

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Ali KAFI Tindouf
Institut des Sciences et de la Technologie
Département des sciences de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

En vue de l'obtention du

Présenté et Soutenu par :

Slimane BEN SAID

Chaima YOUNSI

Intitulé

Etudes des aquifères à l'aide des SIG
(cas du bassin de Tindouf)

Diplôme de Master

Spécialité : Hydrogéologie

Soutenu le : 25.06.2019

Devant jury composé par :

khelifa HAMI
Abdelkrim TALHI
Ibrahim ZEROUAL

MCA
MCB
MCA

Président
Examinateur
Encadreur

Année Universitaire 2018 / 2019

Dédicace

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui, que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à toute ma famille, mon binôme CHAIMA Younsi, mes amis, mes collègues de travail, et mes collègues de la promotion hydrogéologie 2017/2018 centre universitaire Tindouf.

S.BENSAID

Dédicace

Hé oui, à tout commencement il y a une fin, et au terme de ce modeste travail, mes dédicaces vont :

A celle qui m'a mis au monde et veiller de très longues nuits pour que je sois ce que je suis.

A celui qui était toujours présent dans les moments difficiles, en dépit de sa sévérité, je l'embrasse très fort.

A Ami Ahmed qui est toujours présent pour moi.

A mes frères Bilal Soheib, Islem et mes sœurs Khaoula et Maram.

Sans oublier mon binôme SLIMANE Ben Saïd et mes amis qui m'ont été d'un grand apport psychologique.

C.YOUNSI

Remercîment

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions, en premier lieu **ALLAH** qui nous a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de nos études.

Il est agréable d'adresser nos sincères remerciements à Mr. **ZEROUAL Ibrahim**, qui nous a fait confiance en nous proposant ce sujet fort et intéressant, pour toutes les connaissances en télédétection et en hydrogéologie qu'il nous a transmis, pour son orientation efficace et pour sa sagesse, et de nous avoir bien guidé, encadré et fructifié toutes les idées qui ont mené au résultat de ce mémoire.

Nous remercions également tous les enseignants et l'ensemble du personnel du département de science de la terre et l'univers centre universitaire Tindouf, qui ont contribué à notre formation et pour leur soutien et aide morale.

Sans oublier nos **familles** pour le soutien exemplaire, moral et matériel continu tout au long de notre cycle d'étude.

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations et Liste des unités	
Introduction générale	01
Chapitre I : Généralité	
I. Cadre géographique.....	02
A. Situation géographique de la ville de Tindouf.....	02
B. Situation géographique de Bassin Tindouf.....	03
II. Cadre géologique.....	04
A. Au plan structural.....	04
B. Aperçu Stratigraphique.....	05
1. Le Précambrien.....	05
2. Le Paléozoïque.....	05
2.1. Le Cambrien.....	06
2.2. L'Ordovicien.....	06
2.3. Le Silurien.....	07
2.4. Le Dévonien.....	07
2.5. Le Carbonifère.....	09
3. Le Cénozoïque.....	10
3.1. Le Tertiaire	10
3.2. le Quaternaire.....	10
III. Cadre hydrologique et hydrogéologique	12
A. Aperçu Hydrologique :	12
1. Hydrographie.....	12
2. Hydrologie.....	12
B. Aperçu Hydrogéologique.....	13

Chapitre II : Méthodologie

I.	Introduction.....	22
II.	Les équations de diffusion.....	22
III.	Approche en cartographie numérique.....	24
	1. La cartographie	24
	2. Définition en cartographie numérique.....	24
	3. Classification selon le contenu	24
	4. Classification des cartes selon le mode d'expression	25
	5. Mise En Place D'un Service Webcarto.....	27
	6. Utilisation des SIG	27
	7. Les conditions d'un SIG efficace.....	27
IV.	Le Modèle Cartographique	29
	1. Les étapes pour la création d'un modèle de carte numérique	29
	2. Les techniques cartographiques	30
	3. Les caractéristiques de carte	30
	4. Étude et conception d'une carte.....	30
	4.1. La conception	30
	4.2. La production	31
	4.3. La rédaction	31
	4.4. La duplication	31
	4.5. L'utilisation qui permettra	31
	5. Le langage des cartes thématiques	32
	6. Intégration SIG- GEOPHYSIQUE	32
	7. Interprétation des profils et cartes de résistivité	33
	8. Documents fournis et nécessité de la cartographie numérique.....	33
V.	Conclusion du chapitre.....	34

Chapitre III : Etude à l'aide des SIG

I.	Introduction	35
II.	Concepts en Analyse Spatiale.....	35
III.	Dépendance spatiale.....	36
IV.	Autocorrélation spatiale.....	36

V.	Inférence statistique pour les données spatiales.....	36
VI.	Bases de Données Géospaciales.....	37
	1. Le Système d'Information Géographique (SIG)	37
	2. Mise en œuvre	38
	2.1. MapInfo.....	38
	2.2. - Saisie de données.....	38
	2.3. - Manipulation des données.....	38
	2.4. Analyse spatiale.....	39
VII.	Application.....	41
VIII.	Etude hydrogéologique.....	42
	1. La réalisation de la carte de la surface piézométrique	42
	2. Interprétation de la carte de la surface piézométrique.....	43
	3. Commentaires.....	43
IX.	Etude hydrochimique.....	44
	1. Contrôle des analyses par la balance ionique	44
	2. Interprétation des résultats des analyses	45
	3. Paramètres physiques	45
	3.1. Potentiel Hydrogène Ph.	45
	3.2. Conductivité électrique	45
	3.3. Minéralisation globale de l'eau	46
	4. Paramètres chimiques.....	47
	4.1. Cations.....	47
	4.2. Anions.....	47
	5. Qualité des eaux	50
	5.1. Norme de potabilité	50
	5.2. Interprétation des résultats.....	50
	5.3. Dureté	50
	6. Faciès chimiques	51
	7. Commentaires.....	52
X.	Conclusion du chapitre.....	54
	Conclusion générale.....	55
	Références bibliographiques	
	Annexes	

LISTE DES FIGURES

N°	TITRE DES FIGURES	Page
Figure 01	Situation géographique de Tindouf.	02
Figure 02	Situation géographique de bassin de Tindouf.	03
Figure 03	carte des principaux éléments structuraux du bassin de Tindouf.	05
Figure 04	Coupe stratigraphique N-S de la partie occidentale du bassin de Tindouf	10
Figure 05	La lithostratigraphie du bassin de Tindouf	11
Figure 06	Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf	14
Figure 07	Situation et esquisse hydrogéologique des aquifères du bassin de Tindouf	19
Figure 7A	Coupe hydrogéologique à travers les aquifères hamadien et Viséen supérieur	20
Figure 7B	Coupe hydrogéologique dans la nappe du Cambro-Ordovicien	20
Figure 08	Système d'information géographique et télédétection.	28
Figure 09	Carte de répartition des forages dans la région de Tindouf	40
Figure 10	Organigramme de traitement et présentations des classes	41
Figure 11	Carte de relief de la région de Tindouf	42
Figure 12	Carte de la surface piézométrique.	42
Figure 13	Carte de la minéralisation	46
Figure 14	diagramme de la concentration des nitrates dans les eaux des 42 forages de Tindouf	48
Figure 15	Carte de la concentration des nitrates	49
Figure 16	Carte des facies chimiques	51
Figure 17	proposition du schéma conceptuel de données a permis d'extraire le Modèle Physique de Données suivant.	53

LISTE DES TABLEUX

N°	TITRE DES TABLEUX	Page
Tableau 01	Les facies des principaux aquifères identifiables dans le bassin de Tindouf	21
Tableau 02	Caractéristiques physico-chimiques des eaux	45
Tableau 03	Relation existant entre la minéralisation et la conductivité	46
Tableau 04	Résultats d'analyse des eaux exprimés en mg/L et en meq/L.	48
Tableau 05	Vérification de la Potabilité des eaux selon les normes algériennes	50
Tableau 06	Classement les eaux en fonction de leurs duretés	51
Tableau 07	Les valeurs de la dureté des différents points d'eau	51

Liste des abréviations :

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques.

ADE : Algérienne Des Eaux.

GC 01 : Gara Centre 01.

GC 02 : Gara Centre 02.

PH : Lepotential d'hydrogène.

Rés sec : Résidu sec.

TH : Titre hydrotimétrique.

SIG : système d'information géographique.

MCD : modèle conceptuel de données

LISTE DES ABREVIATIONS ET LISTE DES UNITES

Liste des unités :

cm : centimètre.

°C : Degré Celsius.

°F: Degré français.

g: Gramme.

mg : milligramme.

g/l : Gramme par litre.

mg/l : Milligramme par litre.

m: Mètre.

m³: mètre cube.

m³/an : mètre cube par année.

Km² : kilomètre carré.

méq/l : milliéquivalent par litre.

ml : millilitre.

l/s : litre par seconde.

μS/cm: micro siemens par centimètre.

mS/cm : Mili siemens par centimètre.

RESUME

L'exploitation des eaux des nappes souterraines du bassin de Tindouf nécessite la connaissance de données multidisciplinaire sur les aquifères. Les études géologiques et hydrogéologiques portées sur la zone d'étude nous ont permis la mise en place d'un modèle géospatial basé sur un SIG (système d'information géographique). Les résultats cartographiques ont montré que l'étude doit être complétée par des sondages Géoélectriques pour maîtriser les écoulements et mettre un modelé global des aquifères.

ABSTRACT

The exploitation of groundwater in the Tindouf basin requires the knowledge of multidisciplinary data on aquifers. The geological and hydrogeological studies carried out on the study area allowed us to set up a geospatial model based on a GIS (geographical information system). The mapping results have shown that the study must be supplemented by geoelectric surveys to control the flow and put a global modeling of aquifers.

ملخص

يتطلب استغلال المياه الجوفية في حوض تندوف معرفة البيانات متعددة التخصصات حول طبقات المياه الجوفية. الدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية التي أجريت في منطقة الدراسة بإعداد نموذج جغرافي مكاني قائم على نظام المعلومات الجغرافية (GIS) أظهرت نتائج المسح أن الدراسة يجب أن تستكمل من خلال المسوحات الجيوكهربائية للتحكم في التدفق ووضع نموذج كامل لطبقات المياه الجوفية.

Introduction générale

Introduction générale

Afin d'œuvrer à une gestion intégrée des ressources en eau, il est nécessaire de mettre à la disposition des décideurs une cartographie hydrogéologique de synthèse permettant d'apporter une réponse réelle à la gestion des espaces. Il existe une relation avec la projection des champs de captage destiné à l'alimentation des besoins en eau et la protection des ressources aquifères contre la pollution sous ses différentes formes. La carte hydrogéologique de la partie centrale du bassin de Tindouf, regroupe la coupure au 1/100.000^e a été élaborée sur la base d'une combinaison d'unités spatiales (découpage) représentées par la topographie, la structure des couches, les affleurements, les écoulements des eaux (souterraines et superficielles) et l'hydrochimie.

La démarche que nous adoptons découle par la collecte et l'organisation des données hydrogéologiques disponibles du système aquifère du bassin de Tindouf, traduites en termes des propriétés hydrodynamiques (isopièzes), hydrochimiques (isoteneurs) et de conditions aux limites (conditions de lithologie et de structure) en vue de l'édification de schéma d'écoulement souterrain. La première approche a été d'analyser la géométrie des aquifères du bassin de Tindouf par l'établissement de coupes géologiques et cartes structurales. L'apport des SIG sur la réflexion et la vision scientifique permet une cartographie hydrogéologique thématique pour retracer la configuration des grands écoulements des eaux souterraines. Il s'agit en effet d'un immense appareil hydraulique, régit par un hydrodynamisme complexe, commandé par un contexte géostructural propre au style Anti-Atlasique. Ainsi, une Base de Données Géospatiales a été constituée pour élaborer des cartes de synthèses révisables. La valorisation des opérations de la modélisation géologique et l'exploration hydrique dans des conditions adéquates est un premier résultat pour le suivi des réserves. Ce travail est une ébauche pour la mise en place d'un modèle d'analyse pour l'exploitation des eaux souterraines par l'utilisation des SIG. Le travail de cette étude est défini selon trois parties :

1. Le chapitre 1 regroupe une synthèse bibliographique et l'aspect géologique global
2. Le chapitre 2 est une présentation de la méthodologie et la réflexion, base de l'étude.
3. La 3^{ème} partie comporte des applications thématiques et synthétiques en hydrogéologie du Bassin Tindouf.

Chapitre 1

Généralité

I. Cadre géographique :

A. Situation géographique de la ville de Tindouf :

La wilaya de Tindouf est située au Sud – Ouest d’Algérie à proximité des frontières Algéro- Marocain s’éloigne à 1900km d’Alger. Elle est entre le parallèle 26°N et 28°N et le méridien 6° W et 9°W. Le paysage désertique est caillouteux et désolant où le terme « désert prend son vrai sens d’austérité géographique (géomorphologique). La superficie de bassin à l’ordre de 159000 km², La région compte une population déclarée d’environ 71890 habitants répartis entre deux communes : « Tindouf » et « Oum el assel » et constitue dans le jargon administratif algérien, depuis 1984 la 37ème circonscription administrative de l’État algérien. Elle est limitée :

- Au Nord - Est par la wilaya de Bechar.
- Au sud - Est par la wilaya d’Adrar.
- Au Nord et au Nord et l’Ouest par le Maroc.
- Au Sud par la Mauritanie et au Nord –Sud par le Sahara Accidenta.

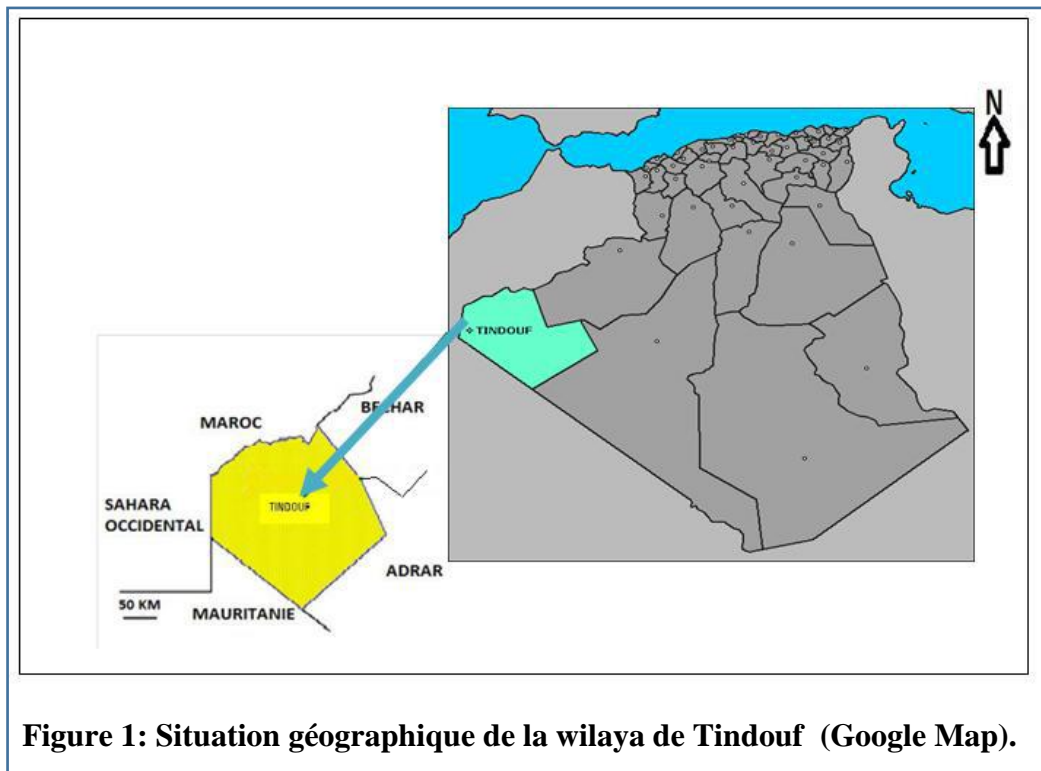


Figure 1: Situation géographique de la wilaya de Tindouf (Google Map).

B. Situation géographique de Bassin Tindouf :

Faisant partie de la province S-O algérienne, le bassin de Tindouf s'étend sur une surface d'environ 160 000 km², il est limité au Nord par l'Anti-Atlas marocain, au Sud par le massif des Reguibat, à l'Est par les Monts de l'Ougarta, et enfin à l'Ouest par les frontières Algéro-Marocaine (fig.2).

Le bassin de Tindouf est supposé avoir acquis son aspect de large synclinal d'axe Est-Ouest pendant l'orogénèse varis que les nombreux plis identifiés dans sa moitié nord représentent la propagation vers le Sud des déformations de couverture observées dans l'Anti-Atlas.

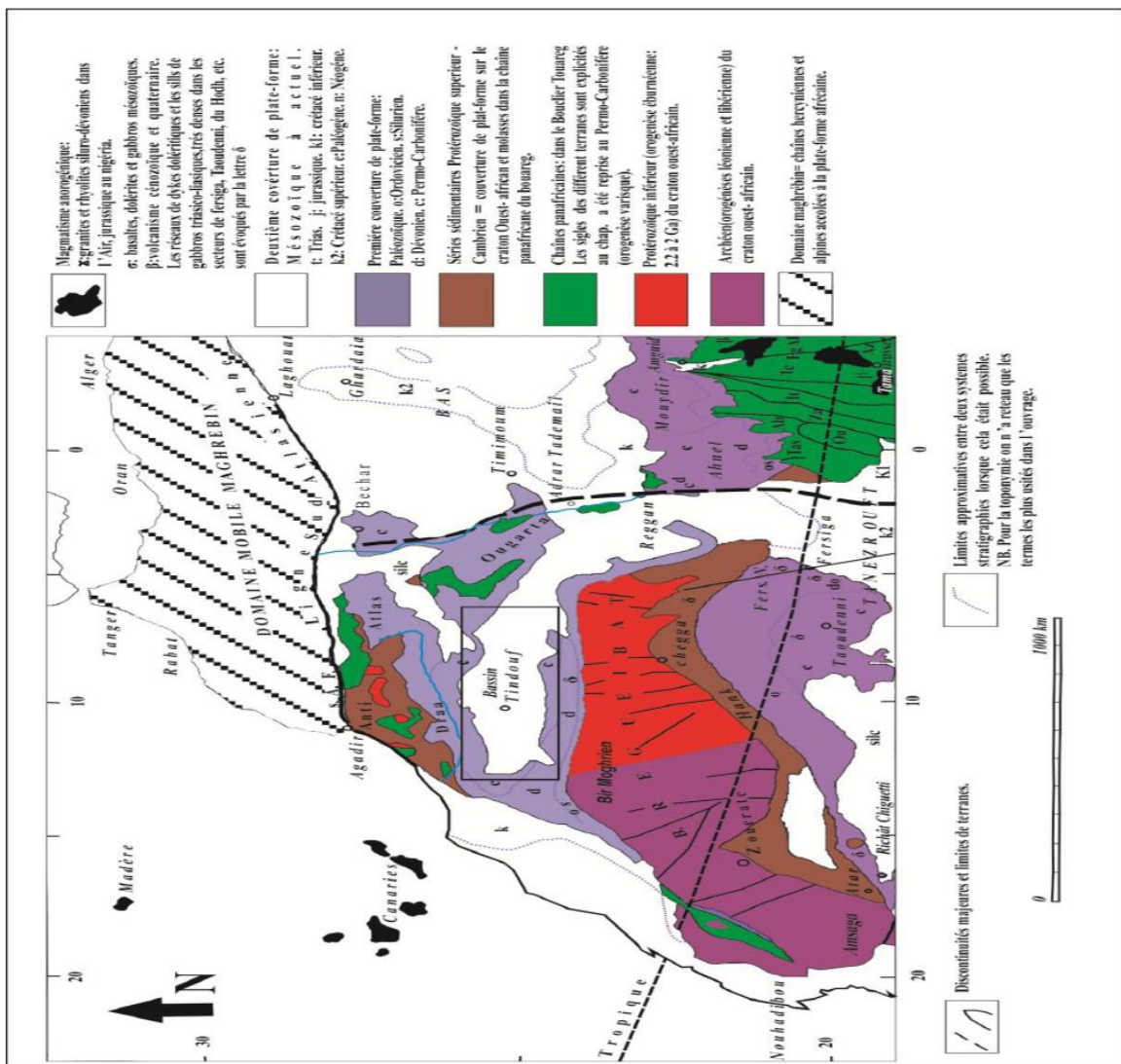


Figure 2 : Situation géographique de bassin de Tindouf

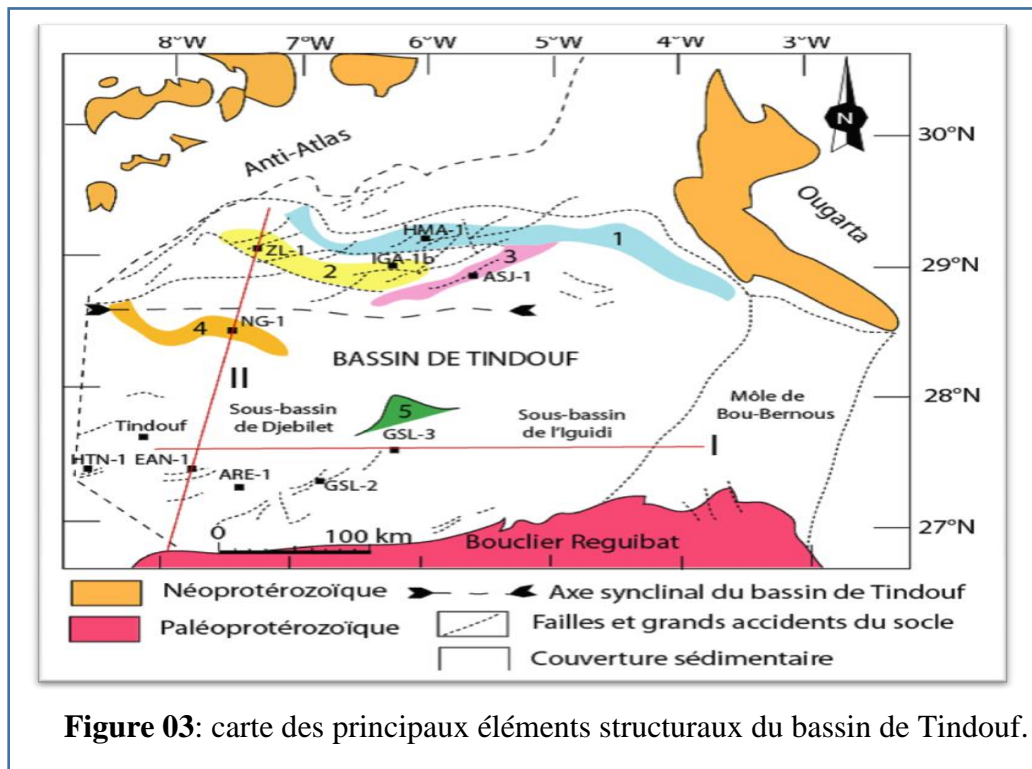
Extrait de la carte géologique de Nord-Ouest de l'Afrique au 1/5.000.000

(BRONER et FABRE, in FABRE, 2005).

