

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement

Thème

**Contribution à l'étude piézométrique et
hydrochimique de la nappe phréatique**

de la vallée du M'Zab

(période avril 2013)

Par :

Krimat said

Jury :

Mr. Ouled belkhir chikh

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire 2012/2013

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو وصف خصائص مياه الطبقة الجوفية لمنطقة واد ميزاب , الإستنباط الجيواحصاصي هو من التقنيات الأكثر إستعمالا في هذا الميدان لأجل ذلك قمنا بخرجة ميدانية لغرض أخذ بعض العينات و قياس مستوى المياه الجوفية في الآبار سمحت لنا التقنيات الجيواحصائية برسم الخرائط التي تبين مستوى المياه ودرجة تشبعها بالمعادن و مختلف العناصر .

أغلب النتائج تظهر أن تركيز العناصر يتبع إتجاه تدفق المياه الجوفية ويظهر أيضا أن وسط سهل واد ميزاب يتميز بارتفاع محسوس في منسوب المياه و بتركيز اعلى في المواد الكيميائية .

Résumé

L'objet de ce travail est de caractériser les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab. L'interpolation géostatistique est parmi les techniques les mieux utilisée dans ce type d'étude. Pour ce faire, nous avons procédé à une campagne d'échantillonnages et de prélèvement afin de tracer par les méthodes géostatistiques les diverses cartes en décrivant ainsi le caractère piézométrique et hydro chimique de cette nappe.

La plupart des résultats démontre que la concentration des éléments dans l'eau augmente avec le sens d'écoulement. Il démontre aussi que le centre de la vallée présente une remontée excessive d'eau et une concertation des éléments polluants assez élevés.

Mot clés : Vallée de M'Zab, nappe phréatique, piézométrie, hydrochimie ,géostatistique.

Abstract:

The object of this work is to describe water characterize of the ground water of M'Zab valley, geostatic interpolation among the best techniques used in this type of study for this intention, we proceeded to partner of samplings and taking away in order to trace by the geostatistic methods the various charts by thus describing the piezometric and hydro character of this tablecloth.

The majority of the results show that the concentration of the elements in water increases follows the direction of water flow. It also shows that the center of the valley presents an excessive water increase and a dialogue of the polluting elements enough pupils.

Word cles: Valley of M'Zab, ground water, piézometrie, hydrochimy, geostatistic.

REMERCIEMENTS

*Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et
qui m'a armé de courage pour achever mes études.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements, en premier lieu
à mon Encadreur*

*Mr Ouled Belkhir chikh pour ses conseils et ses consultations
qui
m'ont tout aidé a la réalisation de mon projet.*

*Je remercie vivement Mr Benadda Lotfi pour ses directives
et ses conseils.*

M^{me} Bouamer pour ses conseils.

Je remercie également tous mes enseignants du

L'd'hydraulique

A tous mes collègues.

*Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur
de juger*

mon travail.

KRIMAT SAID

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissances et de respect :*

*A mes très chers parents qui me pousser toujours
à aller ver l'avant,
m'encourager et me soutenir durant tout mon
parcours d'études.*

A tous mes frères et mes sœurs.

*A toute la famille : **KRIMAT.***

*A mon prof : **Mr Benadda Lotfi***

A toute la promotion hydraulique 2013.

*A mes amis surtout : **Younssi Amin***

*Je remercie toutes les personnes qui ont
participé à*

l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

MERCI.

KRIMAT SAID

Sommaire.

Résumé

Remercîments

Dédicaces

Liste des figures

Annexes

Introduction générale

Chapitre 01 : La cartographie

<u>1.1.PRESENTATION D'UN SIG</u>	6
<u>1.1.1.INTRODUCTION</u>	6
<u>1.1.2.HISTORIQUE</u>	6
<u>1.1.3.METHODOLOGIE D'ELABORATION D'UN SIG</u>	7
<u>1.1.4.LES OBJETS SONT TRAITES SELON TROIS NIVEAUX QUI FORMENT LE SOCLE D'UN SIG</u>	7
<u>1.1.4.1.Niveau géométrique</u>	7
<u>1.1.4.2.Niveau topologique</u>	8
<u>1.1.4.3.niveau sémantique</u>	8
<u>1.1.4.4.la projection</u>	8
<u>A. Projection planes</u>	9
<u>B. Projection coniques</u>	10
<u>C. Projection cylindrique</u>	12
<u>D. Projection azimutales</u>	13

Chapitre 02 : La piézometrie

<u>2.1. La Dynamique Des Eaux Souterraine</u>	15
<u>2.2. Les Relatios Entre Les Nappes</u>	15
<u>2.3. Les Types Aquifères</u>	16
<u>2.3.1. Les Aquifères En Domaine Sédimentaire</u>	16
<u>2.3.2. Les Nappes Alluviales</u>	17
<u>2.3.3. Les Aquifères En Domaine De Socle</u>	17
<u>2.3.4. Les Aquifères Karstiques</u>	17
<u>2.3.5. Les Aquifères Des Dépôts Glaciaires</u>	17
<u>2.4. Les Différents Types De Nappe</u>	17
<u>2.4.1. Une Nappe Libre</u>	17
<u>2.4.2. Une Nappe Captive</u>	18

Chapitre 03 : La géostatistique

3.1. INTRODUCTION.....	22
3.2. THEORIE DES VARIABLES REGIONALISES.....	22
3.2.1. <u>La Variable Régionalisée</u>	22
3.2.2. <u>Degré De Stationnarité</u>	23
3.2.3. <u>Stationnarité D'ordre 2</u>	24
3.2.4. <u>L'hypothèse Intrinsèque</u>	25
3.3.1. <u>Variogramme Théorique Et Variogramme Expérimental</u>	26
3.3.2. <u>Propriétés Du Variogramme</u>	27
3.3.3. <u>Modélisation Du Variogramme</u>	28
3.4.1. <u>Définition</u>	30
3.4.2. <u>Estimateur De Krigeage</u>	30

Chapitre 04 : Hydrochimie

4.1. <u>Les Parametres Indesirables</u>	32
4.1.1. <u>Nitrate</u>	32
4.1.2. <u>Fer</u>	32
4.1.3. <u>Aluminium</u>	32
4.1.4. <u>Manganèse</u>	33
4.2. <u>Parametres De Pollution</u>	33
4.2.1. <u>Les Matières Organiques</u>	33
4.2.2. <u>Demande Chimique En Oxygène (Dco)</u>	33
4.2.3. <u>Demande Biochimique En Oxygène (Dbo)</u>	33
4.2.4. <u>Ammoniaque</u>	34
4.2.5. <u>Nitrites</u>	34
4.2.6. <u>Phosphate</u>	34
4.3. <u>Les Paramètres Analyses</u>	34
4.3.1. <u>Le Ph</u>	35
4.3.2. <u>La Conductivité Electrique</u>	35
4.3.3. <u>La Dureté Totale (Th)</u>	35
4.3.4. <u>Le Calcium</u>	36
4.3.5. <u>Le Magnésium(Mg)</u>	36
4.4. <u>Les Méthodes D'analyse</u>	36
4.4.1. <u>Le Titrage</u>	36
4.4.2. <u>Spectrométrie De Fluorescence X</u>	37
4.4.3. <u>L'adsorption Atomique</u>	38
4.4.4. <u>L'analyse Technique</u>	39

Chapitre 05 : Présentation de la zone d'étude

5.1. <u>Présentation de la vallée du M'Zab</u>	41
5.2. <u>Cadre géographique</u>	42
5.3. <u>Aspect socio-économique</u>	44
5.4. <u>Aspect climatique et hydrologique</u>	44
5.5. <u>Aspect géologique</u>	45
5.6. <u>Aspect hydrogéologique</u>	46
5.6.1. <u>La nappe phréatique</u>	46
5.6.2. <u>Le Turonien</u>	46
5.6.3. <u>L'Albien</u>	47
5.6.4. <u>Les aquifères de la région</u>	47

Chapitre 06 : Echantonnage et analyse

6.1. <u>INTRODUCTION</u>	49
6.2. <u>Les étapes de l'échantillonnage</u>	49
6.2.1. <u>L'établissement d'un programme d'échantillonnage</u>	49
6.2.2. <u>La planification des opérations à chaque point de prélèvement</u>	49
6.2.3. <u>Représentativité de l'échantillon et préparation du point d'eau</u>	50
6.2.4. <u>Stockage des échantillons</u>	50
6.3. <u>Méthodologie d'échantillonnage</u>	50
6.3.1. <u>Détermination du sens de l'écoulement des eaux de la nappe superficielle</u> ..	50
6.3.2. <u>Exécution des prélèvements</u>	51
6.4. <u>Les matériels utilisés dans laboratoire</u>	52
6.4.1. <u>Les échantillons</u>	52
6.4.2. <u>L'éprouvette +l'agitateur</u>	52
6.4.3. <u>Une pipete + burette</u>	53
6.4.4. <u>Bécher et fiole</u>	53
6.4.5. <u>Le Ph mètre</u>	54
6.4.6. <u>La conductimètre</u>	55
6.5. <u>Les matériels utilisés in site</u>	56
6.5.1. <u>La sonde piézométrique</u>	56
6.5.2. <u>Le GPS</u>	56
6.6. <u>La dureté (TH)</u>	58
6.6.1. <u>Les réactifs</u>	58
6.6.2. <u>Le mode opératoire</u>	58
A. <u>Le calcium (Ca⁺²)</u>	58

❖ Les réactifs.

❖ Le mode opératoire.

- ❖ Les virages de titrage.
 - Le premier virage dans l'analyse du (Ca⁺²).
 - Le deuxième virage dans l'analyse du (TH).

6.6.3. Les calculs	60
--------------------------	----

CHAPITRE07: Résultats et discussions

7.1. INTRODUCTION	62
7.2. VARIOGRAPHIE	62
7.3. VARIOGRAMMES ET CARTS DES PARAMETRES	62
7.3.1. Le Ph	63
A. Variogramme de la carte du ph	63
B. Commentaire de la carte du pH :.....	64
7.3.2. La conductivité électrique.....	65
A. Variogramme carte de la CE :.....	65
B. Commentaire de la carte de la conductivité électrique	66
7.3.3. La piézométrie	67
A. Variogramme de la carte piézométrique.....	67
B. Commentaire de la carte piézométrique	68
7.3.4. Le calcium.....	69
C. Variogramme de la carte du calcium	69
D. Commentaire de la carte de calcium (Ca)	70
7.3.5. Le magnésium.....	71
A. Variogramme de la carte du magnésium	71
B. Commentaires de la carte de magnésium (Mg)	72
7.3.6. La dureté.....	73
A. Variogramme carte de la dureté.....	73
B. Commentaires de la carte de la dureté.....	74
7.3.7. Le niveau statique	75
A. Variogramme de la carte du niveau statique.....	75
B. Commentaires de la carte niveau statique	76
7.3.8. L'analyse en composants principales (ACP)	76
7.3.9. Corrélation simple	77
7.3.10. Tableau require.....	78

CONCLUSION GENERALE	79
---------------------------	----

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

ANEXES

List des figures

<u>Figure N°01 - Les projections coniques</u>	9
<u>Figure N°02 - Projection conique équidistante</u>	9
<u>Figure N°03 - Projection conique équivalente d'Albers</u>	9
<u>Figure N°04 - Comparaison des projections coniques conforme de Lambert et équivalente d'Albers</u>	10
<u>Figure N°05 - Les projections cylindriques</u>	10
<u>Figure N°06 - Projection conforme cylindrique directe de Mercator</u>	11
<u>Figure N° 07 - Projection conforme cylindrique transverse de Mercator (UTM)</u>	11
<u>Figure N° 08 - Projection cylindrique transverse équidistante</u>	12
<u>Figure N° 09 - Projection azimutale équivalente de Lambert</u>	12
<u>Figure N° 10 - Projection azimutale équidistante</u>	13
<u>Figure N° 11- Les Différents Types Des Nappes</u>	16
<u>Figure N°12 - La Nappe Libre</u>	18
<u>Figure N°13 - La Nappe Captive</u>	19
<u>Figure N°14 - La Nappe Captive Artésienne</u>	19
<u>Figure N°15 - Schéma Du Variogramme</u>	27
<u>Figure N°16 - Correspondant A Fluorescence X</u>	37
<u>Figure N°17 - La Spectrométrie D'adsorption Atomique</u>	38
<u>Figure N°18 - Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa (3)</u>	43
<u>Figure N°19- Carte de la zone d'étude (3)</u>	44
<u>Figure N°20 - Coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab(3)</u>	46
<u>Figure N°21 - Les échantillons</u>	52
<u>Figure N°22-Les éprouvette +agitateur</u>	52
<u>Figure N°23 - Pipete + burette</u>	53
<u>Figure N°24 - Bécher et fiole</u>	53
<u>Figure N°25 - Le Ph mètre</u>	54
<u>Figure N°26 - La conductimètre</u>	55
<u>Figure N°27 - La sonde piézométrique</u>	56
<u>Figure N°28 - Le GPS</u>	56
<u>Figure N°29 - Le titrage</u>	59
<u>Figure N°30 - Variogramme de la carte du pH</u>	62
<u>Figure N°31 - La carte du Ph</u>	63
<u>Figure N°32 - Le Variogramme de la salinité</u>	64
<u>Figure N°33 - Carte de la conductivité électrique</u>	65
<u>Figure N°34 - Le variogramme de la carte piézométrique</u>	66

<u>Figure N°35 - La carte piézométrique</u>	67
<u>Figure N°36 - Variogramme de (Ca)</u>	68
<u>Figure N°37 - La carte de calcium (Ca)</u>	69
<u>Figure N°37 - Variogramme du (Mg)</u>	70
<u>Figure N°38 - La carte de magnésium (Mg)</u>	71
<u>Figure N°39 - Variogramme carte (TH)</u>	72
<u>Figure N°40 - La de la dureté (TH)</u>	73
<u>Figure N°41 - Variogramme niveau statique</u>	74
<u>Figure N°42 - la de niveau statique</u>	75
<u>Figure N°43 - Analyse des composants principaux</u>	76

REMERCIEMENTS

*Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et
qui m'a armé de courage pour achever mes études.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements, en premier lieu
à mon Encadreur*

*Mr Ouled Belkhir pour ses conseils et ses consultations qui
m'ont tout aidé a la réalisation de mon projet.*

*Je remercie vivement Mr Benadda Lotfi pour ses directives
et ses conseils.*

M^{adame} Bouamer pour ses conseils.

*Je remercie également tous mes enseignants du L'd'hydraulique
A tous mes collègues.*

*Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur
de juger
mon travail.*

KRIMAT SAID



Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissances et de respect :*

*A mes très chers parents qui me pousser toujours
a aller ver l'avant,
m'encourager et me soutenir durant tout mon
parcours d'études.*

A tous mes frères et mes sœurs.

*A toute la famille : **KRIMAT.***

A toute la promotion hydraulique 2013.

*A mes amis surtout : **younsi Amín***

*Je remercie toutes les personnes qui ont
participé à
l'élaboration de ce travail de près ou de loin.*

MERCI.

KRIMAT SAID

ANNEXES

Les puits	z (m)	profondeur (m)	CE en (ms)	Ph	n p en (m)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	TH(mg/l)
pt01	483	2,4	6,01	7,29	480,6	160,32	260,01	1390
pt02	547	19,1	1249,14	7,85	527,9	389,57		
pt03	555	21,9	2,46	7,94	533,1	452,9	515,16	2520
pt04	550	22,3	1233,47	7,87	527,7	477,75		
pt05	553	22,5	1609,23	7,88	530,5	496,99	301,32	728
pt06	551	24,4	2,65	7,66	526,6	557,91		
pt07	551	20,5	2,45	7,59	530,5	428,85	255,15	880
pt08	550	23,7	2,37	7,61	526,3	546,69		
pt09	549	20,3	2,18	7,67	528,7	424,84	245,43	1050
pt10	546	19,7	2,07	7,68	526,3	400,8		
pt11	553	19,1	2,47	7,71	533,9	395,99	138,51	1200
pt12	540	19,23	1960,96	7,64	520,77	399,19		
pt13	545	21,6	1029,06	7,86	523,4	450,49		
pt14	535	22,7	2,43	8	512,3	498,59	102,06	1480
pt15	534	17,6	1244,5	8,06	516,4	376,75		
pt16	533	27,1	3,16	8,16	505,9	649,29		
pt17	532	23,12	2,34	7,54	508,88	513,02		
pt18	533	17,7	1722,99	7,67	515,3	381,56	403,38	1368
pt19	523	22,32	1485,98	7,67	500,68	488,97		
pt20	528	16,9	1631,62	7,65	511,1	339,87	119,07	1364
pt21	531	19,22	1249,14	8,37	511,78	397,59	121,5	1260
pt22	531	17,5	2008,48	7,92	513,5	376,75		

pt23	530	16,6	3,68	7,64	513,4	328,65		
pt24	530	16,33	6,47	7,65	513,67	327,05		
pt25	529	26	3,87	7,76	503	561,12	150,66	1240
pt26	525	14,1	4,93	7,54	510,9	319,03		
pt27	526	15,1	4,18	7,95	510,9	320,64		
pt28	520	18,73	5,14	7,5	501,27	387,97		
pt29	519	17,84	5,94	7,75	501,16	384,76		
pt30	520	20,8	8,46	7,97	499,2	448,89		
pt31	528	17,3	1634,23	7,75	510,7	368,73		
pt32	526	13,5	6,2	7,41	512,5	308,61		
pt33	525	13,2	6,2	7,33	511,8	288,57		
pt34	513	9,2	6,47	7,17	503,8	276,55		
pt35	511	20,12	1670,32	8,18	490,88	400,8		
pt36	526	23,53	875,68	8,24	502,47	537,07		
pt37	525	17,26	1652,63	7,57	507,74	360,72		
pt38	520	17,84	3,01	7,85	502,16	384,76		
pt39	519	6,54	1581,37	7,42	512,46	224,44	204,12	2010
pt40	514	5,96	6,73	7,41	508,04	220,44		
pt41	515	8,35	6,84	7,35	506,65	250,09		
pt42	518	7,43	5,63	7,47	510,57	232,46	160,38	2120
pt43	505	8,83	5,71	7,47	496,17	256,51	60,26	2780
pt44	499	8,68	6,13	7,59	490,32	256,51		
pt45	493	10,53	5,46	7,48	482,47	283,76		
pt46	482	5,52	4,9	7,61	476,48	216,43	89,91	2812
pt47	482	3,85	5,13	7,68	478,15	187,57		
pt48	476	2,2	5,2	7,77	473,8	144,28	301,32	2480
pt49	475	4,9	4,26	7,46	470,1	192,38		

pt50	434	8,25	6,21	7,95	425,75	248,49	138,51	710
pt51	471	5,03	5,79	7,85	465,97	204,4		
pt52	476	1,83	3,76	7,74	474,17	128,25		
pt53	468	4,92	5,94	7,59	463,08	200,4	179,82	2132
pt54	454	9,13	7,88	7,48	444,87	274,14		
pt55	442	13,43	7,17	7,46	428,57	293,38	383,94	3410

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, et plus particulièrement au Sahara, la principale source de satisfaction des besoins en eau est l'eau souterraine, à cause de son exploitation relativement facile.

La vallée du M'Zab, à laquelle se rattache cette étude, se situe dans la zone septentrionale du Sahara algérien. Elle abrite la célèbre palmeraie et les anciennes agglomérations (Ksour) qui remontent au XI^e siècle. Les palmeraies ont été suffisamment irriguées par des eaux de la nappe phréatique rechargé lui-même par le passage des crues de la vallée.

Au cours des 20 dernières années la vallée a connue plusieurs problèmes liés notamment à la remontée des eaux, au phénomène de pollution, et aux catastrophes dues aux crues. La croissance démographique entraînant une intense urbanisation remarquable dans le paysage du M'zab. Devant cette croissance, et pour satisfaire les besoins en eau, l'état fait appel aux forages qui exploitent les nappes profondes notamment l'Albien, ce qui a induit l'abandonnement presque totale de la nappe phréatique, ajoutant à celle-là, la mauvaise maîtrise de la collection des eaux usées, entraînant ainsi une importante infiltration dans la nappe phréatique alluvionnaire. Cette situation a entraîné la remontée et la pollution de la nappe phréatique.

Le principal objet de ce travail est d'établir des cartes piézométriques et hydrochimiques des eaux de la nappe phréatique, sur la base des données d'échantillonnage effectuées dans la période d'étude. Ces cartes permettent la localisation et l'identification tous les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques sur le long de la vallée.

Notre étude se scinde essentiellement en deux parties principales. La première partie consistera à donner des différents aspects théoriques pour établir une campagne d'échantillonnage et pour tracer les cartes notamment : la géostatistique, la cartographie, l'hydrochimie...etc.

Dans la seconde partie nous avons donné la présentation générale de la zone d'étude et le cadre physique régionale (climatologie, situation géographique, la géologie, cadre urbanistique, le cadre socioéconomique etc).

En suite et dans la même partie nous avons procédé au traçage des différentes cartes en ajustant à chaque fois la variation spatiale à un modèle théorique, les cartes ainsi tracées sont commentées et

expliqué après le passage de l'analyse statistique appropriée (ACP, corrélation) .a la fin nous donnent quelque recommandation pour les future étude et pour la bonne gestion de milieu environ mentale de la enquissions.

