. (2013)** – Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale de la plaine de Maghnia (NW Algérien). *Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen*, 73 p.
- ALI KOUANU, S. EL JAMALI et M.TALBI (2007)** - Analyse en composantes principales : Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques, *Radisma*, N° 2.
- ARMATTE. M (1995)** - Robert Gibrat et la loi de l'effet proportionnel, *dans Mathématiques et sciences humaines*, tome 129.
- AUCLAIR D. et BIEHLER J. (1967)** – Etude géologique des Hautes Plaines Oranaises entre Tlemcen et Saïda. *Publ. Serv. Géol. Algérie, nlle ser. N° 34, p. 45, 4 fig., Pl. I-VI*
- AZIZ H., MEGUENNI TANI M. (2013)** – Essai de modélisation hydrodynamique d'une nappe. Application à la nappe alluviale de la plaine de Maghnia (NW Algérien). *Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen*, 104 p.
- BABA-HAMED K. ET KERZABI R. (1991)** – Contribution à l'Etude hydrogéologique de la haute tafna en amont du barrage BENI – BAHDEL (MONTS DE TLEMCCEN). *Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen, Tome 1 et 2, 424 p., 154 Fig., 61 Tab., 5 pl., 15 ph.h.t.*
- BENEST M. (1982)** – Importance des décrochements sénestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daïa (Algérie occidentale). *Rev. géol. dyn. géog. phys. Vol. 23, fasc. 5, pp. 345-362.*
- BENEST M. (1985)** – Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. *Docum. Lab. Geol. Lyon, N° 95, fasc. 1-2, 581 p., 145 fig., 23 pl.*
- BENSAOULA F., BENSALAH M., ADJIM M. (2005)** - Les forages recents dans les aquiferes karstiques des monts de tlemcen. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.7-1. Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.
- DAHALI S. (2013)** - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE DU CONTINENTALE INTERCALAIRE DE LA REGION DE TOUAT (WILAYA D'ADRAR). Mémoire Master, *univ. Ouargla*, 78p.

- DEBIECHE T. H. (2002)** - ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES EAUX (SALINITE, AZOTE ET MÉTAUX LOURDS) SOUS L'EFFET DE LA POLLUTION SALINE, AGRICOLE ET INDUSTRIELLE : Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien, Thèse Doc., univ. FRANCHE-COMTE, 235 P.
- EL ALAOUI ELFELS A. E. H. & HAJHOUI Y. (2010)** – l'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc). *Mém. Licence-ES SCIENCES ET TECHNIQUES « Eau & Environnement », Univ. CADI AYYAD (Maroc), 47 P.*
- EL HAMMOUMI N., SINAN M., LEKHLIF B., EL MAHJOUB L. (2012)** – Evaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tedla, Maroc. *Afrique SCIENCE 08 (1) (2012) 54-66*
- GOLDFARB B. & PARDOUX C. (2005)** - Méthodes d'ajustements graphiques : Diagramme Quantile – Quantile, Revue MODULAD.
- GOUAIDIA L., GUEFAIFIA O., BOUDOUKHA A., LAIDHEMILA M. et MARTIN C. (2012)** - Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). P.141-160
- HAYANE S. M. (1983)** – Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued sikak (Région de Tlemcen). *Thèse Doct. 3è. Cycle. Univ. Oran, 236 p., 91 fig.*
- KHALDI A. (2005)** – Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest algérien « Monts de Tlemcen – Saida ». *Thèse Doc. Univ. Oran, 239 p. , 196 Fig., 52 Tab.*
- KOUANI A., EL JAMALI S. et TALBI M. (2007)** - Analyse en composantes principales : Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques, *Pub. Radisma, numéro 2, 2007*
- LEGUBE B., MERLET N. et coll.** – Jean RODIER, l'analyse de l'eau, 9^e édition, 1579 p.
- MEGNOUNIF A., TERFOUS A., A. BOUANANI (2003)** – Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la Haute-Tafna (Nord-Ouest Algérien). *Revue des Sciences de L'eau, Rev. Sci. Eau 16/3(2003) 369-380*
- MEGNOUNIF A., TERFOUS A., GHENAIM A., POULET J.B. (2004)** - Rôle des crues dans la production de sédiments transportés en suspension dans un cours d'eau des bassins versants méditerranéens. VIII èmes Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, 7-9 septembre 2004.