II. Cadre géologique :**A. Au plan structural :**

Le bassin de Tindouf est matérialisé par un flanc Sud stable et un flanc Nord plus ou moins instable. Ceci est dû probablement à sa position, entre un relief instable et mobile (Anti Atlas marocain) et un vieux socle stable (Dorsal Reguibat par les Eglabe). Cette synclise a subi les différentes orogénèses résultantes de collision intercontinentale, qui ont affecté la plaque Africaine et la plaque Nord-Américaine (WILSON, 1968 et SHENK, 1971). En 1960, GEVIN a illustré certaines actions tectoniques affectent la couverture sédimentaire. Parmi ces phases, on cite :

- phase cadomienne : Cette phase a touché les sédiments infracambrienne. Elle adonnée un système d'ondulation NO-SE, en déterminant des horsts et des grabens.
- Phase calédonienne : Elle est caractérisée par quelque bombement du socle, représentant surtout vers le méridien 6°Ouest.
- Phase hercynienne : au début de cette phase, les plissements hercyniens déterminent l'immense synclinale dissymétrique de Tindouf qui est régulier à l'Ouest et bosselé à l'Est. La partie finale de cette phase a produit de grandes failles obliques (N-E, S-O) liée ou montée doléritiques.
- Mouvement post hamadiens : Ces mouvements tectoniques ont affecté les courbures paléozoïques préexistantes, en déterminants des lignes directrices de l'érosion post hamadienne.
- Phase dite « permanent » : elle est liée principalement au tassement des couches, en donnant des failles méridiennes sous imprimées par les grands traits antécambriens.



B. Au plan stratigraphique :

D'après les travaux géologiques antérieurs (FABRE, 1976, HOLLARB, 1970 et CHABOU, 2001), la série stratigraphique du bassin de Tindouf présente des variations spectaculaires des épaisseurs et des faciès. Ainsi, dans l'ordre ascendant, nous distinguons la succession litho stratigraphique suivante (Fig4.) :

1. Le Précambrien :

Au-dessus du socle éburnéen des Eglab, repose la première série schistoquartzitique de Précambrien. Dans le détail, nous relevons la succession lithologique suivante :

- **Le groupe de Saghro de Précambrien II-III** : Il s'agit essentiellement des volcano-détritiques;
- **Le groupe de Ouarzazate** : Ce sont des volcano-détritiques ;
- **Précambrien III** : à la différence des groupes précédents, le Précambrien III est composé de schisto-quartzitique.

2. Le Paléozoïque :

Reposant sur la discordance appelée « discordance panafricaine », le Paléozoïque est composé de :

2.1. Le Cambrien ; La série lithostratigraphique cambrienne comprend :

2.1.1. Cambrien inférieur : Cet intervalle chronologique comprend les faciès suivants :

- A. **Ensemble carbonaté** (Ep. moy 200 m) : C'est une alternance des bancs des calcaires et des lits argileux. Cette série renferme les plus anciens Trilobites connus au monde.
- B. **Ensemble schisto-calcaire** (Ep.moy 150 m) : Il s'agit d'une alternance de schiste verts à Trilobites et de calcaires à Archeocyathidés.
- C. **Ensemble détritique** : Il s'agit des grès à Tigillites, par endroit admettant des tufs volcaniques. Ces grès sont surmontés par des schistes à Trilobites marquant le passage au Cambrien moyen (CHABOU, 2001).

2.1.2. Cambrien supérieur : Il est constitué de bas en haut par :

- A. **Ensemble schisteux** (Epmoy400m) : Il est représenté par la formation des « schistes des Feijas internes ». La partie supérieure de cette formation devienne gréseuse. Cette série est couronnée par la formation des grès de « Tabanit », à Paradoxides et Lingules, épaisse de 100 à 150 m.
- B. **Ensemble gréseux** « les grès d'El Aroueta » dont l'épaisseur atteint 450 m. Cette série s'amincit du nord au sud et disparaît complètement dans la région des affleurements paléozoïques du flanc sud du bassin de Tindouf (CHABOU, 2001).

2.2. L'Ordovicien

Il est caractérisé par la prédominance des schistes. De bas en haut, nous distinguerons la succession suivante :

- A. **Les schistes des Feijas externes** : Ce sont des argilites plus ou moins silteuses bleu vert, riches en Graptolites et Trilobites du Trémadocien. Elles sont constituées par deux formations :
- B. **Les schistes de Fezouata** : C'est des argiles glauconieuses riches en Graptolites caractéristiques de l'Arénigien inférieur.
- C. **Les grès et quartzites du Zini** (450 m d'épaisseur) : C'est des grès grains fins à grossiers, riches en Scolithes.
- D. **Les argiles d'Aroueta** : Elles se distinguent par un faciès argileux silteux, micacés et des grès, riches en fossiles.

- E. **Les grès de Rhezziane** : Ils comprennent de bas en haut :
- F. **Les schistes de Ktaoua** : ils sont marqués par des argilites à intercalation de grès riches en faunes (Caradocien).
- G. **Les grès de Rouid Aissa** : Grès quartzitiques à grains fins à moyen.
- H. **Les grès du 2ème Bani** : Sont de nature glaciaire. Ce sont des grès grossiers, conglomératiques contenant des niveaux marins.

2.3. Le Silurien

Dans la bordure sud du bassin de Tindouf, le Silurien est surtout schisto-argileux. Cet ensemble, dénommé formation de « la Sebkhah Mahbès » (5 à 120 m) s'étend du Liandoverien moyen au Pridolien (CHABOU, 2001).

Dans le flanc nord du bassin, la série argileuse s'épaissit et peut atteindre 800 m. Elle est représentée par des argiles à Graptolites avec des intercalations gréseuses, ainsi que des calcaires à Crinoïdes, Orthocères et Lamellibranches.

2.4. Le Dévonien

La série lithostratigraphique dévonienne comprend :

2.4.1. Dévonien inférieur : Au Nord du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur comprend les deux formations suivantes : (CHABOU, 2001)

- A. **Une formation argileuse** : (400 m à l'Ouest et quelques dizaines de mètres à l'Est), où s'intercalent des niveaux gréseux et des calcaires.
- B. **Une formation gréseuse** : (700 à 800 m) qui est constituée par des bancs de grès formant des crêtes (les Rich). Ces grès comportent des calcaires fossilifères datés Emsien.

Au Sud du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur connu sous le nom de Formation de « **Gara Djebilet** ». Cette dernière est divisée en deux membres: Les **grès de Djebilet**, est représenté en grande partie par des grès à intercalations argileuses et des argilites, et **Les grès supra-minéraux** : Il comprend à la base des grès, suivi par des argilites admettant des bancs de calcaires. La faune indique un âge Emsien.

2.4.2. Dévonien moyen : dans le Nord du bassin de Tindouf, le Dévonien moyen est constitué par les formations suivantes:

- A. **Une formation argilo-calcaire** : épaisse de 300m, comportant des schistes à Goniatites, des grès et quelque niveau calcaire. Cet ensemble est daté Eifélien.
- B. **Une formation calcaire** : D'âge Givétien très fossilifère (Goniatites, Arthrodières, Trilobites). La puissance de cette formation est faible (50 à 100m).
- C. Au Sud de ce bassin, le Dévonien moyen correspondant à la formation de l'Oued Talha. Cette formation est subdivisée en deux membres:
- D. **Les argilites de l'Oued Talha** : Sont constituées d'un ensemble homogène d'argilites grises, feuilletées, avec des intercalations de bancs de calcaires gréseux riches en Brachiopodes. Ce membre serait d'âge Emsien supérieur à Eifélien.
- E. **Les calcaires bioclastiques de la KerbTsabia** : Comportent des calcaires durs et compacts, formant de gros bancs intercalés d'argilites, qui sont très riches en Brachiopodes et Polypiers. L'âge de ce membre est Eifélien à Givétien supérieur.

2.4.3. Le Dévonien supérieur : il est représenté au Nord du bassin de Tindouf par une puissante série argileuse « les argiles de la plaine du Dra ». Cette dernière comprend un Frasnien argileux à intercalations calcaires, un Famennien inférieur entièrement argileux et un Famennien supérieur argileux à intercalations gréseuses et gréso-calcaires. L'épaisseur du Dévonien supérieur peut atteindre 3000 m. Au sud du bassin de Tindouf, le Dévonien supérieur correspondant à la formation de « Kerb En Naga » (220 à 300 m d'épaisseur). Cette formation comprend deux membres:

- A. **Les siltites de l'Oued Rhazzal** : Elles sont marquées par des argiles grises, indurées et des bancs gréseux à grains très fins.
- B. **Les argilites de l'Oued Slouguia** : Argile grises papyracées, couronnées par des lits de gypses translucides.

2.5. Le Carbonifère

Le Carbonifère du flanc Nord du bassin de Tindouf est subdivisé en quatre unités lithostratigraphiques sur la base d'arguments stratigraphiques, lithologique et morphologiques, (CHABOU, 2001).

- A. **Les grès et schistes de Tazout** (111 m d'épaisseur) : ils appartiennent au Tournaisien supérieur. (HOLLARB, 1970).
- B. **Les grès et schistes de la Bétaina** (800 m d'épaisseur) : ils sont datés du Viséen inférieur et de la première partie du Viséen supérieur.
- C. **La série de l'Ouarkziz**, comprend trois membres :
 - Les calcaires inférieurs de l'Ouarkziz (356 m d'épaisseur) : c'est des calcaires à Gigantoproductidés et polypiers du Viséen supérieur.
 - L'Ouarkziz moyen (111,5 m d'épaisseur) : composé d'argiles et de marnocalcaires dolomitiques avec localement, des lentilles de gypse massif. Ce membre correspond à la limite Viséen supérieur-Namurien.
 - Les Calcaires supérieurs de l'Ouarkziz (102 m d'épaisseur), c'est des calcaires à Gigantoproductidés et polypiers du Namurien.
- D. **La série de la Bétana** : De nature continentale, comprend :
 - A la base, la formation des grès du Djebel Réouina (500 m d'épaisseur), composée des grès, d'argilites et des calcaires. Elle contient de nombreux débris de végétaux terrestres du Namurien.
 - Au sommet, la formation de Merkala (500 à 700 m d'épaisseur), est constituée essentiellement par une alternance de grès à grains fins, en bancs métriques, et d'argiles rouges. Cette formation contient des fougères caractéristiques du Stéphanien inférieur.

Le Carbonifère du Sud du bassin de Tindouf comprend les formations suivantes:

- A. **La formation « de Kerb Slouguia »** : Elle est composée des grès et des calcaires passant à des argiles et des grès. L'épaisseur de la formation atteint 584 m.
- B. **La formation « de Kerb Sefiat »** : D'âge Viséen inférieur. Sa base est composée de grès, passant à une alternance d'argiles et de passées de calcaire gréseux à son sommet. L'épaisseur de cette formation est de 310 m.
- C. **La formation « d'Aïn el Barka »** : Correspond au Viséen supérieur. Elle comprend des marnes gréseuses, des grès tendres et des bancs de calcaire. L'épaisseur de cette formation atteint 600 m.

D. La formation de « Hassi Aoulouel » : elle est représentée par des sédiments argiligréseux indifférenciés du Namurien et du Westphalien. Son épaisseur atteint 345 m.

3. Le Cénozoïque

3.1. Le Tertiaire

Dans le bassin de Tindouf, les terrains post-paléozoïques sont représentés par la Hamada de Tindouf(ou du Dra), qui ne dépasse jamais 100 m d'épaisseur.

Cette formation est constituée essentiellement d'un complexe grés-argileux, d'âge probablement Paléocène, supportant une dalle calcaire d'origine lacustre Néogène. Selon FABRE (1976, 2005), au nord du bassin de Tindouf, la base de la Hamada comprendrait une série gréseuse du Crétacé inférieur, qui est surmontée par une dalle calcaire céno-manoturonienne.

Dans la partie centrale du bassin de Tindouf, les formations paléozoïques sont recouvertes par les terrains de Hamada.

3.2. Le Quaternaire

Le Quaternaire comprend les regs, les alluvions, les éboulis, les sebkhas et surtout les ergs (dunes de sable), qui occupent une partie importante de la région (Erg Iguidi).

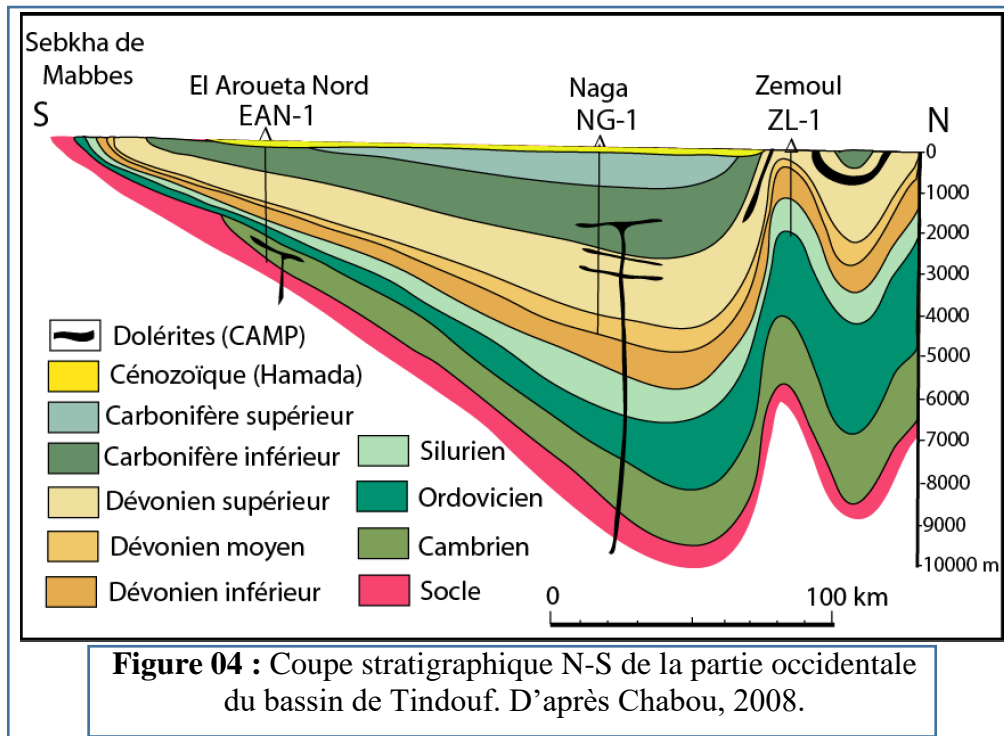


Figure 04 : Coupe stratigraphique N-S de la partie occidentale du bassin de Tindouf. D'après Chabou, 2008.

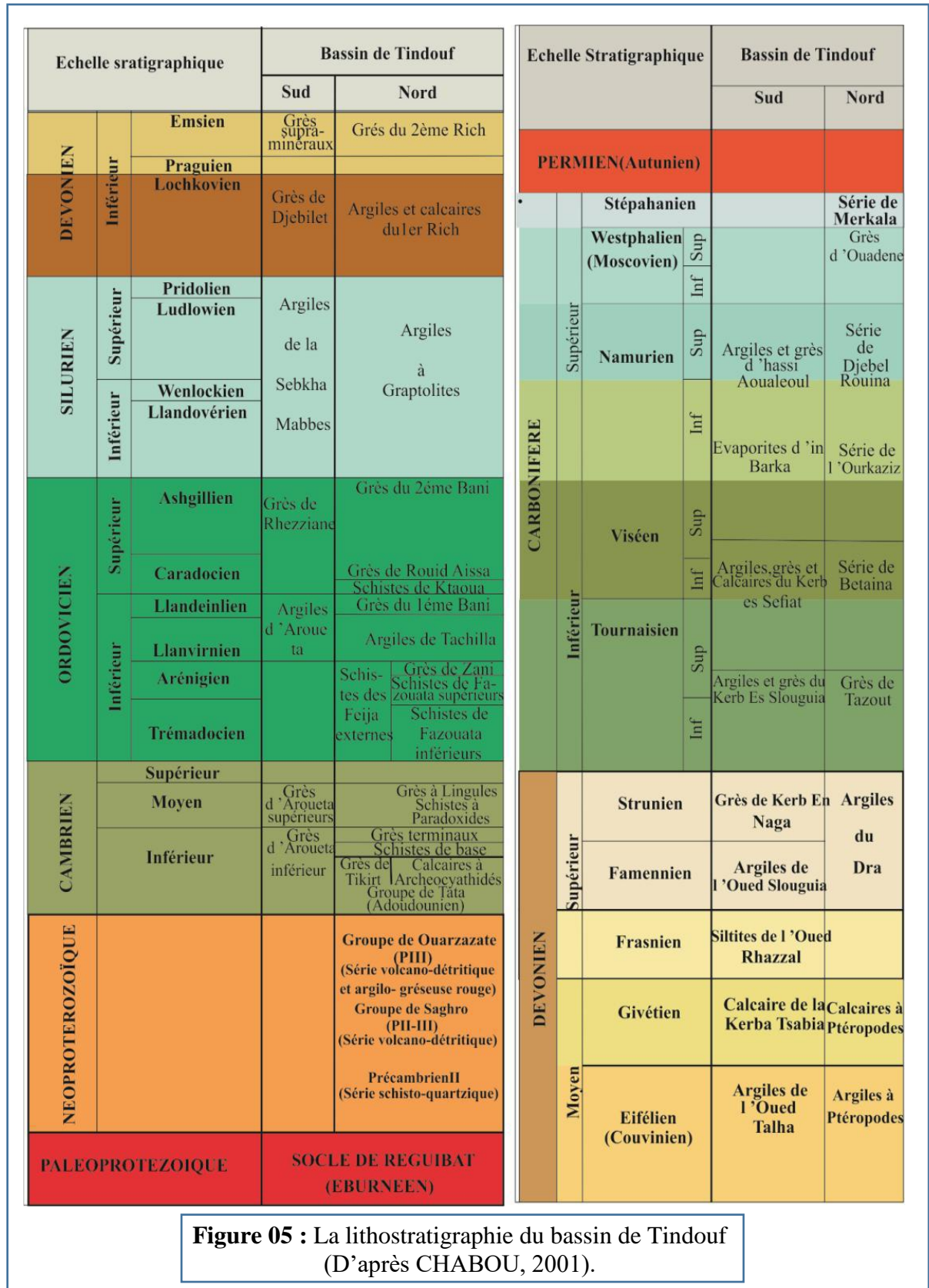


Figure 05 : La lithostratigraphie du bassin de Tindouf (D'après CHABOU, 2001).

III. Cadre hydrologique et hydrogéologique**A. Aperçu Hydrologique :**

Les grands traits de l'hydrologie de la wilaya de Tindouf peuvent être résumés comme suit :

1. Hydrographie

Sur le plan hydrographique, le bassin de Tindouf s'ouvre à l'Est, au Nord du Tanezrouft, sur le bassin de l'oued Daourat recevant en amont de Hassi Remlia les eaux des oueds Ziz et Rhéris collectant en territoire marocain, le ruissellement du Haut-Atlas oriental. Cependant, même lors des rares crues de ces oueds parvenant jusque-là, les eaux de l'oued Daourat s'étalent au gré de la topographie plate de la Hamada du Drâa et de l'Erg Iguidi où, l'évaporation aidant, elles disparaissent et n'atteignent pas la partie centrale du bassin de Tindouf. Cette configuration en fait un bassin endoréique.