CHAPITRE 01

LA CARTOGRAPHIE

CHAPITRE01 : LA CARTOGRAPHIE

1.1. PRESENTATION D'UN SIG

1.1.1. INTRODUCTION

Un système d'information géographique (SIG) est un outil informatique permettant d'organiser et présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de Produire des plans et cartes. Ses usages couvrent les activités géomatiques de traitement et diffusion de l'information géographique.

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphiques telles que des points, des vecteurs (arcs), des polygones ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations attributaires telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (nombre d'habitants, type ou superficie d'une commune par ex.).

L'information géographique peut être définie comme l'ensemble de la description d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre.

Dans son acception courante, le terme fait référence aux outils logiciels. Cependant, le concept englobe l'ensemble constitué par les logiciels, les données, le matériel et les savoir faire liés à l'utilisation de ces derniers. On peut aussi parler de système d'information à référence spatiale (SIRS) pour les données et leur structuration. L'acronyme SIT (système d'information sur le territoire) est aussi utilisé dans quelques pays francophones. Enfin, les sigles BDU (banque de données urbaine), voire BDT (banque de données sur le territoire), plus anciens, peuvent se rencontrer ici et là.

1.1.2. HISTORIQUE

On cite souvent comme première application des SIG l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854.

Ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il détermina que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination. On peut faire du SIG sans ordinateur.

Le développement des SIG dans la science et l'aménagement du territoire a été permis par l'avancée de la technologie informatique, et encouragée par prise de conscience environnementale et de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires, intégratrices.

Depuis les années 1970, notamment depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 qui a généré une demande croissante de cartes présentant l'état de l'environnement et utiles pour mesurer les impacts du développement.

1.1.3. METHODOLOGIE D'ELABORATION D'UN SIG

Maguire *et al.* (1991) distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

- ❖ fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques.

- ❖ milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...).

- ❖ depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, avec depuis les années 1990, des applications sur Internet) et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...). [1]

1.1.4. LES OBJETS SONT TRAITES SELON TROIS NIVEAUX QUI FORMENT LE SOCLE D'UN SIG

1.1.4.1. Niveau Géométrique

Chaque objet est défini par un point (borne, entreprises...), un arc ou une ligne (routes, voies ferrées...), un polygone ou une surface (communes, occupation du sol...).il est

systématiquement géo-référencé par des coordonnées géographiques (latitude, longitude) ou par des coordonnées planes dans un système de projection.

1.1.4.2. Niveau Topologique

Les relations de voisinage entre les objets constituent le niveau topologique. La topologie étant la branche des mathématiques qui étudie, dans l'espace réel, les propriétés liées au concept de voisinage.

1.1.4.3. Niveau Sémantique

Enfin, chaque objet contient des informations de type alphanumérique (nom de la commune, numéro INSEE, nombre de voies d'une route, type de bâtiment ...). [2]

1.1.4.4. La Projection

Les projections cartographiques sont des méthodes de représentation de la réalité sphérique du globe sur un plan plat. Il existe de nombreuses projections, chacune faisant un compromis spécifique entre déformations des distances, formes, surfaces, et découpage de l'espace, en fonction de l'espace du surjeta exposés. Plus le sujet est large, plus on traite d'une réalité courbe, et plus les transformations seront importantes. Pour les cartes du monde, la National Géographique Society et le National Géographique préfèrent aujourd'hui la Projection de Winkel-Tripel^{9,10}. Pour une carte de la France métropolitaine, la projection officielle est la Lambert-93 (décret du 26 décembre 2000). [3]

A. Les projections planes

L'objectif des projections cartographiques est d'obtenir une représentation plane du modèle ellipsoïdal de la surface de la Terre. L'intérêt majeur réside alors dans les valeurs métriques, beaucoup plus facilement exploitables, en particulier pour les mesures de distance. Mais une projection ne peut jamais se faire sans qu'il y ait de déformations. Pour s'en convaincre, il suffit d'essayer d'aplatir la peau d'une orange ! Néanmoins, par calcul, il est possible de définir le type et les paramètres d'une projection dans le but de minimiser certaines déformations. On choisit alors :

- soit de **conserver les surfaces** (projections équivalentes) ;
- soit de **conserver localement les angles** (projections conformes) ;
- soit de conserver les distances à partir d'un point donné (projections équidistantes) ;
- soit d'opter pour une représentation ne conservant ni les angles ni les surfaces (projections dites aphylactiques).

Dans tous les cas, aucune projection ne peut conserver toutes les distances. On introduit alors les notions de module linéaire et d'altération linéaire. Aujourd'hui, la plupart des projections utilisées en géodésie et topographie sont conformes. La cartographie à petite échelle utilise souvent des projections équivalentes.

Une autre façon de classer les projections planes est de s'intéresser à leur canevas, c'est-à-dire l'image des méridiens et des parallèles. C'est selon cette approche que nous allons aborder les grandes familles de projection. [3]

B. Projections coniques

Dans ce type de représentation, les images des méridiens sont des demi-droites qui concourent en un point image du pôle et les parallèles des arcs de cercles concentriques autour de ce point. Elles peuvent être réalisées de deux façons :



Figure N°01 - Les projections coniques

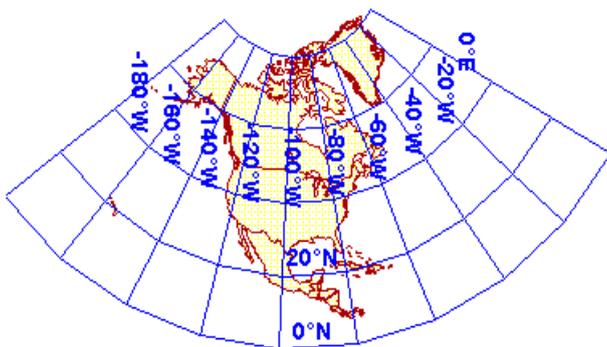


Figure N°02 - Projection conique équidistante

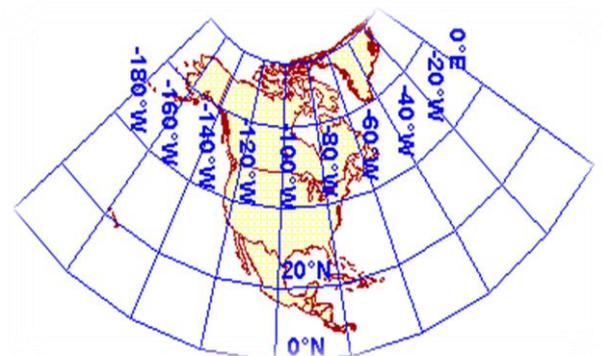


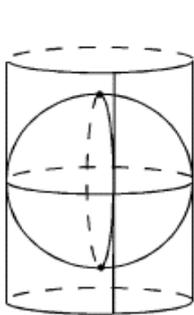
Figure N°03 - Projection conique équivalente d'Albers



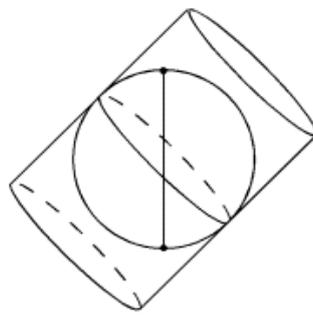
Figure N°04 - Comparaison des projections coniques conforme de Lambert et équivalente d'Albers

C. Projections cylindriques

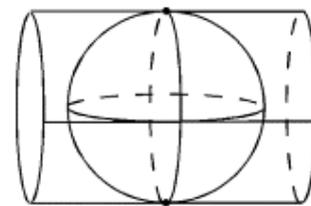
Dans ce type de représentation, l'image des méridiens est un faisceau de droites parallèles, et l'image des parallèles, un faisceau de droite parallèles, orthogonales à l'image des méridiens. Elles peuvent réalisées de trois façons :



Direct



Oblique



Transverse

Figure N°05 - Les projections cylindriques [3]

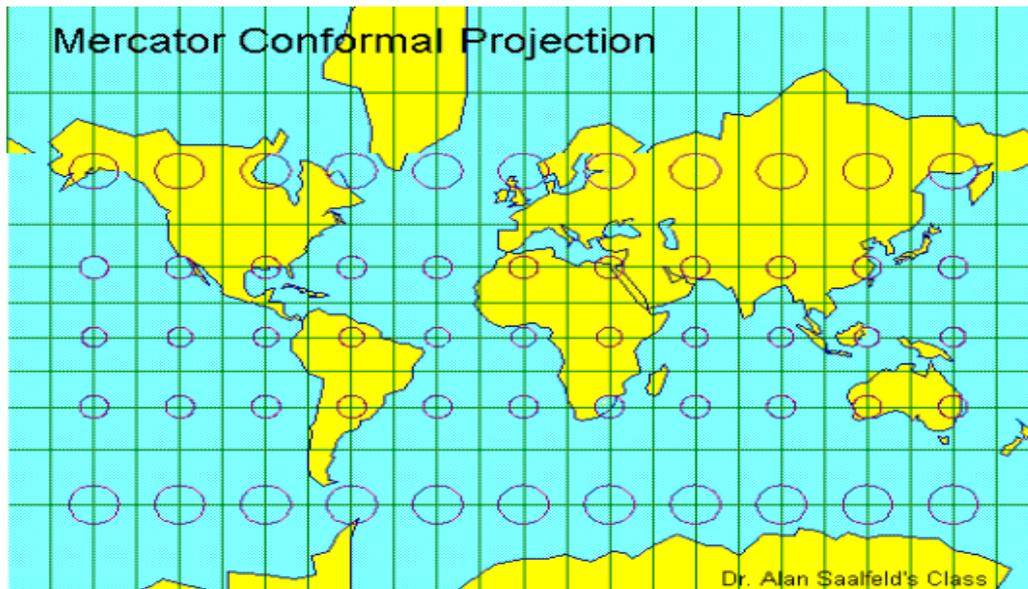


Figure N°06 - Projection conforme cylindrique directe de Mercator

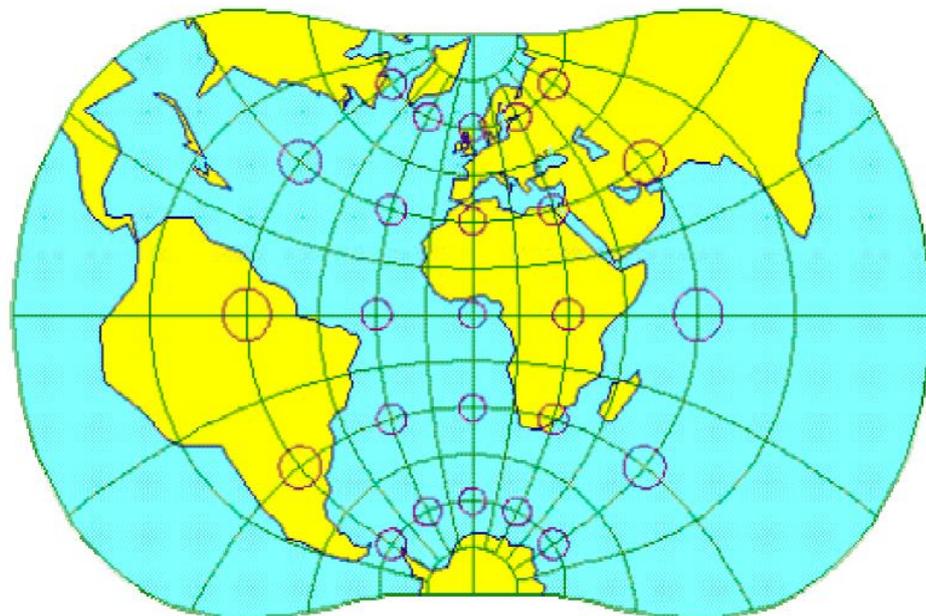


Figure N° 07 - Projection conforme cylindrique transverse de Mercator (UTM).

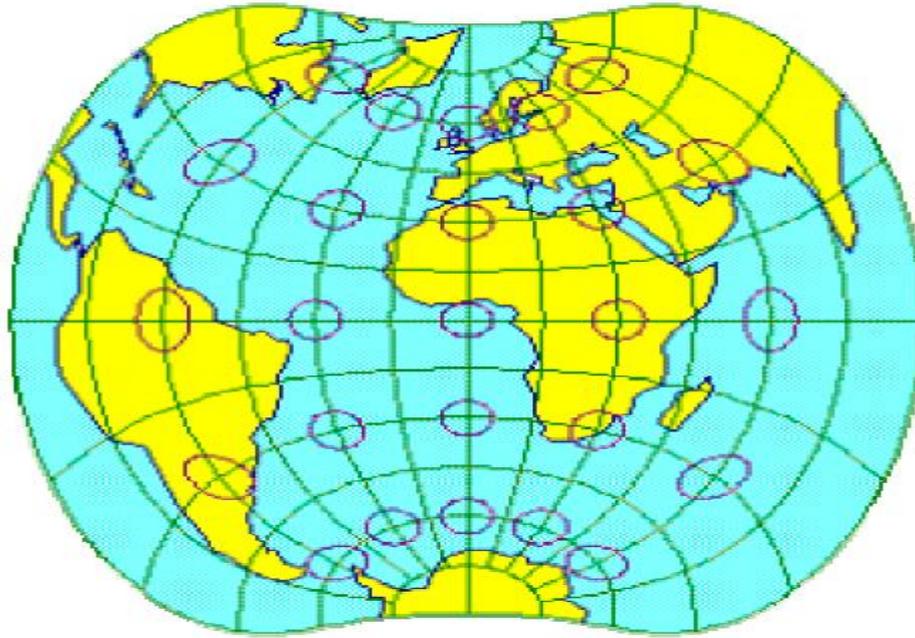


Figure N° 08 - Projection cylindrique transverse équidistante

D. Projections azimutales

Dans ce type de représentation, les images des méridiens sont des demi-droites qui concourent en un point image du pôle. Les parallèles sont des cercles entiers concentriques autour de ce point [3].

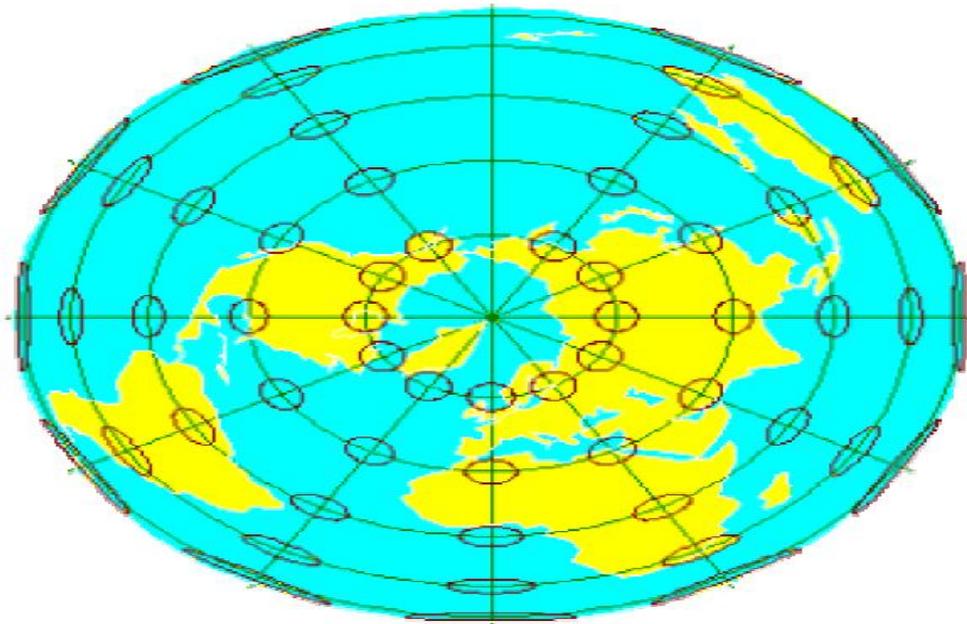


Figure N° 09 - Projection azimutale équivalente de Lambert

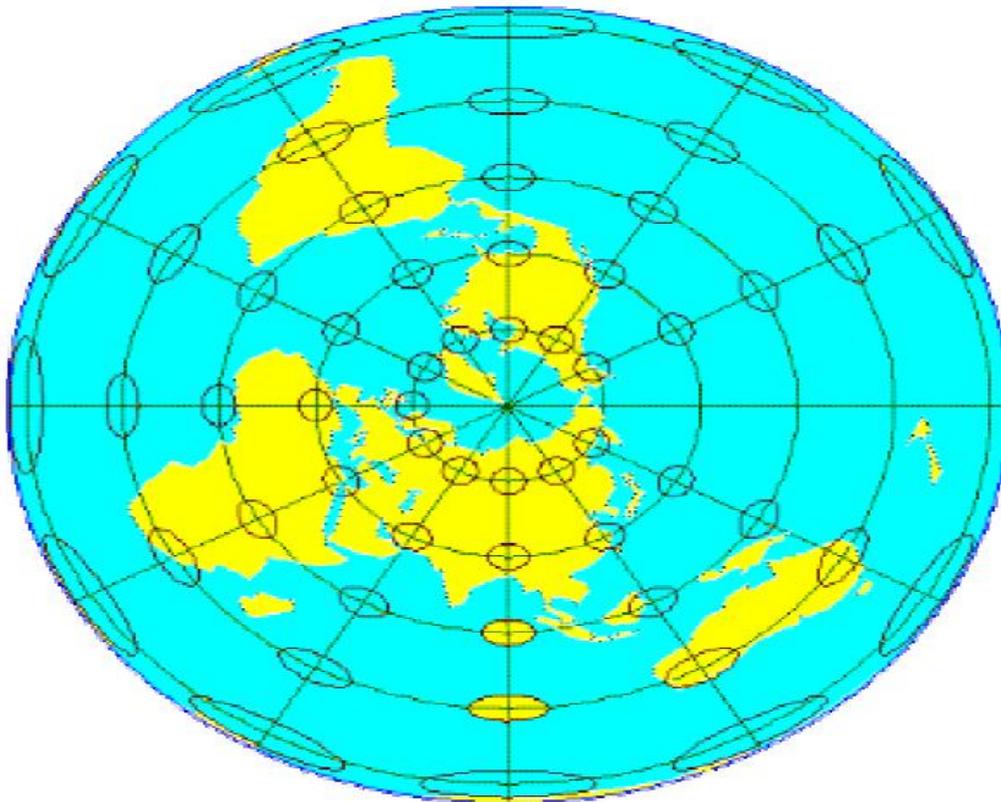


Figure N° 10 - Projection azimutale équidistante

E. Autres projections

Il existe encore d'autres types de projection mais leurs utilisations en cartographie sont beaucoup plus spécifiques, voire difficiles, que celles des trois grandes familles qui viennent d'être exposées. C'est pourquoi nous ne nous attarderons pas dessus. **[3]**

CHAPITRE 02

LA PIEZOMETRIE

CHAPITRE 02 : LA PIEZOMETRIE

2.1. LA DYNAMIQUE DES EAUX SOUTERRAINE

A l'intérieur des nappes se déroulent de grands phénomènes naturels de fluctuation et d'écoulement.

L'eau d'infiltration issue des pluies efficaces, au sommet de la nappe remplit les pores et relève le niveau de la nappe sur une hauteur de un à quelques dizaines de mètres, selon les roches et l'importance de la recharge. Ceci entretient une pente faible mais suffisante pour que l'eau s'écoule vers les points bas et les sorties possibles (rivières, sources).

Sous l'effet de la pesanteur, l'eau souterraine s'écoule comme le fait l'eau de surface, mais le freinage produit par le frottement dans les pores de la roche fait durer le phénomène des semaines ou des années.

Dans un karst, très perméable, cela dure de quelques semaines à quelques mois. Dans un sable fin argileux, peu perméable, cela prend des années. Pendant ce temps, l'écoulement aux limites vide le réservoir et abaisse la surface. Là est l'origine de la fluctuation du niveau des nappes, et le niveau remontera aux prochaines pluies efficaces. L'amplitude de la fluctuation est maximale, loin des limites de sortie. En revanche, aux sources, le niveau varie peu, c'est alors le débit qui fluctue.

Ainsi, beaucoup de nappes ont un régime pluriannuel. Une série de recharges, chaque année, constitue un peu comme un train d'ondes irrégulières qui se combinent pour former une modulation plus lente, plus large. Une et même plusieurs années sans recharge de ces types de nappes ne constituent donc pas un phénomène grave. Elles supportent bien ces déficits. [4]

2.2. LES RELATIOS ENTRE LES NAPPES

Des nappes qui communiquent entre elles forment des systèmes aquifères et la combinaison naturelle de plusieurs nappes contenues dans des terrains de propriétés diverses, va jouer un rôle modérateur et régulateur des écoulements.

A plus grande échelle, le drainage successif de plusieurs nappes par le réseau hydrographique d'un grand bassin constitue aussi un phénomène compensateur par addition

de nappes karstiques à tarissement rapide et de nappes à effet de réserve différée par exemple. Chacune joue alors son rôle le moment venu en fonction de ses capacités.

De plus, la taille des bassins organisés en grappes de sous-bassin est aussi responsable de la plus ou moins grande pérennité des écoulements. Ce sont donc les petites nappes de

Faible capacité de stockage, vites vidées parce que très perméables et situées en tête des bassins qui vont mal supporter la sécheresse.