MOUDJIB A. (2010) – L’aptitude des eaux de la région d’Aïn-Sefra à des fins d’irrigations,
Mém. Ing. Etat, univ. Tlemcen, p. 15-32

OUANDAOGO-YAMEOGO S. (2008) - RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DU
CENTRE URBAIN DE OUAGADOUGOU AU BURKINA FASO QUALITE
ET VULNERABILITE, Mémoire Doc., *univ. d’Avignon et des Pays de
Vaucluse*, 254 P.

Liste des figures

Figure I.1: Situation géographique du bassin versant de la Tafna (A. Megnounif et al, 2004) -----	8
Figure I.2 : Carte illustrant l'étendue du fossé de Sebdou (F. BENSAOULA, 2005) ---	9
Figure I.3 : Carte de situation géographique de la région d'étude -----	10
Figure I.4: Log stratigraphique des Monts de Tlemcen (K. Baba-Hamed et R. Kerzabi, 1991) -----	14
Figure I.5 : Schéma structural des Monts de Tlemcen d'après M. Benest, 1985-----	17
Figure I.6 : Coupe structurale au niveau du Fossé d'effondrement de Sebdou d'après D. Auclair et J. Biehler, 1967 -----	18
Figure I.7: Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères d'après B. Collignon, 1986 -----	23
Figure I.8: Répartition des points d'eau au niveau du fossé de Sebdou -----	24
Figure I.9: Carte piézométrique de la nappe du Fossé de Sebdou (Mai 1990) -----	25
Figure II.1: Situation géographique de la station de Sebdou -----	28
Figure II.2: Variations interannuelles des précipitations à la station de Sebdou -----	30
Figure II.3: Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sebdou -----	31
Figure II.4: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdou -----	32
Figure II.5: Ajustement à la loi normale des précipitations de la station de Sebdou ---	35
Figure II.7: Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à la station de Béni Bahdel -----	36
Figure II.8: Le Diagramme Pluviothermique pour la station de Sebdou -----	37
Figure II.9 : Abaque de De. Martonne -----	38
Figure III.1 : Carte de répartition des points d'eau de la nappe du Plioquaternaire du fossé de Sebdou -----	45
Figure III.2 : Corrélation entre les cations et les anions -----	46
Figure III.3 : Corrélation entre les cations et les anions après correction -----	46
Figure III.4.a : Représentation des faciès hydro-chimiques selon le Diagramme de Piper (S1, P4, P5, P6, P9, P10, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P20) -----	51

Figure III.4.b : Représentation des faciès hydro-chimiques selon le Diagramme de Piper (P21, P22, P23, P26, P11, P24, S6, S7, S8, S9, S10, S12, S14) -----	52
Figure III.5 : Cartographie des faciès hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale du fossé de Sebdou -----	53
Figure III.6 : Variation de la minéralisation des points d'eau -----	54
Figure III.7 : Variation de la conductivité électrique des différents points d'eau -----	55
Figure III.8 : Variation du pH des points d'eau -----	56
Figure III.9.a : Carte d'iso-teneurs en cations -----	59
Figure III.9.b : Carte d'iso-teneurs en anions -----	60
Figure III.9.c : Carte de variation de la minéralisation -----	61
Figure III.9.d : Carte de variation de la conductivité électrique -----	61
Figure III.10 : Représentation des points d'eau sur le Diagramme de Schöeller Berkallof -----	64
Figure III.11 : Valeurs des KR -----	66
Figure III.12 : Variation du % Na -----	66
Figure III.13 : Diagramme de Wilcox -----	68
Figure III.14: Variations du S.A.R. -----	69
Figure III.15 : diagramme de Richards -----	71
Figure IV.1 : Valeurs propres de la matrice de corrélation -----	79
Figure IV.2: cercle de corrélation pour le premier plan factoriel (F1-F2) -----	80
Figure IV.3 : Projection (individus) des puits sur le premier plan factoriel (F1 – F2) -----	81
Figure IV.4 : Cercle de corrélation pour le deuxième plan factoriel (F1-F3) -----	83
Figure IV.5 : Projection des points d'eau sur le plan factoriel F1 – F3 -----	83
Figure IV.6 : Cartographie des groupes d'eau de la nappe alluviale du fossé de Sebdou - -----	85
Figure IV.7 : Origine des cations -----	88
Figure IV.8: Origine des anions -----	89