Le territoire de la wilaya de Tindouf fait partie du grand bassin versant Sahara dont le numéro de code ANRH est 13.

Deux sous bassins versants se partagent ce territoire à savoir : le sous- bassin versant Iguidi Draa (13-02) et le sous bassin versant Erg Chech (13-10).

2. Hydrologie

Sur le plan hydrologique (écoulement), seul le sous bassin versant Iguidi Draa (13-02) connaît des ruissellements assez fréquents dans sa partie Nord et Nord- Est.

Ces ruissellements sont provoqués par les précipitations orageuses qui caractérisent le climat de la région. Ces écoulements se font dans deux directions principales :

- Une direction Nord vers la vallée de l'oued Draa tout le long de la frontière Algéro-Marocaine,
- Et une direction Sud et Sud Est vers les dépressions, chott et sebkha à l'intérieur du territoire de la wilaya.

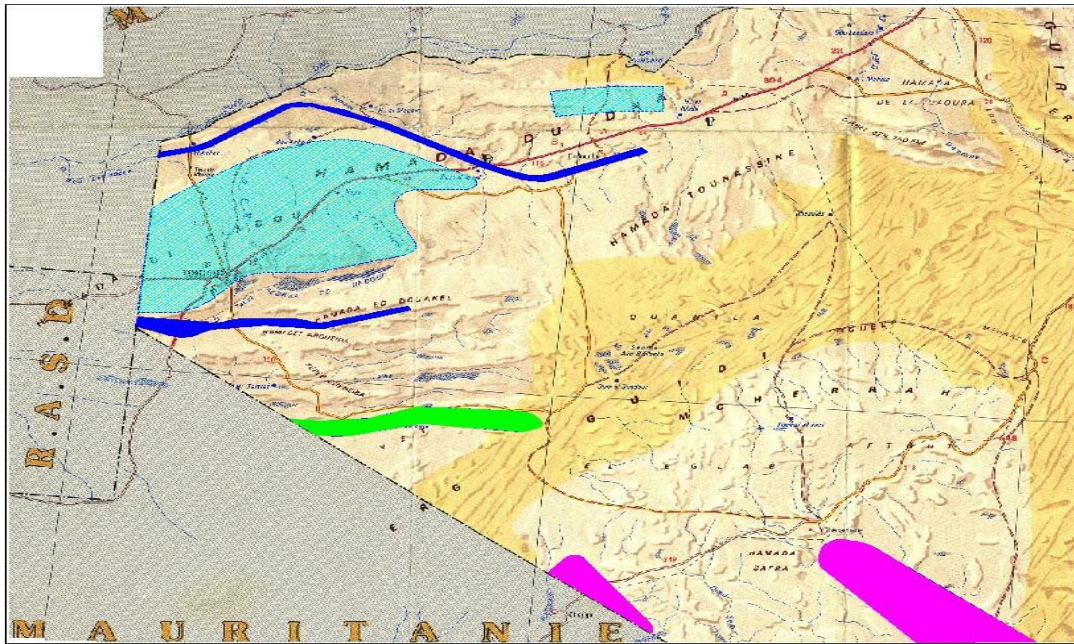
Quant à l'écoulement dans le sous bassin versant (13-10), caractérisé par son endoréisme (quasi-absence d'un réseau hydrographique hiérarchisé), il est rare et localisé.

B. Aperçu Hydrogéologique

Les ressources en eau souterraine du bassin de Tindouf sont relativement modestes et fragiles tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Elles se présentent dans un environnement naturel où la rareté de la ressource en eau est de règle et où les eaux souterraines sont la ressource unique pouvant être exploitable. Toute intensification de l'exploitation de la principale nappe de cette région (calcaires dolomitiques du Viséen) est de nature à faire baisser sa charge artésienne et à entraîner par la suite, la progression du front salé constaté au sein de la nappe, vers les zones où l'eau est de qualité meilleure.

L'étude hydrogéologique de la région met en évidence six (06) niveaux susceptibles d'être aquifères. Ce sont du bas vers le haut comme suit:

1. Grès et grès quartzitiques de l'Ordovicien supérieur (grès de Rhezziane) : Cette formation est bien connue à Gara Djebilet, situé à environ 150 km au SE de la région d'étude.
2. Grès du complexe Emsien – Pragien du Dévonien inférieur (grès de BIA) : Cet aquifère n'est connu qu'à Aouinet Belgraa situé à environ 50 Km au NE de Gara Djebilet.
3. Grès du Famennien – Tournaisien d'âge Dévonien Supérieur – Carbonifère inférieur : Cette formation constitue un aquifère probable. (SLIMANOU F et AMRANE T, 2004, Rapport de fin de travaux du forage de reconnaissance profond).
4. Calcaires et grès du Viséen inférieur (Kerb Es Sefiat) : Cette formation n'est exploitée par aucun forage à Tindouf.
5. Calcaires et calcaires dolomitiques du Viséen supérieur (formation de Aïn El Berka) : D'âge Carbonifère inférieur (épaisseur moyenne = 80 m), c'est un aquifère bien connu et exploité par (11) forages dont (05) à Hassi Abdallah destinés à l'alimentation en eau potable (AEP), un seul (T4) à Hamada EL- Douakel, deux fermes (SA1 ,SA2), et SA5 réserve, et un forage (HNT.106) destiné à l'Irrigation.
6. Grès plus ou moins argileux du Tertiaire (Hamada) : Ils sont très exploités à Tindouf ville, Hassi Amar, Oum El Assel , Oued Naga ,et à Graret El Harth avec un débit variant



- Nappe des calcaires et dolomies du Viséen terminal.
- Nappe du Tertiaire continental.
- Nappe des grés de l'Ordovicien supérieur.
- Nappe des calcaires de l'Infracambrien.

Figure 06 : Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf

D'une manière générale, la lithologie des formations géologiques présentes dans la dépression de Tindouf sont de trois types essentiels avec cependant des types intermédiaires.

- Les trois principaux types sont :

- Argiles imperméables,
- Grés et sables perméables,
- Calcaires et marnes semi-perméables à perméables.

- Les types intermédiaires sont :

- Sables argileux ou argiles sableuses,
- Calcaires gréseux,
- Les formations constitués d'alternance ou à structures lenticulaires (grés ou sables avec des argiles ou des marnes et des calcaires avec des argiles ou des marnes)

A partir de ce constat lithologique, les formations aquifères de la région de Tindouf sont les suivantes:

- La nappe de grès et de quartzites de l'ordovicien supérieur
- La nappe des calcaires et dolomies du viséen terminal (carbonifère).
- La nappe du tertiaire continentale (la nappe de la hamada).

Dans ce bassin, c'est la région de Tindouf qui a été la mieux étudiée suite à l'exploration minière. Les premières investigations hydrogéologiques remontent au début de la décennie 1940, à l'occasion de l'aménagement de la piste impériale n°1 Tindouf - Bir Moghreïn (inventaire des points d'eau le long de la piste par la brigade Choubert). Par la suite, elles ont intéressé la région de Tindouf où les minéralisations de fer signalées pour la première fois à Gara Djbilet en 1952, ont suscité l'intensification de l'exploration et par la même occasion, la reconnaissance des formations aquifères afin de répondre aux besoins de l'exploitation du gisement.

Les reconnaissances hydrogéologiques menées dans la région, furent orientées vers la localisation des ressources aquifères souterraines en vue de disposer de points d'eau destinés à l'exploitation minière, l'alimentation en eau potable et l'approvisionnement en eau de la voie de communication terrestre projetée pour l'évacuation du minerai vers un port marocain sur l'Atlantique (voie ferrée Tindouf-Tantan).

Eaux souterraines Les formations géologiques reconnues aquifères dans le bassin de Tindouf sont au nombre de cinq :

- au sud, la série granitique du Précambrien, dans les arènes granitique du Yetti et d'Aftout ;
- au centre, la série paléozoïque composée des grès du Cambro-Ordovicien, des grès du Dévonien inférieur, des calcaires dolomitiques du Viséen supérieur,
- la série post-paléozoïque représentée par les formations des Hamadas (marnes, argiles, grès, calcaires) d'âge crétacé et plio-quadernaire.

La série granitique du Précambrien ne donne pas lieu à un aquifère continu et elle ainsi d'un intérêt hydrogéologique secondaire. Ce sont les formations gréseuses du Paléozoïque (Cambro-Ordovicien) qui constituent un aquifère d'un certain intérêt

hydrogéologique vu l'importante extension de cette formation. Les séries des arènes granitiques et de la Hamada au centre et à l'Est sont tabulaires et rendent ainsi, l'infiltration des eaux météoriques in situ faible, voire inexistante. De ce fait, les points d'eau sont rares dans cette région désertique : Hassi Djebilet, Hassi El Fougra, Oglet Faci,

Un premier aquifère est formé par le massif granitique et schisteux du Yetti dont les formations affleurent dans la partie sud du synclinal et sont aquifères dans les niveaux de surface altérées, diaclasées et décomposées en arènes granitiques, ou qui sont en contact avec des rhyolites et des granites (Aïn BenTilli, Bir Mogrein, massif de Tirs el Khadra). La partie altérée peut atteindre 50 m d'épaisseur (Hassi El Fougra aux confins algéro-mauritaniens), mais l'importance de ces aquifères reste limitée et ne présente qu'un intérêt local à travers des nappes phréatiques localisées.

Les grès du Cambro-Ordovicien ont été reconnus aquifères à Gara Djebilet sous forme d'une nappe environ fournissant des débits ponctuels limités (0,3 l / s), mais de bonne qualité chimique (salinité : 1,2 g / l). La source Aouinet Legrâa à 40 km à l'Est-Nord-Est de Gara Djebilet en est l'exutoire naturel de cette nappe (0,5 l / s en 1971). Certains forages ont recoupé trois niveaux de grès d'une épaisseur totale de 60 m environ.

Les grès du Dévonien inférieur qui constituent le mur des niveaux minéralisés fer de Gara Djebilet sont faiblement aquifères avec des salinités de 1,2 g / l, mais à taux de fer élevé.

Les calcaires dolomitiques du Viséen supérieur constituent l'aquifère principal du bassin de Tindouf. Ils renferment une nappe captive jaillissante interceptée à Tindouf par un forage de 2 000 m de profondeur. Cette nappe fut également reconnue dans les secteurs de Hassi Robinet et sabkhet Abdellah, à une centaine de km au Sud-Est de Tindouf, en direction Gara Djebilet. Des forages réalisés dans cette zone en 1956, ont donné un niveau piézométrique de 7 m au-dessus du sol et la salinité des eaux y varie de 2 et 9 g/l. Cet aquifère reçoit son alimentation par l'infiltration des eaux météoriques sur flanc sud du Jbel Ouarkiz. Les eaux infiltrées s'écoulent vers le cœur du synclinal en se mettant progressivement en charge.

Dans la plaine de la Bettana entre le Jbel Ouarkziz et la Hamada, l'eau n'est douce que dans le secteur de l'Amoussera, mais elle se sale progressivement vers le Sud.

La nappe des calcaires du Viséen supérieur présente à sabkhet Abdellah et à Hassi Robi au Sud de Tindouf, un écoulement général ouest-est et un faible gradient hydraulique (0,5 ‰). On estime qu'elle est exploitable à 30 l/s avec une eau dont la salinité n'excède pas 2 g/l et ce en évitant lors du captage, les niveaux d'anhydrite intercalés dans les calcaires.

Les calcaires s'arrêtent sous le synclinal de Tindouf sans atteindre sa bordure sud. L'écoulement souterrain de l'aquifère qui se faisait du Nord à partir de l'Anti-Atlas, se trouve ainsi contraint à s'orienter vers l'Ouest en direction du bassin d'Es Saguia al Hamra.

Les reconnaissances menées dans ces calcaires au Jbel Ouarkziz à Tizgui Rernz et à Amotte (deux forages de 228 m et 400 m) ont fourni des débits et une qualité d'eau similaires à ceux des forages de Sabkhet Abdellah à cause de la présence du gypse.

Les formations plio-quadernaires de la Hamada (argiles, marnes, sab calcaires et conglomérats) renferment des nappes libres dont l'exutoire est constitué par la sabkhet de Tindouf. Ces nappes sont alimentées sur leur impluvium, par l'infiltration des eaux de ruissellement des oueds. Elles fournissent des eaux à minéralisation moyenne élevée (5g/l) . Avec une alimentation faible et sporadique, ces nappes sont quasi stagnantes et leurs eaux s'accumulent dans des cuvettes endoréiques, riches en dépôts gypso-salins.

De nombreux forages réalisés depuis 1974, au Sud du Jbel Ouarkziz en territoire marocain (zone de Tisgui Remz, Zag, Khribichet), n'ont été que des résultats limités. Plus de 95% des forages réalisés ont fourni des débits inférieurs à 0,5 l/s avec une eau de salinité supérieure à 5 g/l. Les ouvrages ayant recoupé les grès et calcaires du Viséen supérieur du Jebel Ouarkziz, ont fourni des débits meilleurs.

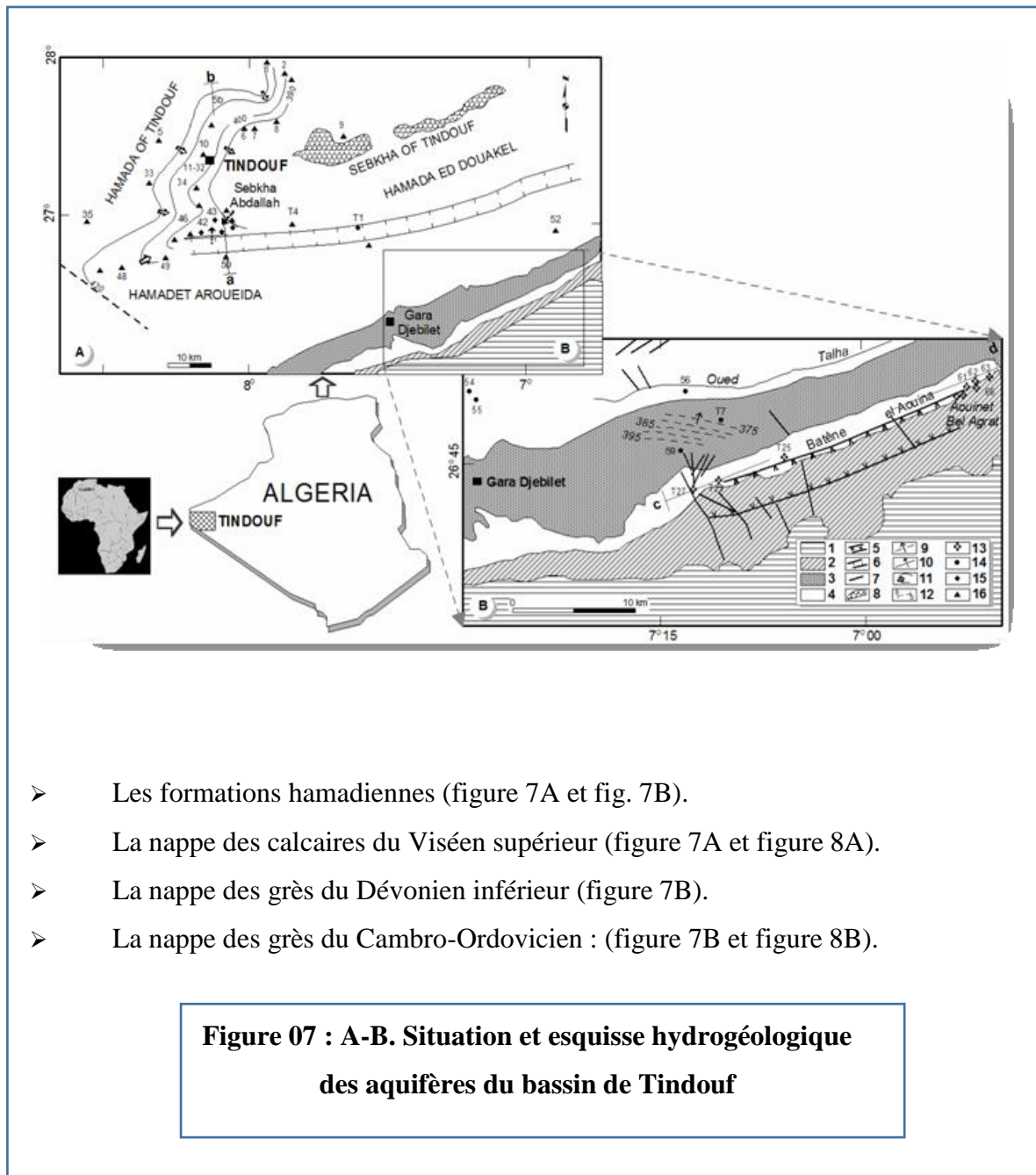
L'établissement du bilan hydrogéologique des formations de la Hamada n'a pas une signification pratique du fait que l'évaporation serait de loin prépondérante et on ne saurait d'ailleurs parler en toute certitude, de ressources aquifères ; mais plutôt ressources plus ou moins temporaires dans des horizons d'aspect karstique peu évolué mais entaillés par des oueds au régime dégradé à l'extrême.

En partie marocaine, les potentialités en eau souterraine du bassin de Tindouf sont évaluées à 30 l/s (100 hm³/an) pratiquement exploitées en totalité pour l'alimentation en eau potable de la population locale.

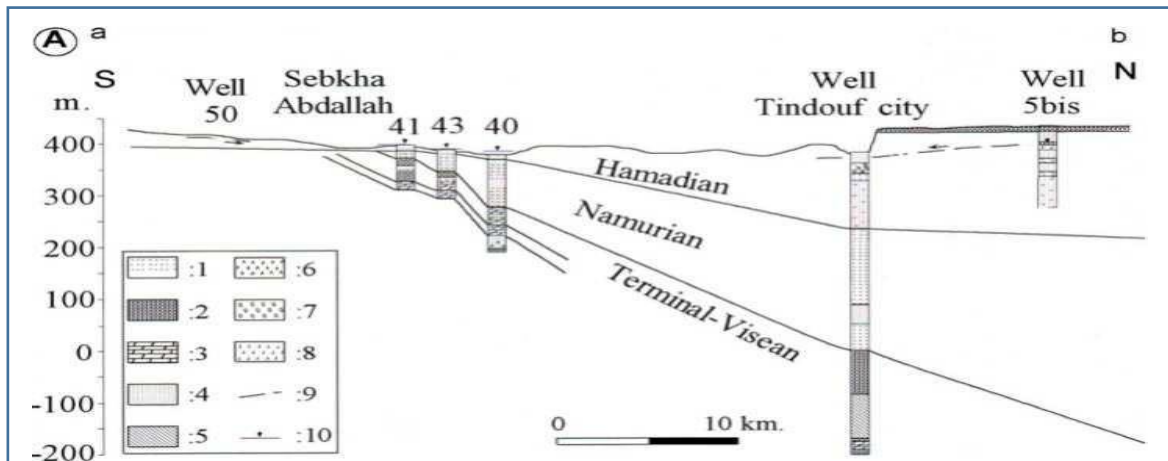
En partie algérienne, les ressources en eau du bassin de Tindouf sont évaluées à 3 hm³/an (PNUD/ Alger, 1999) dont l'exploitation se fait principalement pour l'alimentation en eau de la population et l'exploitation minière. La nappe phréatique est la plus importante dans cette région, mais la qualité chimique de son eau n'est pas partout de bonne qualité. La ville de Tindouf est alimentée à partir de la nappe du Viséen terminal captée par des sondages jaillissants.

Le synclinal paléozoïque de Tindouf se trouve entre l'Anti-Atlas au Nord et la dorsale Réguibat au Sud. Vers l'Est, il est délimité, respectivement du Nord au Sud, par le Tafilalt et la Chaîne de l'Ougarta. Vers l'Ouest, il passe au pays Mecheurs, puis au Sahara occidental où il disparaît sous le Crétacé qui affleure à moins de 100 km de Tindouf.

Les principaux aquifères identifiables dans le bassin de Tindouf sont :

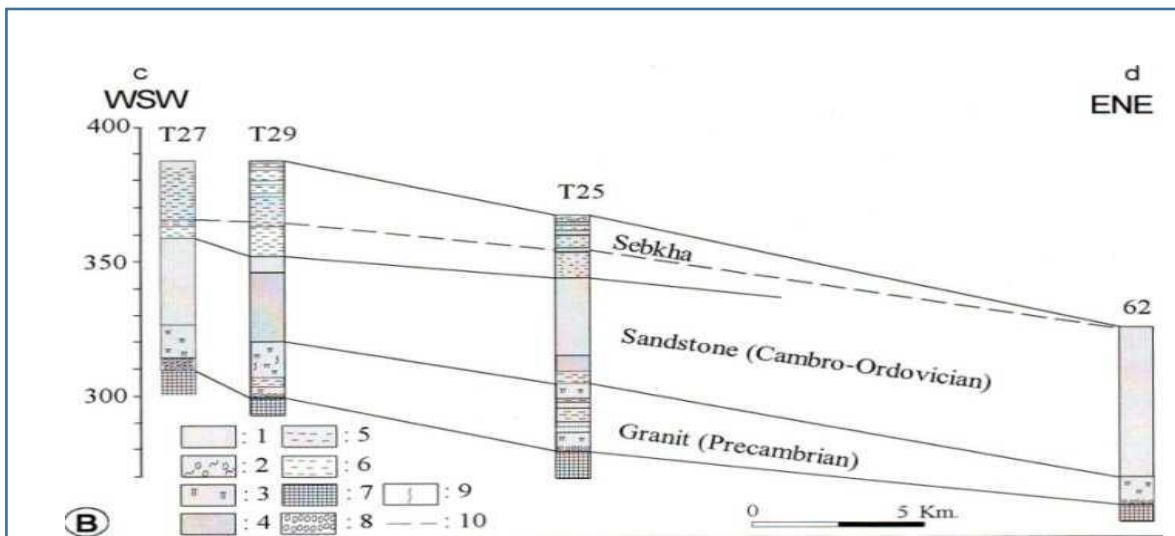


- Les formations hamadiennes (figure 7A et fig. 7B).
- La nappe des calcaires du Viséen supérieur (figure 7A et figure 8A).
- La nappe des grès du Dévonien inférieur (figure 7B).
- La nappe des grès du Cambro-Ordovicien : (figure 7B et figure 8B).



