

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Centre universitaire de Tindouf

Institut des sciences et de la technologie
Département des sciences de la terre et de
l'univers



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

المركز الجامعي تندوف

معهد العلوم و التكنولوجيا

قسم علوم الأرض و الكون

DEPARTEMENTS DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention de diplôme de Master

Option : Hydrogéologie

Présenté par : SAMBAOUI salah

**TITRE :: Etude Hydro-Environnementale Appliquée En
Hydrogéologie : Cas d'Oum el Assel**

Soutenu devant le jury le: 11/10/2020

✚ HAMI Khelifa	MCA. C.U.Tindouf	Président
✚ Mme. DJELLOULI Della.K	MAA. C.U.Tindouf	Examinatrice
✚ ZEROUAL Ibrahim	MCA. C.U.Tindouf	Rapporteur

Année universitaire : 2019/2020

DEDICACES

Il y a certaines satisfactions que les mots et les phrases parviennent difficilement à les exprimer. Cela nous arrive lorsqu'il faut visualiser une émotion profonde afin d'être à la délicatesse des êtres qui nous sont très chers.

De plus, un mémoire n'est pas le fruit d'un seul travail de son auteur, mais le résultat de plusieurs et profondes collaborations, de ce fait :

Je dédie ce travail :

✚ A la femme qui m'a porté toute ma vie et qui m'a enveloppé de gentillesse. A la femme la plus extraordinaire et la plus douce du monde. Mère, je t'exprime mon profond amour.

✚ A celui qui a été et il est pour moi le modèle, la référence. A mon père, je lui exprime mon profond respect et j'espère que j'ai été à la hauteur. Ma joie est que tu sois fier de moi.

✚ A ma chère femme.

✚ A mon fils Anas

✚ A mes frères : aissa , Mohamed, djamel

✚ A la famille sambaoui.

✚ A mes amis : maarouf, walid, , Djamel, Karim, Aba, , Abdallah, Mohamed, Mustapha, Idris, khatri,

✚ A toute la promotion master Hydrogéologie 2019-2020

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

SALAH

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Dieu de nous avoir accordé toute sa miséricorde.

Je tiens à exprimer mon connaissance à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien ce travail.

A Docteur ZEROUAL IBRAHIM , maitre de conférences à l'institut des sciences de la technologie au centre universitaire Ali Kafî, ma promoteur qui m'a guidé et soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire je remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de leur expérience qui mon beaucoup aidée.

A Docteur HAMI KHELIFA , maitre de conférences à l'institut des sciences de la technologie au centre universitaire Ali Kafî ,qui a bien voulu présider le jury.

Je lui exprime toute mes gratitudes.

Je remercie Mme DJELOULI DELLA.K, maitre-assistant au centre universitaire ali kafî, d'avoir accepté d'examiner ce travail, je lui adresse mes plus respectueux remerciements.

Résumé :

L'eau de la nappe tertiaire continentale représente une ressource importante pour l'agglomération d'OUM EL ASSEL. A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude hydro environnementale pour des applications hydrogéologiques. Vu la situation 'confinement' qui a prévalu durant le second semestre 2019-2020, les analyses physicochimiques n'ont pu être effectuée malgré les prélèvements, pour des analyses comparatives. Dans le cadre de cette étude des métadonnées sont utilisées pour satisfaire les besoins de l'étude. L'objectif de ce travail étant d'analyser qualitativement et quantitativement l'hydrologie et l'hydrogéologie pour l'agglomération d'OUM EL ASSEL. Les résultats de la cartographie numérique ont permis de répondre à plusieurs questions relatives au sujet.

ملخص

تمثل المياه من المياه الجوفية القارية من الدرجة الثالثة موردًا مهمًا للمنطقة الحضرية في أم الأصيل. تحقيقًا لهذه الغاية ، يتكون العمل الحالي من إجراء دراسة مائية بيئية للتطبيقات الهيدروجيولوجية.

نظرًا لحالة "الحبس" التي سادت خلال النصف الثاني من 2019-2020 ، لم يتم إجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية على الرغم من العينات ، لإجراء تحليلات مقارنة. في هذه الدراسة ، يتم استخدام البيانات الوصفية لتلبية احتياجات الدراسة. الهدف من هذا أتاحت نتائج الخرائط الرقمية OUM EL ASSEL. العمل هو التحليل النوعي والكمي للهيدروولوجيا والجيولوجيا المائية لتكتل الإجابة على العديد من الأسئلة المتعلقة بالموضوع.

Summary :

Water from the continental tertiary groundwater represents an important resource for the urban area of OUM EL ASSEL. To this end, the present work consists in carrying out a hydro-environmental study for hydrogeological applications.

Given the "confinement" situation that prevailed during the second half of 2019-2020, physicochemical analyzes could not be carried out despite the samples, for comparative analyzes. In this study metadata is used to meet the needs of the study. The objective of this work is to analyze qualitatively and quantitatively the hydrology and hydrogeology for the agglomeration of OUM EL ASSEL. The results of the digital mapping made it possible to answer several questions relating to the subject.

SOMMAIRE

DEDICACES	
REMERCIEMENT.....	
RESUME.....	
ABSTRACT.....	
LISTE DES FIGURE.....	
LITE DES TABLEAUX.....	
INTRODUCTION GENERALE.....	
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE ET CADRE DE LA RECHERCHE	
I-1. Situation Géographique du Bassin Tindouf	4
I-2. Contexte géologique et structural... ..	5
I-2-1. STRATIGRAPHIE	5
I-2-2. APERÇU	5
I-3. L'effet Du Tectonique sur le Bassin de Tindouf	11
I-4. Cadre structural.....	11
I-5. Historique des recherches.....	12
I-6. Contexte Hydrogéologique General.....	13
I-7. Climatologique.....	16
V-2.II-9 Zone étudiée.....	20
V-5.II.10 Les informations hydrogéologiques de la région.....	26
IV-. Conclusion.....	28
CHAPITRE II APPROCHE METHODOLOGIQUE	
I. Introduction.....	30
II. Contexte objectif.....	31
II.1.Cas de la région d'OUM EL ASSEL.....	32
III-Méthodologies En Hydro-Environnement.....	35
IV - La Cartographie Numérique.....	38
IV-1.Les Aires D'Alimentations et de Captage (AAC).....	39
V-Données Et Méthodologie	40
Conclusion.....	43
CHAPITRE III APPLICATION	
Introduction.....	45
I-Présentation du site d'étude.....	45
II-Mission sur le terrain.....	46
III-1.Voisinage des réseaux de distribution.....	46
III.2.Approche : cartographie de voisinage.....	47
IV.1.Analyse et interprétation.....	56
IV.2 Recommandations.....	57
V- CONCLUSION.....	59
Conclusion générale.....	61
Bibliographie.....	62
Annexe	64

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE.....	4
Figure .1: Situation générale du Bassin de Tindouf.	4
Figure .2: Coupe géologique du Bassin de Tindouf (d'après Sougy, 1969).	9
Figure.3: Carte schématique la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf	13
Figure.4 : Variation des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09).	15
Figure.5 : Variations des températures moyennes, maximales et minimales à la station Tindouf	16
Figure.6 : carte présenté la situation géographique de la zone étudiée.	18
Figure.7: carte géologique montrant les différentes structures géologiques	19
Figure.8: les valeurs de la température moyenne mensuelle(2015).	22
Figure.9: les valeurs de précipitation mensuelle (2015)	22
Figure.10: les valeurs d'évaporation mensuelle de l'année 2015.	23
Figure.11: des valeurs moyennes mensuelles d'année 2015..	23
Figure.12: les valeurs des vents maximaux enregistrés mensuelle de l'année 2015	24
Figure.13: les valeurs de l'insolation moyenne mensuelle de l'année 2015	25
 CHABITER II	
Figure.01 : Carte des points d'eau du CI et du CT en Algérie	32
Figure.02: axe [hassi naga - oum el assel - hassi khebi] dans la hamada	33
Figure.03: Carte schématique la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf	35
Figure.04: Carte de fracturation de bassin de Tindouf (d'apres A.Benhamouche - 2003)..	35
Figure.05: STRATIQRAPHI DE BASSIN TINDOUF	43
Figure.06: système d'information pour les collectivités locales	44