Liste des tableaux

Tableau I.1.a : Caractéristiques de forme et paramètres du rectangle équivalent -----	19
Tableau I.1.b: Rapports caractéristiques (Réseau hydrographique) -----	19
Tableau II.1: Caractéristiques de la station de mesure -----	28
Tableau II.2: Précipitations moyennes annuelles à la station de Sebdou -----	29
Tableau II.3: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdou (1940/1941 - 2012/2013) -----	30
Tableau II.4: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdou (1940/1941-2012/2013) -----	31
Tableau II.5: Paramètres statistiques des précipitations à la station de Sebdou – loi normale -----	33
Tableau II.6: Calcul du X^2 pour la station de Sebdou pour une loi normale -----	34
Tableau II.7: Comparaison entre X^2 calculé et X^2 tabulé -----	34
Tableau II.8 : Valeurs des températures moyennes mensuelles (°C) de la station de Béni Bahdel -----	35
Tableau II.9 : Précipitations et températures moyennes mensuelles -----	37
Tableau II.10 : Calcul et correction des valeurs de l’ETP -----	39
Tableau II.11: Calcul d’ETR par la méthode de Turc -----	40
Tableau II.12: Eléments du bilan hydrologique calculés pour la station de Sebdou (1941/2013) -----	41
Tableau III.1 : Caractéristiques physico-chimiques des points d’eau -----	47
Tableau III.2 : Classification hydro-chimique des eaux -----	49
Tableau III.3: Classification d’une eau en fonction de sa conductivité électrique -----	55
Tableau III.4 : Classification des eaux selon le Ph (Rodier, 2009) -----	56
Tableau III.5 : Potabilité chimique des eaux de la nappe du fossé de Sebdou -----	63
Tableau III.6 : Classification des eaux en fonction du % Na -----	67
Tableau III.7 : Classification de Richards-----	70
Tableau IV.1: Matrice des coefficients de corrélation entre les paramètres physico- chimiques des eaux de la nappe alluviale du fossé de Sebdou -----	77

Tableau IV.2 : Les valeurs propres des axes et leurs contributions -----	78
Tableau IV.3 : Corrélation entre les variables et les axes -----	79

ANNEXES

Annexe 1 : Forage ZEBCH 02 (05/2005 – 10/2005)

SONDAGE : ZEBCH 02

N° Fichier Forage

N° Inventaire

Carte : Sebdou N° 239 au 1/50.000e

Date des travaux : 05/2005 au 10/2005

Long :