Le milieu naturel fonctionne comme un ensemble de réservoirs en cascades. Le sol recueille les pluies (une partie de l'eau ruisselle plus ou moins rapidement selon la pente et la perméabilité des terrains) et le proche sous-sol s'humecte et retient une partie de l'eau qu'il redistribue vers l'atmosphère par les plantes qui "évalaporent et transpirent" (évapotranspiration : en France, près des 2/3 des pluies repartent ainsi vers l'atmosphère) et vers le sous-sol profond. Les nappes sont ainsi alimentées par l'infiltration. [4]

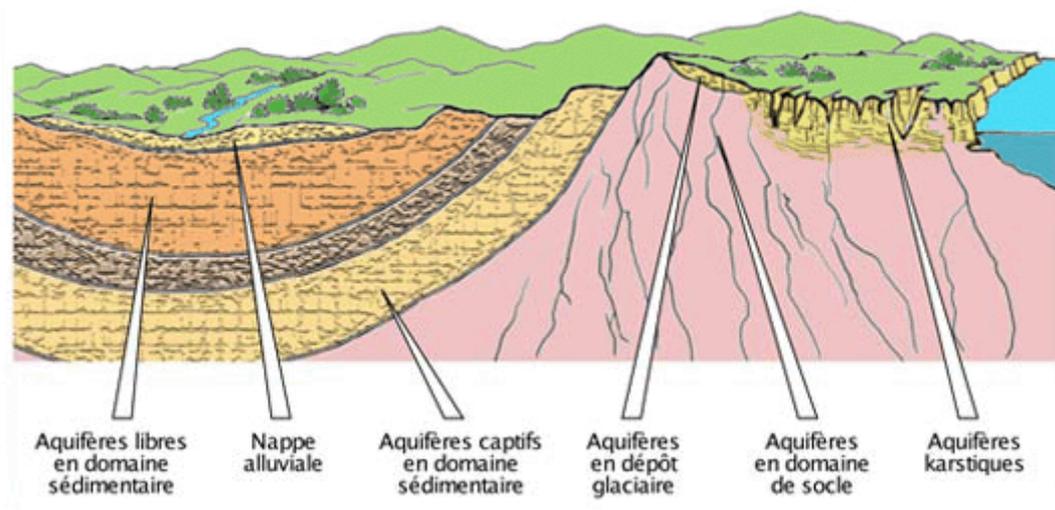


Figure N° 11- Les différents types des nappes

2.3. Les types aquifères

Certaines formations géologiques sont suffisamment poreuses ou fissurées pour contenir de l'eau. On parle alors de formations aquifères (éthymologiquement « roche qui contient de l'eau »). Selon la nature géologique des terrains, on peut distinguer différents types aquifères :

2.3.1. Les aquifères en domaine sédimentaire

Ces systèmes sont caractéristiques des bassins sédimentaires, il s'agit de roches sédimentaires poreuses ou fracturées (sables, grès, calcaires, craie) jadis déposées en vastes couches. Ces

aquifères peuvent être libres ou captifs selon qu'ils sont ou non recouverts par une couche imperméable.

Dans un aquifère libre, la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface. Dans un aquifère captif, une couche géologique imperméable confine l'eau. L'eau est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens lorsque la configuration s'y prête. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou par des communications souterraines. Les nappes captives sont souvent profondes.

2.3.2. Les nappes alluviales

Contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans le cours d'eau en période de sécheresse.

Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité.

2.3.3. Les aquifères en domaine de socle

Ils correspondent aux roches cristallines ou cristallophylliennes (granites, gneiss et autres roches métamorphiques...) bien représentées dans le massif central et certaines zones des Alpes, Pyrénées et Corse, l'eau est contenue et circule dans les franges d'altération et les fissures et fractures de la roche. Il s'agit donc généralement de petits systèmes discontinus.

2.3.4. Les aquifères karstiques

Les aquifères karstiques se rencontrent dans les formations calcaires (par exemple les plateaux de Bourgogne, du Languedoc, Jura, Préalpes...). Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. Aux points de sortie les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie parfois de 1 à 100 au cours de l'année).

2.3.5. Les aquifères des dépôts glaciaires

Ces dépôts à la structure sédimentologique complexe composés de matériaux de granulométrie très variée sont à l'origine de petits aquifères très compartimentés localisés dans

les anciens ombilics glaciaires et cirques morainiques. Ils sont par conséquent, en général peu développés en superficie mais peuvent, par contre, être épais, tout particulièrement derrière les verrous glaciaires ou dans d'anciens sillons sous ou périglaciaires[5].

2.4. Les différents types de nappe

2.4.1. Une nappe libre

Est alimentée directement par les pluies qui ruissellent et pénètrent dans le sol en pouvant entraîner avec elles des substances polluantes provenant des activités de surface (agriculture, industrie, assainissement collectif et industriel, décharges).

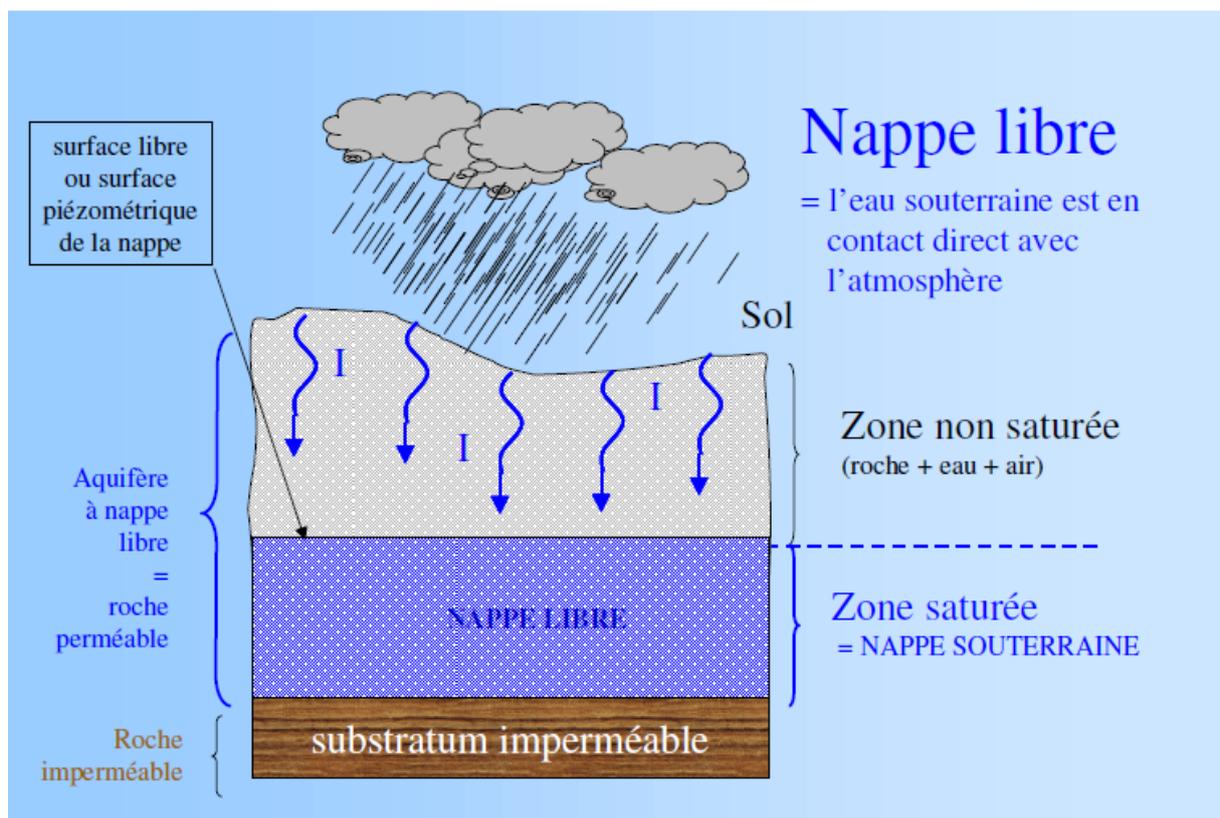


Figure N°12 - La nappe libre[6].

2.4.2. Une nappe captive

Est surmontée par une couche moins perméable ou imperméable et son niveau piézométrique est supérieur à la cote de son toit ; la nappe est "confinée" ou sous pression. Généralement, une nappe captive est située plus en profondeur qu'une nappe libre. Si le niveau piézométrique de la nappe captive est supérieur à la cote du sol, la nappe est dite artésienne.

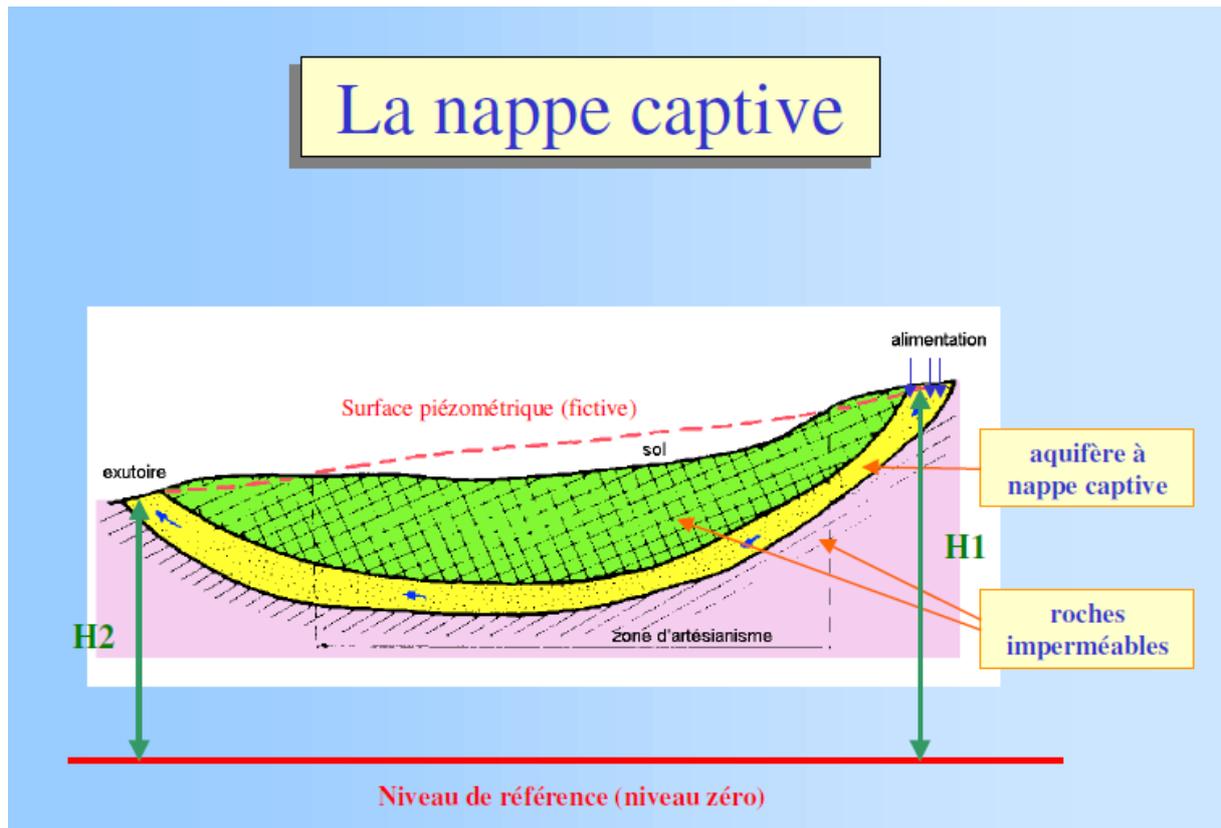


Figure N°13 - La nappe captive

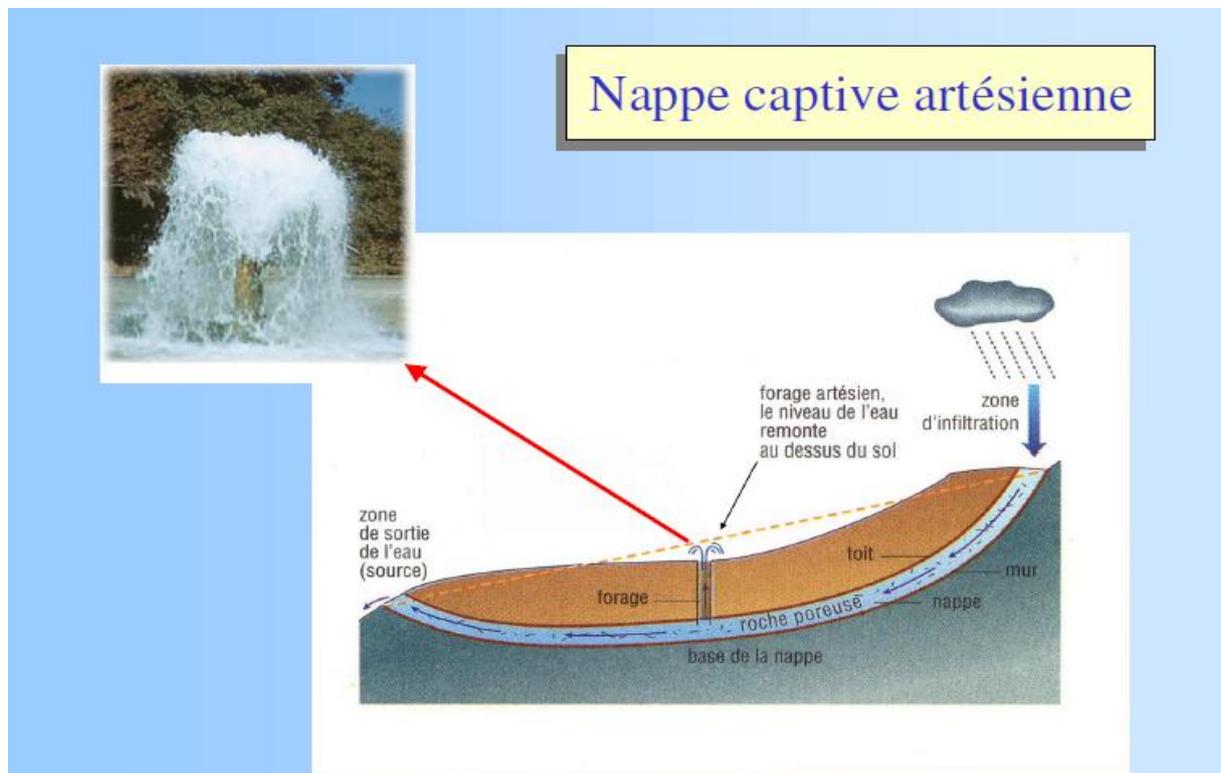


Figure N°14 - La nappe captive artésienne

Lorsque deux nappes sont situées de part et d'autre d'une couche imperméable, ce sont des nappes superposées : leurs niveaux piézométriques et la qualité de leurs eaux sont souvent différents. Importance des formations géologiques sous-jacentes : la nature (sulfatée par exemple) des roches traversées avant d'atteindre l'aquifère peut entraîner la corrosion du tubage. (EDF). [6]

CHAPITRE 04
L'HYDROCHIMIE

CHAPITRE 04 : L'YDROCHIMIE

4.1. LES PARAMETRES INDESIRABLES

Se sont des substances dont la présence est tolérée dans l'autant qu'elles restent inférieures à un certain seuil. [11]

4.1.1. Nitrate

Les nitrates sont toxiques lorsqu'ils se trouvent à des concentrations excessives dans l'eau de boisson car ils provoquent dans certain cas la méthémoglobinémie chez les bébés nourrir au biberon .En ce concerne les individus plus âgés, le problème ne se présente pas mais il est possible que certaines formes de cancer soient associées à de très fortes concentrations de nitrates. Les effets nocifs des nitrates impliquent nécessairement un premier stade de transformation en nitrate , il s'ensuit que l'absorption de nitrite fait apparaitre plus rapidement des effets cliniques et qu'il faut adopter pour l'ion nitrite une valeur indicative plus faible que pour l'ion nitrate lorsque l'eau de boisson est correctement traitée.[12]

4.1.2. Fer

Au niveau de la distribution, le fer provient le plus souvent de l'action de l'eau sur les canalisations .Le fer ne présent aucun inconvénient du point de vue physiologique, c'est un élément essentiel de la nutrition humaine. Au pH de l'eau de boisson, les sels de fer sont instables et précipitent sous forme d'hydroxyde ferrique insoluble qui forme un limon couleur de rouille souvent désagréable au gout. Dans les réseaux de distribution des dépôts réduisent progressivement le débit et facilement la prolifération des ferrobactéries (quand fer \square 0.3mg/l).[13]

4.1.3. Aluminium

En général l'aluminium susceptible d'être retrouve dans l'eau de distribution ne présent pas de caractère de toxicité, lorsqu'il est en solution et en milieu acide ; il existe d' Al^{+3} dans une solution dont on élève le pH

progressivement. il se précipite sous forme de tri hydroxyde $Al(OH)_3$ qui se dissous sous forme d'aluminium. [14]

4.1.4. Manganèse

Le manganèse est assez répandu dans la nature, sa présence dans l'eau peut s'y trouver à des valences différentes (I, II, III) à l'état soluble ou en suspension ou se forme de complexes ; sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous de la présence d'agents complexant. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a une attaque par d'eau de la roche support en milieu réducteur ou sous l'action de certaines bactéries. Par ailleurs même à des doses faibles (0.05mg/l) il est susceptible de forme une couche noire sur la canalisation qui lorsqu'elle se détache donne un aspect peu engageant à l'eau. Du point de vue domestique, il présente des inconvénients même en quantité faible (≈ 0.1 mg/l). [15]

4.2. PARAMETRES DE POLLUTION

4.2.1. Les matières organiques

Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits de décomposition d'origine animale ou végétale. Elaborées sous l'influence des microorganismes, l'inconvénient des matières organiques est de favoriser l'apparition de mauvais goût qui pourront être exacerbés par la chloration. Une eau riche en matière organique doit toujours être suspectée de contamination bactériologique ou chimique, leur teneur est appréciée le plus souvent, par des tests tel que la réduction du permanganate de potassium en milieux acide ou alcalin. [14]

4.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

Est la consommation en oxygène par les oxydants chimique forte pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. [14]

4.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO)

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau avec le concours des

microorganismes qui se développent dans des conditions données du milieu.

[18]

4.2.4. Ammoniaque

L'ammoniaque est un gaz soluble dans l'eau mais suivant les conditions de pH il se transforme, soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée. En plus, l'ammoniaque est favorable au développement de certaines bactéries qui à leur tour génèrent de mauvais goûts. En générale, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites et nitrites par oxydation. **[14]**

4.2.5. Nitrites

Les nitrites peuvent être rencontrés dans l'eau, mais à des doses faible. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte l'interprétation définitive des résultats doit nécessairement de tenir compte des teneurs en nitrates, en azote ammoniacal, en matière organique et de l'examen bactériologique. Il est important de signaler que les eaux en contact avec certaines conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure. On trouve aussi quelquefois des nitrites non liés à une pollution dans les eaux pauvres en oxygène. Du point de vue de toxicité, il faut retenir que les nitrites peuvent avoir une action méthémoglobinémie comme pour le nitrate. Un excès de nitrite dans l'eau de de boisson peut provoque de l'hypotension chez les humains et chez les nourrissons une méthémoglobinémie.

4.2.6. Phosphate

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. **[14]**

4.3. Les paramètres analysées

Dans cette étude, nous avons examiné les éléments suivants :

4.3.1. Le pH

Le pH désigne le nombre d'ions hydrogènes (H⁺) qui se trouvent dans la solution. Il peut se mesurer de plusieurs façons : par un pH-mètre, ou bien grâce à un test de mesure pH JBL. Les résultats de ce test appartiennent à une échelle comprise entre 0 et 14. Si la solution a un pH compris entre 0 et 5, la solution est dite acide. S'il est entre 5 et 8, elle est dite neutre. Au dessus de 8, la solution est considérée comme basique. Pour que l'eau soit potable, il est recommandé que le pH de celle-ci soit compris entre 6.5 et 9. On remarque que plus le pH est proche de 7, moins l'eau est néfaste pour la santé. Dans le cas inverse, elle est trop acide ou trop basique et le corps aura du mal à compenser cette acidité.

4.3.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique est l'inverse de la résistivité. Elle correspond à la conductance d'une portion de matériau de 1 m de longueur et de 1 m² de section. Parmi les meilleurs conducteurs, il y a :

- Les métaux (comme l'argent, le cuivre, l'aluminium) pour lesquels les porteurs de charge sont les «électrons libres ».
- Les solutions d'électrolytes (ayant des ions en solution). Pour ces dernières, la valeur de la conductivité dépend de la nature des ions présents dans la solution et de leurs concentrations. La conductivité d'une solution peut être mesurée à l'aide d'un conductimètre.