CHABITER III

Figure.01 : plan de situation de la ville d'Oum el Assel	46
Figure.02: service technique de la mairie et le point du forage	47
Figure.03: 3A*3T*3E donne 27 chances de succès (forages puits).	49
Figure.04: topographie de la région D'Oum el Assel.	52
Figure.05: Relief défini par contour ou classe d'altitude .	52
Figure.06: situation des forages par rapport à l'agglomération d'Oum el assel.	53
Figure.07: description de la profondeur de la nappe .	54
Figure.08: représentation du niveau statique	54
Figure.08: représentation du niveau dynamique	55
Figure.09: influence du fateur chimique (chlorure)	55
Figure.10 influence de facteur physique	56
Figure11 influence du facteur facies chimique	56
Figure12 : situation des facies des forages par rapport à l'agglomération d'Oum el Assel	58
Figure 13 : Un exemple de modèle numérique pour un système environnemental.	59

LISTE DES TABLEAUX :

CHAPITRE I	Page
Tableau.1: Présentation de la station de Tindouf (1973/2009)	14
Tableau.2: Valeurs des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09)..	15
Tableau.3: Température moyennes, maximales et minimales à la station de Tindouf (73/09).	16
Tableau.4: la température moyenne mensuelle par degré Celsius de 2015.	22
Tableau.5: les valeurs de la précipitation mensuelle de l'année 2015.	22
Tableau.6: les valeurs d'évaporation mensuelles de l'année 2015.	23
Tableau.7: les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative (2015).	23
Tableau.8: les vitesses maximales de vent de la moyenne mensuelle de l'année 2015.	24
Tableau.9: les insolation moyennes mensuelles de l'année 2015.	24
Tableau.10 : Les oueds d'OUM EL ASSEL.	25
Tableau.11 : localisation de forage d'OUM EL ASSEL.	26
Tableau.12 : l'élément d'Un coupe géologie désignation d'OUM EL ASSEL	26
Tableau.13: les forages étudiés dans la région d'OUM EL ASSEL	27
 CHAPITRE II	
Tableau .01 : - Données algériennes	32
 CHAPITRE III	
Tableau.01 : des paramètres physiques.	50
Tableau.02 : des éléments chimiques.	50
Tableau.03: les valeurs des anions et les valeurs des cations majeurs.	51

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

La dernière décennie a vu un changement des mentalités envers l'environnement; les associations font de jour en jour pression sur les gouvernements pour mettre en place une politique plus claire en matière de protection et de préservation de l'environnement. Sachant que les institutions financières exigent des études d'impacts, il est nécessaire d'élaborer des textes d'application en vue de renforcer ces études pour préciser aux opérateurs la manière d'élaborer des projets d'infrastructures. Le décret exécutif n°90 - 78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement vient pour concrétiser cette protection et préservation.

Les réseaux d'énergie hydrique constituent un des facteurs déterminants dans le développement et l'animation des villes. De ce fait, la bonne gestion et la meilleure exploitation de ces derniers constituent une exigence. Pour cela, des études ont été faites préalablement et qui rentrent dans le cadre de la gestion et l'exploitation des réseaux d'alimentation.

Dans les zones arides et semi-arides cette problématique devient très sérieuse au vue des sollicitations et besoin en eau. La partie concernant cette étude se situe au nord (Oum el Assel) de la ville de Tindouf, cette agglomération consomme l'eau par plusieurs forages d'eau potable, il trois forages principaux qui sont exploitables (l'alimentation de la région d'Oum el Assel) par des forages F2 et F4 (la plupart des habitants), et Hassi baladai avec un réseaux de stockage vers les châteaux et dirige vers les habitants par gravité (transport de l'eau), et l'utilisation d'autres forages pour l' agriculture(irrigation).

Il existe des forages qui ne sont pas exploitable, cette quantité des eaux (nappe tertiaire continentale) a besoin d'une étude pratique pour cette étude des métadonnées sont utilisées pour satisfaire les besoins de l'étude. L'objectif de l'étude étant d'analyser qualitativement et quantitativement l'hydrologie et l'hydrogéologie pour l'agglomération d'OUM EL ASSEL.

Afin d'arriver à ces résultats, il est nécessaire de dégager une approche d'évaluation environnementale de la distribution en eau engendrée par la mise en place des réseaux et ouvrages électricité et gaz. En effet, à tout moment l'environnement de ces ouvrages a besoin d'être surveillé et protégé par l'homme, les techniques classiques de surveillance ne sont plus suffisantes pour des interventions rapides. Dans ce sens, un système d'information de l'entreprise peut se révéler une alternative très bénéfique quand à l'évaluation des incidents ainsi que le suivi et l'étude du comportement des réseaux en temps réel. Les résultats de la cartographie numérique ont permis de répondre à plusieurs question relative au sujet , pour cela notre travail est divisé en trois chapitres :

Chapitre 1 : généralités géologiques et hydrogéologiques du bassin de Tindouf

Chapitre II : Approche Méthodologique

Chapitre III : Application hydro environnementale à Oum El Assel.

Chapitre I : généralités géologiques et hydrogéologiques du bassin de Tindouf

I.1- Situation Géographique du Bassin de Tindouf

Le bassin de Tindouf est délimité par la longitude $4^{\circ}00'$ et $8^{\circ}30'$ Ouest et la latitude $27^{\circ}00'$ et $30^{\circ}00'$ Nord qui couvre une superficie de 130.000km^2 . Sous forme d'une dépression dissymétrique orienté ENE-WSW, avec un flanc nord à fort pendage (de 8 à 12°) et plissé en relation avec une série des failles complexes de direction globale EW à NE-SW. Tandis que le flanc sud à très faible pendage (3° maximum). Il se situe dans la partie Sud-ouest du Sahara Algérien, Ce bassin est limité:

- Au Sud, par le massif (Bouclier Réguibat).
- Au Nord, par l'Anti-Atlas Marocain,
- A l'Ouest par les frontières Algéro-Marocaine et Algéro-Sahraoui.
- A l'Est, par les monts d'Ougarta et Erg Chèche.