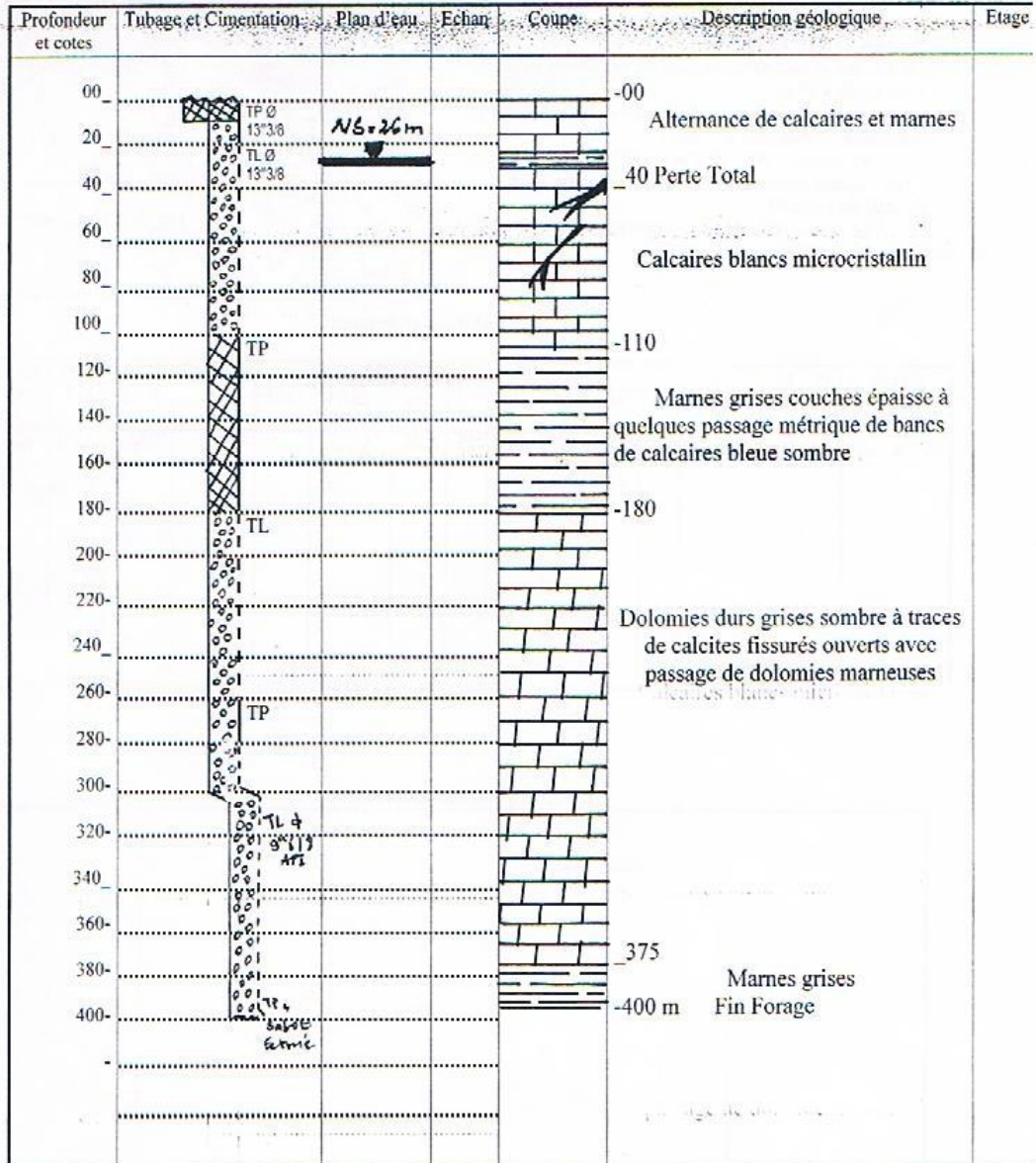
X : 129,050

Z :

Echelle de la coupe : 1/ 2000

Lat :

Y : 154.50



Mis à jour par : Rostane A. et Achachi

Le : Octobre 2005

Annexe 2 : Forage Sebdoou « Abattoir » (1996/1997)