(D'après IDROTECNO, 1979, modifiée). 1 : Argile ; 2 : Calcaire ; 3 : Dolomie ; 4 : Grès ; 5 : Gypse ; 6 : Anhydre ; 7 : Conglomérat ; 8 : Marne ; 9 : Niveau statique Hamadien; 10 : Niveau statique Viséen.

Figure 7A : Coupe hydrogéologique à travers les aquifères hamadien et Viséen supérieur



(D'après IDROTECNECO, 1979, modifiée). 1 : Terrain de couverture ; 2 : Gros grossier ; 3 : Grès fin ; 4 : Quartzite ; 5 : Argile ; 6 : Argile gréseuse ; 7 : Conglomérat ; 8 : Granite ; 9 : Fracture ; 10 : Niveau statique.

Figure 7B : Coupe hydrogéologique dans la nappe du Cambro-Ordovicien

Région	Puits forage	Cordonnées				faciès	Débit de vitesse
		X	Y	Z	N.P		
Les formations hamadiennes	P1	5,84988	30,58324	402	393,67	Sable, argile gréseuse et calcaire	05 à 10 l/s
	P2	5,84816	30,58233	401	393,80		
	P3	5,84882	30,58368	396	388,00		
	P4	5,84973	30,58662	402	392,48		
	P5	5,84936	30,57507	400	392,19		
	P6	5,85010	30,57481	398	389,58		
	P7	5,84903	30,57688	398	390,37		
	P8	5,84682	30,57676	398	390,70		
	P9	5,85110	30,57754	399	390,50		
	P10	5,85192	30,57599	401	391,73		
	P11	5,85362	30,57619	397	389,33		
	P12	5,85384	30,57841	399	391,27		
	P13	5,86723	30,56506	388	379,90		
P18	5,87008	30,56012	388	379,60			
La nappe du Viséen supérieur	S.A.3	8,083	27,475	402	399,77	Argile à passe des grès et calcaire	14 à 22 l/s
	S.A.6	8,083	27,476	403	401,50		
	S.A.7	8,078	27,459	330	324,60		
	S.A.8	8,112	27,478	399	398		
	S.A.9	8,101	27,458	380	371,20		
	H.NT.106	8,172	27,463	395	394,50		
La nappe du Dévonien inférieur	-	-	-	-	-	Alternance d'argile et grès	>2l/s
La nappe des grès du Cambro-Ordovicien	G.C.2	-7,254	26,749	371		Grès quartzitique suit par grès à intercalation de quartzite et argile	2 à 12 l/s
	Dakhla01	-6,863	26,829	325			
	Dakhla02	-6,859	27,841	330			

Tableau 01 : les faciès des principaux aquifères identifiables dans le bassin de Tindouf

Chapitre 2

Méthodologie

I. Introduction

La cartographie géologique est d'une importance extrême pour le géologue, il est donc indispensable de maîtriser toutes méthodologie et technique moderne de confection de cartes géologiques. Ces dernières années, la cartographie assistée par ordinateur, notamment la télédétection et le traitement d'images satellitaires se sont imposés comme les outils de cartographie géologique les plus rapides, les plus précis et les plus fiables qui s'offrent aux géologues et hydrogéologues, particulièrement lorsqu'il s'agit de cartographie en zones arides et désertiques où les affleurements sont souvent inaccessibles compliquant le travail cartographique classique.

La méthodologie adoptée est basée sur les éléments théoriques de l'hydrogéologie et sa modélisation au travers de l'outil SIG.

II. Les équations de diffusion

Il est nécessaire d'écrire les équations d'état pour la modélisation en régime permanent et en régime transitoire afin d'établir la différence entre les deux modèles.

Modélisation en régime permanent (stationnaire)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q. \quad (1)$$

Dans la base des données des piézomètres il faut que l'analyse de la chronique piézométrique soit stationnaire $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$.

Modélisation en régime transitoire (non stationnaire)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + Q \quad (2)$$

En régime transitoire $S_s \frac{\partial h}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right)$.

Si on néglige la composante verticale de l'écoulement 2D

$$S_s b \frac{\partial h}{\partial t} = Kb \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) \Leftrightarrow \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

La Résolution de l'Equation est assurée par méthodes numériques

La Solution Analytique : $Q = -KA \left(\frac{\Delta h}{L} \right)$.est suivi par la détermination de La solution numérique qui prend la forme suivante :

$$: K_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + K_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) + K_z \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} ; \quad (3)$$

La solution est une approximation numérique utilisant les éléments finis.

Il s'agit d'intégrer analytiquement cette équation et que l'on cherche une fonction s'exprimant sous forme analytique (c'est-à-dire par un polynôme; ou une exponentielle, ou une fonction analytique quelconque des variables (x,y et t) et qui doit correspondre à une solution exact de l'équation aux dérivées partielles pour le cas considéré. On note que ceci est en générale impossible.

Cependant, il existe quelques cas très particuliers ou ceci est possible. Nous allons en citer un, la fonction de puits de Theis, à titre d'exemple. La Géométrie du domaine nappe captive horizontale d'extension infinie ou est foré un puits circulaire la pénétrant du toit au mur.

Les paramétriser sur les fonctions T (transmissivité e) et S (emmagasinement) sont des constantes en tout point et au cours du temps. Le milieu est donc homogène et isotrope. La fonction q est nulle partout et toujours.

Condition initiale : nappe horizontale immobile, avec $H(x,y,t_0) = \text{constante} = h_0$.

Condition aux limites : il n'y en a, bien sûr, pas à l'infini (cela n'aurait pas de sens), elles portent sur le puits lui-même considéré comme une limite circulaire du domaine (l'intérieur du puits n'est plus du milieu poreux, son pourtour constitue bien une limite de la nappe). C'est une condition de Neumann, le flux sortons du milieu aquifère vers le puits et constant tout le long du première de l'ouvrage ainsi que dans le temps. Notons Q l'intégrale de ce flux, soit le débit sortant du puits.

Il existe alors une solution analytique qui s'exprime non plus en coordonnées cartésiennes (x et y), mais en coordonnées polaires (rayon r et angle) centrées sur le puits. La fonction obtenu étant une << **exponentielle intégrale** >> (notée - E ; (-u) qui est connue et tabulée. Le fait que l'angle, n'apparaisse pas dans l'expression de H montre simplement que la charge est indépendante de l'angle. Elle est la même à une

distance r du puits, quelle que soit l'orientation. Dans cette étude le modèle en régime permanent est pris en considération par les SIG (système d'information géographique).

III. Approche en cartographie numérique

1. La cartographie

La cartographie a pour but la représentation de la terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes. La cartographie est à la fois une science, un art et une technique.

2. Définition en cartographie numérique

Ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration de cartes et autres modes d'expression ainsi que leur utilisation. La cartographie numérique permet à chaque utilisateur de produire sa propre carte en adoptant à chaque fois un modèle de traitement propre aux différentes applications. Dans cette optique, **I. ZEROUAL (1998)** : Structuration de l'information géographique pour la gestion de l'information - qualité dans les bases de données géographiques Numériques. Thèse de magister (CNTS . ARZEW). on distingue les types suivants :

- A. La cartographie d'inventaire,
- B. La cartographie de synthèse et d'analyse,
- C. La cartographie thématique,
- D. La cartographie d'exploitation et d'exploration.

3. **Classification selon le contenu** : On a deux classes principales :

A. Les cartes topographiques

Sur lesquelles figurent essentiellement les résultats des observations directes concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets fixes et durables existant à la surface du sol (aspect descriptif de la physionomie du terrain).

B. Les cartes thématiques

Qui représente, sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraites circonscrites et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers.

Parmi les cartes thématiques, on peut effectuer un classement par thèmes, par exemple des cartes ;

- Physique: géophysique, géologique, géomorphologique, pédologique, hydrologique, climatologique, météorologique.
- Biogéographiques: phytogéologique, zoologique, écologique.
- Géographie humaine: démographique, sociologique, politique, administrative, historique, culturelle.

4. Classification des cartes selon le mode d'expression :

On peut définir trois types de cartes, suivant le degré de lecture choisi pour transmettre l'information qui correspond à trois modes d'expression.

- Degré élémentaire de lecture, la carte d'inventaire (ou descriptive) ;

Le lecteur utilise la carte comme une simple banque de données, elle sert de mémoire artificielle permettant d'extraire des informations.

- Degré moyen de lecture, la carte de traitement (ou d'analyse) ;

Ce type de carte permet à l'utilisateur de traiter l'information, c'est-à-dire faire des comparaisons, créer des groupements homogènes, quantifier certains groupes, découvrir des relations spatiales grâce au travail de traitement préalable réalisé par le cartographe hors de l'élaboration de la carte. La vision fine et la vision globale seront nécessaires pour l'image.

Dans une étude hydrogéologique deux axes principaux sont à élaborer :

- Détermination des caractéristiques hydrodynamiques d'aquifères en question (transmissivité T et emmagasinement S) et détermination des paramètres de transport de contaminants.
- L'analyse des écoulements des eaux souterraines dans une formation géologique permet de déterminer sa productivité et ses ressources hydrauliques, ainsi que sa vulnérabilité vis-à-vis des agents de contamination extérieure. Cependant, toute analyse rigoureuse et complète n'est possible que:

par une connaissance adéquate à la fois des paramètres physiques et hydrodynamiques qui caractérisent cette formation et par l'identification des limites géologiques et hydrauliques de la réserve des eaux souterraines qui y circulent.

En partenariat avec les entreprises, les universités, les organismes de recherche et opérateurs d'Etat, Les objectifs de la Cité intelligente peuvent ainsi être regroupés en quatre axes :

- Améliorer la qualité de vie des citoyens,
- Améliorer la maîtrise par la collectivité des services publics urbains,
- Faciliter et accélérer la dynamique d'innovation, notamment en matière de transitions climatiques et écologiques,
- Assurer un développement économique durable.

La Métropole joue ainsi un triple rôle :

- ✓ d'animateur de projets en coordonnant des acteurs publics et privés.
- ✓ de garant de l'intérêt général en fixant des règles claires vis-à-vis de la data et des algorithmes,
- ✓ de facilitateur d'expérimentations qui impliquent les habitants et les usagers du territoire.

3 dimensions : économique, citoyenne et environnementale,

1. La dimension économique à travers la mise à disposition des données urbaines : fixer des entreprises sur le territoire par des collaborations industrielles sur de nouvelles activités créatrices de valeur ajoutée et d'emplois et de favoriser le développement de start-up à travers la mise à disposition des données urbaines, temps réel et prédictives.
2. La dimension citoyenne : développer de nouveaux usages et de nouveaux services aux citoyens en les impliquant dans la définition des nouveaux services. (Expérimentations d'innovations urbaines)
3. La dimension environnementale : l'adaptation au changement climatique, la mise en œuvre d'une véritable transition énergétique, la gestion économe des ressources naturelles.

5. Mise En Place D'un Service Webcarto

La production de cartes de prédiction de la pollution lumineuses à partir de différentes sources de données telles :

- Données de populations
- Sources lumineuses géolocalisées
- Données de radiance satellite NOAA VIIRS-DNB
- Données d'occupation des sols OSO (THEIA)

6. Utilisation des SIG

Un système d'information géographique (SIG) est un outil capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes. Derrière cette définition, on pense souvent à des logiciels. Cela est vrai à condition que le dit logiciel soit capable d'accomplir les 6 fondamentaux d'un SIG à savoir :

- Saisir des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition)
- Gérer des bases de données (Archivage)
- Manipuler et interroger des données géographiques (Analyse)
- Mettre en forme et visualiser (Affichage)
- Proposer une ou plusieurs représentations du monde réel (Abstraction)
- Aider à l'analyse prospective (Anticipation).

Lorsqu'un logiciel n'est pas capable d'accomplir ces 6 tâches, on ne parle pas de SIG mais de logiciel de cartographie. Les logiciels SIG sont nombreux sur le marché (plus d'une centaine). Les leaders mondiaux sont :

- Arcgis – Arcview (ESRI) : la solution SIG la plus complète du marché
- Mapinfo (Pitney Bones) : un outil orienté bureautique simple et puissant.

7. Les conditions d'un SIG efficace

1. Élaborer un SIG **rentable** ou **nécessaire** pour accomplir le mandat de l'organisme.
2. Concevoir un système **pertinent** qui satisfait les besoins de production.
3. Bâtir un système **flexible** capable d'évoluer au gré des changements de contexte et des besoins.

4. Organiser le développement de manière **sécuritaire** pour éviter les choix inadéquats et les erreurs coûteuses.
5. Établir des procédures rigoureuses pour **contrôler la qualité** des données et **mesurer la performance** des traitements réalisés par le SIG.
6. Suivre une démarche de conception indépendante des logiciels et du matériel pour assurer un maximum d'**indépendance technologique**.
7. Définir les rôles et la responsabilité des individus et des services impliqués dans le développement pour établir une **attitude de coopération**.
8. Impliquer les utilisateurs à toutes les étapes de la conception afin d'intégrer l'ensemble des besoins et de maintenir la **motivation**.
9. Éviter les achats massifs de matériel et de logiciel au début du processus de planification et limiter la saisie de données au strict minimum avant la phase d'implantation, afin de produire un **retour sur l'investissement** dans des délais acceptables.
10. Rédiger la **documentation** durant le développement du système afin d'assurer un maximum d'indépendance face aux individus qui l'élaborent.

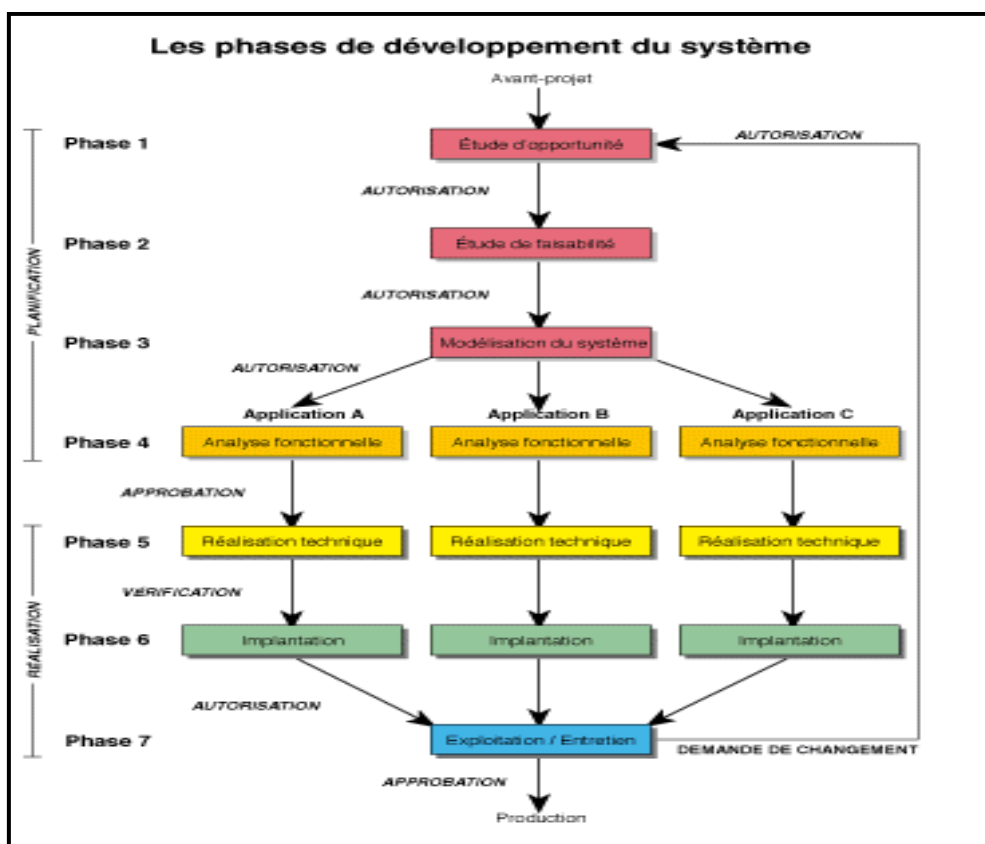


Figure 08 : Système d'information géographique et télédétection.

IV. Le Modèle Cartographique**1. Les étapes pour la création d'un modèle de carte numérique, sont :**

- ❖ Etape n°1 : Définir des besoins
- ❖ Etape n°2 : Préparer la création de la carte en 5 phases essentielles :
 - Acquisition des fonds de cartes de référence (IGN par exemple)
 - Collecte d'informations propres aux itinéraires équestres (« données métiers» le plus souvent disponibles dans des formats hétérogènes)
 - Structuration de ces données pour les rendre compatibles aux fonds cartographiques de référence - Stockage pour partage et archivage (gestion des droits d'accès, confidentialité, déclaration CNIL)
 - Acquisition d'outils (logiciels de cartographie type Mapinfo, Arcview, etc.) ou développement d'outils métiers.
- ❖ Etape n°3 : Construire une carte en 2 phases essentielles :
 - Traiter préalablement les informations à représenter sur la carte, c'est-à-dire appliquer un traitement statistique (définir la nature de l'information : quantitative ou qualitative, construire des classes de données, etc.).
 - Appliquer, en fonction de la nature de l'information, du traitement statistique et de l'échelle de représentation la sémiologie graphique adaptée
- ❖ Etape n°4 : Communiquer, diffuser la carte :
 - Conformer la carte à une charte graphique (si besoin)
 - Ajouter les éléments de nomenclature légale (titre, date, sources, réalisation)
 - Ajouter, ci-besoin, des éléments graphiques esthétiques (ombrages, effets de loupe sur certains phénomènes, etc.)
 - Inclure la carte dans des documents de communication

Le présent travail s'inscrit dans un projet de cartographie moderne utilisant les nouvelles techniques de cartographie dans la région de Hassi Khebbi, ce qui est relativement récent, notamment la télédétection et la cartographie sous SIG.

La cartographie a pour but la représentation de la terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes. La cartographie est à la fois une science, un art et une technique.

THIERRY. Joliveau(2004). Géomatique et gestion environnementale du territoire : recherche sur un usage géographique des SIG.

2. Les techniques cartographiques : comprennent :

- L'élaboration des spécifications de la cane au terme de l'analyse puis de la structuration des données et de leur mise en forme en langage graphique.
- L'établissement des méthodes de conception.
- Puis la production et son suivi jusqu'à la sortie du document.
- En fin le lecteur pourra, en décryptant la carte extraire l'information et recréer un modèle mental aussi proche que possible du phénomène réel. De la qualité de la carte dépendra la valeur de cette dernière de marche.

3. Les caractéristiques de carte : seront ;**A. La carte d'information ou carte "message" :**

Transmission de données sélectionnées, fortement simplifiées et extrêmement schématisé dans la forme.

B. La carte de synthèse ou typologique :

Analyse et traitement de données complexes aboutissant à la schématisation de plusieurs composantes.

Cette synthèse est destinée à mettre en valeur les traits dominants des phénomènes et d'établir de grandes liaisons relationnelles pour permettre au spécialiste ou au dirigeant de préparer facilement des éléments de décision.

4. Étude et conception d'une carte

La carte est toujours subordonnée à l'idée qu'elle exprime, elle n'est que le fruit du concept, la matérialité indispensable à toute forme de communication. Nous allons détailler les opérations successives qui aboutiront au produit fini, souvent imprimé, en faisant fréquemment référence aux notions de base et aux techniques développées dans les chapitres précédents. Les grandes étapes de l'élaboration de la carte seront :

4.1. La conception :

- Analyser le besoin, définir le concept et le traduire en services à apporter au client.
- Modéliser les caractères généraux du produit en fonction de l'objectif fixé (cahier des charges fonctionnel).

- Acquérir les données nécessaires pour exprimer le message.
- Définir alors les caractéristiques géométriques et graphiques correspondantes, puis les consigner dans le dossier des spécifications du produit.

4.2. La production :

- Établir le dossier de fabrication.
- Mise en œuvre du dossier de fabrication.

4.3. La rédaction

- cartographie traditionnelle :

Mise au net de la maquette selon les spécifications en respectant les normes imposées par les méthodes de production et les procédés de reproduction. Elle s'achèvera par la réalisation des planches mères¹.