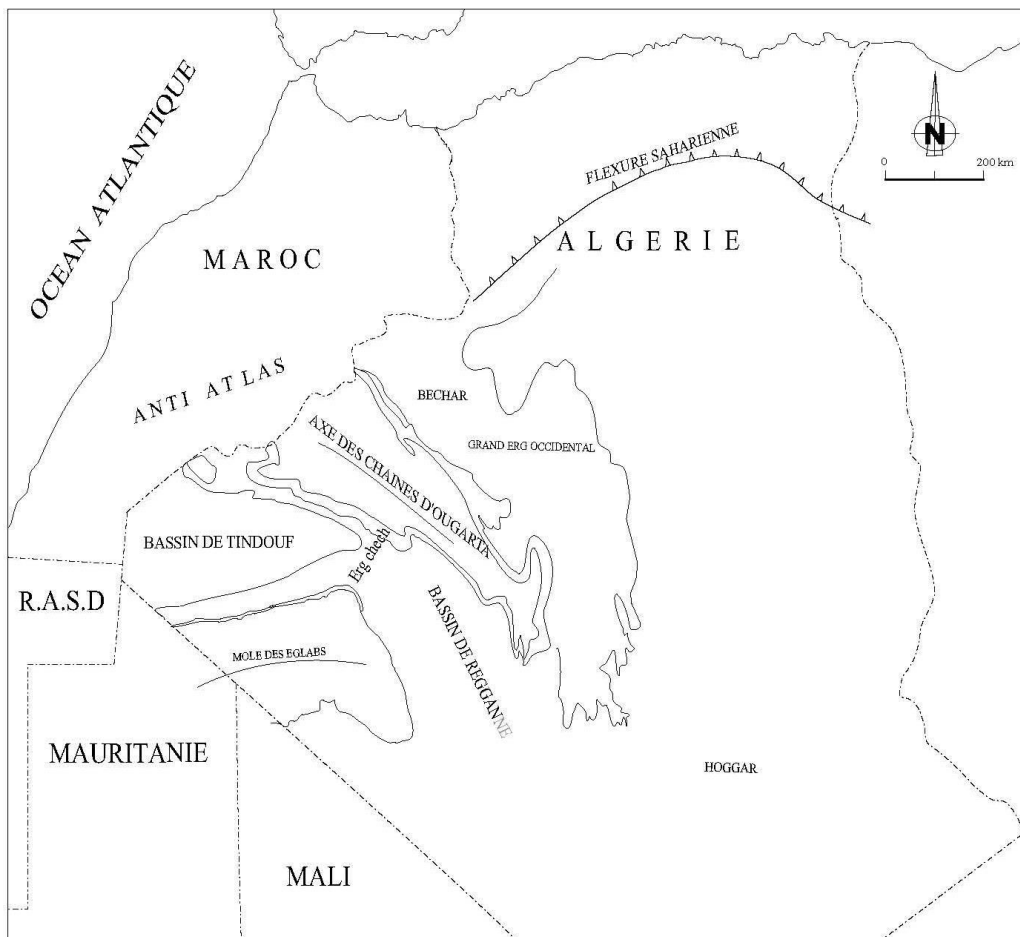


Fig.01 : Situation générale du Bassin de Tindouf.

I.2-Contexte géologique et structural :

I-2.1-STRATIGRAPHIE

Le bassin de Tindouf qui correspond à une dépression dissymétrique s'appuie en pente douce sur le bouclier Réguibat au Sud, alors que le flanc nord est fortement redressé vers sa limite nord, au contact de l'Anti-Atlas marocain. Il s'agit d'un bassin péricratonique qui s'est développé sur la marge nord du craton ouest-africain [1]

Son remplissage sédimentaire s'effectue du Cambrien au Carbonifère, et son épaisseur atteint entre 8000 et 10000 m [2]. Les dépôts, principalement argilo-gréseux, se sont mis en place dans des environnements fluviatiles à marins peu profonds. Le Dévonien moyen et le Viséen renferment des niveaux plus carbonatés. La série méso-cénozoïque qui repose en discordance sur le Paléozoïque a une puissance variable qui ne dépasse pas 130 m.

I-2.2 APERÇU STRATIGRAPHIQUE :

2-1 Le protérozoïque :

Au nord, le bassin de Tindouf repose en discordance majeure sur le socle éburnéen des Eglab [3] ; par la série chisto-quartzitique de précambrien II, surmonté par le groupe de Saghro de précambrien II-III qui est essentiellement volcano-détritiques, le groupe de Ouarzazate volcano-détritiques, et argilo-gréseuse rouge de précambrien il recouvre l'ensemble protérozoïque Tandis qu'au sud, on note l'absence de protérozoïque.

2-2 Le Paléozoïque :

Le remplissage du bassin de Tindouf est un ensemble essentiellement paléozoïque, recouvert en discordance par les formations hamadiennes, le plus souvent du Néogène. Le Paléozoïque affleure entièrement au sud. Par contre au nord, le Famennien et le carbonifère apparaissent uniquement dans le paysage. Les autres termes du Paléozoïque se trouvent en territoire marocain

2-3 Le Cambrien :

Dans le nord du bassin de Tindouf, le Cambrien affleure dans l'Anti-Atlas marocain où on distingue:

Un **Cambrien inférieur**: débute par la formation des calcaires supérieurs (200 à 400m), alternance de bancs calcaires et de lits argileux. Cette série contient des Trilobites, qui seraient les plus anciens connus au monde. Surmonté par des schisto- calcaire (300 à 450m), formée d'une alternance de schistes verts à Trilobites et de calcaires à Archeocyathidés.

Un **Cambrien moyen**: représenté par une série schisteuse à Paradoxi des ou « schistes des Feijas internes » dont l'épaisseur varie de 100 à 500 m. Vers l'est, la partie supérieure de cette formation devient gréseuse. Cette série est couronnée par la formation des grès de Tabanit, à Paradoxi des et Lingules, épaisse de 100 à 150 m.

2-4 L'Ordovicien:

Au nord du bassin de Tindouf ,l'Ordovicien est représenté par un ensemble chisto-gréseux, avec de très rares intercalations de calcaires. Son épaisseur dans la région du Drapeut atteindre 2000 m. Il comprend les formations suivantes.

2-5 Le Silurien;

Dans la bordure sud du bassin de Tindouf, le Silurien est surtout schisto - argileux. Cet ensemble, dénommé "formation de la Sebkhah Mahbès (5à120m) s'étend du landoverien moyen au Pridolien.

2-6 Le Dévonien :

a)- Le Dévonien inférieur :

Au nord du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur comprend les deux formations suivantes :

-un membre argileux (400m à l'ouest et quelques dizaines de mètres à l'est),où s'intercalent des niveaux gréseux et des calcaires. Ce membre est daté par des Brachiopodes, Trilobites, Tentaculites et Conodontes qui indiquent un âge Lockhovien (Gédinnien, Siegénien inférieur et moyen).

Un membre gréseux(700à800m)qui est constitué par des bancs de grès formant des crêtes (les Rich). Ces grès comportent des calcaires fossilifères datés Emsien. On distingue trois Rich d'âge différents (deux de l'Emsien inférieur, le troisième dans l'Emsien supérieur).

b)-Le Dévonien moyen :

Dans le nord du bassin de Tindouf, le Dévonien moyen est constitué par les termes suivants :

Une formation argilo-calcaire épaisse de300m, comportant des schistes à Génialités, des grès et quelques calcaires formant le quatrième Rich. Cet ensemble est daté Eifélien.

Une formation calcaire d'âge Givétien très fossilifère: Goniatites, Arthrodières, Trilobites. La puissance de cette formation est faible (50 à 100m).

c)-Le Dévonien supérieur :

Le Dévonien supérieur du nord du bassin de Tindouf, représenté par une puissante série argileuse (les argiles de la plaine du Dra), comprend un Frasnien argileux à intercalations calcaires, un Famennien inférieur entièrement argileux et un Famennien supérieur argileux à intercalations gréseuses et grésocalcaires. L'épaisseur du Dévonien supérieur peut atteindre 3000m.

2-7 Le Carbonifère :

Le Carbonifère du flanc nord du bassin de Tindouf est subdivisé en cinq unités lithostratigraphiques sur la base d'arguments stratigraphiques, lithologique et morphologiques.

- Les grès et schistes de Tazoult (111md'épaisseur): ils appartiennent au Tournaisien supérieur [4].
- Les grès et schistes de la Bétaina (800md'épaisseur):ils sont datés du Viséen inférieur et de la première partie du Viséen supérieur.