SONDAGE Sebdoou "Abattoir" Seb.08

Carte : Sebdoou n° 329 au 1:50.000 *Sidi Aissa*

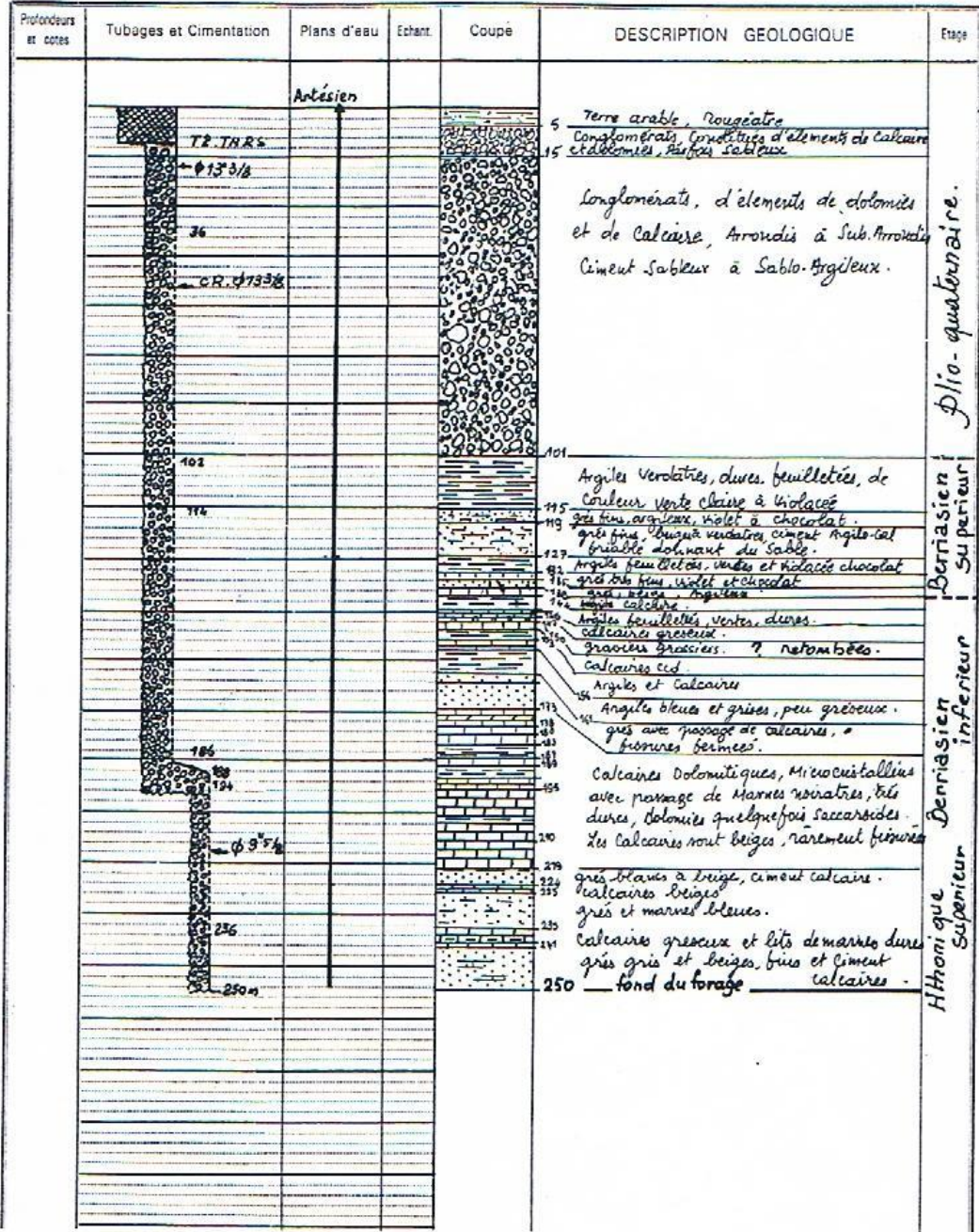
Date des travaux : 01.10.1996 - 30.05.97