La conductivité est mesurée en S.m⁻¹ (siemens par mètre), mais le plus souvent la mesure avec un conductimètre donne le résultat en mS.cm⁻¹ (milli siemens par centimètre)

4.3.3. La dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est liée à la nature géologique des sols traversés, mais peut varier de façon naturelle au cours de l'année, sous l'effet de l'activité biogéochimique. La quantité totale de calcium et de magnésium contenue dans l'eau est mesurée par le « titre hydrotimétrique » (TH). Cette grandeur est exprimée en degrés français (°F) : 1°F = 10 mg/l de carbonate de calcium (CaCO₃), soit 4 mg/l de calcium. **[19]**

4.3.4. Le calcium(Ca)

Le calcium est un élément chimique, de symbole Ca et de numéro atomique 20. C'est un métal alcalino-terreux gris et mou qui ne se trouve jamais à l'état de corps pur dans la nature. Il est le cinquième élément le plus abondant de la croûte terrestre (plus de 3 %) et est essentiel pour la matière organique : formation des os, des dents et des coquilles. Le calcium joue également un rôle très important en physiologie cellulaire. L'unité de calcium est (mg/l). [19]

4.3.5. Le magnésium(Mg)

Le magnésium est un élément chimique, de symbole Mg et de numéro atomique 12. Le magnésium est un métal alcalino-terreux. C'est le huitième élément le plus abondant de la croûte terrestre, le cinquième métal derrière l'aluminium, le fer, le calcium et le sodium. C'est aussi le troisième composant des sels dissous dans l'eau de mer. [19]

4.4. Les méthodes d'analyse

4.4.1. Le titrage

La titrimétrie ou titrage est une technique de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (ou titre d'une solution).

La méthode de titrage la plus utilisée est la volumétrie ou titrage volumétrique. Elle consiste à utiliser une solution de concentration connue (appelée titrant) afin de neutraliser une espèce contenue dans la solution inconnue (appelée analyte ou espèce titrée).

Les titrages volumétriques les plus répandus sont les titrages acide-base (titrages acidimétriques) : l'opérateur fait couler goutte à goutte un acide dans un volume déterminé de base. Ainsi les réactifs réagissent mole à mole. Les titrages base-acide (titrages alcalimétriques) sont aussi possibles. D'autres exemples de titrages sont les titrages d'oxydoréduction, de complexation et de précipitation.

Le point de neutralisation est connu entre autres, grâce à un indicateur coloré ajouté dans la solution inconnue (cet indicateur change de couleur au

moment de la neutralisation) ou grâce à une variation du potentiel ou du pH (mesuré au moyen d'une électrode trempant dans la solution inconnue). [20]

4.4.2. Spectrométrie de Fluorescence x

La spectrométrie de fluorescence X (SFX ou FX, ou en anglais XRF pour X-ray fluorescence) est une méthode d'analyse chimique utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X.

Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X ; c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X.

Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition de l'échantillon, en analysant ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments.

L'analyse du spectre peut se faire de deux manières :

1. par analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF, wavelength dispersive X-ray fluorescence spectromètre) ;
2. par analyse dispersive en énergie (ED-XRF, energy dispersive X-ray fluorescence spectromètre). [21]

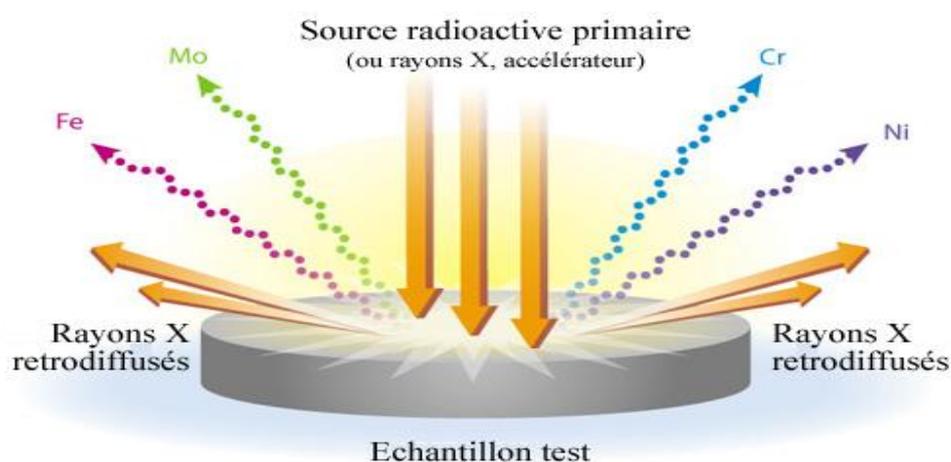


Figure N°16 - Correspondant A Fluorescence X

4.4.3. L'adsorption atomique

L'absorption atomique est une technique d'analyse élémentaire qui impose que l'analyse soit transformée à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à haute température, de 2 à 3000 °C.

A ces températures les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments, présents en solution, peuvent être engagés sont détruites.

Dans un appareil d'absorption atomique à four graphite, l'échantillon aqueux (10 à 30 µL) est placé dans un four électrique comportant un tube de graphite qui fait office de résistance chauffante par effet Joule.

L'élément est ainsi volatilisé sous forme d'un gaz atomique et placé par un gaz vecteur (de l'argon) sur le parcours optique de l'appareil.

La concentration en élément est déduite de la mesure de l'absorbance de la lumière par les atomes. La longueur d'onde de la source lumineuse est choisie pour faire passer les atomes de l'état fondamental à un état excité par absorption de la radiation lumineuse.

Dans le tableau périodique les éléments en rouge sont ceux qui ne peuvent pas être dosés par absorption atomique. [22]



Figure N°17 - La Spectrométrie D'adsorption Atomique

4.4.4. L'analyse thermique

L'analyse thermique est une série de techniques qui mesure l'évolution, en fonction de la température, du temps et de l'atmosphère, d'une grandeur physique ou chimique d'un matériau minéral ou organique.

L'analyse thermique peut être simple ou différentielle selon que la mesure de la grandeur physique considérée est effectuée directement ou par comparaison avec le comportement d'un échantillon de référence ne subissant pas de modification de la grandeur physique dans le domaine de température étudié.

L'analyse thermique peut être aussi statique ou dynamique selon que la mesure est effectuée en régime isotherme ou bien pendant l'échauffement ou le refroidissement progressif de l'échantillon.

Les mesures peuvent avoir lieu à l'air ou dans une atmosphère contrôlée en utilisant un gaz inerte comme le diazote ou l'hélium, avec ou sans débit de gaz. **[23]**

CHAPITRE 05

Présentation de la vallée du M'Zab

CHAPITRE 05 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

5.1. Présentation de la vallée du M'Zab

La vallée du M'Zab, fondée au XIème siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert et couvrant une superficie de 50 km² (20 x 2.5 km). Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982.

La particularité de cet héritage humain, est qu'il est de nos jours habité par sa population d'origine qui a mis au point un système ingénieux de structuration et d'aménagement de son territoire d'établissement, réputé par son aridité et son isolement. Cette maîtrise de l'occupation spatiale et la capacité de capitaliser les moindres ressources sont le fruit d'un savoir faire ancestral acquis depuis la fondation du premier état Algérien à Tihert au VIIème siècle.

Le secret de la réussite prouvée sur plusieurs plans de ce modèle de société, s'explique par l'esprit qui a animé ses bâtisseurs en étant parfaitement conforme à leurs idéaux sociologiques, politiques et religieux. Ceci a donné naissance à une civilisation à part entière qui a permis l'épanouissement de l'individu avec son environnement et son milieu naturel depuis déjà mille ans.

Cette symbiose entre l'homme et son milieu naturel, connue particulièrement chez les berbères zénètes du sud, a été aiguisé chez les Ibadites au M'Zab depuis leur premier établissement humain, compte tenu de l'inhospitalité des lieux et de la rareté de l'eau.

Mais le génie Mozabite, modelé par ses principes socioreligieux, a su extraire de ce milieu naturel stérile une multitude de richesses. Ainsi, il a instauré une économie du territoire pointue, basée sur l'exploitation rationnelle de l'espace au bénéfice d'une vie communautaire prospère. Ceci, s'est traduit par :

- ❖ la mise au point d'un système ingénieux de captage, de stockage et de distribution des rares ressources hydriques.

- ❖ de créations de vastes étendues de palmeraies avec une culture à trois étages.
- ❖ la construction d'un chapelet de ksour (cités fortifiées) d'une architecture avant-gardiste.
- ❖ la production d'un artisanat riche et varié couvrant les besoins de la vie quotidienne et développé au cours des siècles.

La vallée du M'Zab compte, à cet effet, plusieurs palmeraies, dont celle de la commune de Ghardaïa lieu de localisation de ce projet. Destinée à l'habitat d'été et à la culture sous palmiers, la palmeraie est assise sur un sol alluvionnaire, qui constitue un espace potentiellement inondable en cas de fortes crues, et fait partie de l'espace dont les ressources en eau sont gérées par le système de partage des eaux.

5.2. Cadre géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara de Algérien. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat.

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au nord par la Wilaya de Laghouat.
- Au nord Est par la Wilaya de Djelfa.
- A l'est par la Wilaya de Ouargla.
- Au sud par la Wilaya de Tamanrasset.
- Au sud-ouest par la Wilaya d'Adrar.
- A l'ouest par la Wilaya d'El-Bayad. [24]

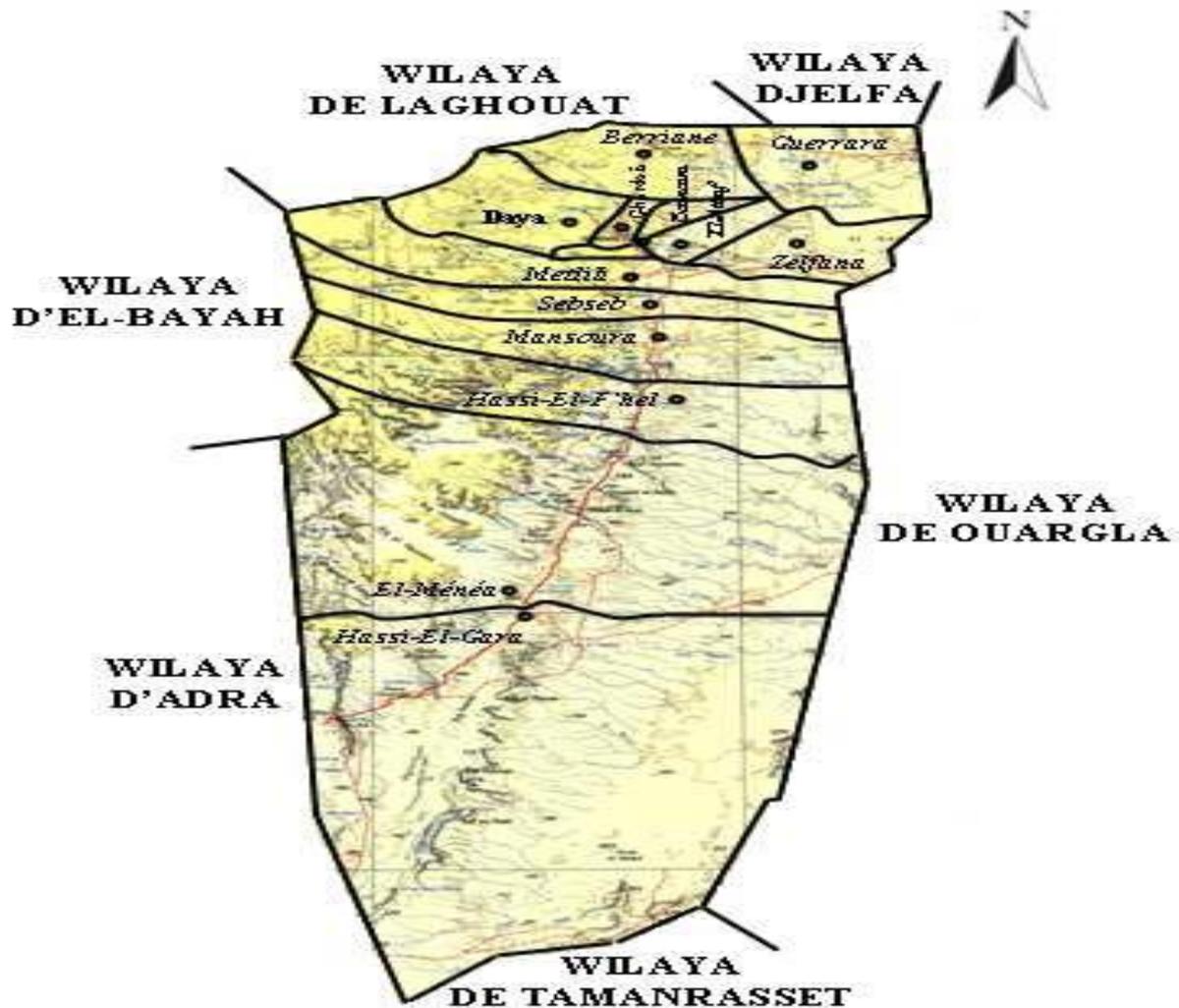


Figure N°18 - Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa .

Elle est constituée de 13 communes regroupées dans 9 daïras. La Wilaya couvre une superficie de 86560 km².

La vallée du M'Zab, lieu de localisation du projet, est située dans la wilaya de Ghardaïa. Elle se situe à 600 Km au sud de la capitale Alger, sur une altitude moyenne de 600 m environ, une longitude de 3°.45 est, une latitude de 32°.50 nord.

La vallée du M'Zab mesure 20 Km de long sur une moyenne de 2,5 Km de largeur. Elle couvre une superficie de 50 Km², et est située dans l'enceinte du bassin versant d'une superficie de 5000Km², traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite, son exutoire naturel est la sebkha Sefioune près de Ouargla.

L'aire de la présente étude qui se situe au sein de la vallée du M'Zab, à savoir, la palmeraie de la commune de Ghardaïa, prend naissance à la limite

du barrage de Bouchene, et prend fin au niveau de Ahbas ajdid, Elle comprend les quartiers de Takdhite, Bouchemjane, ainsi que Baba Ouaisa., et est limitée par :

- Le barrage Touzouz au nord.
- Le quartier Aouadjrinet et Saloucha à l'ouest.
- Le quartier Echaaba à l'est.
- Le quartier Baba ferdas au sud.



Figure N°19- Carte de la zone d'étude.

5.3. Aspect socio-économique

La population de la wilaya est estimée à 309.740 habitants, soit une densité de peuplement de 3,60 habitants au km².

La vallée du M'Zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien, elle abrite 04 communes, à savoir:

- commune de Dayet ben dahoua en amont de 11.873 habitants.
- communes de Ghardaïa et Bounoura au centre de respectivement 112.395 et 35.262 habitants.
- commune d'El-Atteuf en aval de 16.409 habitants.

5.4. Aspect climatique et hydrologique

Le climat de la région de Ghardaïa typiquement Saharien, est caractérisé par deux saisons: Une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une

autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver.

On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évapotranspiration de l'ordre de 2000 mm par an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne de précipitations de 60 mm/an.

Ces valeurs moyennes n'ont pas une grande signification car les pluies peuvent faire défaut pendant plusieurs années consécutives et que deux à trois jours de pluies peuvent apporter 50 à 80 mm.

5.5. Aspect géologique :

Du point de vue géologique la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé comassifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques)

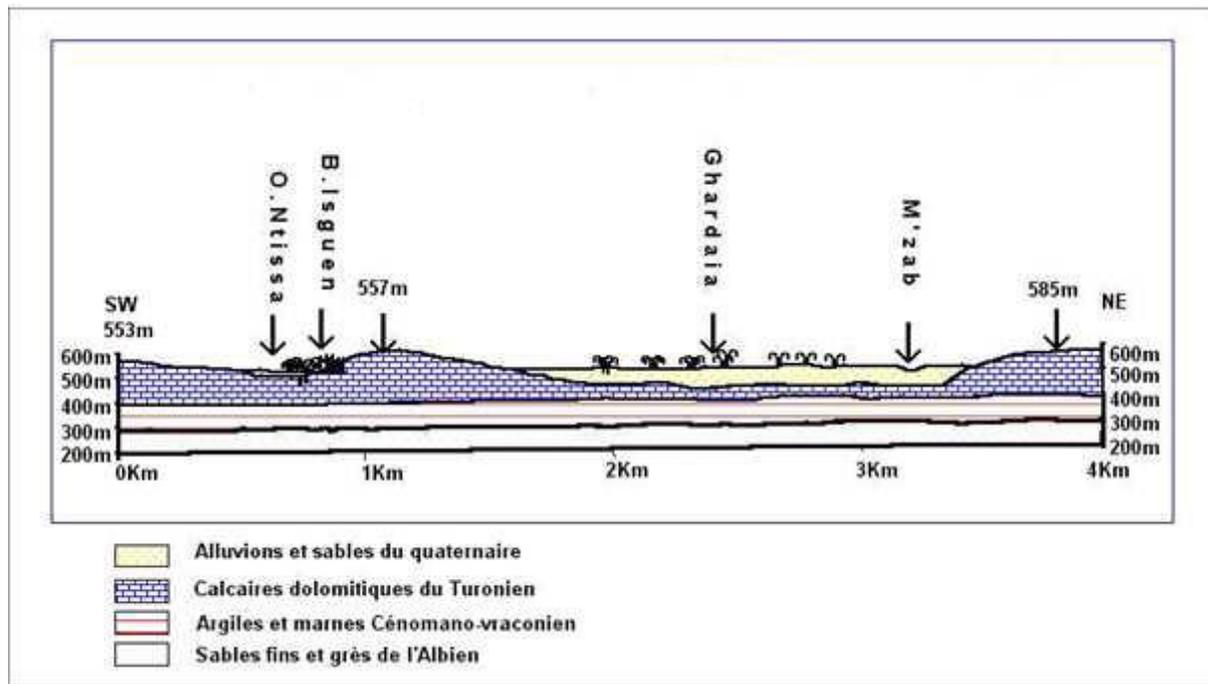


Figure N°20 - Coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab.

5.6. Aspect hydrogéologique

5.6.1. La nappe phréatique

Cette nappe présente un intérêt très important dans le domaine agricole pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée. Elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, surtout dans la zone de Dayet ben dahoua, et est exploitée par des puits traditionnels.

Elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable.

5.6.2. Le Turonien

Il est constitué de calcaire dolomitique massif d'une épaisseur de 40 à 50 mètres (mesuré dans la vallée du M'zab). On note que les premiers mètres de ces assises calcaires présentent des fissures dans lesquelles on peut trouver de l'eau. Ces eaux ont pour origine l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'Zab. La plupart des puits en amont de la vallée (Dayet ben dahoua) ont été creusés plus profondément que les alluvions quaternaires. Ils atteignent les calcaires du Turonien (substratum) de 2 à 4 mètres; expliquant ainsi la baisse du niveau de la nappe qui est provoquée par son exploitation intensive d'une

part et les faibles apports d'eaux d'alimentation par les crues des oueds d'autre part.

Sous la formation turonienne, on rencontre une épaisse couche imperméable d'argile bariolée et de marnes gypseuses d'une épaisseur d'environ 300 à 350 mètres qui est le Cénomanién

5.6.3. L'Albien

Constitué d'une masse importante de grès et sables fins argileux, qui est aquifère. Le Cénomanién représente son toit imperméable.

5.6.4. Les aquifères de la région

Les aquifères captés dans la région, sont classés par leurs profondeurs comme suit :

- Les eaux de la nappe phréatiques contenues dans les alluvions des oueds.
- Les eaux de la nappe profonde contenue dans les couches perméables des sables et des grès de l'albien à 300 mètres. **[25]**

CHAPITRE 06
ECHANTILLONNAGE
ET ANALYSE

CHAPITRE 06 : ECHANTILLONNAGES ET ANALYSES

6.1. INTRODUCTION

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés, la structure géologique, les conditions d'écoulement, les conditions physicochimiques locales. D'éventuelles pollutions peuvent modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. On détermine ces caractéristiques à l'aide de mesures et d'analyses sur des échantillons qui doivent refléter le mieux possible la composition de l'eau dans l'aquifère. Il y a donc lieu de connaître les problèmes potentiels liés à l'échantillonnage ainsi que les diverses méthodes et techniques permettant de les éviter. Dans tous les cas, l'échantillon doit être représentatif de la masse d'eau considérée sans altération aucune entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse.

6.2. Les étapes de l'échantillonnage

L'échantillonnage d'une eau comprend les étapes suivantes :

6.1.1. La préparation des travaux

Lors de la préparation des travaux, on doit convenir des points de prélèvement, des paramètres à analyser par point de prélèvement, et discuter avec le laboratoire d'analyses des diverses contraintes liées aux techniques et matériels de prélèvement, au stockage et au transport des échantillons en respectant les délais.

6.2.1. L'établissement d'un programme d'échantillonnage

En fonction des objectifs de l'étude, il peut s'agir d'une surveillance périodique, de la recherche d'une source de contamination ou de l'évaluation globale de la qualité d'une eau.

6.2.2. La planification des opérations à chaque point de prélèvement

Le prélèvement doit être fait en prenant les précautions nécessaires lors des prélèvements pour les mesures et analyses de terrain. Cela passe par le

contrôle de la propreté et de l'adéquation du matériel d'échantillonnage, ainsi que du conditionnement éventuel du flacon de l'échantillon.

6.2.3. Représentativité de l'échantillon et préparation du point d'eau

Avant de prélever un échantillon d'eau, il faut s'assurer de la représentativité de l'échantillon. Le prélèvement ne peut se faire à un point (puits de captage, forage d'observation, conduite d'eau, bassin, réservoir, etc.) où l'eau a stagné et où sa composition s'est modifiée au cours du temps. Dans de tels cas, il faut absolument renouveler l'eau par pompage ou soutirage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner. Pour tester cette représentativité, on contrôlera l'évolution des paramètres physico-chimiques (conductivité, température, oxygène dissous et pH) au cours du renouvellement de l'eau.