✚ la série de l'Ouarkziz, comprend trois membres :

- ✓ Les calcaires inférieurs de l'Ouarkziz (356 m d'épaisseur), à Gigantoproductidés et polypiers du Viséen supérieur.
- ✓ L'Ouarkziz moyen (111,5md'épaisseur):composé d'argiles et de marno-calcaires dolomitiques avec, localement, des lentilles degypse massif. Ce membre correspond à la limite Viséen supérieur-Namurien.
- ✓ Les Calcaires supérieurs de l'Ouarkziz (102 m d'épaisseur), à Gigantoproductidés et polypiers du Namurien.

✚ la série de la Bétana , de nature continentale, comprend:

- ✓ à la base, la formation des grès du Djebel Réouina(500md'épaisseur), composée de grès, d'argilites et de calcaires. Elle contient de nombreux débris de végétaux terrestres du Namurien.
- ✓ Au sommet, la formation de Merkala (500à700md'épaisseur),est constituée essentiellement par une alternance de grès à grains fins, en bancsmétriques,etd'argilesrouges.Cetteformationcontientdesfougères caractéristiques du Stéphanien inférieur.

✚ Entre les deux membres précédents, on trouve la formation d'Ouadène, datée du Westphalien, qui est formée de grès dont l'épaisseur maximale atteint 45m.AusuddubassindeTindouf, le Carbonifère comprend les formations suivantes

✓ La formation de Krebs Slougua, correspondant au Tournaisien. Elle est composée de grès et de calcaires passant à des argiles et des grès, L'épaisseur de la formation atteint 584 m.

✓ La formation de Krebs Sefiat, d'âge Viséen inférieur Sabase 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.

✓ La formation d'AïnelBarka, qui 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.

✓ La formation de Hassi Aoulouel, qui est représentée par des sédiments argilo gréseux indifférenciés du Namurien et du Westphalien. Son épaisseur atteint 345m.

2-8 Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque, quant à lui, est représenté dans le bassin de Tindouf par la formation de la Hamada à faciès essentiellement carbonaté associé à des grès et des argiles.

2-9 Le Tertiaire et le Quaternaire :

Dans le bassin de Tindouf, les terrains post-paléozoïques sont représentés par la Hamada de Tindouf, qui ne dépasse jamais 100 m d'épaisseur. Cette formation est constituée essentiellement d'un complexe gréso-argileux, d'âge probablement Paléocène, supportant une dalle calcaire d'origine lacustre Néogène. Selon J. Fabre, au nord du bassin de Tindouf, la base de la Hamada comprendrait une série gréseuse du Crétacé inférieur.

✓ L'épaisseur de cette formation atteint 600 m.

✓ La formation de Hassi Aoulouel, qui est représentée par des sédiments argilo gréseux indifférenciés du Namurien et du Westphalien. Son épaisseur atteint 345 m.

2-8 Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque, quant à lui, est représenté dans le bassin de Tindouf par la formation de la Hamada à faciès essentiellement carbonaté associé à des grès et des argiles.

2-9 Le Tertiaire et le Quaternaire :

Dans le bassin de Tindouf, les terrains post-paléozoïques sont représentés par la Hamada de Tindouf, 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 J. Fabre, au nord du bassin de Tindouf, la base de la Hamada comprendrait une série gréseuse du Crétacé inférieur.

I-3 L'effet De la Tectonique sur le Bassin de Tindouf

Le bassin de Tindouf s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur) [6] Sa bordure sud est monoclinale à faible pendage (1 à 2° Nord en moyenne). La structure de cette bordure est caractérisée par la présence de trois môles ou zones hautes (Aouinet, Laroussi et Bou Bernous) séparées par les sous- bassins de Djebilet et de l'Iguidi. Le sous-bassin de Djebilet est peu profond, tandis que celui de l'Iguidi a été fortement subsident. Quelques failles de direction OSO-ENE ou SO-NE recoupent l'ensemble du Paléozoïque et sont injectées de dolérites.

La bordure nord du bassin est très redressée contre l'Anti-Atlas marocain. Le pendage des couches varie de 8 à 12°. La série paléozoïque est ici fortement plissée. Les plis, lourds dans l'Ordovicien, plus souples et nombreux dans le Dévonien, forment la grande zone anticlinale de Zémoul-Adim Filou. Cette zone, affectée par de nombreuses failles (dont certaines s'étendent sur une distance dépassant 150km et avec des rejets de l'ordre de 200 à 400 m), contient des sills et des dykes doléritiques,[2]. Dans la partie ouest de la zone anticlinale Zémoul-Adim Filou, la direction des plis et des failles est NO- SE, c'est à dire parallèle à la chaîne d'Ougarta. A l'est, la direction est OSO-ENE, c'est-à-dire proche de celle de l'Anti-Atlas. La présence de cette zone subsidente et fortement plissée au nord du bassin de Tindouf, serait dû à l'existence en profondeur d'un accident majeur du socle (décrochement) de direction ENE.

I-4 Cadre structural

Le bassin de Tindouf est l'aboutissement d'une histoire tectonique dont les premières manifestations remontent au Précambrien. Les différentes orogénèses de cette partie du Sahara sont les effets directs des collisions intercontinentales qui ont affecté les plaques africaines et Nord-américaine [7] La couverture sédimentaire a subi un certain nombre d'actions tectoniques;[8] on a :

1- Phase cadomienne : ayant affectée les sédiments infracambriens en un système d'ondulations NO-SE en "horsts et graben" plus ou moins accusé. Cette tectonique n'est visible qu'au Sud de la Dorsale Reguibat, et d'autant mieux qu'on se déplace vers l'Est ;

2- Phase calédonienne : très peu marquée mais perceptible sous forme de certains bombements du socle notamment vers le 6° méridien Ouest;

3- « plissements » Hercyniens : ayant engendré le vaste synclinal dissymétrique de Tindouf, régulier à l'Ouest, bosselé à l'Est;

4- Phase hercynienne ultime : responsable des grandes failles obliques (NE-SO ou ENE-OSO);

5- Mouvements post-hamadiens : ayant repris, d'une part, les courbures paléozoïques sous-jacents, d'autre part les ultimes cassures hercyniennes sur lesquelles sont calquées les lignes directrices de l'érosion post-hamadienne ;

La réflexion d'ensemble du bassin est primordiale en raison de la position charnière qu'occupe cette synclise entre un Anti-Atlas mobile et une dorsale Reguibat (vieux craton stable). C'est cela qui explique l'opposition entre un flanc sud calme et un flanc nord à structure complexe.

I-5 Historique des recherches

La première découverte du caractère paléozoïque des séries sédimentaires du bassin de Tindouf revient à **Oscar, (1880)** in **Gevin, (1960)**, les matériaux paléontologiques recueillis furent étudiés par **Guido (1883)** in **Gevin, (1960)**, qui reconnut des fossiles permettant d'affirmer la présence du Dévonien et du Carbonifère. Les premiers travaux de lithostratigraphie furent menés essentiellement par Menchikoff en 1930; ce n'est que de nombreuses années plus tard, **Gevin, (1960)**, a pu rapporter une excellente synthèse stratigraphique associée à une description détaillée de plusieurs coupes levées sur le flanc sud du bassin.

Par ailleurs, d'autres études récentes dirigées par l'Office de recherche géologique et minière en Algérie (**ORGM**), ont été réalisées sur les plans paléontologiques, stratigraphiques, sédimentologiques, géochimique et structurales, tels que les travaux de **Guerrak (1985, 1989)** et **Bitam et al, (1996)**.

Fabre (1967, 1976, 2005) a établie des études géologiques sur le bassin de Tindouf, au niveau lithostratigraphique et structural.

Chabou et al (2007) ont effectué des études sur les dolérites du flanc sud bassin de Tindouf.

I-6-CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

Pour une meilleure compréhension de l'hydrogéologie de la région, nous exposons ici, les grands traits hydrogéologiques du bassin de Tindouf.