- cartographie numérique :
 - Organisation et structuration des données, implantation géographique, saisie de la géométrie, création de la topologie, de la sémantique.
 - Corrections interactives, codages complémentaires.
 - Traitement des données en vue d'un produit particulier.
 - Choix de la symbolique.
 - Mise en forme des fichiers, soit pour visualisation directe sur écran graphique, soit pour des impressions en reprographie ou en offset, dans ce cas "flashage" sur imageurs qui générera les 4 typons nécessaires à l'impression.
 - Stockage des données traitées.

4.4. La duplication :

- Impression offset pour les forts tirages ou reprographie pour des tirages limités.
- Diffusion sur support magnétique, CD ou par télétransmission.

4.5. L'utilisation qui permettra :

- D'exploiter directement l'information contenue dans la carte.

- D'extraire certaines données en vue de nouveaux traitements. (Ex : à partir des courbes de niveau ou d'un MNT, création de bloc diagramme, coupe, carte de pente, d'inter visibilité.).

5. Le langage des cartes thématiques

Une carte thématique a pour objet de donner sur un fond repère une représentation conventionnelle des phénomènes localisables de toutes natures (concrets ou abstraits ; ayant un caractère différentiel ou associatif, ordonné ou quantitatif) et leurs corrélations. Il n'y a pas d'opposition fondamentale entre le langage des cartes topographiques et celui des cartes thématiques car les outils sémiologiques utilisés sont les mêmes et les règles énoncées dans les chapitres précédents demeurent toujours valables. Par contre les thèmes à exprimer seront souvent très différents et le type de message à transmettre sera tout autre. Notons également, que l'analyse des données fait fréquemment appel à des traitements statistiques plus ou moins complexes et à des interprétations des phénomènes qui sont du domaine du géographe. Ce n'est pas l'objet de cet ouvrage qui n'abordera donc pas cette discipline à part entière.

6. Intégration SIG- GEOPHYSIQUE

Pour l'hydrogéologie, la méthode géoelectrique permet la construction et l'interprétation des cartes et profils de résistivité électrique.

Les résultats obtenus lors de l'interprétation des courbes de sondages électriques sont présentés sous forme de coupes géoélectriques, le processus se déroule comme suit:

1. On choisit la direction de la coupe qui souvent perpendiculaire aux axes structuraux.
2. On choisit une échelle convenable (échelle verticale et horizontale) et on trace la coupe altimétrique, Chaque sondage est présenté par les résistivités et les épaisseurs trouvées.
3. Si on dispose d'un sondage étalon (sondage dont le log lithologique est connu), il servira pour le calage.

4. On procède au contouring c'est à dire joindre les points ou isovaleurs pour obtenir la coupe géoélectrique.

La réalisation de la carte d'isorésistivité est établie par des SIG en tenant compte des primitifs points liés aux sondages. Une fois ont tracé toutes les coupes possibles, ont déterminé les zones résistantes (généralement des résistivités supérieures à 60 ohm.m et inférieures à 1000 ohm.m) ce qui nous aidera à choisir la longueur "AB" pour l'établissement des cartes en isorésistivité. Une fois les zones résistantes sont localisées, on évalue la profondeur de ces zones, ce qui permettra de choisir la longueur "AB" (on sait que la profondeur de pénétration est généralement donnée par: $AB/10 \leq h_p \leq AB/4$ Une fois AB déterminée, on reporte pour chaque sondage la valeur de la résistivité apparente qui correspond à AB déterminé ci-dessus.

Une fois le report des valeurs est fait on procède au traçage des courbes d'isovaleurs par le principe de triangulation. La carte d'isorésistivité définit l'extension des zones conductrices et résistantes. **Roger, G (2008)**, Géophysique appliquée aux hydrosciences

7. Interprétation des profils et cartes de résistivité

Les profils et cartes de résistivité ne permettent souvent qu'une interprétation qualitative. On peut soit reporter le long des profils les valeurs des résistivités apparentes mesurées, on obtient alors des courbes dont les anomalies peuvent faire l'objet de corrélation intéressantes entre les divers profils. L'interprétation fait appel en plus à des données géologiques hydrogéologiques; la confrontation de toutes ces informations peut amener le géophysicien à localiser les zones conductrices ou résistantes et proposer ainsi des forages d'exploitation

8. Documents fournis et nécessite de la cartographie numérique

Après chaque fin d'étude, le service d'interprétation fournit au client un rapport en cinq exemplaires qui contient généralement :

- 1- Un aperçu géologique de la région.
- 2- La méthode d'interprétation des sondages électriques (les différentes phases)
- 3- Les résultats de l'interprétation géophysiques
- 4- Coupes géoélectriques

- 5- Cartes en isorésistivités
- 6- Cartes en isobathes de l'aquifère
- 7- Les propositions du service telles que les forages de captage des eaux souterraines, forages de reconnaissance et études complémentaires.

Nous citons dans ce contexte, que deux études ont été réalisées à Hassi Naga et à Hassi Khebi pour la maîtrise des forages.

V. Conclusion du chapitre

La différence de capacité entre le traitement, l'interprétation des données, d'une part, l'acquisition de ces données, d'autre part, entraîne actuellement une sorte d'inflation documentaire.

La cartographie numérique permet à chaque utilisateur de produire sa propre carte en adoptant à chaque fois un modèle de traitement propre aux différentes applications.

La cartographie Numérique fournit de nombreuses données à la carte géologique comme à la carte thématique : son pouvoir de résolution (sa précision), l'appréhension du phénomène.

D'un autre cote, la prospection électrique est une des méthodes géophysiques, appliquée dans l'exploration du sous-sol, par sondage vertical ou par profilage. L'interprétation automatique des sondages électriques est une méthode indirecte, elle consiste à résoudre le problème inverse très connu en géophysique, c'est à dire choisir un modèle le plus proche de la réalité, calculer sa réponse et la comparer ensuite au model réel du terrain ou modèle expérimental. Dans le cadre de cette étude, on ne tient pas compte de cette partie qui reste une perspective pour le bassin de Tindouf.

Chapitre 3

Etude des aquifères à l'aide des SIG

I. Introduction :

Dans cette partie nous nous intéressons à l'étude des aquifères à l'aide des SIG. Les étapes de cette approche regroupent les points suivants :

- Inventaire et analyse de l'information,
- Structuration et classification des données,
- modélisation et intégration des données auxiliaires.

L'étude se propose d'élaborer un modèle cartographique permettant d'illustrer la relation spatiale entre les thèmes de l'hydrogéologie et l'environnement géologique, La documentation existante doit nous fournir des classements établir des analyses sur le modèle numérique de terrain (M.N.T) pour la modélisation en hydrogéologie.

La cartographie thématique doit s'articuler autour du modèle SIG, pour gérer les aquifères, de cette façon, il est possible de rédiger un plan de prévention et de surexploitation des nappes.

Ce chapitre a pour but la mise en évidence des paramètres hydrogéologiques du bassin de Tindouf. Les méthodes géomatiques sont appliquées aux différentes nappes du bassin de Tindouf.

Les formations aquifères de la région de Tindouf sont les suivantes:

- Les formations hamadiennes.
- La nappe des calcaires du Viséen supérieur.
- La nappe des grès du Dévonien inférieur.
- La nappe des grès du Cambro-Ordovicien.

II. Concepts en Analyse Spatiale :

L'analyse spatiale est un ensemble de démarches qui visent à décrire l'organisation des structures matérielles de l'espace et les manières dont il est occupé.

L'espace est un produit social, un objet d'une appropriation, le lieu du déploiement de stratégie de groupes, alors qu'il en même temps une réalité physique et qu'enfin il se modèle encore selon la perception qu'on en peut avoir. L'étude d'une espace doit se faire en deux temps :

- La reconnaissance des éléments constitutifs de l'espace : les localiser, les caractériser et les situer.
- Explication, détermination de chaque élément du système.

III. Dépendance spatiale :

Le concept clé pour comprendre et analyser les phénomènes spatiaux est la dépendance spatiale. C'est la première loi de la géographie, selon Waldo Tobler : « *Toutes les choses sont similaires, mais les choses qui sont plus proches ressemblent plus que les choses plus lointaines* » (Tobler's first law of geography (en)). À partir de ce concept, où il y a plus d'événements, soit naturels, soit sociaux, présentent une relation qui dépend de la distance (CAMARA, 2000).

IV. Autocorrélation spatiale :

C'est l'expression computationnelle du concept de la dépendance spatiale. L'autocorrélation est dérivée du concept de corrélation statistique et il est utilisé pour mesurer la relation entre deux variables aléatoires. Pour mesurer l'autocorrélation spatiale, on peut utiliser différents indicateurs basés dans la même idée. Il faut aussi vérifier la variation de dépendance spatiale à partir de la comparaison des valeurs d'un échantillon de données statistiques.

V. Inférence statistique pour les données spatiales :

Selon CAMARA (2000), l'une des conséquences de la dépendance spatiale, c'est que l'inférence statistique dans ce type de données ne sera très efficace. C'est-à-dire, la dépendance spatiale amène une perte de pouvoir explicatif. Cela reflète en grandes variances d'estimations et des niveaux inférieures d'importance dans la vérification des hypothèses. Il faut considérer les données spatiales comme un procès statistique et non comme un ensemble d'échantillons indépendants.

La littérature fait état de différentes compréhensions du concept d'analyse spatiale. Tel que diffusé sur Hypergé, encyclopédie électronique consacrée à l'épistémologie de la géographie, l'analyse spatiale permet de « *mettre en évidence des structures et des formes d'organisation spatiales récurrentes* ». Selon BAILEY et GATRELL(1995), il est question d'analyse spatiale de données lorsque les données sont d'une part localisées dans l'espace et d'autre part que cette organisation spatiale est considérée importante, explicitement, dans l'analyse ou l'interprétation des résultats.

En outre, le concept d'analyse spatiale s'articule autour de trois composantes :

- la visualisation qui permet de représenter les données spatiales ;
- l'ESDA qui permet d'explorer et de synthétiser les données afin de révéler des configurations spatiales particulières (patrons, relations spatiales) ;
- La modélisation spatiale tente d'expliquer les configurations par la spécification d'un modèle statistique et l'estimation des paramètres (étude de méthodes d'analyse spatiale et illustration à l'aide de micro-données urbaines de la grande région de Montréal. Catherine MORENCY département de génie civil, géologique et de mines école polytechnique de Montréal).

VI. Bases de Données Géospatiales :

Dans ce travail nous proposons une modélisation conceptuelle de données hydrogéologiques afin de produire une Base de Données Géospatiale. Un **SIG** contenant des données **topographiques**, **géomorphologiques** (relief, nature du sol, structure de sol), et **hydrogéologiques** doit permettre une analyse spatiale et environnementale très précise pour la prise de décision. L'intégration de ces données pour une cartographie dite « **Cartographie** du bassin de Tindouf » est réalisée à l'aide du **SIG Mapinfo**.

1. Le Système d'Information Géographique (SIG) :

Un SIG est un ensemble d'équipements informatiques de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données dont la majorité est spatialement référencées. En d'autres termes, un SIG est un environnement informatisé d'analyse d'une information spatiale numérisé (COLLET 1994).

Les Fonctionnalités d'un SIG s'articulent autour de 05 modules dont l'Acquisition des données, la numérisation, la manipulation de données, la Gestion, l'Analyse spatiale et enfin l'édition des données. Les caractéristiques particulières des données hydrogéologiques et la constitution de base de données géospatiales sont nécessaires à étudier (HD93). Un Système d'Information Géographique (SIG) est souvent utilisé comme un logiciel offrant des capacités de cartographie numérique, de gestion de Base de Données et d'analyse spatiale.

2. Mise en œuvre**2.1. MapInfo :**

C'est un système d'information géographique (SIG) vecteur installé sur PC destiné pour automatiser, manipuler, analyser et visualiser les données géographiques. Ce logiciel a la possibilité de gérer à la fois des données géographiques et descriptives

2.2. Saisie de données :

Pour géoréférencer notre support cartographique, nous avons choisi la projection Lambert nord Sahara pour l'ensemble des cartes de notre zone d'étude. Pour assurer la continuité cartographique, nous avons équipé chaque planche de quatre (04) points de calage appelés souvent (tic). La convivialité du logiciel permet un contrôle sur le choix des points de calage avec l'affichage de l'erreur admissible.

2.3. Manipulation des données :

Les couches numérisées dans Mapinfo ont été produites à partir de cartes géologiques au 1/100.000^e, scannées au format A0.

➤ Niveau géométrique :

La puissance de MapInfo nous a permis de compléter l'ensemble des couches d'information du M.C.D. En se basant sur les éléments de ce modèle, les entités ont été numérisées sur écran de la façon suivante :

- **Les couches géologiques :** des surfaces.
- **Hydrogéologie :** les points d'eaux, les courbes isopièzes, les lignes de courant, les axes de drainages, les lignes de partage des eaux souterraines.
- **Hydrochimie :** analyses chimiques, courbes isovaleurs.
- **Morphologie structurale :** fracturation, anticlinaux et les synclinaux.
- **Hydrographie :** le réseau superficiel (oueds, Chott, Sebkha).
- **Les lieux habités et voies de communications.**

Toutes les entités spatiales et leurs données descriptives, peuvent être entachées d'erreurs ou d'imprécision. L'opération consiste à établir le lien entre données spatiales et descriptives afin de vérifier les erreurs de saisies.

➤ Niveau descriptif :

Les données attributaires sont organisées sous forme de tableaux. Les noms d'attributs sont introduits champ par champ selon leurs types (caractère, entier, flottant, virgule fixe, date, logique). Les tables sont gérées par un système de base de données relationnelles (SGBDR), qui permet de les manipuler facilement: mise à jour colonne, modification de la structure des tables (ajout de colonnes, suppression de table, renommer table, compacter table...).

2.4. Analyse spatiale

Les fonctionnalités de sélection SQL (Structured Query Language) font la véritable puissance des SIG, car permettant de formuler les requêtes reflétant les préoccupations des gestionnaires des données par couche univariée ou couches multivariées. L'Analyse univariée concerne les traitements sur une couche et avec les opérations de types statistiques (nombre, moyenne, minimum, maximum, intervalle, variance, écart-type), opérations arithmétiques, opérations logiques). L'analyse multivariée est la combinaison de deux ou plusieurs couches afin d'élaborer une carte de synthèse ou des cartes thématiques. A titre d'illustration, vous trouverez ci-après les cartes synthétiques sur le bassin de Tindouf basée sur les couches suivantes :

- **Tindouf_ID** : géologie
- **Table puits et forages** : hydrogéologie
- **Table surface topo** : relief et altitude
- **Table minéraux** : hydrochimie.

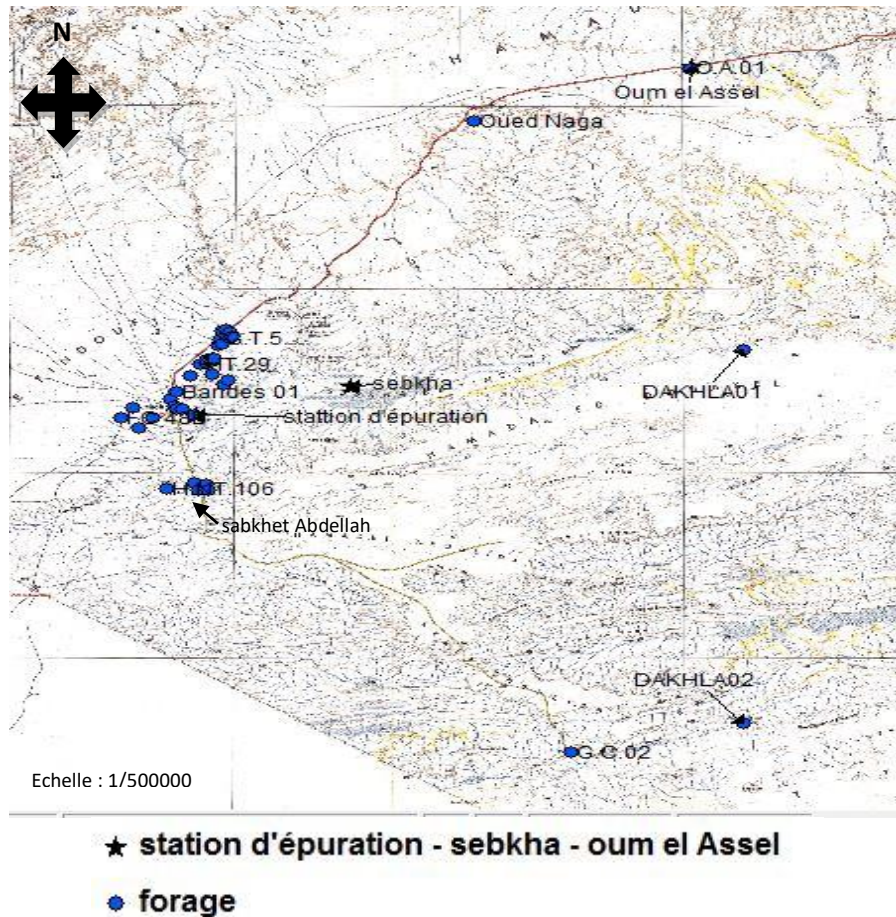
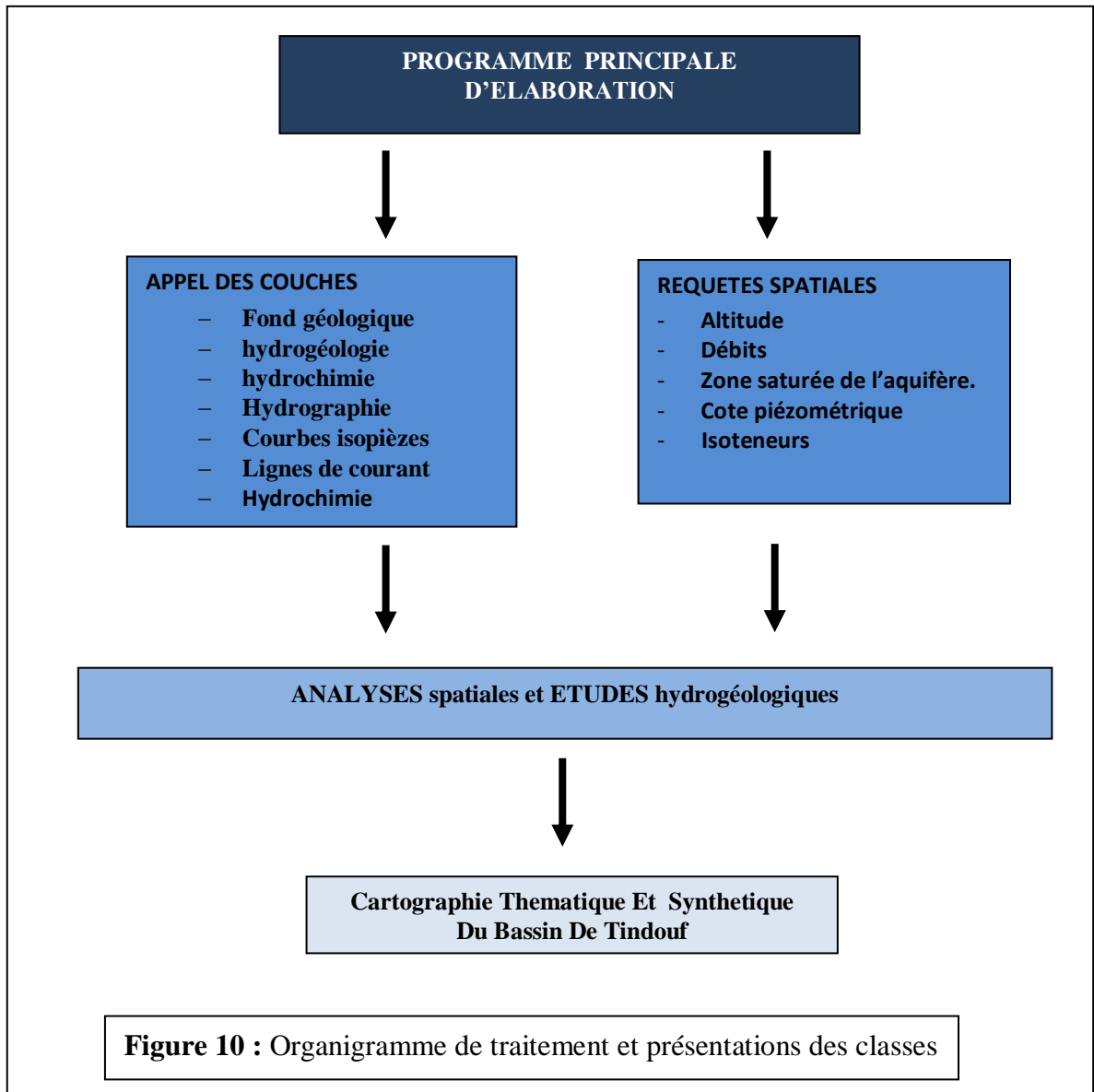


Figure 09 : Carte de répartition des forages dans la région de Tindouf

VII. Application

Modélisation (un modèle global- fig.10) : Le résultat de l'analyse de l'inventaire des données hydrogéologiques a permis de dégager un premier modèle conceptuel simplifié pour éviter d'alourdir le schéma. La définition d'un prototype global permet d'expliquer les données pertinentes de la Base de Données Geospatiales.