6.2.4. Stockage des échantillons

Les principes suivants sont à suivre :

- Sitôt après la mise en flacon et l'étiquetage, l'échantillon doit être placé dans une mallette de transport qui permet de le maintenir au frais et qui le préserve de la lumière, des poussières et des salissures.

- Le transport de l'échantillon au laboratoire se fera dans les plus brefs délais, c'est à dire moins de 12 heures pour les échantillons destinés aux analyses chimiques et moins de 6 heures pour les échantillons destinés aux analyses bactériologiques. [26]

- Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5°C. [26]

6.3. Méthodologie d'échantillonnage

6.3.1. Détermination du sens de l'écoulement des eaux de la nappe superficielle

La détermination du sens de l'écoulement de la nappe superficielle est une étape cruciale au vu du nombre important de puits que compte la zone d'étude, et ce dans le but d'optimiser le nombre d'échantillons d'eau à prélever, et analyser.

Pour une meilleure connaissance du comportement hydrodynamique et de la qualité chimique de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'Zab, nous avons procédé à une campagne d'inventaire des puits situés dans la zone d'étude, et qui a porté sur les mesures suivantes:

- 1- Positionnement des puits inventoriés ;
- 2- Mesure du niveau hydrostatique de la nappe ;
- 3- Mesure du fond des puits ;
- 4- Prélèvement d'échantillons d'eau pour analyses ;

55 points d'eau (puits) ont été visités. Ils s'étendent tout le long de la palmeraie de la commune de Ghardaïa.

6.3.2. Exécution des prélèvements

Dans le souci de rapporter au mieux les propriétés caractérisant les eaux de la nappe superficielle de la commune de Ghardaïa, la collecte des échantillons s'est déroulée dans le respect des étapes, et consignes suivantes :

- Insertion du dispositif de prélèvement une première fois à mi-profondeur dans le puits afin de le rincer, puis une deuxième fois pour recueillir l'eau à analyser.
- Une fois le préleveur remonté, veiller à ce qu'il ne contienne aucune bulle d'air afin de ne pas modifier les teneurs en gaz.
- Remplissage des flacons destinés aux analyses physico-chimiques en laissant couler l'eau de manière laminaire dans un tube flexible sans entraîner de bulles d'air.
- Remplissage des flacons en verre stériles destinés à l'analyse microbiologique en procédant au flamage de l'embout des flacons à leur ouverture, pendant leur remplissage, ainsi qu'à leur fermeture.
- Mesure in-situ à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre portables des paramètres physiques suivants : pH, température, conductivité électrique.
- Étiquetage des flacons, afin de faciliter leur identification.
- Stockage et transport des échantillons à l'abri de la lumière, et de la chaleur dans un dispositif de transport adéquat prévu à cet effet.
- Sans mission des échantillons d'eau ainsi prélevés et transportés aux laboratoires d'analyses. **[26]**

6.4. Les matériels utilisés dans laboratoire

6.4.1. Les échantillons



Figure N°21 - Les échantillons

6.4.2. L'éprouvette +l'agitateur

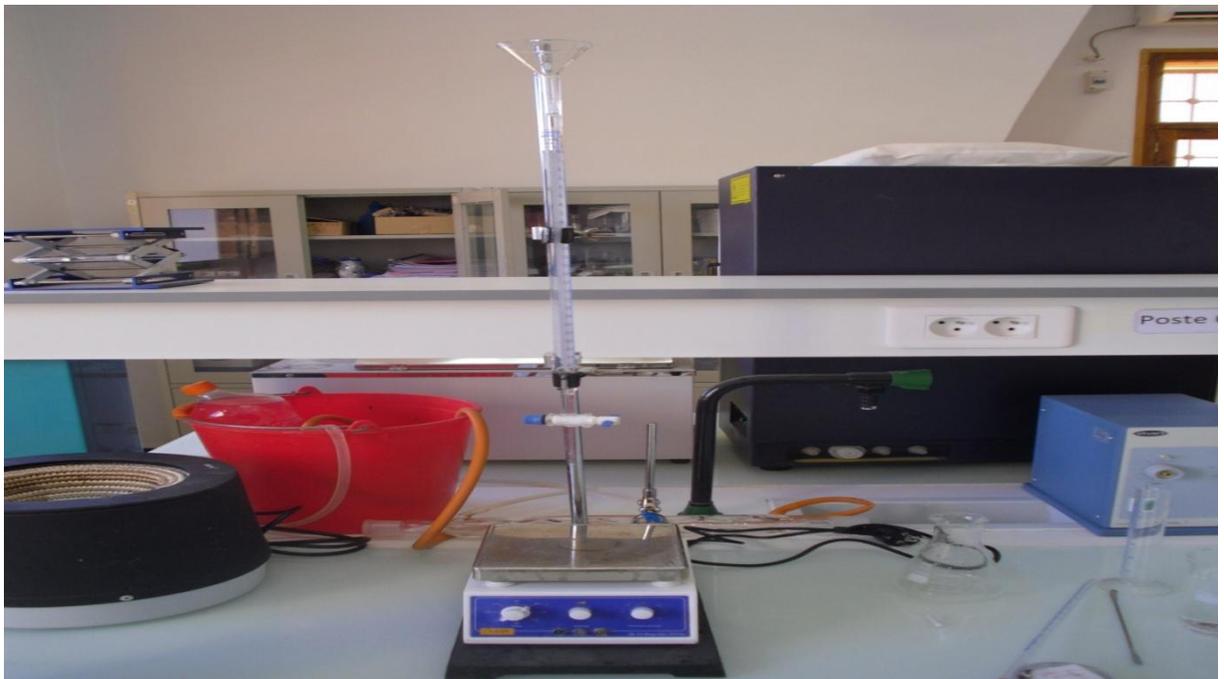


Figure N°22-Les éprouvette +agitateur

6.4.3. Une pipete + burette

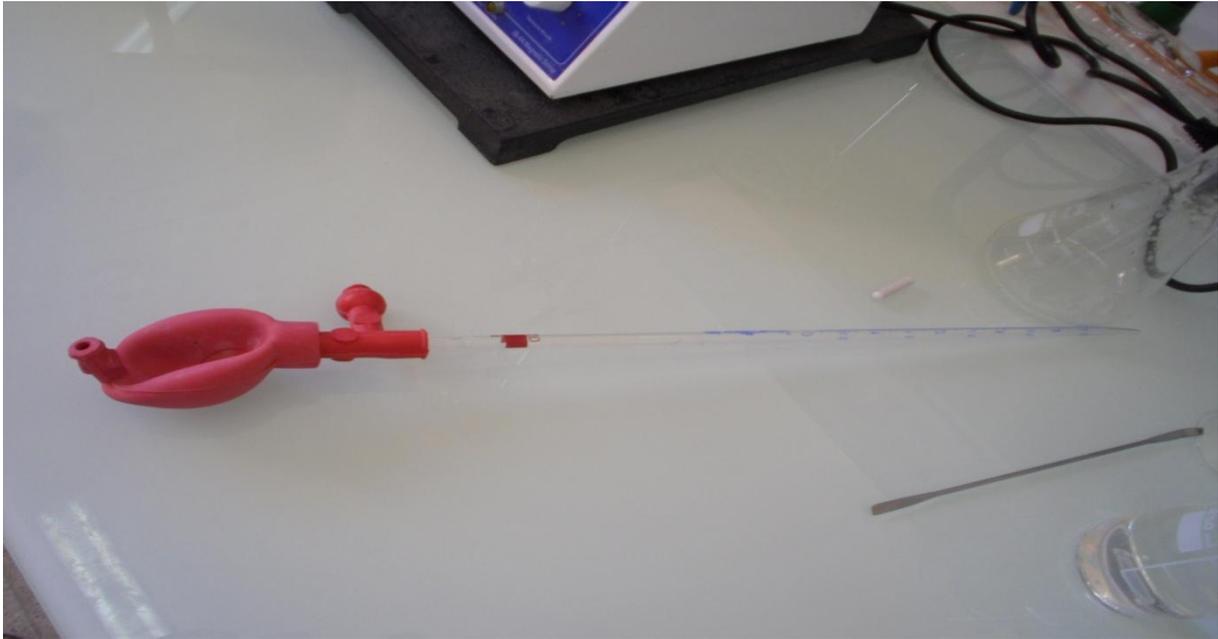


Figure N°23 - Pipete + burette

6.4.4. Bécher et fiole



Figure N°24 - Bécher et fiole

6.4.5. Le Ph mètre

Le pH-mètre est généralement constitué d'un boîtier électronique permettant l'affichage de la valeur numérique du pH et d'une sonde de pH

constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence. Son fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ions H_3O^+ (définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongé dans la solution étudiée.



Figure N°25 - Le Ph mètre

6.4.6. La conductimètre

La conductimètre consiste à déduire les concentrations des espèces chimiques dissoutes à partir de la mesure de la conductivité d'une solution électrolytique.

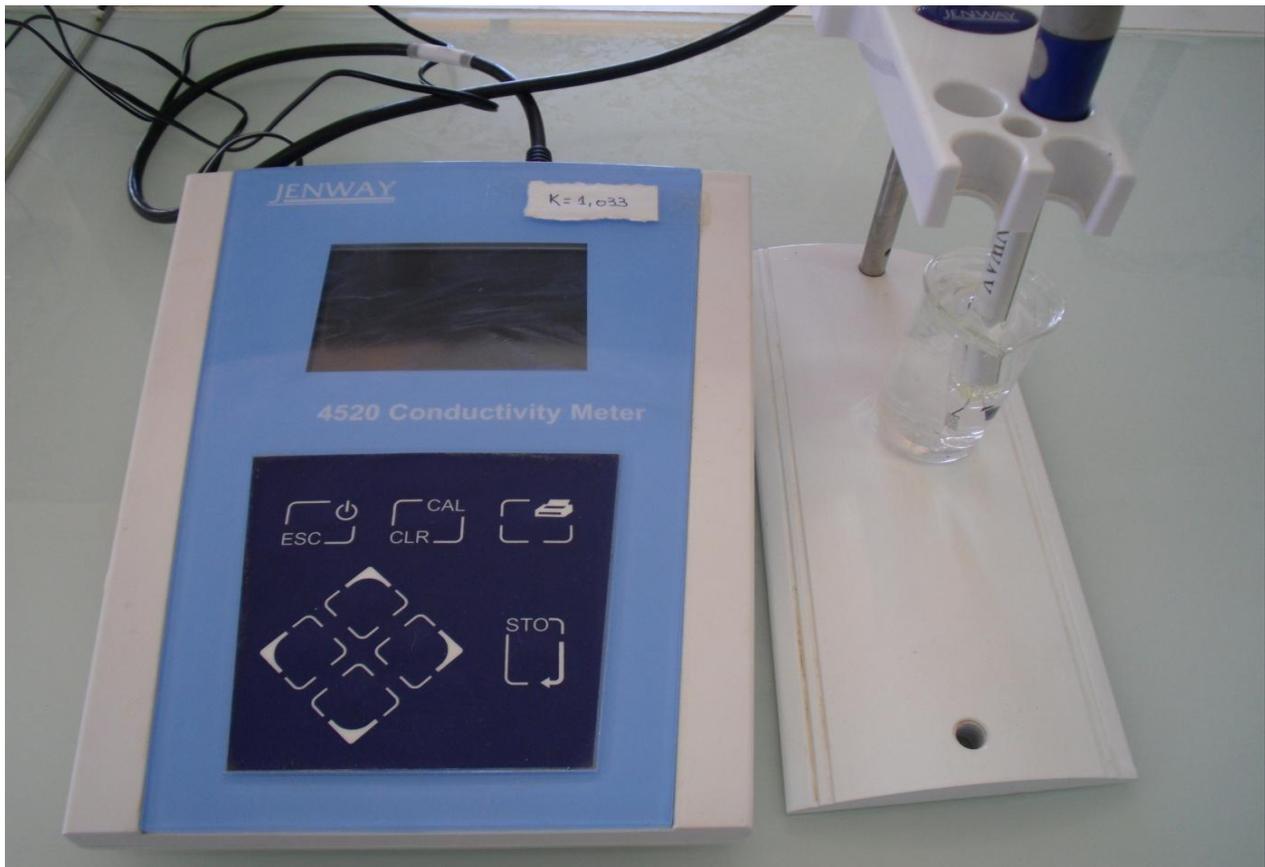


Figure N°26 - La conductimètre

- L'éprouvette.
- Bécher 250 ml.
- Agitateur + barreaux magnétique.
- les burettes 25 et 50 ml.
- Une pipete.

6.5. Les matériels utilisés in site

6.5.1. La sonde piézométrique



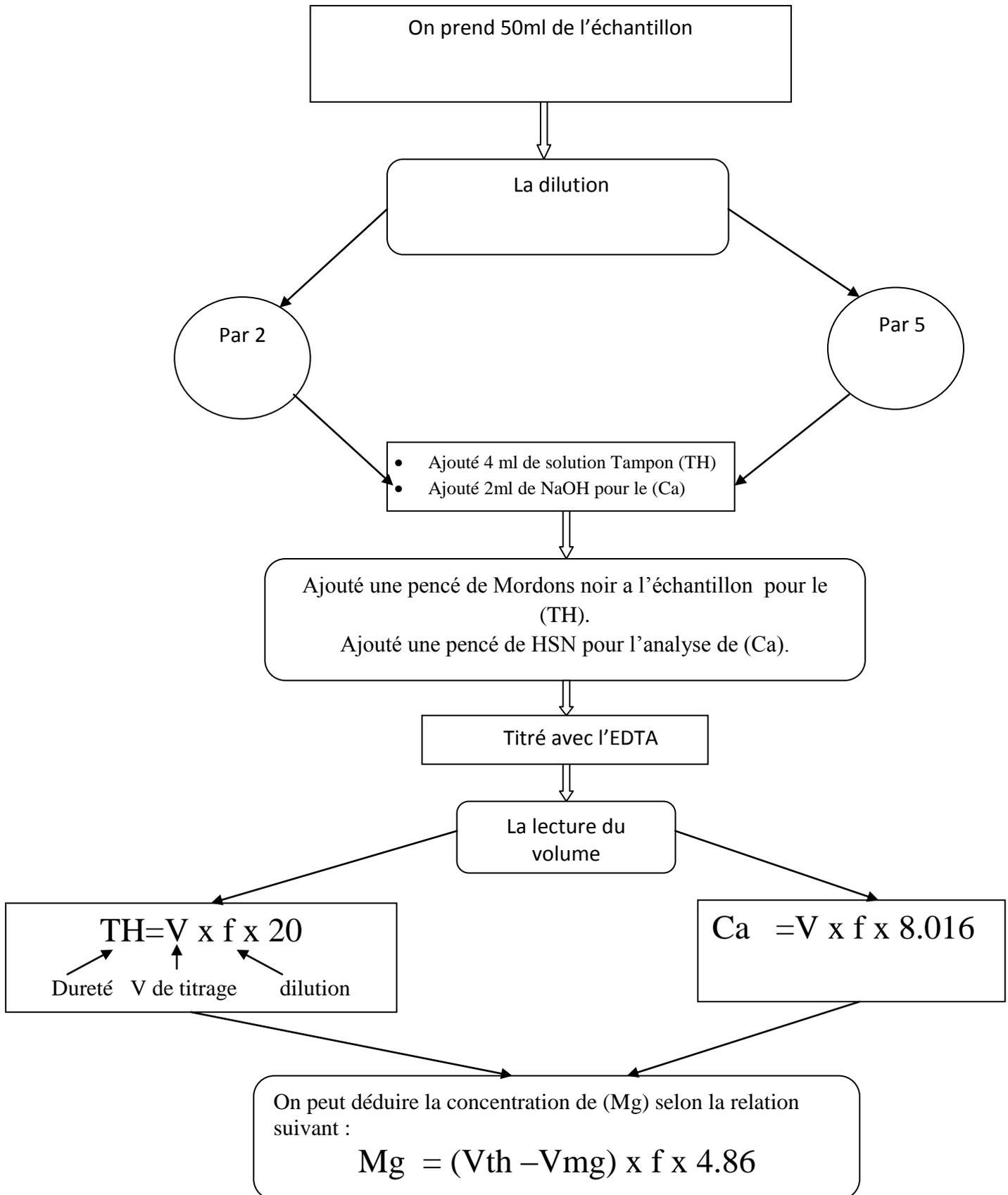
Figure N°27 - La sonde piézométrique

6.5.2. Le GPS



Figure N°28 - Le GPS

On a résumé l'analyse de (Ca) et le (Mg) dans l'organigramme suivant :



6.6. La dureté (TH)

6.6.1. Les réactifs

- Solution Tampon.
- Solution titré : (EDTA).
- Mordons noir ((Acide hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2 sulfonique-4)

6.6.2. Le mode opératoire

- A l'aide d'une pipete introduire 50ml d'échantillon dans une fiole conique de 250ml.
- Ajouté 4ml solution tampon.
- Ajouté une pincé mordons noir.
- Titré avec la solution (EDTA) goutte à goutte.

A. Le calcium (Ca)

❖ Les réactifs

- Hydroxyde de sodium (2mol/l). (Na OH).
- HSN indicateur.
- EDTA solution du titrage.

❖ Le mode opératoire

- A l'aide d'une pipete introduire 50ml d'échantillon dans une fiole conique de 250ml.
- Ajouté 2ml solution (Na OH).
- Ajouté une pincé de HSN.
- Titré avec la solution (EDTA) goutte à goutte.

On peut résumer les deux expériences dans l'organigramme suivant :

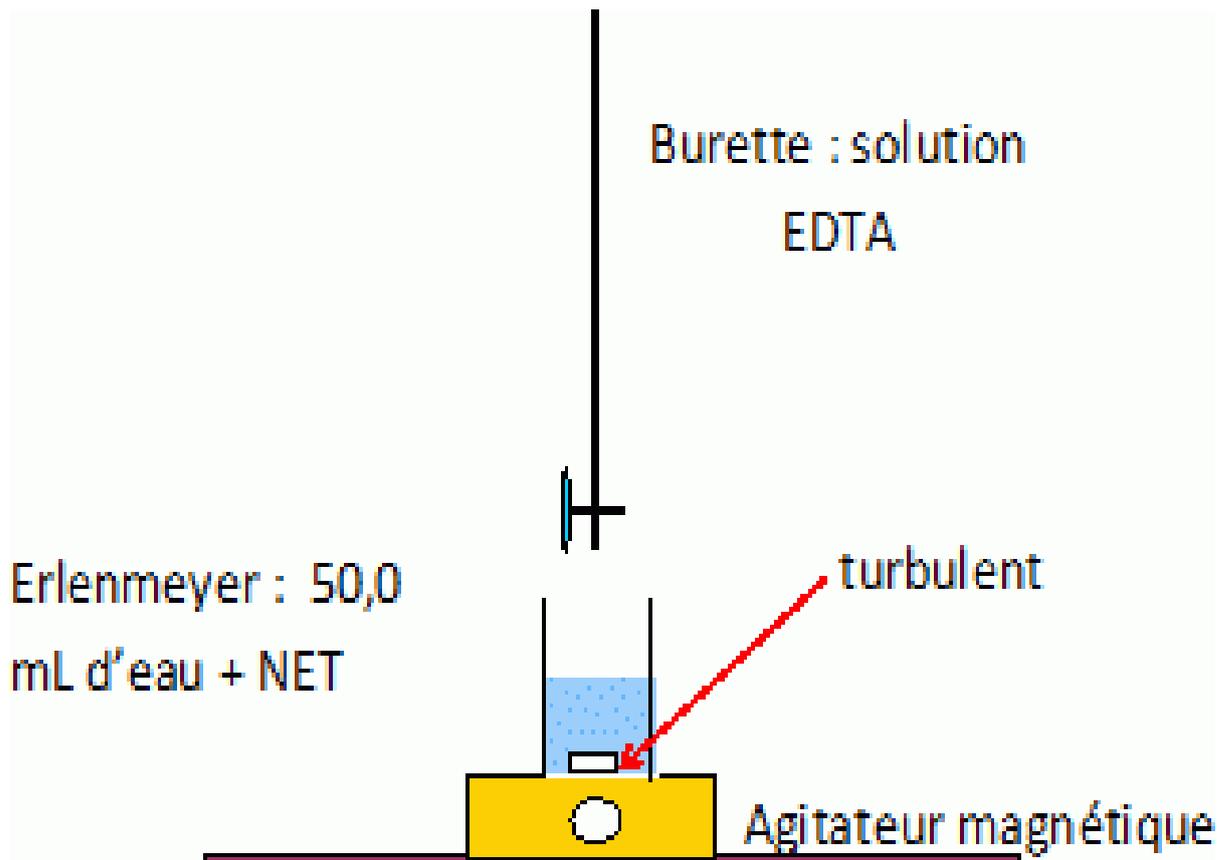
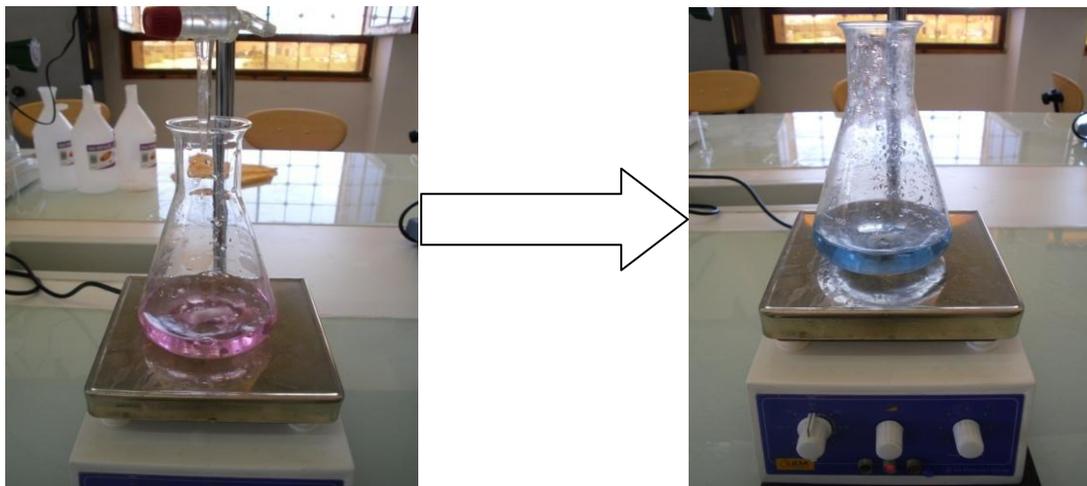