Les études menées dans les différents étages structuraux du bassin de Tindouf ont montrés la présence d'un socle cristallin d'âge Précambrien, représenté par des schistes, des quartzites et roches granitiques.

La couverture sédimentaire qui surmonte ce socle cristallin en discordance angulaire, dessine une vaste structure synclinale. Elle est représentée essentiellement par les assises du Paléozoïque sur lesquelles repose les formations hamadiennes attribuées au Tertiaire et quaternaire.

Les différentes nappes qui intéressent le bassin de Tindouf sont de bas en haut [9]

a)-NAPPE DES CALCAIRES A STROMATHLITES DE L'INFRA-CAMBRIEN :

Elle est connue uniquement dans le bassin de CHENACHENE à 650 km environ au Sud-Est de la ville de Tindouf et n'est sollicité que par un seul forage à son amont Débitant 2,50 l/s.

b)-LA NAPPE DES GRES ET QUARTZITES DE L'ORDOVICIEN SUPERIEUR :

Les eaux sont de très bonne qualité pour la consommation humaine. Cette nappe est connue au sud de la région, ou les débits des forages sont de l'ordre de 02 à 12 l/s. Elle est sollicitée par deux (02) forages dans la localité de Gara-Djebilet, GC1 (fermé) et GC2 (06 l/s p/AEP) et deux (02) forages Dakhla 1 et 2 et une vingtaine de puits traditionnels dans la localité de Aouinet Bel-Lagraa .

c)-LA NAPPE DES GRES DU DEVONIEN INFERIEUR :

Elle n'est connue qu'au sud de la région, aux environs de Gara - Djebilet ou très difficilement les forages d'exploitation pourront fournir des débits supérieurs à 02 l/s.

Jusqu'à l'heure actuelle, cette nappe n'est pas encore exploitée, [10]

d)-LA NAPPE DE LA HAMADA

Cette nappe intéresse toute la partie septentrionale de la Wilaya, elle couvre une superficie de 23 000 km² environ. La formation réservoir, attribuée au tertiaire est constituée essentiellement par des sables fins à grossiers et sables argileux, surmontée par une dalle de calcaire silicifié. Son épaisseur est d'environ 10 m près de Sebkhah Abdallah passant à une centaine de mètres vers le centre du bassin aux environs de Hassi-naga.

Actuellement elle est exploitée dans les zones de Hassi Ammar, Oued Zez, Oued M'heiya, Graret El-Harth, Oued En-Naga, Oum El- Assel et Hassi Khebbi avec un débit allant de 0,5 à 07 l/s. La minéralisation des eaux varie entre 0,9 et 03 g/l.

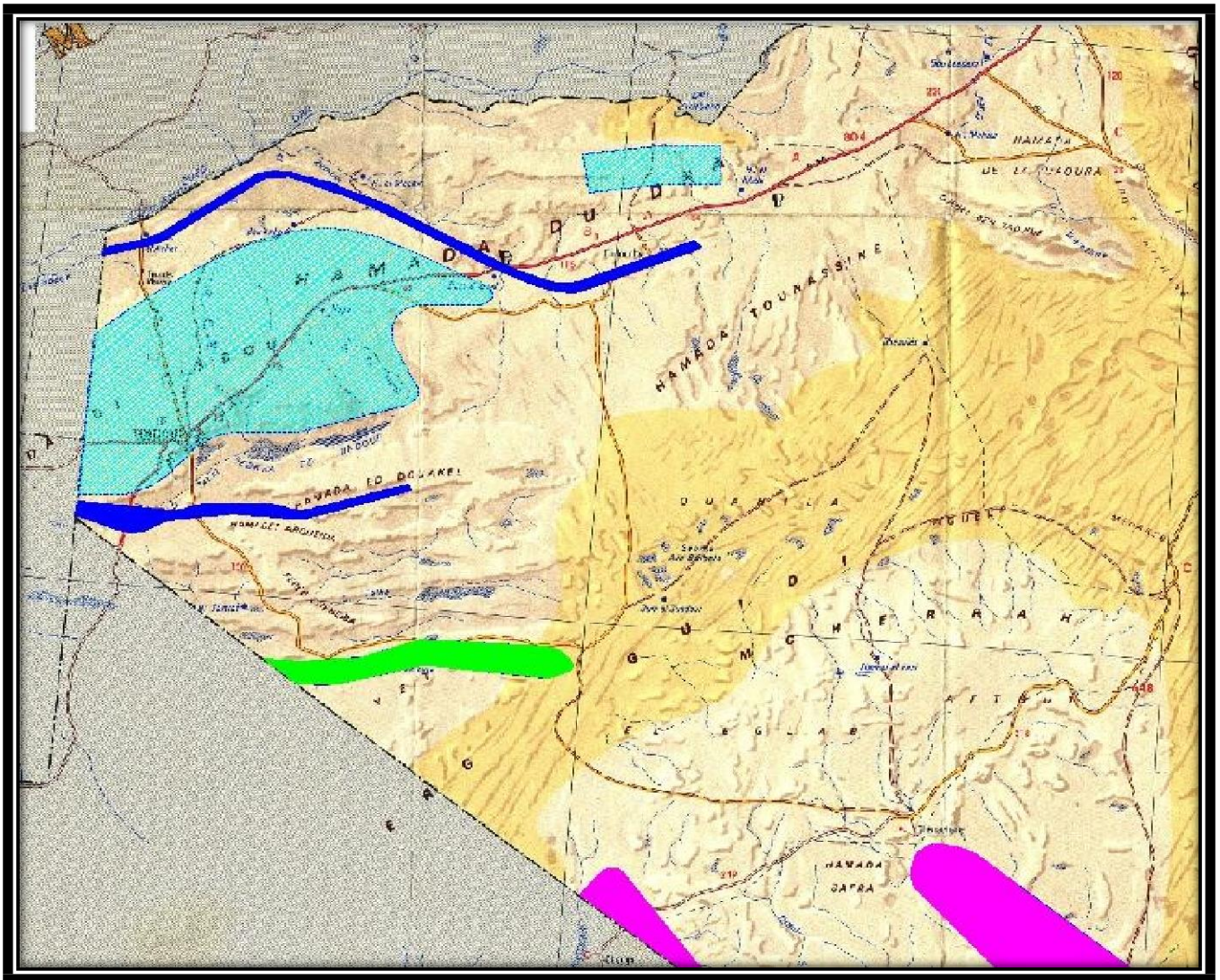
e)-LA NAPPE DES CALCAIRES ET DOLOMIES DU VISEEN-TERMINAL

C'est la source principale d'approvisionnement de la ville de Tindouf en eau potable. Elle constitue le plus important réservoir en eau de la région.

La minéralisation des eaux varie entre 2,4 et 2,6g/l à Hassi Abdallah. Les débits des forages sont de l'ordre de 10 à 45 l/s.

Actuellement la nappe est exploitée à 146,76l/s ou 2563614 m³/an avec rabattement de 0.5m pour une période de 2 années.

A l'an 2040 le volume extrait devait atteindre 475l/s (besoin brut de la future station de déminéralisation) ; ce qui nous amène à penser sur le devenir de cette ressource surtout que les possibilités réelles de son utilisation sont mal connues.



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

Fig.03 : Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf [11]

I-7. CLIMATOLOGIQUE

Le climat est l'ensemble des phénomènes (vent, précipitation, température, évaporation) qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre. La climatologie du Sahara est un sujet d'étude complexe à cause de la rareté des précipitations et de la faible densité du réseau de la station météorologique. Les données relatives aux précipitations et aux températures ont été recueillies à la station de Tindouf pour une période d'étude qui s'étale de 1973 à 2009. Cette station est installée à une altitude de 443m, aux coordonnées géographiques indiquées dans le tableau.1.