Echelle de la coupe : 1:1500

N° Fichier Forages N° Inventaire

X 129.400

Y 155.700 Z 935



mis à jour par A. ACHACHI le OCTOBRE 1997

Annexe 2 : Forage SEBDOU (03 – 10/2003)

SONDAGE : SEBDOU

N° Fichier Forage

N° Inventaire

Carte: Sebdoou 1150.000

Date des travaux : 03/03 au 10/03

Long :..... X: 130,600

Z:

Echelle de la coupe : 1/1000

Lat :..... Y: 156,750

Cote

Profondeur Et cotes	Tubage et Cimentation	Plan d'eau	Echan	Coupe	Description géologique
00-	TP TNRS Ø 13" 3/8				-00
10-					
20-		NS: 20m			
30-	TL TNRS Ø 13" 3/8				
40-					
50-					
60-					
70-					
80-					
90-					
100-					
110-	TP TNRS Ø 13" 3/8				-101m Argile verdâtre, durs, feuilletés
120-					
130-					-115m Grès gris, beiges, à ciment argilo-calcaire
140-	TL TNRS Ø 13" 3/8				
150-					-136m Argile feuilletés, verts, durs
160-					
170-					-156m Grès avec de passages de calcaires fissurés
180-	TP				
190-					-173m Calcaires dolomitiques, micro cristallines avec passage de marnes noirâtre, très durs, dolomies quelques fois saccharoïde.
200-					-200m Fin Forage

Mise à jour par :

A. ROSTANE
Ing. Hydrogéologue

Le 10 /03

Annexe 4 : Données de la campagne piézométrique de Mai 1990

N° de puits	Niveau piézométrique statique (m)	X (km)	Y (km)
1	941,5	134	159,5
2	954,77	134,35	160
3	925,25	133,6	159,9
4	891,66	131,6	159,8
5	1009,2	139	162,15
6	1015,2	139,1	162,45
7	1005,72	138,5	162
8	1003,5	138,4	161,6
9	975,65	137	160,6
10	984,67	137,2	160,45
11	970,4	136,86	158,25
12	970,02	136,5	158,5
13	966,8	136,65	158,5
14	884,8	132,4	158,4
15	891,54	132,5	158,15
16	925,12	133,5	157,8
17	932,75	133,9	157,45
18	937,22	134,5	157,8
19	932,78	132,6	156,5
20	896,99	131,2	156,7
21	904,98	131	156,3
22	926,23	129,6	155,55
23	936,8	128,5	155,3
24	941,6	128,4	155,2