Figure N°29 - Le titrage

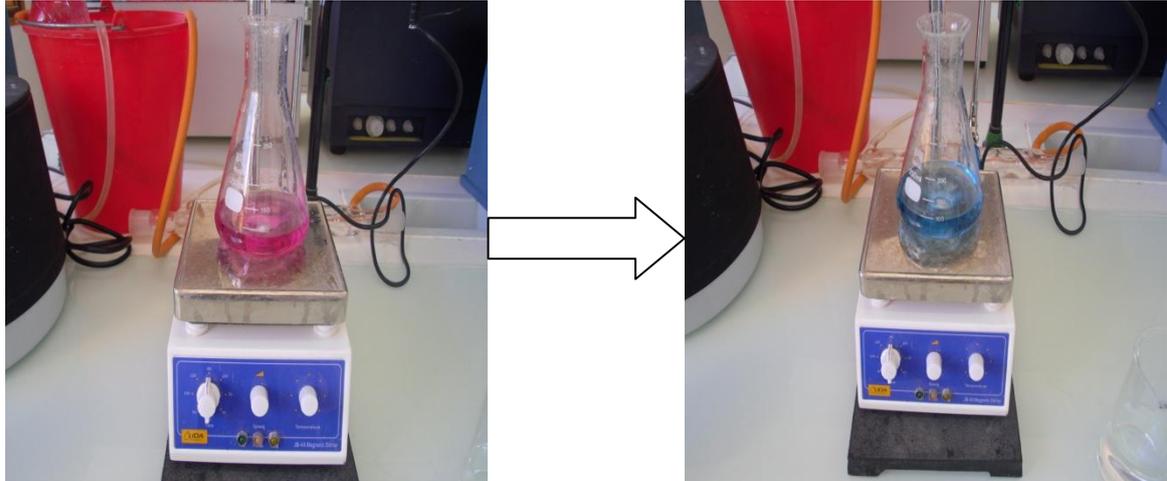
❖ **Les virages de tirage**

Pendant le processus de titrage on regarde deux virage au cours d'analyse.

➤ **Le 1er virage dans l'analyse du (Ca)**



➤ Le 2eme virage dans l'analyse du (TH)



6.6.3. Les calculs

$$(Ca) = V * f * 8.016$$

$$(TH) = V * f * 20$$

On peut déduire la concentration de (Mg) selon la relation suivant :

$$(Mg) = (V_{th} - V_{ca}) * f * 4.86$$

V : Volume de titrage.

f : La d'élution.

CHAPITRE 07
RESULTATS ET
DISCUSSION

CHAPITRE 07 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

7.1. INTRODUCTION

La régionalisation des paramètres piézométriques et hydro chimiques par des méthodes traditionnelles est une opération très onéreuse, et peut présenter des erreurs non tolérables. Pour cela il est nécessaire de présenter une approche géostatistique basée sur l'estimation spatiale où le krigeage, qui peut générer des surfaces estimées à partir d'une valeur de point connu (échantillonné) et un modèle de variation théorique (Variogramme). La structure spatiale des paramètres piézométriques et hydrochimiques sont celle de la campagne d'échantillonnage et de mesure de la date Avril 2013 sur la nappe phréatique de Ghardaïa.

7.2. VARIOGRAPHIE

Les variogrammes de différents paramètres étudiés sont tracé par le logiciel Surfer afin de mettre en évidence les caractéristiques structurales de les variables régionalisées, et de proposer et ajuster un model structural théorique pour procéder au krigeage.

7.3. VARIOGRAMMES ET CARTS DES PARAMETRES

7.3.1. Le pH

A. Variogramme de la carte du pH

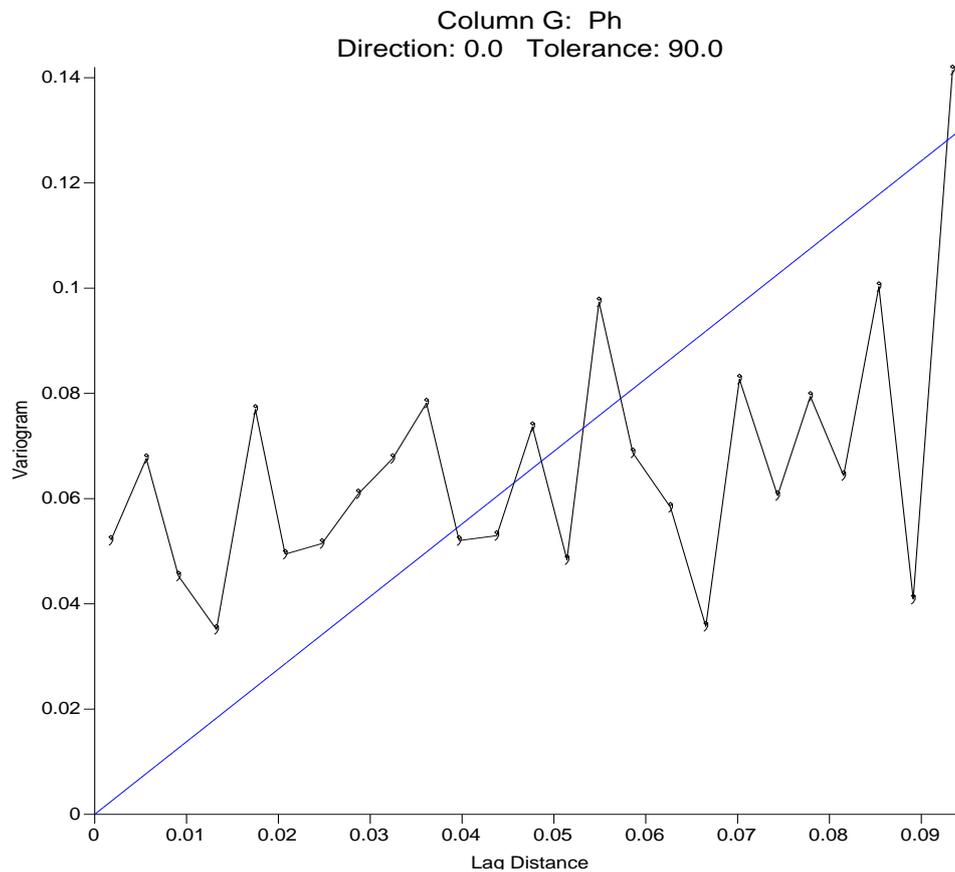


Figure N°30 - Variogramme de la carte du pH

Nous remarquons que le variogramme est de modèle linéaire, donc on peut faire carte des valeurs par krigeage, c'est-à-dire par interpolation des valeurs entre les points de mesure. Il faut pour cela récupérer les paramètres de semi-variogramme puis créer les données interpolées, ensuite on peut afficher les données sous forme de carte. La figure représente le Variogramme expérimental des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au modèle linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, $slop = 1.38$. Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amount : 30
- Max Lag dist : 0.095

- Number of Lag :25

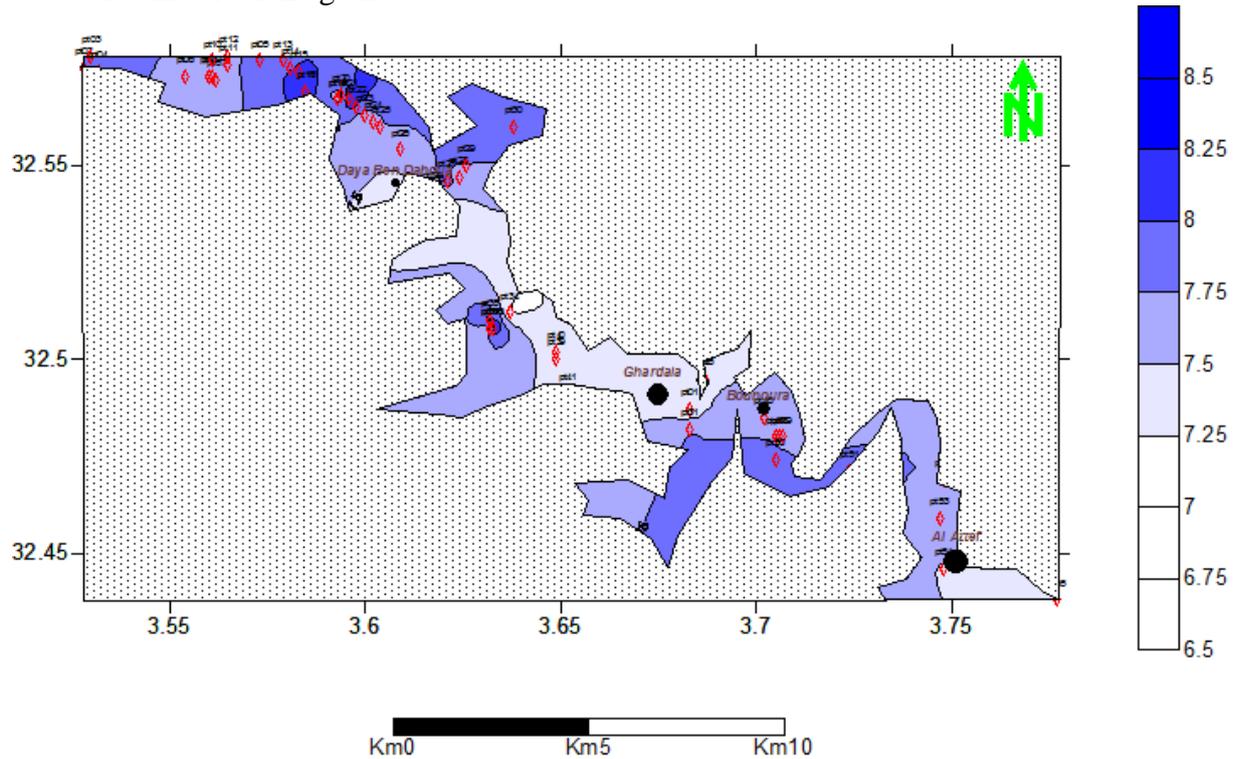


Figure N°31 - La carte du Ph

B. Commentaire de la carte du pH :

D'après la carte suivante, la variation du pH est répartie sur l'ensemble de l'espace étudié d'une façon homogène, avec un minimum de 6.5 et un maximum de 8.5. L'Alcalinité est observée à l'amont de la vallée et en aval de la localité du Bounoura. Cependant la neutralité et l'acidité sont observées au centre de la vallée et en aval d'Atteuf. Nous remarquons aussi que le pH des eaux suit la norme admissible exigée (potabilité et irrigation).

7.3.2. La conductivité électrique

A. Variogramme carte de la CE :

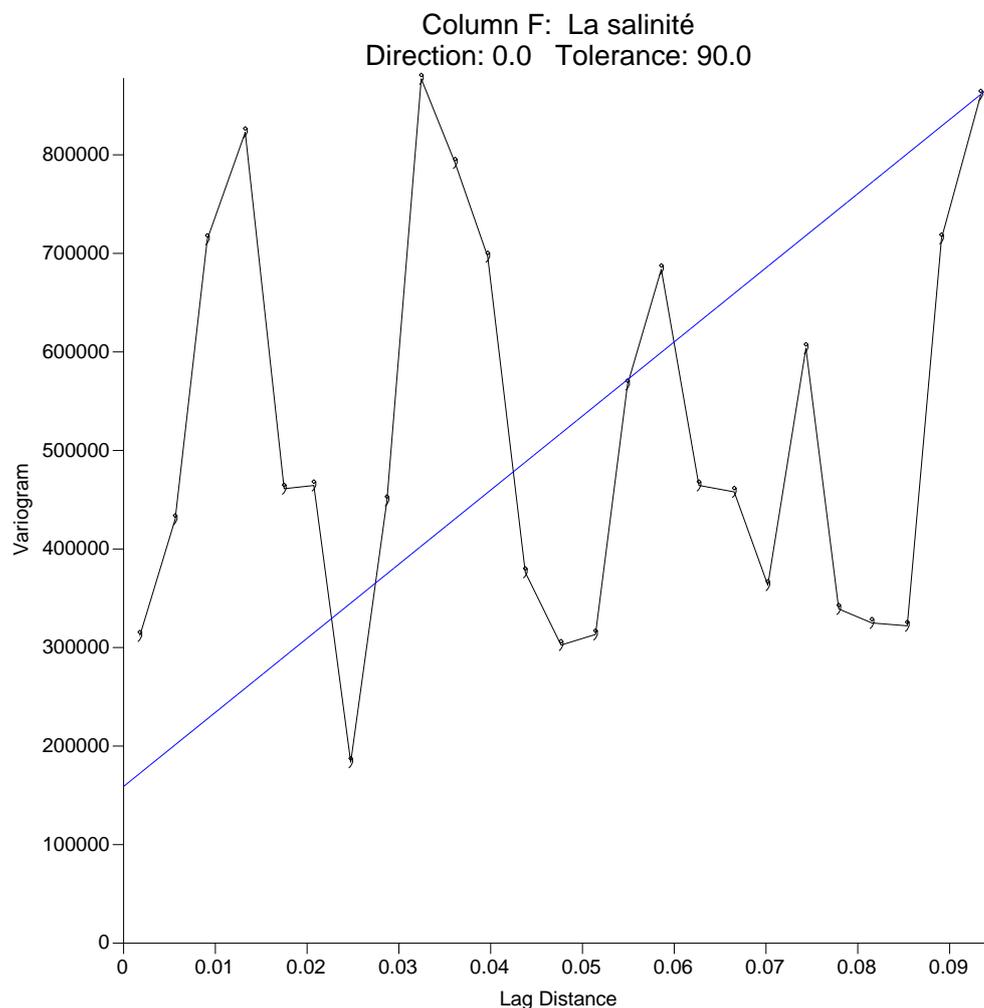


Figure N°32 - Le Variogramme de la salinité

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Ghardaïa qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, slop = 7.52^E+006 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amont : 30
- Max Lag dist : 0.095
- Number of Lag : 25
- vertical scal : 878000

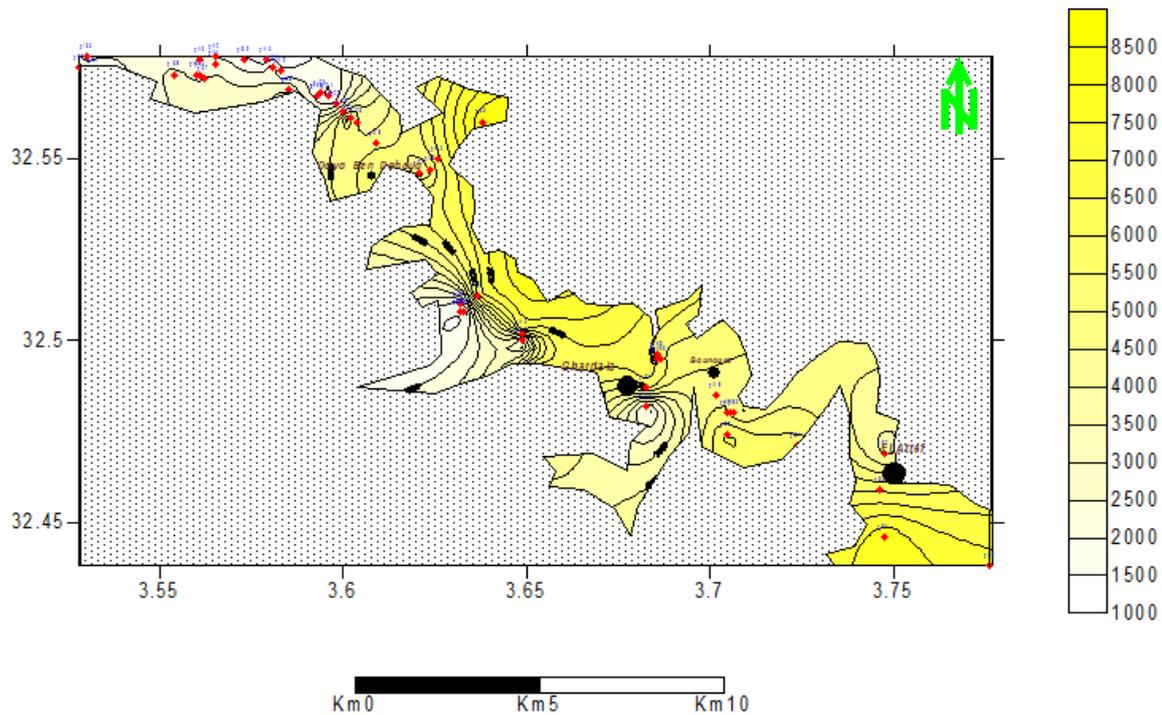


Figure N°33 - Carte de la conductivité électrique

B. Commentaire de la carte de la conductivité électrique

Dans la vallée du M'Zab, les valeurs de la conductivité électrique sont globalement élevées. Elle croit suivant le sens de l'écoulement de la nappe, et la concentration des ions en solution et de la température ; c'est à dire elle est induite par la présence des ions mobiles, de leur nature et de leur concentration dans un champ électrique, tels que les ions de calcium (Ca^{2+}), de sodium (Na^+), des bicarbonates (HCO_3^-), ...etc. Ainsi, la CE est un indicateur direct de la concentration des ions.

D'après la carte de salinité, elle varie de $876 \mu\text{s}/\text{cm}$ comme valeur minimale enregistrée au niveau du puits pt36 au milieu de la ville de Ghardaïa, et de $8460 \mu\text{s}/\text{cm}$ comme la valeur la plus élevée enregistrée au niveau du puits pt30 située à l'Est de Draya Ben dahoua.

Nous avons observé que sur l'ensemble de la carte sur (55) puits, presque la moitié des valeurs de la CE sont au dessous de la norme admissible soit 45.50%.

Nous avons par contre remarqué une hétérogénéité dans la dispersion spatiale de la valeur de la CE, ceci est dû la nature du sol et de la structure de la nappe, induisant à l'augmentation des parfois excessive de la conductivité.