Tableau.1 : Présentation de la station de Tindouf (1973/2009)

Latitude	Longitude	Altitude (m)
27° 42' 00'' N	08° 10' 00'' W	443

1- Etude des précipitations :

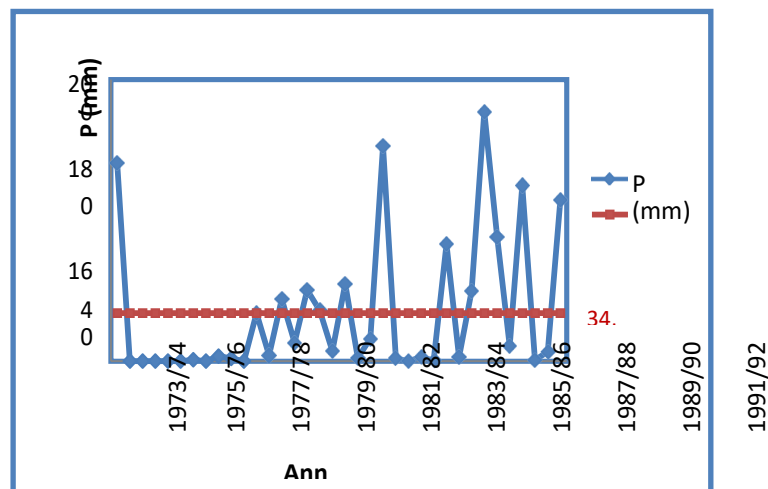
Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques recueillies par un bassin versant ou une zone déterminée.

1-1- Précipitations annuelles :

Les précipitations annuelles à la station de Tindouf sont mentionnées dans le tableau.2.

Tableau.2 : Valeurs des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09).

Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1973/74	140,9	1983/84	0	1993/94	15,9	2003/04	88,4
1974/75	0	1984/85	34,0	1994/95	152,9	2004/05	10,7
1975/76	0	1985/86	4,1	1995/96	2,0	2005/06	124,7
1976/77	0	1986/87	44	1996/97	0	2006/07	0,8
1977/78	0	1987/88	13,2	1997/98	2,8	2007/08	6,6
1978/79	0	1988/89	50,6	1998/99	0,5	2008/09	114,3
1979/80	1,0	1989/90	36	1999/00	83,1		
1980/81	0	1990/91	7,1	2000/01	2,8		
1981/82	3,6	1991/92	54,8	2001/02	49,8		
1982/83	2,0	1992/93	2,2	2002/03	177,1		
Moyenne annuelle =34,5 mm							

**Fig.04:** Variation des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09).

On constate que la courbe ne présente pas une symétrie par rapport à la moyenne des précipitations annuelles qui est de 34,5 mm/an calculée sur une période de 36ans.

Le maximum de 177,1mm est observé en (2002-03) et le minimum nulle (0mm) est enregistré plusieurs années durant la période considérée.

2- Etude des Températures :

La température est un facteur important qui détermine le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elle permet avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques.

Le tableau 3 regroupe :

- les moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales (TM).
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (Tm).
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures moyennes (TM+Tm)/2.

Tableau.3: Température moyennes, maximales et minimales à la station de Tindouf (73/09).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T _m (°C)	22,9	18,3	12,4	8,4	7,5	9,6	12,8	14,4	17	21,1	26,5	26,8	16,5
T _M (°C)	38,3	32,6	26,3	21,4	21,2	24,2	28,1	31	34,7	39,2	44,4	43,3	32,1
T _{moy} (°C)	30,6	25,5	19,4	14,9	14,4	16,9	20,5	22,7	25,8	30,2	35,4	35,1	24,3

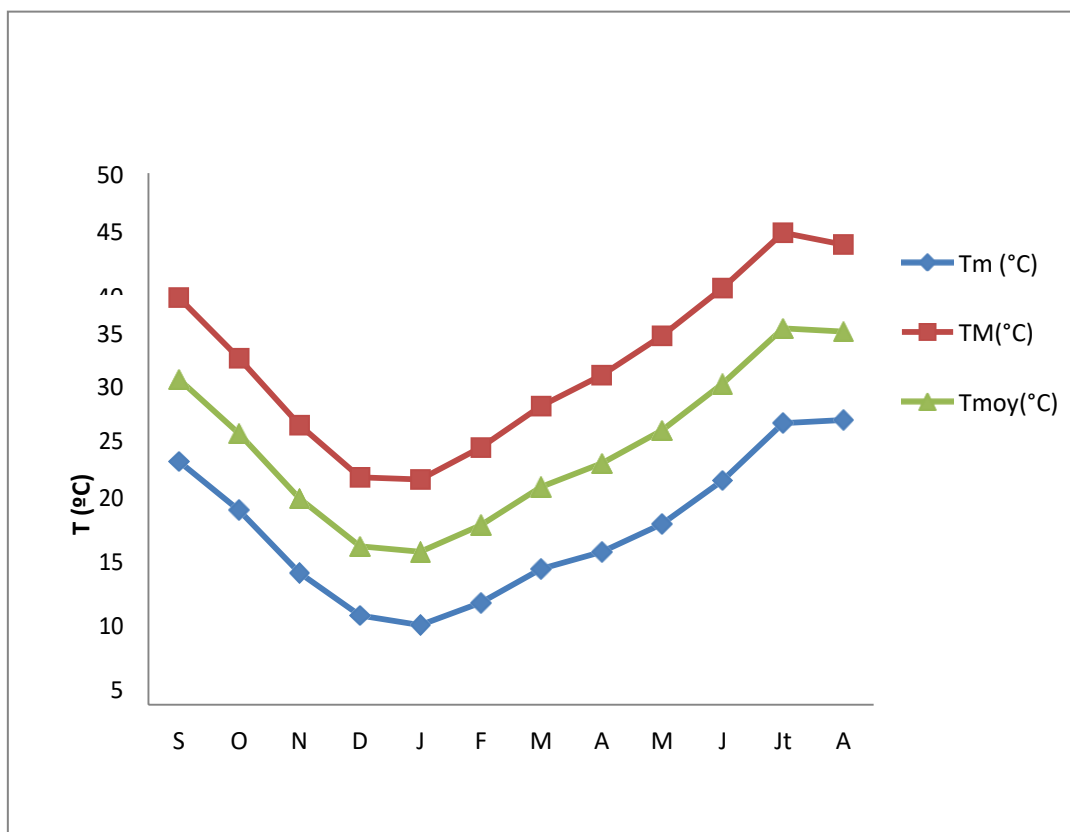


Fig.05 : Variations des températures moyennes, maximales et minimales à la station Tindouf (1973/09

Les températures moyennes mensuelles des minima sont comprises entre 7,5°C en Janvier et environ 26,8°C en Août.

Les moyennes mensuelles des maxima varient entre 21,2°C en Janvier et 44,4°C en Juillet. Quant aux températures moyennes observées, nous notons un maximum au mois de Juillet (35,4°C) et un minimum au mois de Janvier (14,4°C).

remarques

A partir de l'étude climatique de la station de Tindouf sur la période allant de 1973 à 2009, nous avons aboutis aux résultats suivants :

- Une moyenne annuelle de précipitation de 34,5 mm avec Octobre le mois le plus humide (9,1 mm) et Avril le mois le plus sec (0,4 mm).
- Une moyenne annuelle de température de 24,3°C, avec janvier le mois le plus froid (14,4°C) et juillet le mois le plus chaud avec 35,4°C.
- à l'échelle saisonnière l'étude des précipitations montre que l'automne et l'hiver sont les saisons les plus humides et le printemps correspond à la saison la plus sèche.
- L'indice de De Martonne montre que la région étudiée est soumise à un climat hyper-aride.
- En ce qui concerne l'évapotranspiration potentielle (ETP) la méthode numérique de Thornthwaite a permis d'obtenir des valeurs mensuelles supérieures à celle des précipitations ce qui a rendu impossible le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).