Afin de réaliser une étude hydrogéologique et hydrochimique, on a eu le recours à la base de données d'Algérienne des eaux agence de TINDOUF de l'année 2017, qui contient, elle-même, des données de 42 forages actifs (tableau en annexe).

VIII. Etude hydrogéologique

1. La réalisation de la carte de la surface piézométrique

En traçant la surface piézométrique de la région d'étude pour déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines, mettre en évidence les lignes de partage des eaux et les zones de captage.

Pour établir la Carte on s'est servi des données de base concernant les 42 forages actifs existants dans la région.

Les données de la carte piézométrique sont représentées dans le tableau (voir annexe)

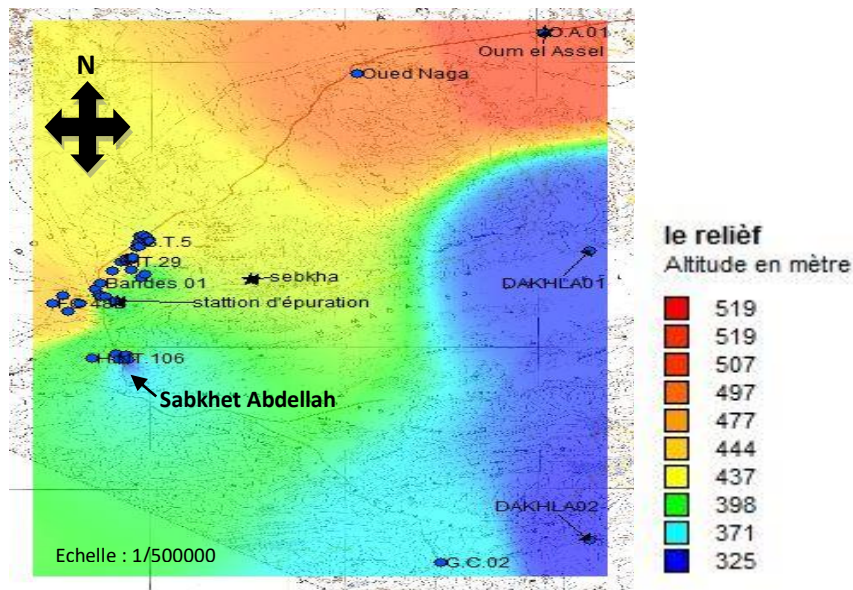


Figure 11 : Carte de relief de la région de Tindouf

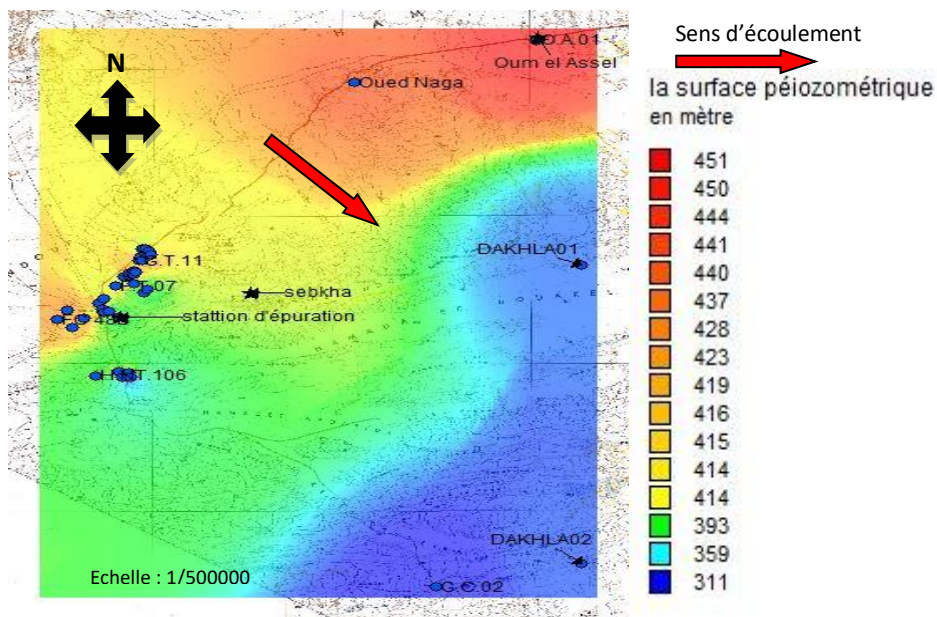


Figure 12 : Carte de la surface piézométrique.

2. Interprétation de la carte de la surface piézométrique

L'examen de la carte piézométrique dressée à l'échelle de la région montre que les niveaux piézométriques, et fait apparaître:

- le sens d'écoulement général est suit une direction nord-Ouest à sud-Est, caractérisé la zone de transition entre la hamada de Tindouf qui alimente la nappe Hamadienne et la sebkha de Tindouf qui constitue son exutoire principale ou il prend naissance dans la hamada et se perd vraisemblablement dans la sebkha ou dans le centre de bassin.
- A partir de cette carte, nous remarquons aussi que la surface piézométrique prend une forme dépression autour de la sebkha Abdallah traduisant une zone de drainage intense de la nappe.
- L'apparition de dépression près de Hassi Abdallah signifié que cette région caractérisée par surexploitation. (**Pompage au niveau des forages SA3 ; SA6 ; SA7 ; SA8 ; SA9; HNT106**).

3. Commentaires :

La carte piézométrique est le document de base de l'analyse du comportement hydrodynamique de l'aquifère étudié et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

L'étude piézométrique effectuée à partir des mesures des niveaux d'eau dans les 42 forages montre que l'écoulement des eaux souterraines suit une direction nord-Ouest à sud-est.

L'analyse de cette carte nous a surtout renseignés sur le sens d'écoulement, On observe une convergence des écoulements nord-Ouest à sud-Est Dans ce cas, l'alimentation de l'aquifère serait possible, soit directement dans les zones d'affleurement de l'aquifère existant dans l'Atlas, soit indirectement à travers les terrains hamadiens.

L'analyse et l'examen des informations disponibles relatives à la nappe du Viséen supérieur, montre que la localité du Champ captant Hassi abdallah est considérée comme étant l'une des exutoires naturels de la nappe captive du Viséen supérieur

IX. Etude hydrochimique :

L'étude hydrochimique des eaux souterraines permet d'une part de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique et de connaître la qualité des eaux.

Notre échantillonnage a porté sur nos 42 forages en exploitation continue qui sont destinés au renforcement de l'alimentation en eau potable (AEP) de Tindouf-ville ou bien l'irrigation. Les prélèvements ont été effectués en 2017.

Les analyses ont été réalisées par l'ADE (unité de Tindouf). Elles ont portées sur :

- Le potentiel d'hydrogène.
- La conductivité électrique.
- Le résidu sec.
- Les cations : Na⁺, K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺.
- Les anions : Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻² et NO₃⁻.

1. Contrôle des analyses par la balance ionique

Les analyses peuvent être contrôlées par la balance ionique (BI) données par la formule suivante :

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100$$

Avec :

r: quantité en réaction.

- si BI < 2 % —————> bonne analyse.
- si 2 % < BI < 5 % —————> analyse acceptable.
- si BI > 5 % —————> mauvaise analyse (MA).

Les valeurs des quantités sont exprimés en meq /L dans le tableau en annexe.

Les résultats de la balance ionique, des eaux de notre zone sont comprises entre 0,02% et 4,78%.

- ✓ Donc on conclut que les analyses sont **bonne à acceptable**.

2. Interprétation des résultats des analyses

Les résultats sont consignés dans le tableau en annexe

	pH	Conductivité	TH	Résidu sec	Turbidité
unité	/	μS/cm	°F	mg/L	NTU
Point d'eau	42 forages				

Tableau 02 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux.

3. Paramètres physiques**3.1. Potentiel Hydrogène pH**

Le PH (potentiel d'hydrogène) est par définition une mesure de l'activité des ions H⁺ contenu dans une eau : $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$.

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, il est mesuré à l'aide d'un PH-mètre.

Le pH des eaux de la région d'étude varie entre 6,15 et 7,74. Généralement les eaux ont une tendance basique, Donc ces résultats montrent que les eaux analysées sont à 100% dans l'intervalle fixé par les normes algériennes **6,5** et **8,5**

3.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique exprimée en **μS/cm** est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de 1 Cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 Cm (G. Rodier, 1996).

Elle permet une estimation approchée de la minéralisation des eaux. Elle augmente avec la teneur en sels dissous (conductivité élevée => eau chargée).

A partir du tableau en annexe, Nous remarquons que les valeurs de la conductivité varient entre **1,080** et **4,340** ms/cm. Cette élévation de la conductivité est due essentiellement au faible taux de renouvellement, à la forte évaporation ainsi que l'exploitation intensive des eaux de la nappe. D'une façon générale les eaux de la région sont très conductrices et minéralisées. (Voir tableau en annexe).

Conductivité	Minéralisation (mg/L)
Conductivité < 100	Très faible
100 < Conductivité < 200	faible
200 < Conductivité < 333	moyennement accentuée
333 < Conductivité < 666	moyenne
666 < Conductivité < 1000	important
Conductivité > 1000	excessive

Tableau 03 : Relation existant entre la minéralisation et la conductivité.

3.3. Minéralisation globale de l'eau

Les eaux sont minéralisées du fait de leurs teneurs en sodium, calcium, chlorures, sulfates et hydrogencarbonates. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. Toutefois la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité étant donné les erreurs inhérentes à la détermination de chacune de ses mesures (G. Rodier, 1996).

Les valeurs des minéralisations sont comprises entre **680** et **2710** mg/L.

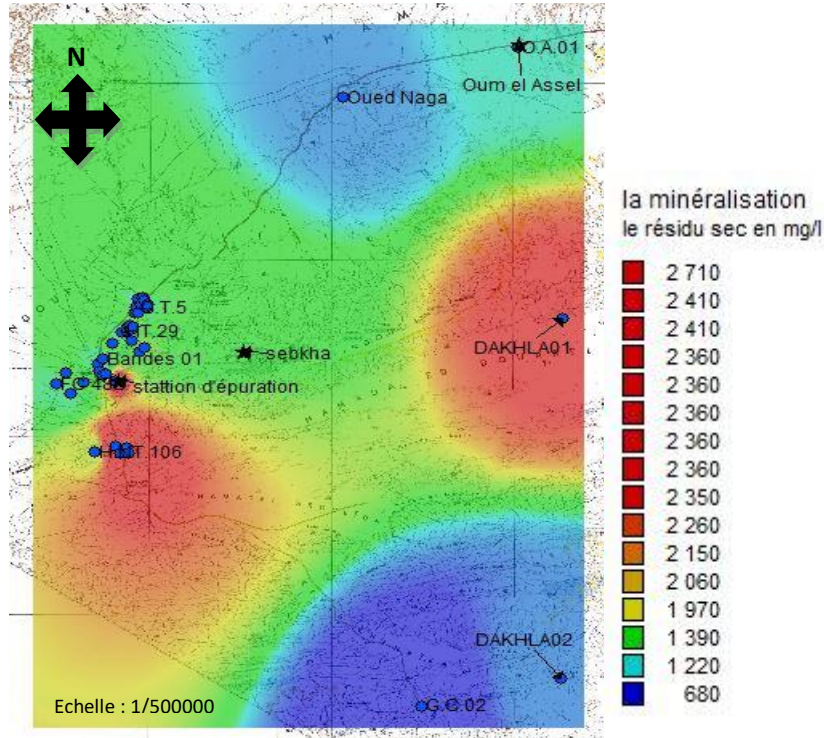


Figure 13 : Carte de la minéralisation

4. Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques mesurés concernent :

- Les cations : Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}
- Les anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} et NO_3^- .
- L'analyse des cations et des anions majeurs des eaux souterraines est une opération indispensable, qui permet une meilleure compréhension des phénomènes qui interviennent dans les nappes.

4.1. Cations

- Les teneurs en Calcium des points d'eau analysés varient entre 45 et 202 mg/L. la concentration la plus élevée a été relevée au forage SA3.
- Les teneurs en Magnésium sont comprises entre 45 et 180 mg/L, la valeur 180 a été enregistrée au niveau du forage oued zez 02.
- Les teneurs en les anions de Potassium sont comprises entre 2 et 21 mg/L, la plus grande concentration a été relevée au forage Oued Zez 02.
- Les teneurs en Sodium sont comprises entre 60 et 575 mg/L, la valeur 575 a été enregistrée au niveau du forage DAKHLA01.

4.2. Anions

- Les teneurs en Bicarbonates sont comprises entre 107 et 360 mg/L, cette dernière valeur a été enregistrée au niveau de forage O M 03.
- Les teneurs en Sulfates sont comprises entre 180 et 875 mg/L, la valeur élevée a été enregistrée au niveau du forage Oued Zez 02.
- Les teneurs en Chlorures sont comprises entre 86 et 870 mg/L, la plus grande concentration en chlorures a été relevée au forage DAKHLA01.
- Les teneurs en Nitrates sont comprises entre 3,2 et 120 mg/L, cette dernière valeur a été enregistrée au niveau du forage O.A.01.

Point d'eau	Unité		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ cations	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Σ anions	Balance
	meq/L	mg/L											
42 forages													

Tableau 04 : Résultats d'analyse des eaux exprimés en mg/L et en meq/L.

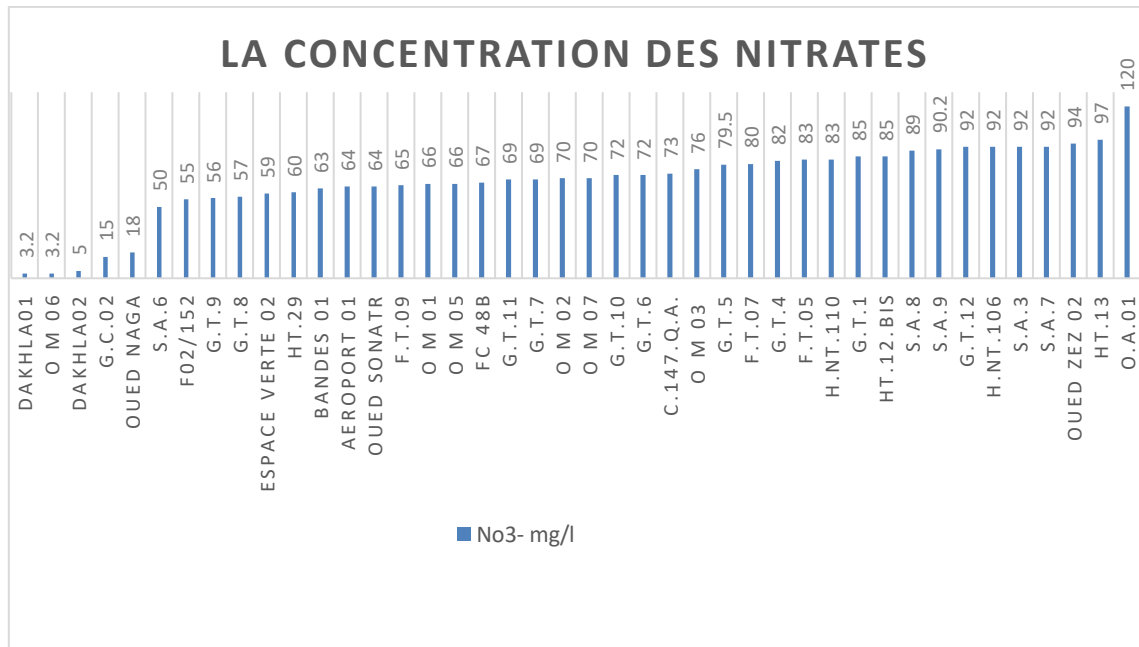


Figure 14 : diagramme de la concentration des nitrates dans les eaux des 42 forages de Tindouf.

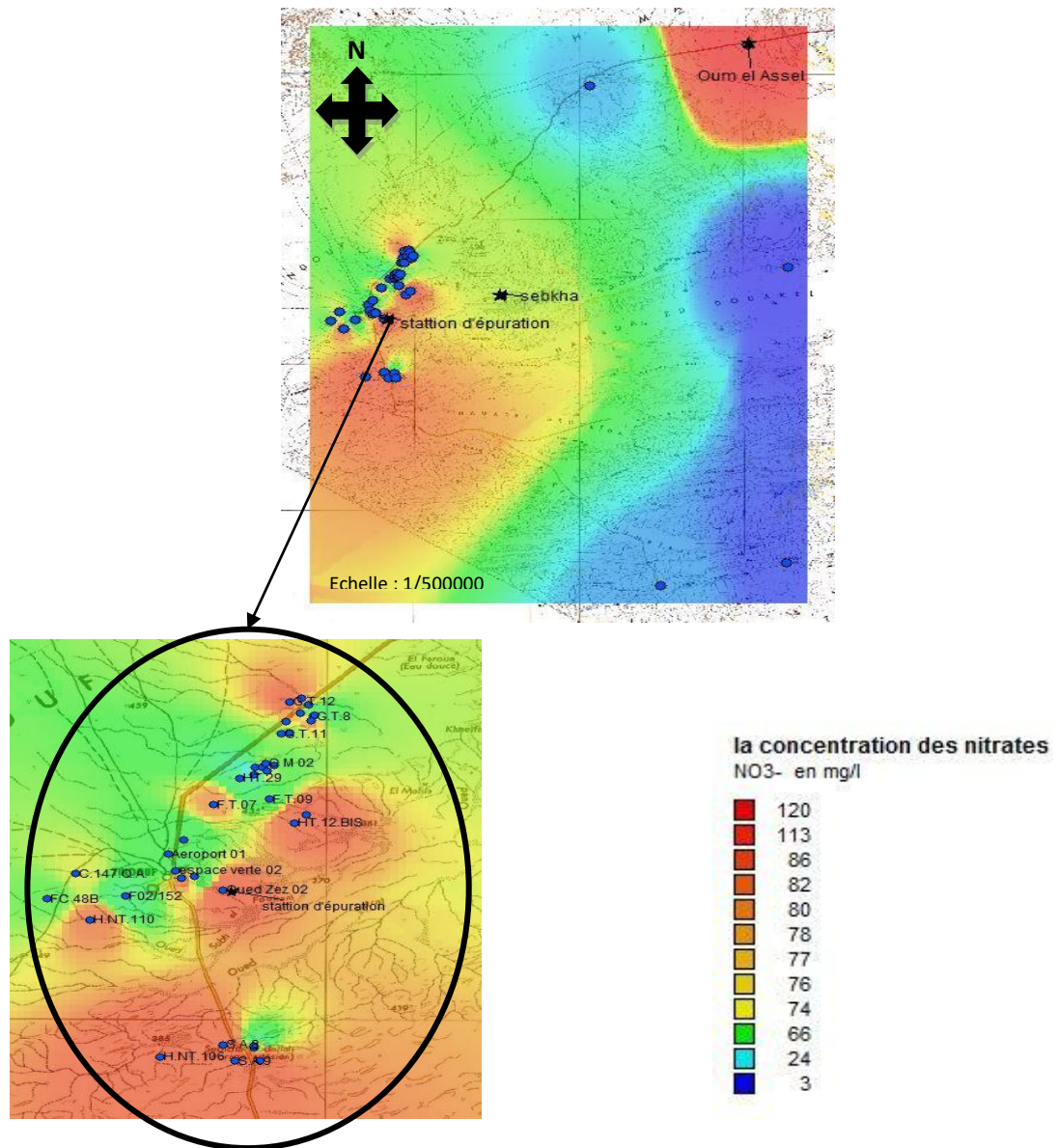


Figure 15 : Carte de la concentration des nitrates

5. Qualité des eaux**5.1. Norme de potabilité**

Les normes algériennes (N.A.6360-1992) sont inspirées de l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directions de la Communauté Economique Européenne (C.E.E).

La présente norme a pour objet de fixer les spécifications organoleptiques, physico-chimiques et toxicologiques des eaux destinées à la consommation.

5.2. Interprétation des résultats

Paramètre	Unité	Niveau Guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses chimiques	
				Eau potable	Eau non potable
Ca ²⁺	mg/L	75	200	Voir le tableau en annexe	
Mg ²⁺	mg/L		150		
Na ⁺	mg/L		200		
K ⁺	mg/L		20		
Cl ⁻	mg/L		500		
NO ₃ ⁻	mg/L		50		
SO ₄ ⁻²	mg/L	200	400		
pH	/	6,5	8,5		
Minéralisation	mg/L		1000		
Conductivité	µs/cm		2880		

Tableau 05 : Vérification de la Potabilité des eaux selon les normes algériennes.

5.3. Dureté

La dureté est liée à la nature des terrains traversés par une eau. Si l'eau présente une forte concentration de ces sels minéraux, on dit qu'elle est dure (c'est le cas des eaux provenant des sols calcaires). A l'inverse, si cette concentration est faible, l'eau est dite douce.

Ce paramètre indique la dureté de l'eau qui correspond à la somme des teneurs en calcium et en magnésium : $TH = r (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ meq/L.}$

On peut classer les eaux en fonction de leurs duretés:

TH (°F)	0 à 3 °F	3 à 15 °F	15 à 30 °F	> 30 °F
TH de l'eau	Très douce	douce	dure	Très dure

Tableau 06 : Classement les eaux en fonction de leurs duretés.