7.3.3. La piézométrie

A. Variogramme de la carte piézométrique

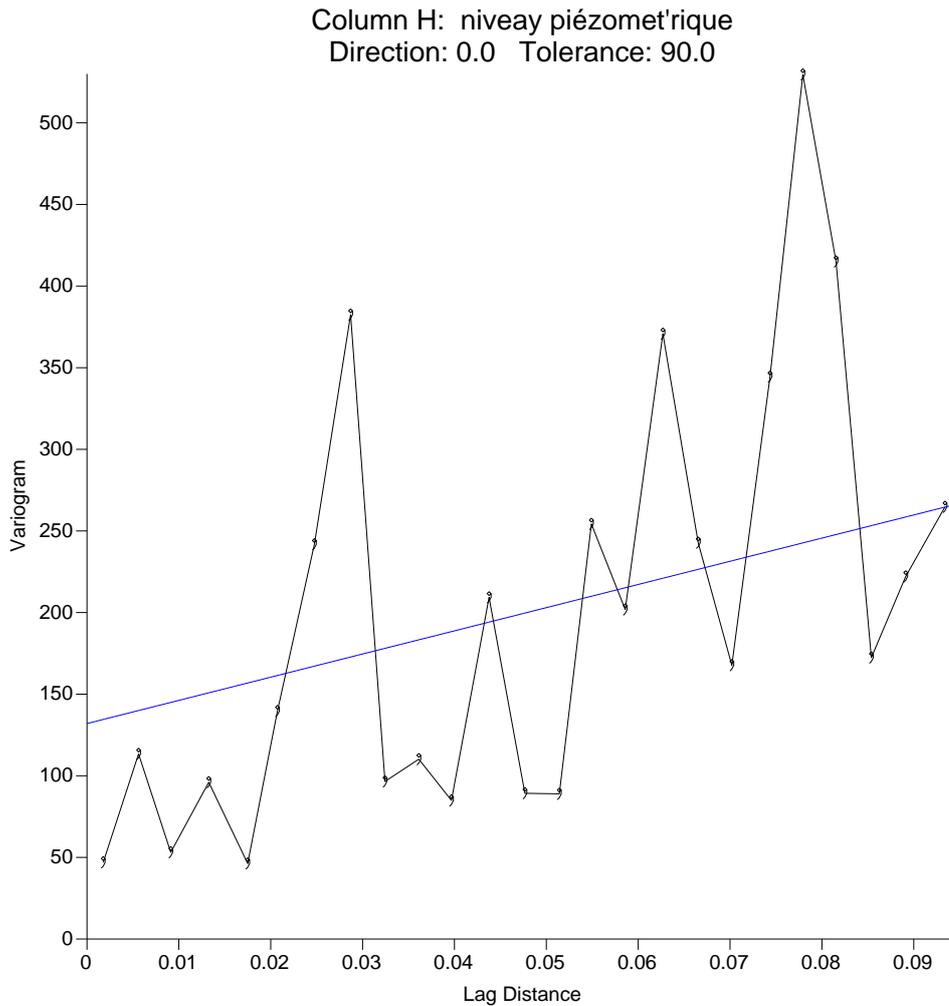


Figure N°34 - Le variogramme de la carte piézométrique

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, slop = 1420 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amont : 30
- Max Lag dist : 0.095

- Number of Lag : 25
- vertical scal : 530

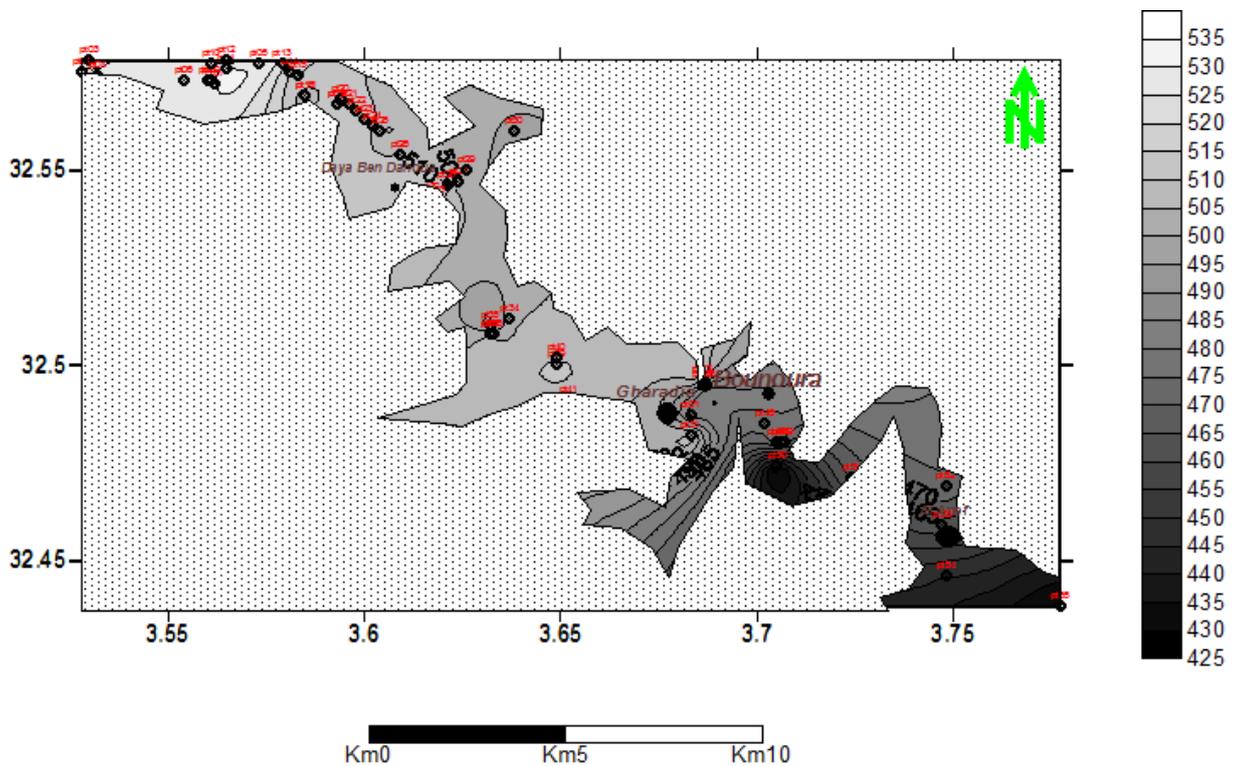


Figure N°35 - La carte piézométrique.

B. Commentaire de la carte piézométrique

Selon la carte piézométrique, on remarque que le niveau d'eau souterrain est pratiquement proportionnel au relief du terrain, il est plus proche au sol lorsque des basses altitudes, ce niveau, par contre est plus profond lorsque les altitudes sont élevées. Le gradient hydraulique de notre région est égal à :

Calcul de gradient hydraulique dans la zone de Daya Ben Dahoua :

$$K = \frac{\Delta h = (h' - h)}{L}$$

K: Le gradient hydraulique.

L: la distance.

(h' - h): la deference de distance.

$$K = \frac{10}{2507.67} = 0.0039 = 0.4\%$$

Calcul de gradient hydraulique dans la zone de Ghardaia:

$$K = \frac{15}{818.22} = 0.018 = 1.8\%$$

Calcul de gradient hydraulique dans la zone de Atteuf :

$$K = \frac{30}{4507.52} = 0.006 = 0.6\%$$

7.3.4. Le calcium

C. Variogramme de la carte du calcium

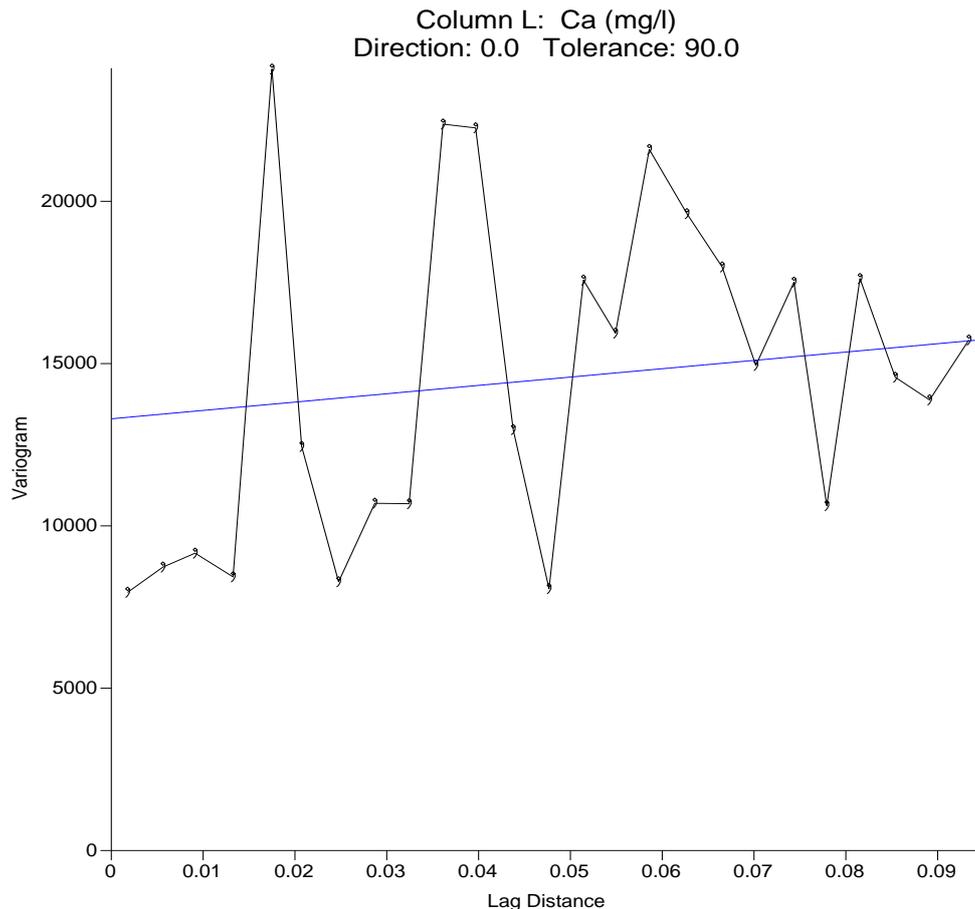


Figure N°36 - Variogramme de (Ca)

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, slop = 25700 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amont : 30
- Max Lag dist : 0.095
- Number of Lag : 25
- vertical scal : 24100

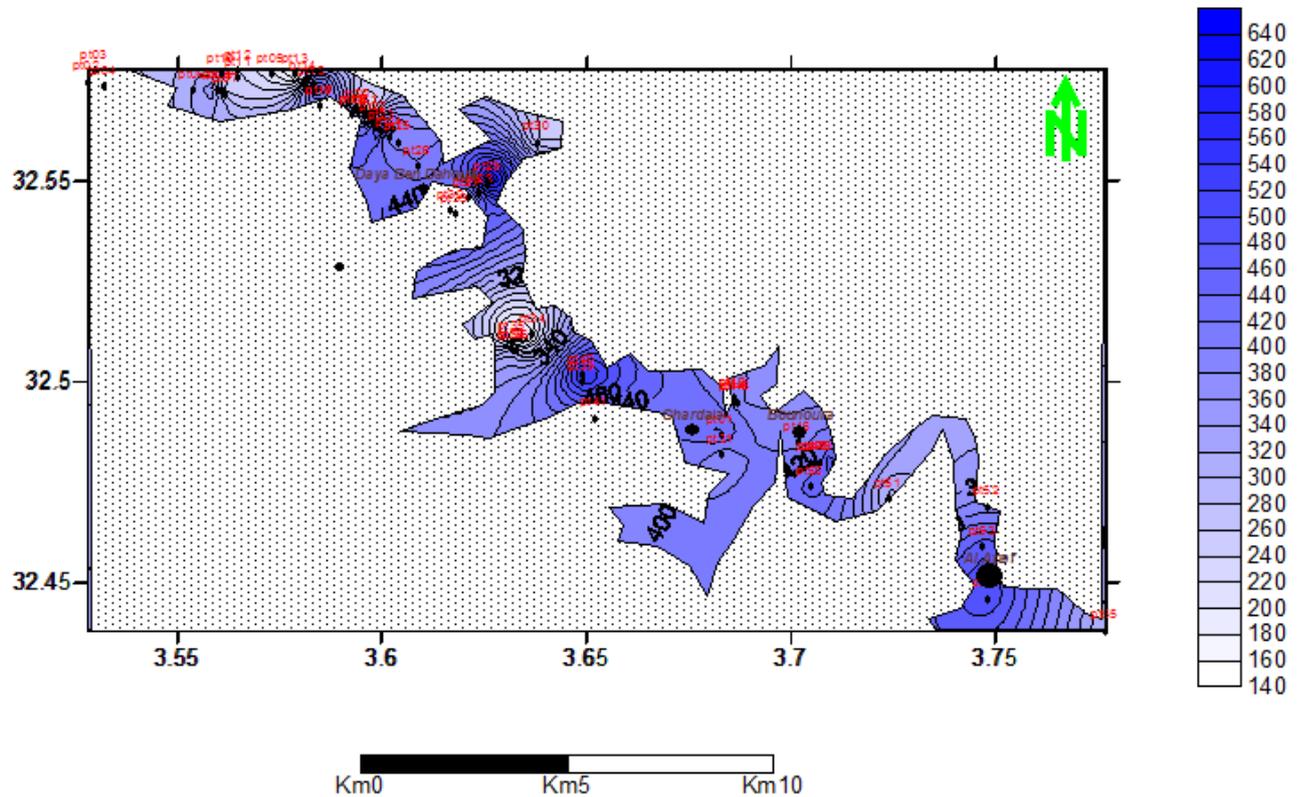


Figure N°37 - La de calcium (Ca)

D. Commentaire de la carte de calcium (Ca)

Nous remarquons que dans l'ensemble de la région étudiée, pour les 55 puits, la valeur du calcium dépasse la norme maximale admissible (200 mg/l), sauf pour sept (07) puits, soit 12,73%. Toutefois, même pour les sept puits suscités le calcium dépasse le niveau guide toléré (75 mg/l), dont la valeur normale minimale est supérieur du niveau guide de 70%.

Quant-aux valeurs dépassent la norme maximale admissible, varient de 8% à plus de 220%. En fait, le calcium moyennement dépassant la norme constitue 23,64% des puits, celui très supérieur à la norme constitue 32,73% des puits, alors qui sont excessivement supérieur sont de 30,91 mg/l. Ceci dit, plus de 60% des eaux des puits de notre région dépassent fortement la norme point de vu calcium, tel que indiqué sur la carte que nous avons établi par le Surfer, dont l'allure est dans l'ensemble d'un bleu foncé à extrêmement foncé (voir la légende).

Ce constat, indique que le calcium est très élevé au niveau de notre zone d'étude, ceci est dû à deux causes principales, en l'occurrence :

- ❖ La formation géologique riche en calcaire ;
- ❖ Les déperditions probables en provenance de source polluante de surface, notamment les engrais à titre d'exemple (sachant que la majorité des puits sont localisés dans des zones agricoles).

7.3.5. Le magnésium

A. Variogramme de la carte du magnésium

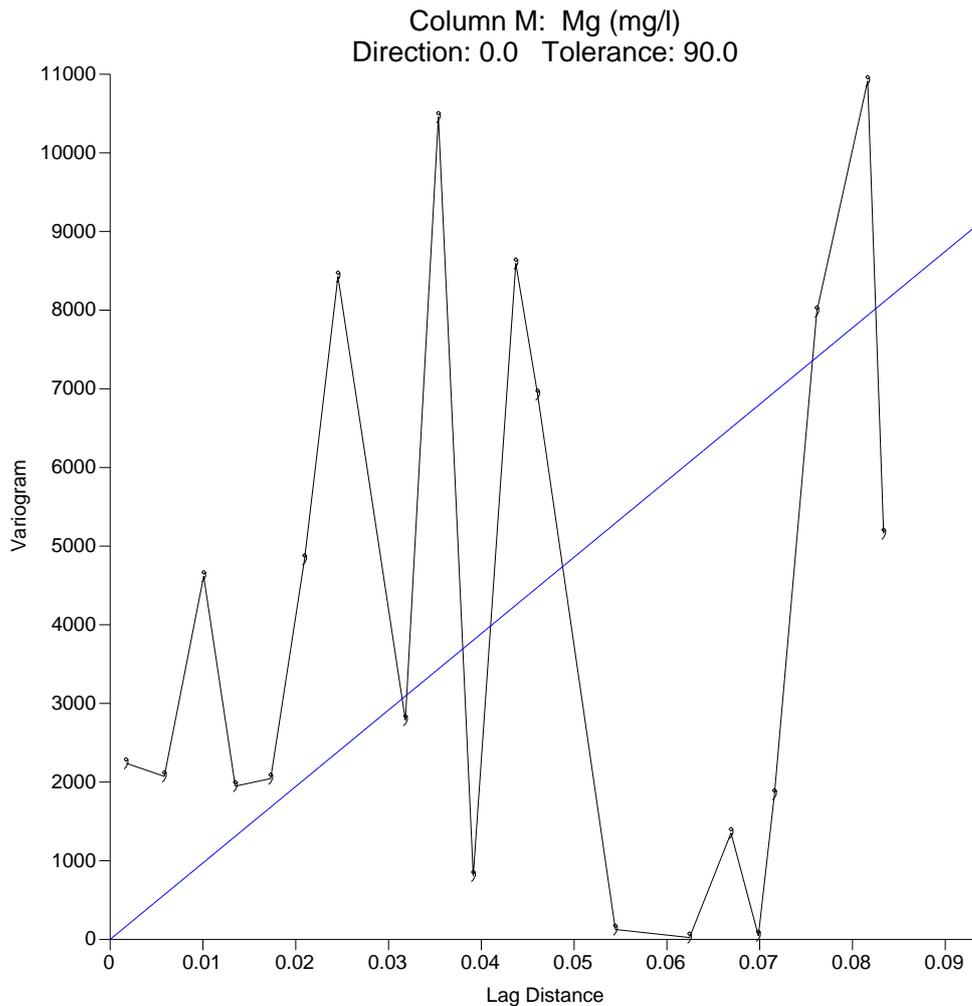


Figure N°37 - Variogramme du (Mg)

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, slop = 97200 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amont : 30

- Max Lag dist : 0.00376
- Number of Lag : 25
- vertical scal : 11000

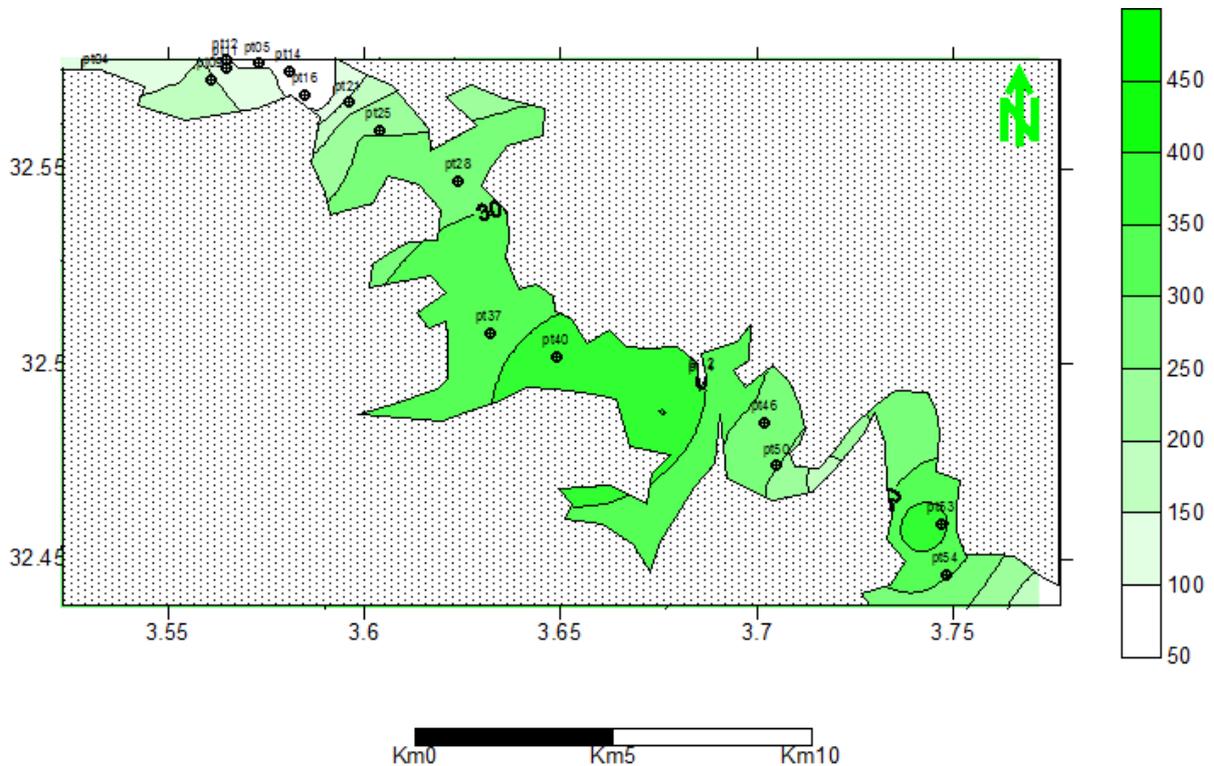


Figure N°38 - La carte de magnésium (Mg)

B. Commentaires de la carte de magnésium (Mg)

Nous remarquons que dans l'ensemble de la région étudiée, pour les 16 puits analysés, les eaux de la moitié de ces points d'eau souterrains dépassent la norme maximale admissible (150 mg/l), donc 50%. Ceci est nettement appréciable sur la carte, ce dépassement varie de 7% à près de 17%.

Ce dépassement est également dû à la formation géologique d'une part, notamment le calcaire dolomitique et également à des déperditions probables en provenance de source polluante de surface d'autre part.