V)- Zone étudiée :

V.1-Situation géographique d'OUM EL ASSEL :

C'est une commune de la wilaya de Tindouf en Algérie située à 210 km au nord-est de Tindouf et 1300 km au sud-ouest d'Alger.

Elle est, avec sa superficie de 88 865 km²,

La commune d'OUM EL ASSEL est située au sud-ouest de l'Algérie, à la limite avec le Maroc (au nord) et la Mauritanie (au sud). Son territoire est délimité.

-au nord, par la frontière marocaine ; au sud-est, par les communes de Adrar ; au nord-est et à l'est, par la commune de Tabelbala ; -au sud et à l'ouest, par la commune de Tindouf.

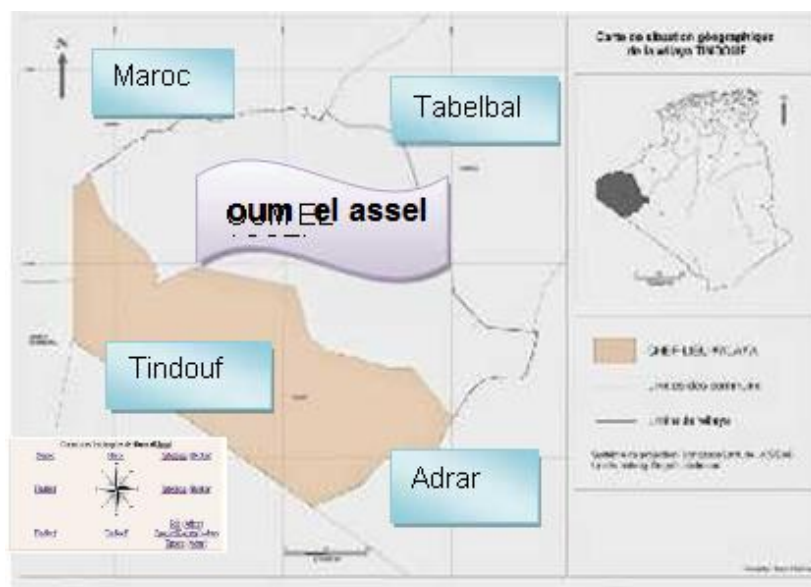


Fig.06 : carte présentée la situation géographique de la zone étudiée.

V)- 2 Cadre géologique :

Dans le bassin de Tindouf le flanc sud a fait l'objet de nombreuses études liées à la recherche minière après la découverte par [8] dans les années cinquante du gisement de fer da Gara Djebilet situé au sud- Est de la ville de Tindouf.

Concernant le flanc Nord du bassin, il n'existe que très peu de travaux géologiques et particulièrement les forage réalisé par la compagnie pétrolière Sonatrach dans les années fin soixante soixante dix.

Son flanc Nord étroit et très redressé, est affecté de plis linéaires, réguliers et fortement accusés de direction NE-SW.

On distingue trois structures : Le plis d'Adam Filou, l'anticlinal Oum El Assel Tinchouchy et l'anticlinal de Zemoul Igma.

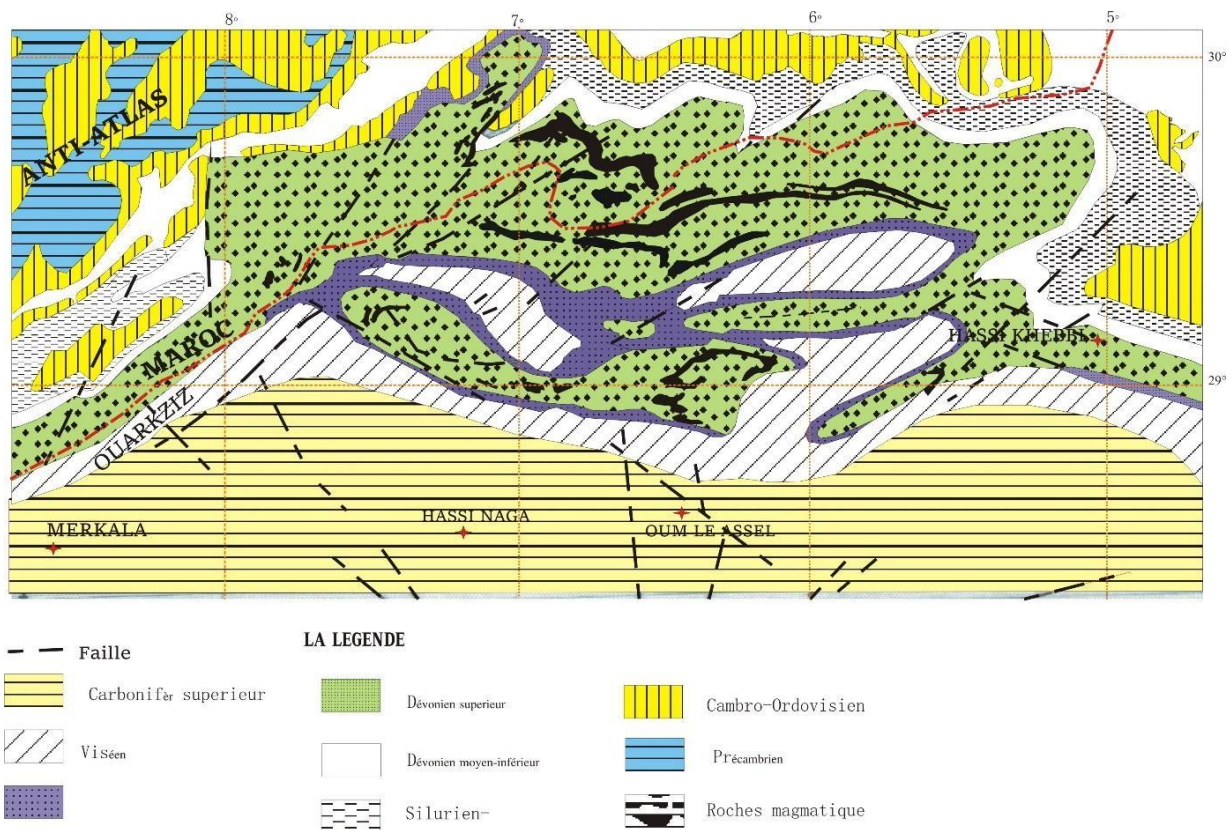


Fig.07 : carte géologique montrant les différentes structures géologiques [12]

V.3-Géologie d'OUM EL ASSEL :

La majorité de la géologie formée OUM EL ASSEL : Hamada, des plaines et des dunes de sable . Hamada : terrains plans à vastes creusement d'érosion la région de gara Djebilet et OUM EL ASSEL ou affleurent les dépote paléozoïque du bassin de Tindouf avec des crêtes caractéristique soulignés par des oueds à direction parallèles contant un grande réserve de calcaire. La géologie de la zone d'OUM EL ASSEL de l'état des plaines de Tindouf et des mots de plateaux C'est un affleurement de calcaire du viséen supérieur longent la route de Tindouf à 40km nord/ este d'OUM EL ASSEL. Ce sont des calcaires micro-spars tique d'origine chimique et organogène quartz terrigène calcaire gris-sombres, bleuâtre ou violacé Ces calcaire apparaissent sous forme d'un bande longue d'environ 80km Ils plongent vers le nord l'épaisseur moyenne exploitable de cette série est de 20-30m environ les résultantes précédent montré que le terrain représente un structure monoclinale forme de bas en haut :

1) **Viséen** : banc de calcaire en dalles (niveaux exploitable), massifs parfois a ocres d'oxydes des fers on note une calcification dans les zones de broyage .épaisseur moyenne des calcaire varie de 15-20m avec un pendage de 5°vers l'Ouest.