Les valeurs de la dureté TH en °F des différents points d'eau sont reportées dans le tableau qui suit, voir le tableau en annexe:

Points d'eau	42 forages
TH en	°F

Tableau 07 : Les valeurs de la dureté des différents points d'eau.

Les données des analyses montrent que la dureté des eaux de la région d'étude varie entre 43°F et 101 °F. Donc d'après le tableau on a une eau dure à très dure dans tous les points d'eaux.

6. Faciès chimiques (Voir le tableau en annexe)

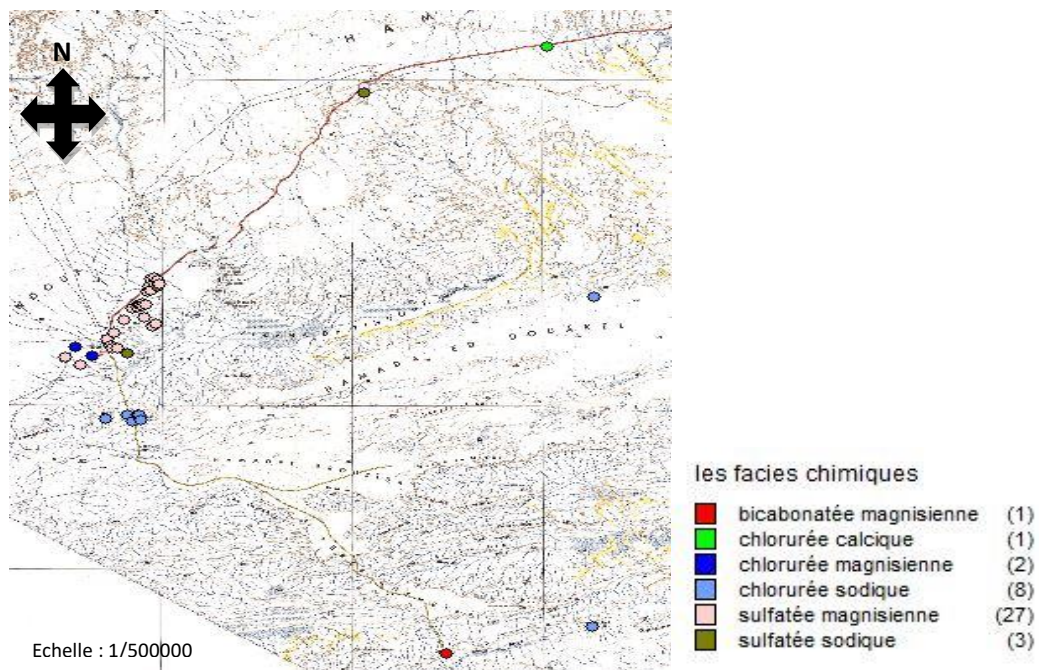


Figure 16 : Carte des faciès chimiques

7. Commentaires :

Cette étude hydrochimique nous a permis de donner un aspect sur la qualité chimique de l'eau dans le bassin de Tindouf en générale.

Sur le plan hydrochimique, l'analyse et l'interprétation des résultats ont relevé que les eaux de la zone d'étude sont très dure ou la dureté atteindre 101F°

Les éléments chimique abondants sont ; les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, le magnésium.

La classification des eaux souterraines des déférentes nappes a montré que la prédominance des trois faciès :

- Chlorure magnésique
- Sulfaté magnésique
- Bicarbonaté magnésien

Selon les normes algériennes, les eaux de la nappe de l'ordovicien supérieur, viséen terminal et viséen supérieur sont caractérisé par des valeurs de résidus sec encore élevés atteindre 2369 mg/l dans le forage de SA7, qui donnent une idée sur la valeur de la conductivité qui est très élevé

Les complaisants des données des analyses chimiques des eaux des nappes avec celle des normes algériennes, font ressortir eau de bonne qualité pour les forages qui captent la nappe de tertiaire continentale comme le forage de Aéroport 01, et excellente pour le forage GC2, et pour les forages qui captent la nappe de viséen supérieur sont de qualité passable.

Le forage de Dakhla 01 dépasse les normes algériennes à cause de lessivage des formations sebkha, il est de qualité mauvaise

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté.

Dans les forages étudiées et comme il est indiqué sur la figure 15 les teneurs en nitrates variaient entre 3,2 mg/L et 120 mg/L. Elles dépassent les normes algériennes dans 37 forages parmi 42. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en amont du bassin. Cette dégradation semble être due essentiellement à l'activité humaine, la

fertilisation azotée des zones agricoles avoisinantes aux points étudiés, les eaux usées, les puits perdus et les déchets des élevages.

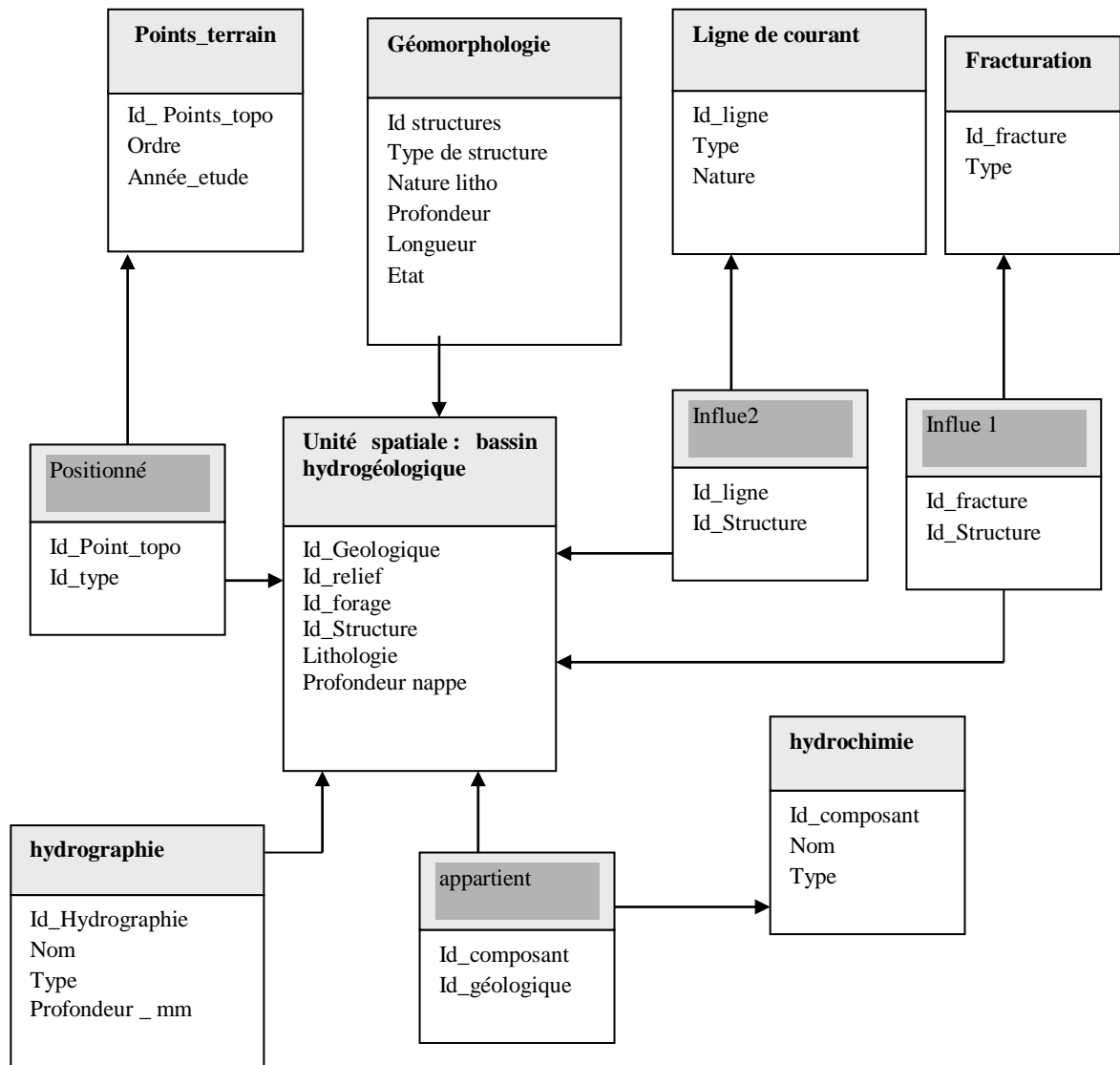


Figure 17 MCD : proposition du schéma conceptuel de données a permis d’extraire le Modèle Physique de Données suivant.

La version initiale de la Base de Données Géospaciales permet la mise en place d’une cartographie thématique pour les besoins de l’hydrogéologie. Une amélioration de la carte géologique du bassin de Tindouf reste un problème majeur pour la future version.

X. Conclusion du chapitre

Dans ce travail nous avons étudié l'aquifère de Tindouf (étude hydrogéologique et hydrochimique) en utilisant les SIG systèmes d'information géographiques. L'élaboration de telles cartes nécessite la manipulation, l'analyse, le traitement d'un grand nombre de donnée et d'en générer de nouvelle couches d'information sous forme des cartes thématiques

Les systèmes d'information géographiques représentent le meilleur outil pour répondre à ce type de problématique et surmonter les difficultés de croisement des différentes cartes thématiques et de leurs mises à jour.

Le bassin de Tindouf présente un système aquifère complexe et hétérogène, qui est largement exploité pour l'alimentation des populations locales dans ces régions. Paradoxalement, leur comportement hydrodynamique est assez mal connu, en raison de la grande extension de cet aquifère et surtout de son hétérogénéité. l'application d'une méthodologie, combinant l'ensemble des données physico-chimique à ce complexe aquifère, a permis de définir les principaux axes d'écoulement souterrain et d'appréhender les modalités de transfert de flux .

Dans la région de Tindouf, l'intense exploitation actuelle des nappes hamadienne et viséenne entraîne une vidange accélérée de ces réservoirs. Une nouvelle possibilité est représentée par les nappes des grès du Dévonien inférieur et du Cambro-Ordovicien, nappes confinées encore peu exploitées. Le problème essentiel consiste à délimiter les zones favorables aux captages et à connaître l'existence d'une alimentation actuelle de ces nappes.

L'étude hydrochimique, a permis de mettre en évidence une recharge actuelle de ces nappes et qui a montré que les teneurs en nitrates a dépassé les normes algériennes dans 37 forage parmi 42 forage, leur présence est un indicateur de pollution des nappes, Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en amont du bassin. Cette dégradation semble être due essentiellement à l'activité humaine, la fertilisation azotée des zones agricoles avoisinantes aux points étudiés, les eaux usées, les puits perdus et les déchets des élevages.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le Modèle Conceptuel de Données (MCD) hydrogéologiques élaboré concerne le bassin de Tindouf. La généralisation de ce modèle sur toute la partie centrale du bassin permettra la réalisation d'une carte de synthèse pour l'exploitation du système aquifère du *Continental Intercalaire*. La Base de données Géospaciales est réalisée sur la base du MCD pour permettre une intégration de toutes les données géologiques. Ainsi des perspectives d'analyse spatiale orientées vers des études géodynamiques et d'hydrogéologie environnementale s'offrent aux spécialistes. Donc la propagation du modèle doit tenir compte de l'hydrodynamique, de l'hydrochimie et des conditions aux limites.

Les résultats de ce travail pourront servir à l'élaboration d'une politique visant à prévenir la pollution des formations aquifères de la région. Les zones vulnérables pourront faire l'objet de réglementation spécifique, concernant la localisation des rejets urbains et industriels, l'installation des cimetières, des dépôts d'ordures et des unités industrielles.

Les cartes obtenues pourront servir à la projection des champs de captage, et destinées à l'alimentation en eau potable. Elles peuvent être utilisées pour établir les priorités d'action en ce qui concerne la surveillance de la qualité des eaux souterraines ou la restauration des sites pollués. Elles serviront aussi à l'aménagement du territoire pour les sélections des zones propices à l'enfouissement de déchets, à l'implantation d'industries potentiellement polluantes.

Bibliographie

- **BAILEY et GATRELL (1995)** interactive spatial data analysis.
- **Camara G., Monteiro A., Druck S., Carvalho M., 2000**, « *Análise espacial e geoprocessamento* » (analyse spatiale et géographique) p. 11-13
- **CHABOU. M.C, 2001**-Etude pétrographique et géochimique du magmatisme mésozoïque de l'Ouest de la plate-forme saharienne, Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 181p.
- **COLLET 1994** Systèmes d'informations géographiques en mode image
- **FABRE J. (2005)** – Géologie de Sahara occidental et central Musée royal de l'Afrique centrale Belgique .P572.
- **FABRE. J 1976** introductions à la géologie du Sahara Algérien, SNED- Alger.
- **GEVIN P. (1948)**. Série paléozoïque d'Aouinet Legra. Bull.Soc.Géol.Fr., t.18, pp. 369-381
- **Gevin P. 1960** : Etude et Reconnaissances géologique sur l'axe cristallin Yetti Eglab et ses bordures sédimentaires, Publication du Service Géologique de l'Algérie.
- **HOLLARD H. (1970)** - Silurien-Dévonien-Carbonifère. Notes et mém. Serv. Géol. Maroc, 229, pp. 161-168.
- **I. ZEROUAL (1998)** : Structuration de l'information géographique pour la gestion de l'information - qualité dans les bases de données géographiques Numériques. Thèse de magister (CNTS . ARZEW).
- **IDROTECNO, 1979**, modifiée.
- **Roger, G (2008)**, Géophysique appliquée aux hydrosciences
- **SLIMANOU F et AMRANE T, 2004**, Rapport de fin de travaux du forage de reconnaissance profond UGUERFA et HASSI ABDALLAH Wilaya de Tindouf. ANRH p8.
- **SONAREM (1976)**- Etude hydrogéologie de la région de Tindouf (rapport final).
- **THIERRY. Joliveau (2004)**. Géomatique et gestion environnementale du territoire : recherche sur un usage géographique des SIG.
- **WILLSON J.T (1960)**, Did the atlentic close and re-open ? nature n°21 p 676-681.
- **YAHIAOUI. A (2011)** : Proposition d'investigation pour les ressources en eaux souterraines de la région de Tindouf. DRE (Tindouf).

Bibliographie

- **YAHIAOUI. A (2011)** : Rapport de constat sur le champ captant Hassi Abdallah Tindouf – Service mobilisation de la Ressource et Alimentation en eau potable (DRE) W. Tindouf. p13.

Les sites web

- http://www.mapnall.com/fr/Carre-g%C3%A9ographique-Wilaya-de-Tindouf_1104748.html
- http://www.alnaft.gov.dz/IMG/pdf/6-Bassin_de_Tindouf.pdf
- <http://www.googlemap.com>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_spatiale

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	x	y	XDD	YDD	z	Niveau stat	Niveau péiozo
1	Aéroport 01	T.CON	08° 09' 53"	27° 42' 30"	-8,165	27,708	444	23,4	420,60
2	Bandes 01	T.CON	08° 08' 57"	27° 43' 32"	-8,149	27,726	443	31,60	411,40
3	C.147.Q.A.	T.CON	08° 15' 06"	27°41'06"	-8,252	27,685	450	25,22	424,78
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	06° 51' 34"	26°50' 26"	-6,859	27,841	330	+2	328,00
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	06° 51' 45"	26°49' 44"	-6,863	26,829	325	+2,5	322,50
6	espace verte 02	T.CON	08° 09' 27"	27° 41' 19"	-8,158	27,689	431	23,00	408,00
7	F.T.05	T.CON	08°09' 05"	27°40' 44"	-8,151	27,679	432	17,25	414,75
8	F.T.07	T.CON	08° 07' 17"	27°46' 05"	-8,121	27,768	443	30,38	412,62
9	F.T.09	T.CON	08° 04' 05"	27°46' 31"	-8,068	27,775	436	26,20	409,80
10	F02/152	T.CON	08° 12' 19"	27° 39' 28"	-8,205	27,658	446	24,70	421,30
11	FC 48B	T.CON	08°16' 45"	27°39' 15"	-8,279	27,654	448	24,10	423,90
12	G.C.02	Ordo-Sup.	07° 15' 15"	26° 44' 55"	-7,254	26,749	371	60,50	310,50
13	G.T.1	T.CON	08° 01' 44"	27° 52' 13"	-8,029	27,870	437	20,00	417,00
14	G.T.10	T.CON	08° 01' 51"	27° 53' 20"	-8,031	27,889	433	21,35	411,65
15	G.T.11	T.CON	08°03' 27"	27° 51' 15"	-8,058	27,854	434	20,90	413,10
16	G.T.12	T.CON	08° 02' 56"	27° 53' 35"	-8,049	27,893	433	21,40	411,60
17	G.T.4	T.CON	08° 02' 15"	27° 53' 48"	-8,038	27,897	429	22,22	406,78
18	G.T.5	T.CON	08° 03' 10"	27° 52' 09"	-8,053	27,869	439	21,00	418,00
19	G.T.6	T.CON	08° 02' 22"	27° 52' 45"	-8,039	27,879	435	20,00	415,00
20	G.T.7	T.CON	08° 02' 55"	27° 51' 21"	-8,049	27,856	445	22,50	422,50
21	G.T.8	T.CON	08° 01' 37"	27° 52' 32"	-8,027	27,876	446	21,00	425,00
22	G.T.9	T.CON	08° 01' 32"	27° 52' 36"	-8,026	27,877	432	21,00	411,00
23	H.NT.106	V.SUP.	08° 10' 20"	27° 27' 47"	-8,172	27,463	395	0,5	394,50
24	H.NT.110	T.CON	08° 14' 17"	27° 37' 45"	-8,238	27,629	444	27,00	417,00
25	H.T.13	T.CON	08° 02' 02"	27° 45' 23"	-8,034	27,756	394	10,15	383,85
26	HT.12.BIS	T.CON	08° 02' 39"	27° 44' 47"	-8,044	27,746	404	10,80	393,20
27	HT.29	T.CON	08° 05' 49"	27° 48' 02"	-8,097	27,801	430	23,72	406,28
28	O M 01	T.CON	08° 03' 48"	27° 48' 56"	-8,063	27,816	444	20,10	423,90
29	O M 02	T.CON	08° 04' 17"	27° 49' 07"	-8,071	27,819	443	20,50	422,50
30	O M 03	T.CON	08° 04' 14"	27° 48' 32"	-8,071	27,809	443	21,00	422,00
31	O M 05	T.CON	08° 04' 29"	27° 48' 50"	-8,075	27,814	411	24,30	386,70
32	O M 06	T.CON	08° 04' 59"	27° 48' 16"	-8,083	27,804	444	22,30	421,70
33	O M 07	T.CON	08° 04' 53"	27° 48' 50"	-8,081	27,814	444	21,80	422,20
34	O.A.01	T.CON	06° 58' 56"	28° 36' 15"	-6,982	28,604	526	74,84	451,16
35	Oued Naga	T.CON	07° 28' 30"	28° 27' 39"	-7,475	28,461	497	56,00	441,00
36	Oued Sonatr	T.CON	08° 08' 20"	27°40' 53"	-8,139	27,681	392	7,50	384,50
37	Oued Zez 02	W.TER.	08° 06' 46"	27° 39' 54"	-8,113	27,665	393	5,00	388,00
38	S.A.3	V.SUP.	08° 04' 58"	27° 28' 29"	-8,083	27,475	402	+ 2,23	399,77
39	S.A.6	V.SUP.	08° 04' 57"	27° 28'35"	-8,083	27,476	403	+ 1,5	401,50
40	S.A.7	V.SUP.	08° 04' 40"	27° 27' 32"	-8,078	27,459	330	5,40	324,60
41	S.A.8	V.SUP.	08° 06' 44"	27° 28' 40"	-8,112	27,478	399	+1	398
42	S.A.9	V.SUP.	08° 06' 02"	27° 27' 29"	-8,101	27,458	380	8,80	371,20