Pts d'eau	X	Y	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		Minéralisation	pH	R. s.	C. E. (µS/cm)	T (°C)	BI
			mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L						
M. tedi er « S1 »	139,6	163,45	102	5,1	48	3,95	23	1	1	0,03	61	1,72	62	1,29	458	7,51	35	0,56	620	7,8	680	1000	15,5	4,8
HassiDerma m « S2 »	137,4	159,8	36	1,8	40	3,29	89	3,87	1	0,03	135	3,8	67	1,4	391	6,41	18	0,29	620	7,6	700	1000	25	13,9
A.Berd Zaa « S4 »	125,9	167,5	90	4,5	45	3,7	9	0,39	1	0,03	44	1,24	24	0,5	405	6,64	11	0,18	434	8,1	580	700	17	0,3
A.Tagat « S5 »	132,65	162,8	104	5,2	22	1,81	6	0,26	1	0,03	13	0,37	10	0,21	342	5,61	25	0,4	430	7,8	490	600	16	5,1
P 4	131,6	159,8	176	8,8	19	1,56	44	1,91	3	0,08	54	1,52	168	3,5	376	6,16	57	0,92	744	7,5	1000	1200	16,1	1
P 5	139	162,15	80	4	66	5,43	44	1,91	3	0,08	61	1,72	169	3,52	317	5,2	39	0,63	558	8,1	760	900	14,3	1,6
P 6	139,1	162,45	82	4,1	45	3,7	35	1,52	3	0,08	54	1,52	91	1,9	325	5,33	57	0,92	434	8,1	640	700	16,5	1,4
P 7	138,5	162	104	5,2	56	4,61	55	2,39	5	0,13	94	2,65	168	3,5	248	4,07	56	0,9	744	8,1	940	1200	16	5,2
P 8	138,4	161,6	88	4,4	54	4,44	54	2,35	3	0,08	77	2,17	129	2,69	223	3,66	62	1	558	8,2	720	900	15,6	8,5
P 9	137	160,6	120	6	47	3,87	64	2,78	3	0,08	182	5,13	101	2,1	329	5,39	66	1,06	682	7,9	780	1100	15,9	3,6
P 10	137,2	160,45	136	6,8	44	3,62	69	3	3	0,08	206	5,8	34	0,71	402	6,59	90	1,45	806	7,9	900	1300	16,1	3,8
P 12	136,5	158,5	421	21,05	3	0,25	281	12,22	4	0,1	782	22,03	254	5,29	319	5,23	105	1,69	1736	7,6	2600	2800	15,6	0,9
P 13	136,65	158,5	20	1	38	3,13	127	5,52	24	0,61	155	4,37	58	1,21	54	0,89	11	0,18	620	8	640	1000	15,5	21,5
P 14	132,4	158,4	68	3,4	40	3,29	44	1,91	3	0,08	118	3,32	67	1,4	244	4	46	0,74	682	8	760	1100	16,2	4,3
P 15	132,5	158,15	58	2,9	45	3,7	44	1,91	3	0,08	101	2,85	24	0,5	248	4,07	36	0,58	434	7,9	620	700	17,1	3,6
P 16	133,5	157,8	120	6	40	3,29	58	2,52	4	0,1	226	6,37	96	2	220	3,61	58	0,94	682	7,8	940	1100	16,1	4
P 17	133,9	157,45	184	9,2	68	5,6	78	3,39	4	0,1	384	10,82	72	1,5	274	4,49	67	1,08	930	7,9	1380	1500	14,9	1,1
P 18	134,5	157,8	240	12	33	2,72	108	4,7	4	0,1	381	10,73	120	2,5	342	5,61	90	1,45	1116	7,8	1700	1800	16,7	2
P 19	132,6	156,5	6	0,3	13	1,07	147	6,39	78	1,99	121	3,41	77	1,6	61	1	41	0,66	558	8,1	640	900	14,6	18,7
P 20	131,2	156,7	138	6,9	34	2,8	83	3,61	8	0,2	185	5,21	103	2,15	348	5,7	74	1,19	744	7,8	900	1200	16,9	2,7
P 21	131	156,3	80	4	34	2,8	78	3,39	4	0,1	128	3,61	82	1,71	280	4,59	51	0,82	558	7,8	640	900	17,3	2,1
P 22	129,6	155,55	108	5,4	57	4,69	51	2,22	3	0,08	135	3,8	82	1,71	384	6,3	30	0,48	682	7,9	800	1100	17,2	0,4
P 23	128,5	155,3	94	4,7	21	1,73	21	0,91	2	0,05	47	1,32	58	1,21	254	4,16	70	1,13	434	8,1	480	700	17,5	2,8

Annexe 5 : Tableau des analyses physico-chimiques des points d'eau du fossé de Sebdu de l'année 1990