7.3.6. La dureté

A. Variogramme carte de la dureté

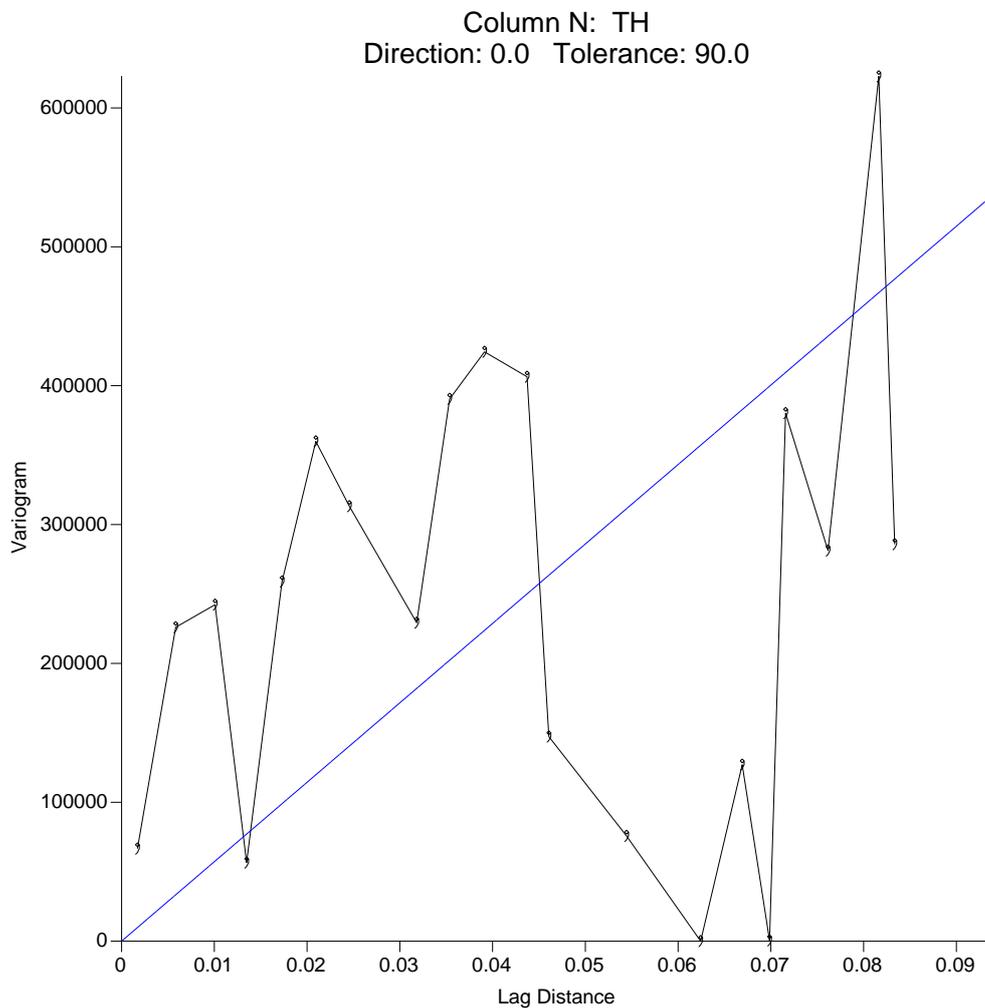


Figure N°39 - Variogramme carte (TH)

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, $slop = 5.72^E+006$
Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- Tolérance : 90
- Step amont : 30
- Max Lag dist : 0.00376
- Number of Lag : 25
- vertical scal : 623000

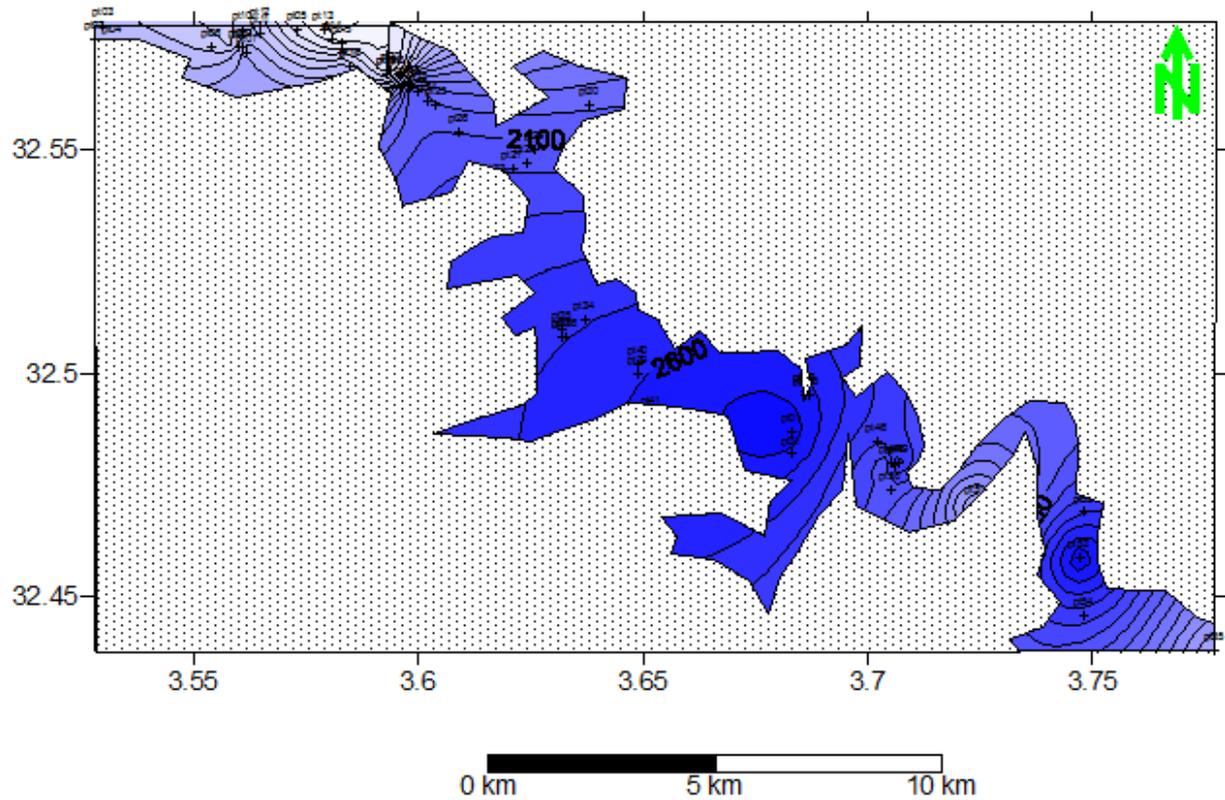


Figure N°40 - La de la durté (TH)

B. Commentaires de la carte de la durté

Nous remarquons que dans l'ensemble de la région étudiée, pour les 16 puits analysés, les eaux de la moitié de ces points d'eau souterrains dépassent la norme maximale admissible (400mg/l), Ceci est nettement appréciable sur la carte, on remarquons aussi que la durté (TH) elle est plus élevé au cours de la vallée du M'Zab, Cette augmentation dépend de la concentration de magnésium et la concentration du calcium .

7.3.7. Le niveau statique

A. Variogramme de la carte du niveau statique

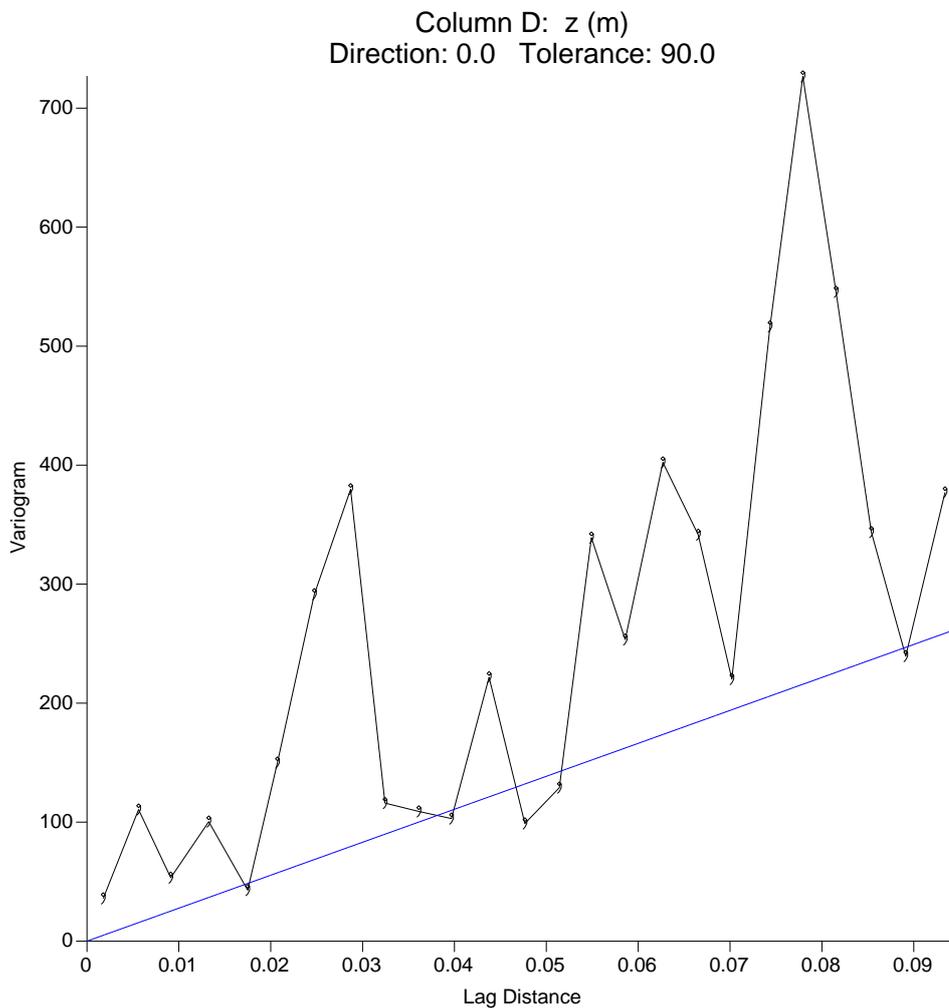


Figure N°41 - Variogramme niveau statique

La figure représente le Variogramme expérimentale des valeurs de niveau piézométrique de la nappe phréatique de Metlili qui s'ajuste au model linéaire avec un anisotropie de ratio = 1 et un angle = 0°, slop = 89300 Les caractéristiques de cette structure spatiale sont :

- **Tolérance : 90**
- **Step amont : 30**
- **Max Lag dist : 0.0038**
- **Number of Lag : 25**
- **vertical scal : 727**

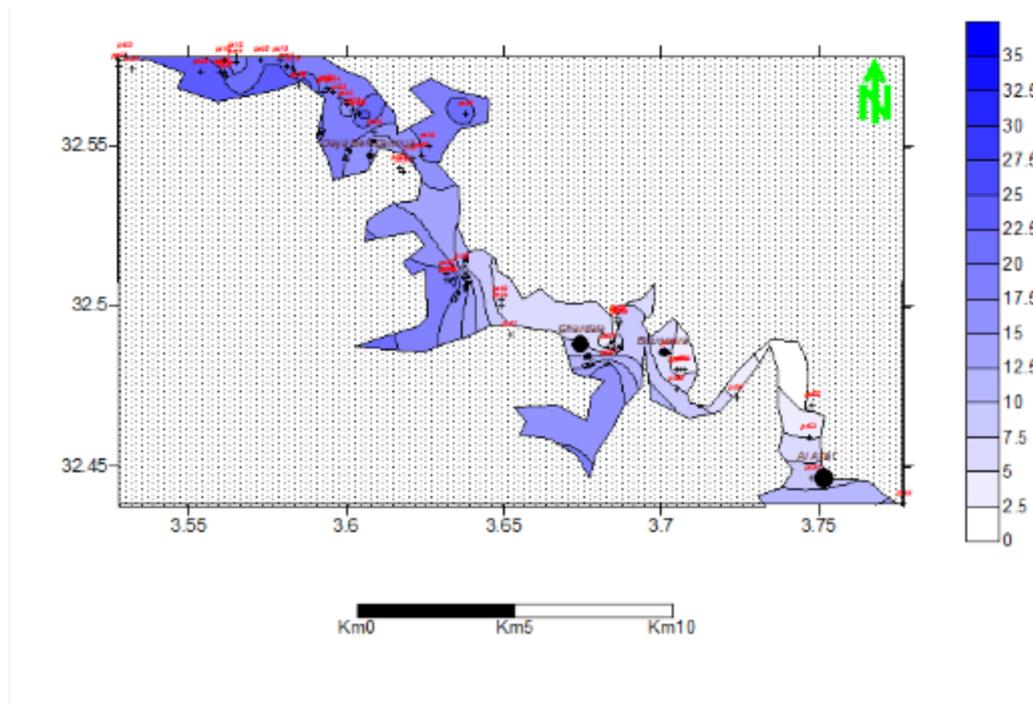


Figure N°42 - la de niveau statique

B. Commentaires de la carte niveau statique

La carte de niveau statique indique que le niveau statique varie entre 1.83 m et 27.1 m, et nous remarquons que le niveau statique le plus élevé se trouve dans la zone de Daya Ben Dahoua (de 20 m à 27 m) pour atteindre de 7 m à 18 m dans le centre de la vallée et de 5 m à 10 m dans la zone de L'ATEUF.

7.3.8. L'analyse en composantes principales (ACP)

Est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multivariée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axes principaux. Elle permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

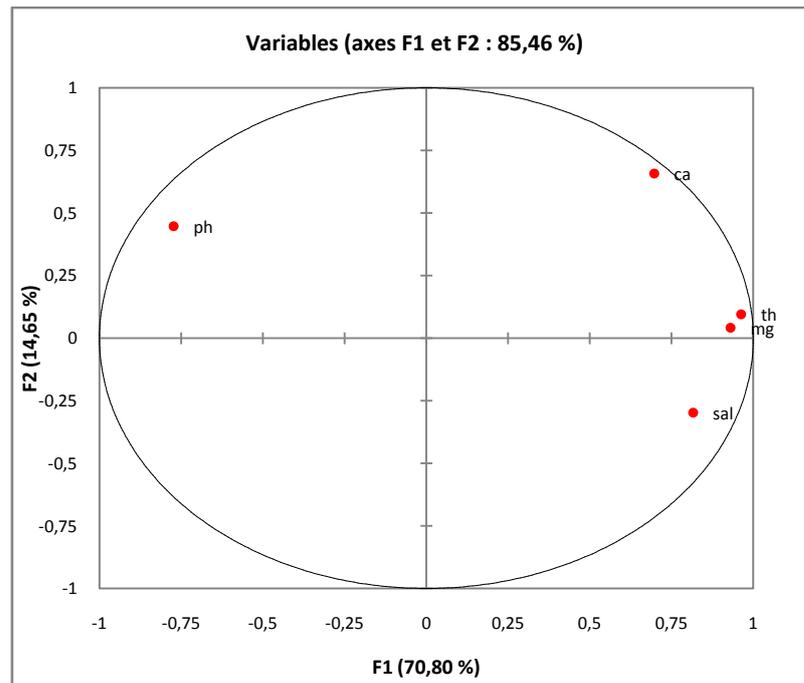
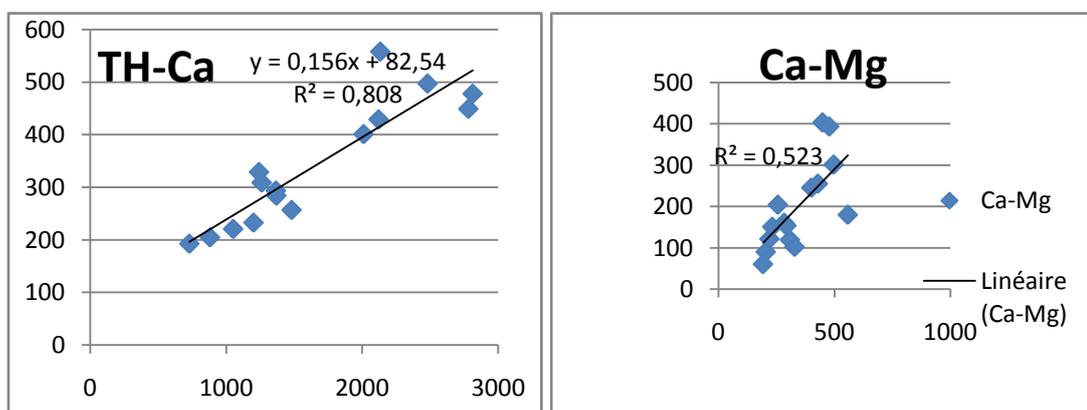
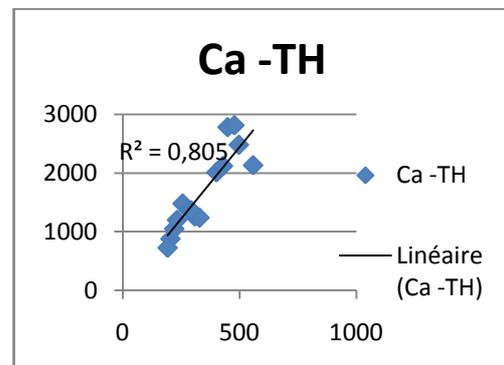
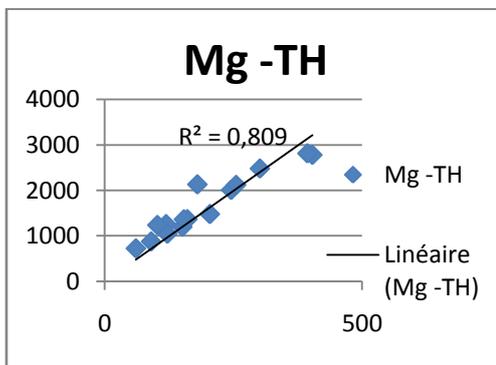
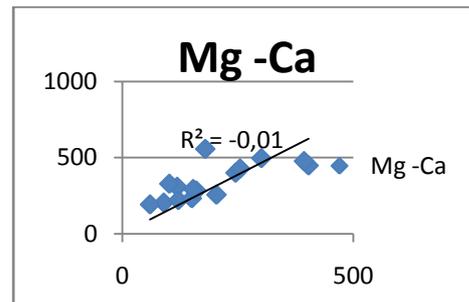
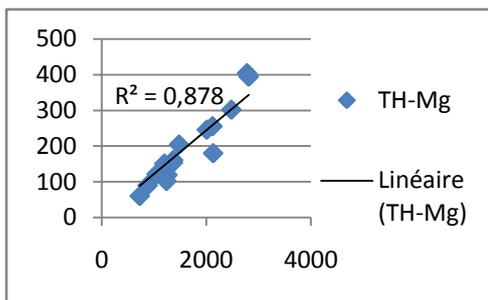


Figure N°43 - Analyse des composants principaux

D'après ce diagramme d'ACP, qui présente les paramètres : PH, CE, MG, CA et TH ; nous déduisons qu'il y a une forte relation entre le Mg et le TH. Plus la concentration de Mg augmente plus la concentration de TH augmente. Par contre il y a une faible relation entre le CE et le Ca d'une part, et le couple Th-Mg avec le Ca ou le CE. Cependant on remarque aussi qu'il existe une corrélation négative (régression) mais faible entre le pH et les reste des paramètres, plus le pH et acide plus la concentration augmente.

7.3.9. Corrélation simple





7.3.10. Tableau recuire

	Ca	Mg	TH	CE
Ca	0	0.666	0.808	
Mg	0.523	0	0.878	
TH	0.805	0.809	0	
CE				0

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail était d'une part l'élaboration un système d'information géographique qui permettrait d'organiser et présenter les éléments de référencés du site d'étude, et d'autre part, de caractériser, après échantillonnage, et analyse les eaux de puits qui capte la nappe phréatique de la vallée du M'zab.

Une première campagne dédiée au recensement des puits que compte notre aire d'étude (de Daya B. H. à El Atteuf) a abouti à la répertoriassions de 55 puits avec positionnement sur carte. Après identification du sens d'écoulement de la nappe, la désignation des points de prélèvement a permis d'effectuer l'échantillonnage, et les analyses portant sur les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux.

Nous avons remarqués que la zone la plus affectées par une élévation excessive des éléments hydrochimiques est localisées dans la zone centrale de la vallée, qui se caractérise par une densité très élevés d'occupation de sol, et par conséquence, un grand risque de contamination à partir des réseaux d'assainissement, des fuites d'eau et des fosses septiques. Aussi cette situation a êtes observée en aval de la vallée notamment dans la zone d'El Atteuf qui se caractérisés par l'activité agricole et la zone de rejet des réseaux d'assainissement.

Lors de l'élaboration de ce projet, nous avons été confrontés au manque d'éléments relatifs aux caractéristiques de la nappe d'une part, et d'autre par une seule campagne n'est pas significative. C'est pour cela, qu'il est nécessaire d'élargir l'analyse chimique aux autres paramètres notamment celles de la pollution, et de réaliser d'autres compagnes à différentes périodes suivant un programme qui permettrait d'apprécier l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques de la nappe.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- (1) : <http://Wikipédia.org> : l'encyclopédie en ligne.
- (2) : Institut national de perfectionnement de l'équipement
- (3) : (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST))
(Jean-Baptiste HENRY)
- (4) : www.univ-lille1.fr
- (5) : www.safewater.org
- (6) : www.sondafor.fr
- (7) : http://geo.polymtl.ca/~marcotte/mth2302c/vario_court.pdf
- (8) : *Arnaud et Emery, 2000, p107*
- (9) : Wilfried, 2006
- (10) : Journel et Huijbergts, 1993 p.37
- (11) : BOUZIANI ,2000
- (12) : KOULL et BASSOU, 2003
- (13) : BENRAIS ,1995
- (14) : LADJEL et TODEFT ,2002
- (15) : S.BENRAIS, 1995
- (16) : LADJEL et TODEFT, 2002
- (17) : LADJEL et TODEFT 2002
- (18) : BREMOND et PERRODON ,1976
- (19) : JAEN RODIER
- (20) : www.webphysique.fr
- (21) : www.cutur.gouv.fr
- (22) : www.ensegid.fr
- (23) : www.Usherbrooke.fr
- (24) : Délégation algérienne, Projet de développement des systèmes culturels territoriaux, Plan d'action cas de Ghardaïa, 2004.
- (25) : ANRH Direction régionale sud Ouargla, note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, Mars 2003.
- (26) : THANINA.H ;[contribution a la caractérisation des eaux des puits de la palmeraie et de la commune de Ghardaia] ;university de Ghardaia