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	Debit max	Debit exp	VOLUME	UTILISATION	QUALITE	ETAT_ACTUEL FORAGE
1	Aéroport 01	T.CON	8,80	5,50	57 816	AEP	Bonne	Exploité
2	Bandes 01	T.CON	4,50	4,50	0	IRR	Bonne	Fermé
3	C.147.Q.A.	T.CON	5	4	42 048	AEP	Bonne	Exploité
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	6,00	5,00	65 700	IRR	Mauvaise	Exploité
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	10,00	8,00	105 120	AEI	Bonne	Exploité
6	espace verte 02	T.CON	4,00	4,00	0	IRR	Bonne	en expl.
7	F.T.05	T.CON	3,00	2,75	18 068	AEP	Bonne	Exploité
8	F.T.07	T.CON	7,50	7,00	45 990	AEP	Bonne	Exploité
9	F.T.09	T.CON	6,00	2,90	19 053	AEP	Mediocre	Exploité
10	F02/152	T.CON	4	4,00	0	AEP	Bonne	En service
11	FC 48B	T.CON	5,00	4,00	21 024	AEP	Bonne	Exploité
12	G.C.02	Ordo-Sup.	8,00	6,00	47 304	AEP	Excellente	Exploité
13	G.T.1	T.CON	10,00	7,00	91 980	IRR	Bonne	Exploité
14	G.T.10	T.CON	9,00	6,00	110 376	IRR	Bonne	Exploité
15	G.T.11	T.CON	8,00	7,45	97 893	IRR	Bonne	Exploité
16	G.T.12	T.CON	7,00	7,00	91 980	IRR	Bonne	Exploité
17	G.T.4	T.CON	8,00	6,00	78 840	IRR	Bonne	Exploité
18	G.T.5	T.CON	13,00	8,00	105 120	IRR	Bonne	Exploité
19	G.T.6	T.CON	10,00	7,00	91 980	IRR	Bonne	Exploité
20	G.T.7	T.CON	7,00	7,00	91 980	IRR	Bonne	Exploité
21	G.T.8	T.CON	12,00	12,00	220 752	IRR	Bonne	Exploité
22	G.T.9	T.CON	11,00	7,00	91 980	IRR	Bonne	Exploité
23	H.NT.106	V.SUP.	16,00	16,00	168 192	IRR	Moyenne	Exploité
24	H.NT.110	T.CON	5,00	5,00	52 560	AEP	Bonne	Exploité
25	H.T.13	T.CON	3,00	3,00	39 420	AEP	Bonne	Exploité
26	HT.12.BIS	T.CON	4,80	4,00	63 072	AEP	Bonne	Exploité
27	HT.29	T.CON	7,00	5,00	39 420	AEP	Bonne	Exploité
28	O M 01	T.CON	6,00	6,00	94 608	AEP	Bonne	Exploité
29	O M 02	T.CON	6,00	5,00	26 280	IRR	Bonne	Exploité
30	O M 03	T.CON	6,00	5,00	65 700	IRR	Bonne	Exploité
31	O M 05	T.CON	5,00	5,00	65 700	IRR	Bonne	en expl.
32	O M 06	T.CON	5,00	5,00	65 700	IRR	Bonne	en expl.
33	O M 07	T.CON	6,00	6,00	78 840	IRR	Bonne	en expl.
34	O.A.01	T.CON	4,00	3,00	31 536	AEP	Bonne	Exploité
35	Oued Naga	T.CON	2,00	1,80	14 191	AEP	Bonne	Fermé
36	Oued Sonatr	T.CON	6,00	4,50	59 130	AEP	Bonne	Exploité
37	Oued Zez 02	W.TER.	5,00	4,00	42 048	IRR	Moyenne	Exploité
38	S.A.3	V.SUP.	35,00	22,00	578 160	AEP	Passable	Exploité
39	S.A.6	V.SUP.	40,00	22,00	578 160	AEP	Passable	Exploité
40	S.A.7	V.SUP.	30,00	15,00	295 650	AEP	Passable	Exploité
41	S.A.8	V.SUP.	29,00	14,00	367 920	AEP	Passable	Exploité
42	S.A.9	V.SUP.	19,00	14,50	381 060	AEP	Passable	Exploité

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	PH	CD	RS	la minéralisation / normes algeriennes
1	Aéroport 01	T.CON	7,28	2,08	1310	moyennement minéralisée
2	Bandes 01	T.CON	7,21	2,02	1300	moyennement minéralisée
3	C.147.Q.A.	T.CON	7,27	2,22	1380	moyennement minéralisée
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	7,33	3,77	2360	minéralisée
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	7,18	1,6	1000	moyennement minéralisée
6	espace verte 02	T.CON	7,5	2,03	1300	moyennement minéralisée
7	F.T.05	T.CON	7,42	2,17	1380	moyennement minéralisée
8	F.T.07	T.CON	7,28	2,2	1410	moyennement minéralisée
9	F.T.09	T.CON	7,34	2,16	1400	moyennement minéralisée
10	F02/152	T.CON	7,17	2,23	1400	moyennement minéralisée
11	FC 48B	T.CON	7,36	2,05	1305	moyennement minéralisée
12	G.C.02	Ordo-Sup.	7,08	1,08	680	moyennement minéralisée
13	G.T.1	T.CON	7,28	1,97	1240	moyennement minéralisée
14	G.T.10	T.CON	7,09	1,73	1200	moyennement minéralisée
15	G.T.11	T.CON	7,14	2,11	1420	moyennement minéralisée
16	G.T.12	T.CON	7,01	1,82	1230	moyennement minéralisée
17	G.T.4	T.CON	6,85	2,68	1700	minéralisée
18	G.T.5	T.CON	6,94	2,2	1380	moyennement minéralisée
19	G.T.6	T.CON	7,02	1,94	1230	moyennement minéralisée
20	G.T.7	T.CON	6,93	2,13	1360	moyennement minéralisée
21	G.T.8	T.CON	6,89	2,31	1500	minéralisée
22	G.T.9	T.CON	6,73	2,11	1320	moyennement minéralisée
23	H.NT.106	V.SUP.	7,24	3,02	1860	minéralisée
24	H.NT.110	T.CON	7,59	2,07	1300	moyennement minéralisée
25	H.T.13	T.CON	7,26	2,72	1720	minéralisée
26	HT.12.BIS	T.CON	7,57	2,36	1480	moyennement minéralisée
27	HT.29	T.CON	7,36	1,994	1250	moyennement minéralisée
28	O M 01	T.CON	7,51	2,47	1600	minéralisée
29	O M 02	T.CON	6,99	2,04	1350	moyennement minéralisée
30	O M 03	T.CON	6,91	2,35	1500	minéralisée
31	O M 05	T.CON	6,99	2,11	1340	moyennement minéralisée
32	O M 06	T.CON	6,15	2,08	1300	moyennement minéralisée
33	O M 07	T.CON	6,98	2,07	1400	moyennement minéralisée
34	O.A.01	T.CON	7,16	1,99	1250	moyennement minéralisée
35	Oued Naga	T.CON	7,74	1,63	1030	moyennement minéralisée
36	Oued Sonatr	T.CON	7,36	2,11	1320	moyennement minéralisée
37	Oued Zez 02	W.TER.	7,15	3,8	2555	minéralisée
38	S.A.3	V.SUP.	7,36	3,66	2378	minéralisée
39	S.A.6	V.SUP.	7,26	3,64	2300	minéralisée
40	S.A.7	V.SUP.	7,16	4,34	2710	minéralisée
41	S.A.8	V.SUP.	7,2	4,09	2575	minéralisée
42	S.A.9	V.SUP.	7,18	3,66	2344	minéralisée

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	Ca+2 mg/l	Ca+2 méq/l	Mg+2 mg/l	Mg+2 méq/l	Na+ mg/l	Na+ méq/l	K+ mg/l	K+ méq/l	Cations méq/l
1	Aéroport 01	T.CON	111	5,55	101	8,313	160	6,957	6	0,154	20,973
2	Bandes 01	T.CON	82	4,1	112	9,218	175	7,609	6	0,154	21,081
3	C.147.Q.A.	T.CON	120	6	111	9,136	190	8,261	9	0,231	23,627
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	173	8,65	45	3,704	575	25,000	12	0,308	37,661
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	120	6	59	4,856	150	6,522	5,2	0,133	17,511
6	espace verte 02	T.CON	91	4,55	126	10,370	145	6,304	6,6	0,169	21,394
7	F.T.05	T.CON	70	3,5	132	10,864	160	6,957	8,5	0,218	21,539
8	F.T.07	T.CON	62	3,1	137	11,276	180	7,826	7	0,179	22,381
9	F.T.09	T.CON	70	3,5	129	10,617	170	7,391	6,4	0,164	21,673
10	F02/152	T.CON	115	5,75	101	8,313	190	8,261	9	0,231	22,554
11	FC 48B	T.CON	95	4,75	109	8,971	160	6,957	6	0,154	20,832
12	G.C.02	Ordo-Sup.	74	3,7	60	4,938	60	2,609	2	0,051	11,298
13	G.T.1	T.CON	124	6,2	71	5,844	180	7,826	8,1	0,208	20,077
14	G.T.10	T.CON	82	4,1	87	7,160	150	6,522	6,7	0,172	17,954
15	G.T.11	T.CON	107	5,35	101	8,313	180	7,826	4,8	0,123	21,612
16	G.T.12	T.CON	45	2,25	152	12,510	110	4,783	4	0,103	19,645
17	G.T.4	T.CON	99	4,95	158	13,004	232	10,087	5,5	0,141	28,182
18	G.T.5	T.CON	58	2,9	140	11,523	180	7,826	5,5	0,141	22,390
19	G.T.6	T.CON	87	4,35	117	9,630	140	6,087	6,5	0,167	20,233
20	G.T.7	T.CON	120	6	111	9,136	140	6,087	4,8	0,123	21,346
21	G.T.8	T.CON	95	4,75	157	12,922	140	6,087	4,8	0,123	23,882
22	G.T.9	T.CON	95	4,75	157	12,922	100	4,348	4,8	0,123	22,143
23	H.NT.106	V.SUP.	157	7,85	122	10,041	280	12,174	13	0,333	30,398
24	H.NT.110	T.CON	91	4,55	109	8,971	170	7,391	6,6	0,169	21,082
25	H.T.13	T.CON	95	4,75	151	12,428	240	10,435	8	0,205	27,818
26	HT.12.BIS	T.CON	99	4,95	114	9,383	210	9,130	8	0,205	23,668
27	HT.29	T.CON	62	3,1	140	11,523	150	6,522	6	0,154	21,298
28	O M 01	T.CON	58	2,9	142	11,687	240	10,435	5,5	0,141	25,163
29	O M 02	T.CON	74	3,7	117	9,630	220	9,565	4,2	0,108	23,003
30	O M 03	T.CON	124	6,2	103	8,477	185	8,043	5,5	0,141	22,862
31	O M 05	T.CON	66	3,3	154	12,675	155	6,739	5,6	0,144	22,858
32	O M 06	T.CON	128	6,4	96	7,901	155	6,739	7	0,179	21,220
33	O M 07	T.CON	82	4,1	117	9,630	165	7,174	5,5	0,141	21,045
34	O.A.01	T.CON	169	8,45	95	7,819	98	4,261	6	0,154	20,684
35	Oued Naga	T.CON	87	4,35	55	4,527	145	6,304	21	0,538	15,720
36	Oued Sonatr	T.CON	87	4,35	124	10,206	180	7,826	7,3	0,187	22,569
37	Oued Zez 02	W.TER.	115	5,75	180	14,815	418	18,174	21	0,538	39,277
38	S.A.3	V.SUP.	202	10,1	114	9,383	416	18,087	11	0,282	37,852
39	S.A.6	V.SUP.	190	9,5	112	9,218	418	18,174	12,3	0,315	37,207
40	S.A.7	V.SUP.	140	7	162	13,333	550	23,913	14,8	0,379	44,626
41	S.A.8	V.SUP.	161	8,05	142	11,687	460	20,000	16	0,410	40,147
42	S.A.9	V.SUP.	186	9,3	127	10,453	390	16,957	11,8	0,303	37,012

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	Cl- mg/l	Cl- még/l	SO4-2 mg/l	SO4-2 még/l	No3- mg/l	No3- még/l	HCO3- mg/l	HCO3- még/l	Anions még/l
1	Aéroport 01	T.CON	245	6,921	380	7,917	64	1,032	311	5,097	20,967
2	Bandes 01	T.CON	210	5,932	405	8,438	63	1,016	308	5,048	20,434
3	C.147.Q.A.	T.CON	305	8,616	395	8,229	73	1,177	268	4,392	22,415
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	870	24,576	420	8,750	3,2	0,052	171	2,803	36,180
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	300	8,475	280	5,833	5	0,081	210	3,442	17,830
6	espace verte 02	T.CON	230	6,497	389	8,104	59	0,952	299	4,900	20,453
7	F.T.05	T.CON	248	7,006	390	8,125	83	1,339	302	4,949	21,419
8	F.T.07	T.CON	260	7,345	400	8,333	80	1,290	317	5,195	22,163
9	F.T.09	T.CON	248	7,006	380	7,917	65	1,048	323	5,294	21,264
10	F02/152	T.CON	300	8,475	400	8,333	55	0,887	308	5,048	22,743
11	FC 48B	T.CON	250	7,062	380	7,917	67	1,081	299	4,900	20,960
12	G.C.02	Ordo-Sup.	100	2,825	180	3,750	15	0,242	296	4,851	11,668
13	G.T.1	T.CON	230	6,497	370	7,708	85	1,371	241	3,950	19,526
14	G.T.10	T.CON	190	5,367	330	6,875	72	1,161	241	3,950	17,353
15	G.T.11	T.CON	250	7,062	360	7,500	69	1,113	329	5,392	21,067
16	G.T.12	T.CON	210	5,932	300	6,250	92	1,484	296	4,851	18,517
17	G.T.4	T.CON	350	9,887	495	10,313	82	1,322	299	4,900	26,422
18	G.T.5	T.CON	270	7,627	400	8,333	79,5	1,282	308	5,048	22,290
19	G.T.6	T.CON	202	5,706	400	8,333	72	1,161	253	4,146	19,347
20	G.T.7	T.CON	250	7,062	400	8,333	69	1,113	332	5,441	21,949
21	G.T.8	T.CON	280	7,910	430	8,958	57	0,919	357	5,851	23,638
22	G.T.9	T.CON	240	6,780	400	8,333	56	0,903	339	5,556	21,572
23	H.NT.106	V.SUP.	480	13,559	575	11,979	92	1,484	201	3,294	30,316
24	H.NT.110	T.CON	262	7,401	375	7,813	83	1,339	250	4,097	20,649
25	H.T.13	T.CON	370	10,452	560	11,667	97	1,564	287	4,704	28,387
26	HT.12.BIS	T.CON	316	8,927	490	10,208	85	1,371	265	4,343	24,849
27	HT.29	T.CON	230	6,497	350	7,292	60	0,968	320	5,244	20,001
28	O M 01	T.CON	320	9,040	482	10,042	66	1,064	320	5,244	25,390
29	O M 02	T.CON	260	7,345	388	8,083	70	1,129	345	5,654	22,211
30	O M 03	T.CON	280	7,910	390	8,125	76	1,226	360	5,900	23,160
31	O M 05	T.CON	250	7,062	403	8,396	66	1,064	342	5,605	22,127
32	O M 06	T.CON	250	7,062	400	8,333	3,2	0,052	290	4,753	20,200
33	O M 07	T.CON	238	6,723	365	7,604	70	1,129	320	5,244	20,701
34	O.A.01	T.CON	374,26	10,572	301	6,271	120	1,935	107	1,754	20,532
35	Oued Naga	T.CON	86	2,429	399	8,313	18	0,290	268	4,392	15,424
36	Oued Sonatr	T.CON	253	7,147	359	7,479	64	1,032	296	4,851	20,509
37	Oued Zez 02	W.TER.	550	15,537	875	18,229	94	1,516	290	4,753	40,035
38	S.A.3	V.SUP.	662,5	18,715	655	13,646	92	1,484	210	3,442	37,286
39	S.A.6	V.SUP.	680	19,209	613	12,771	50	0,806	204	3,343	36,130
40	S.A.7	V.SUP.	830	23,446	750	15,625	92	1,484	204	3,343	43,898
41	S.A.8	V.SUP.	730	20,621	750	15,625	89	1,435	207	3,393	41,074
42	S.A.9	V.SUP.	600	16,949	713	14,854	90,2	1,455	201	3,294	36,552

ANNEXES

N	Nom_Forage	NAPPE	BI	resultats déanalyse
1	Aéroport 01	T.CON	0,02%	bonne analyse
2	Bandes 01	T.CON	1,56%	annalyse acceptable
3	C.147.Q.A.	T.CON	2,63%	annalyse acceptable
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	2,01%	annalyse acceptable
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	0,90%	bonne analyse
6	espace verte 02	T.CON	2,25%	annalyse acceptable
7	F.T.05	T.CON	0,28%	bonne analyse
8	F.T.07	T.CON	0,49%	bonne analyse
9	F.T.09	T.CON	0,95%	bonne analyse
10	F02/152	T.CON	0,42%	bonne analyse
11	FC 48B	T.CON	0,31%	bonne analyse
12	G.C.02	Ordo-Sup.	1,61%	annalyse acceptable
13	G.T.1	T.CON	1,39%	bonne analyse
14	G.T.10	T.CON	1,70%	annalyse acceptable
15	G.T.11	T.CON	1,28%	bonne analyse
16	G.T.12	T.CON	2,96%	annalyse acceptable
17	G.T.4	T.CON	3,22%	annalyse acceptable
18	G.T.5	T.CON	0,22%	bonne analyse
19	G.T.6	T.CON	2,24%	annalyse acceptable
20	G.T.7	T.CON	1,39%	bonne analyse
21	G.T.8	T.CON	0,51%	bonne analyse
22	G.T.9	T.CON	1,31%	bonne analyse
23	H.NT.106	V.SUP.	0,14%	bonne analyse
24	H.NT.110	T.CON	1,04%	bonne analyse
25	H.T.13	T.CON	1,01%	bonne analyse
26	HT.12.BIS	T.CON	2,43%	annalyse acceptable
27	HT.29	T.CON	3,14%	annalyse acceptable
28	O M 01	T.CON	0,45%	bonne analyse
29	O M 02	T.CON	1,75%	annalyse acceptable
30	O M 03	T.CON	0,65%	bonne analyse
31	O M 05	T.CON	1,62%	annalyse acceptable
32	O M 06	T.CON	2,46%	annalyse acceptable
33	O M 07	T.CON	0,82%	bonne analyse
34	O.A.01	T.CON	0,37%	bonne analyse
35	Oued Naga	T.CON	0,95%	bonne analyse
36	Oued Sonatr	T.CON	4,78%	mauvaise analyse
37	Oued Zez 02	W.TER.	0,96%	bonne analyse
38	S.A.3	V.SUP.	0,75%	bonne analyse
39	S.A.6	V.SUP.	1,47%	bonne analyse
40	S.A.7	V.SUP.	0,82%	bonne analyse
41	S.A.8	V.SUP.	1,14%	bonne analyse
42	S.A.9	V.SUP.	0,62%	bonne analyse

ANNEXES

N	Nom Forage	NAPPE	TH°f	La dureté totale de l'eau	FACIES CHIMIQUE
1	Aéroport 01	T.CON	68	très dure	sulfatée magnésienne
2	Bandes 01	T.CONau	65	très dure	sulfatée magnésienne
3	C.147.Q.A.	T.CON	74	très dure	chlorurée magnésienne
4	DAKHLA01	Ordo-Sup.	61	très dure	chlorurée sodique
5	DAKHLA02	Ordo-Sup.	53	dure	chlorurée sodique
6	espace verte 02	T.CON	73	très dure	sulfatée magnésienne
7	F.T.05	T.CON	70	très dure	sulfatée magnésienne
8	F.T.07	T.CON	70	très dure	sulfatée magnésienne
9	F.T.09	T.CON	69	très dure	sulfatée magnésienne
10	F02/152	T.CON	69	très dure	chlorurée magnésienne
11	FC 48B	T.CON	67	très dure	sulfatée magnésienne
12	G.C.02	Ordo-Sup.	43	dure	bicarbonatée magnésienne
13	G.T.1	T.CON	59	très dure	sulfatée sodique
14	G.T.10	T.CON	55	très dure	sulfatée magnésienne
15	G.T.11	T.CON	67	très dure	sulfatée magnésienne
16	G.T.12	T.CON	72	très dure	sulfatée magnésienne
17	G.T.4	T.CON	88	très dure	sulfatée magnésienne
18	G.T.5	T.CON	70	très dure	sulfatée magnésienne
19	G.T.6	T.CON	68	très dure	sulfatée magnésienne
20	G.T.7	T.CON	74	très dure	sulfatée magnésienne
21	G.T.8	T.CON	87	très dure	sulfatée magnésienne
22	G.T.9	T.CON	87	très dure	sulfatée magnésienne
23	H.NT.106	V.SUP.	88	très dure	chlorurée sodique
24	H.NT.110	T.CON	66	très dure	sulfatée magnésienne
25	H.T.13	T.CON	84	très dure	sulfatée magnésienne
26	HT.12.BIS	T.CON	70	très dure	sulfatée magnésienne
27	HT.29	T.CON	71	très dure	sulfatée magnésienne
28	O M 01	T.CON	71	très dure	sulfatée magnésienne
29	O M 02	T.CON	65	très dure	sulfatée magnésienne
30	O M 03	T.CON	72	très dure	sulfatée magnésienne
31	O M 05	T.CON	78	très dure	sulfatée magnésienne
32	O M 06	T.CON	70	très dure	sulfatée magnésienne
33	O M 07	T.CON	67	très dure	sulfatée magnésienne
34	O.A.01	T.CON	80	très dure	chlorurée calcique
35	Oued Naga	T.CON	44	dure	sulfatée sodique
36	Oued Sonatr	T.CON	71	très dure	sulfatée magnésienne
37	Oued Zez 02	W.TER.	101	très dure	sulfatée sodique
38	S.A.3	V.SUP.	96	très dure	chlorurée sodique
39	S.A.6	V.SUP.	92	très dure	chlorurée sodique
40	S.A.7	V.SUP.	100	très dure	chlorurée sodique
41	S.A.8	V.SUP.	97	très dure	chlorurée sodique
42	S.A.9	V.SUP.	97	très dure	chlorurée sodique

Annexe 01 : tableau des données de 42 forage actifs dans la région Tindouf.
ADE agence Tindouf 2017 (**fichier Excel**)