P11	134	159,5	206	10,3	22	1,81	44	1,91	3	0,08	104	2,93	336	7	301	4,93	43	0,69	806	7,5	1240	1300	15,7	4,9
P24	136,86	158,25	68	3,4	24	1,97	21	0,91	4	0,1	34	0,96	48	1	231	3,79	18	0,29	372	8,1	440	600	17	2,9
A.Tebouda « S6 »	128,4	155,2	86	4,3	12	0,99	14	0,61	2	0,05	41	1,15	24	0,5	215	3,52	37	0,6	372	8,4	420	600	17,3	1,5
A.Djebbour « S7 »	135,3	158,876	84	4,2	35	2,88	37	1,61	2	0,05	94	2,65	58	1,21	311	5,1	35	0,56	496	7,8	580	800	16,5	4,3
A.Lalla Kheira « S8 »	136,5	160,6	102	5,1	52	4,28	51	2,22	1	0,03	229	6,45	48	1	197	3,23	57	0,92	682	8	1080	1100	16,4	0,1
A.Es Sedd « S9 »	131,2	157,5	106	5,3	33	2,72	51	2,22	3	0,08	101	2,85	106	2,21	336	5,51	35	0,56	558	7,8	680	900	18,4	3,8
A.Hadjar « S10 »	132,75	156,3	130	6,5	30	2,47	69	3	5	0,13	155	4,37	110	2,29	329	5,39	70	1,13	744	7,5	880	1200	17,1	4,3
A.Sidi Aissa « S11 »	131,05	156,95	108	5,4	41	3,37	51	2,22	2	0,05	155	4,37	82	1,71	323	5,3	36	0,58	620	7,7	800	1000	17,4	4
A.Bendil « S12 »	130,2	156,6	112	5,6	51	4,2	51	2,22	2	0,05	145	4,08	86	1,79	398	6,52	35	0,56	682	7,7	840	1100	18,6	3,6
A.Berd « S13 »	130,65	160,85	100	5	7	0,58	9	0,39	2	0,05	30	0,85	34	0,71	287	4,7	34	0,55	372	8,2	440	600	15,8	6,2
A.Deillen « S14 »	133,75	161,75	116	5,8	50	4,11	44	1,91	2	0,05	135	3,8	67	1,4	372	6,1	32	0,52	620	7,6	820	1000	17,8	0,3

Annexe 5 : Tableau des analyses physico-chimiques des points d'eau du fossé de Sebdo de l'année 1990

Annexe 6 : Normes de potabilité des eaux.

Paramètres	Unité de mesure	Normes Algériennes		Normes de la UE		Normes d'USEPA		Normes de l'OMS	
		Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA
Odeur	Nombres de dilution	-	4	-	-	-	3	-	3
Gout	Nombres de Dilution	-	4	-	-	-	-	-	3
Couleur	Pt/Co	-	25	1	20	15	-	5	20
Turbidité	NTU	-	5	1	10	-	-	-	5
Température	°C	-	25	12	25	-	-	-	-
pH	-	6,5 - 8,5	-	6,5 – 8,5	9,5	6,5 – 8,5	-	6,5 – 8,5	-
Conductivité	µS/cm	-	2880	400	-	-	-	-	1400
TDS	mg/L	500	-	-	1500	500	-	-	1500
TH	mg/L	-	500	-	-	-	-	-	500
Calcium	mg/L	75	200	-	100	-	-	75	200
Magnésium	mg/L	-	150	30	50	125	-	50	150
Potassium	mg/L	-	20	10	12	-	-	-	-
Sodium	mg/L	-	200	20	175	20	-	-	200
Chlorures	mg/L	200	500	25	200	-	250	200	600
Sulfates	mg/L	200	400	25	250	-	250	400	-
Nitrates	mg/L	-	50	25	50	30	-	10	50
Nitrites	mg/L	-	0,1	-	0,1	-	1,00	-	0,5
Alcalinité	mg/L	-	-	-	-	-	-	5 - 125	-
Chlore libre	mg/L	-	-	0,2	-	-	-	0,1 - 1	-
Bore	mg/L	-	-	-	1	-	-	0,3	1

CMA : concentration maximale admissible. UE : l'Union Européenne, USEPA : United States Environmental Protection Agency (Agence de Protection Environnementale des Etats-Unis), OMS : Organisation Mondiale de Santé.