2) **Tertiaire** : marnes verdâtre très friable acores d'oxydes de fer épaisseur apparente de 6-5m

Calcaires lacustres en plaquettes de couleur jaunâtre sombre, à croutes silice-carbonatée et oxydes de fer oxydées .la structure est tabulaire d'épaisseur de 6-8m [13].



Photo01 :plate-forme de la région d'O EL A.

V.4- Climat de la région :

Le climat d' OUM El ASSEL C'est une climat désertique typique de la zone saharienne. Caractérisé par la température élevée en moins Septembre, Octobre, et Juin, Julia Aoute , et même chose que l'évaporation .

Le précipitation plus faible de toutes les moises soufi que le moise : Octobre et résultant que cette climat désertique sec. Chaude dans l'été et frais dans l'hiver.

V.4.1-la température :

Tableau 04 : la température moyenne mensuelle par degré Celsius de 2015.[14]

Moi	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Ava r	Mai	Juin	Jui l.	Aou t
T°C	28.2	23.9	18.2	14	12.8	14.7	18.4	25.5	28.6	29.5	32	33.2

V.4.2- précipitations :

Tableau 05 :les valeurs de la précipitation mensuelle de l'année 2015. [14]

Moi	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aou.
P (mm)	7,6	132	0	0	1	0	0	0	0	0	1	20,7

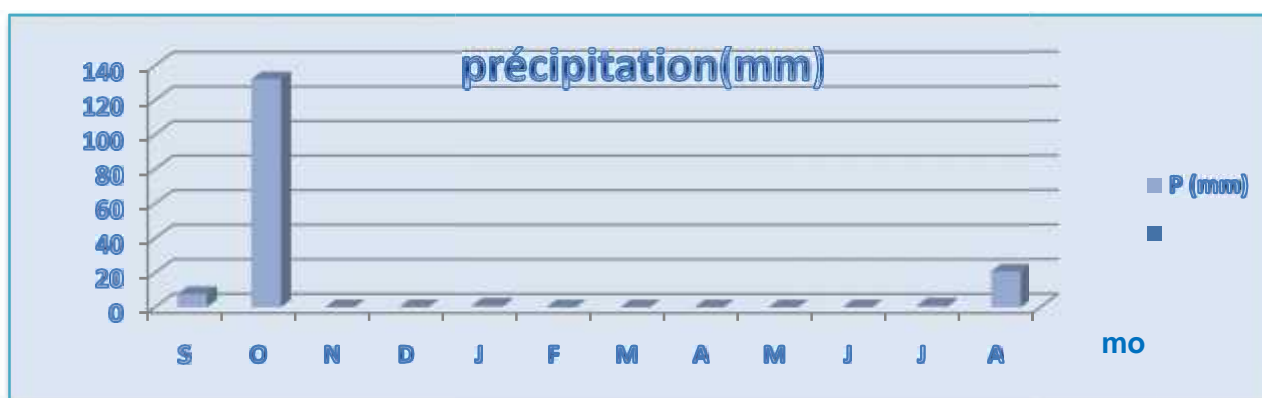


Figure 09 : les valeurs de précipitation mensuelle (2015) .

V.4.3-Evaporation :

Tableau 06 : les valeurs d'évaporation mensuelles de l'année 2015. [14]

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou
E(mm)	234,4	134,4	129,7	120,9	132,2	125,4	195,5	261,6	260,3	331,8	346,5	359,4

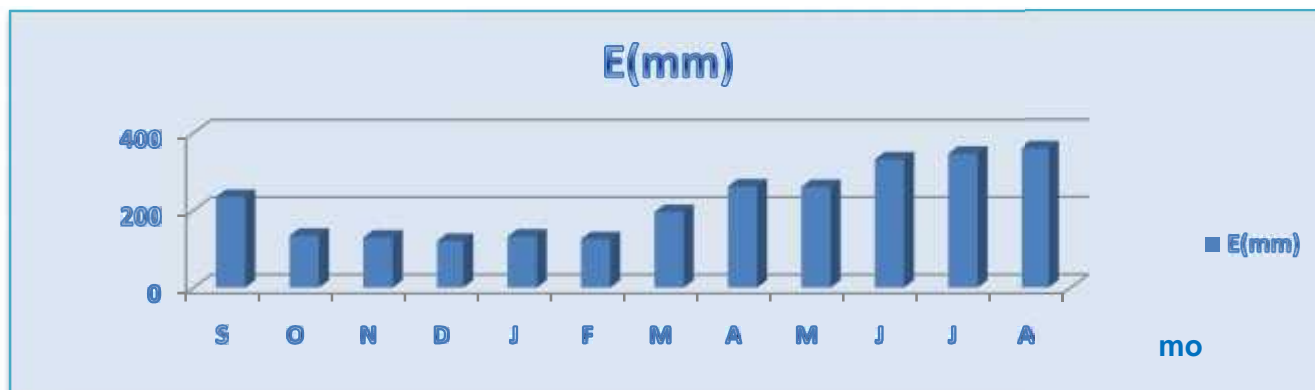


Figure 10 : les valeurs d'évaporation mensuelle de l'année 2015.

V.4.4-Humidité relative :

Tableau 07 :les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative (2015). [14]

Moi	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.
H%	36	53	43	40	35	39	30	23	24	27	13	27

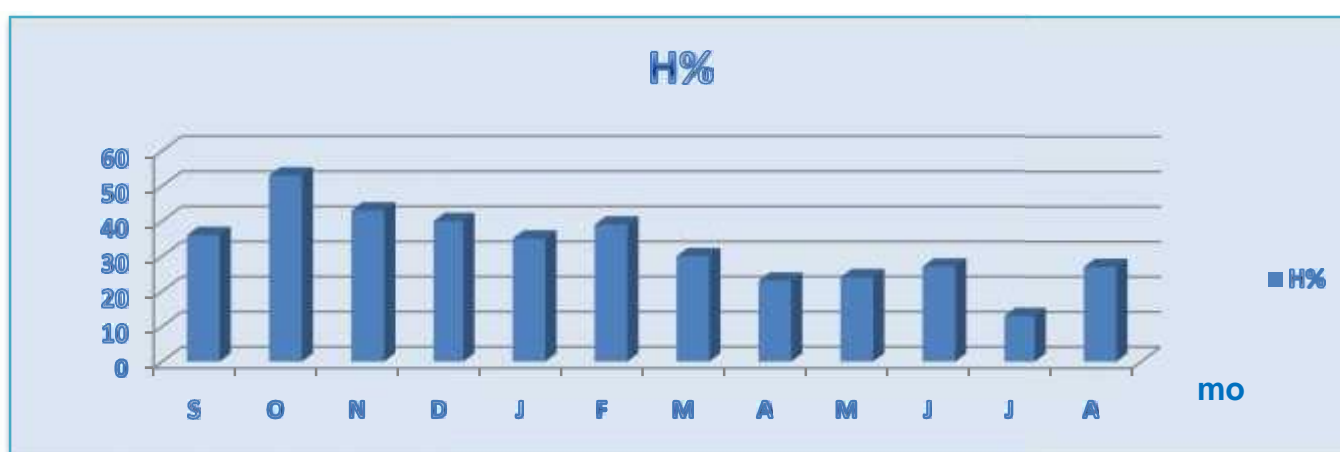
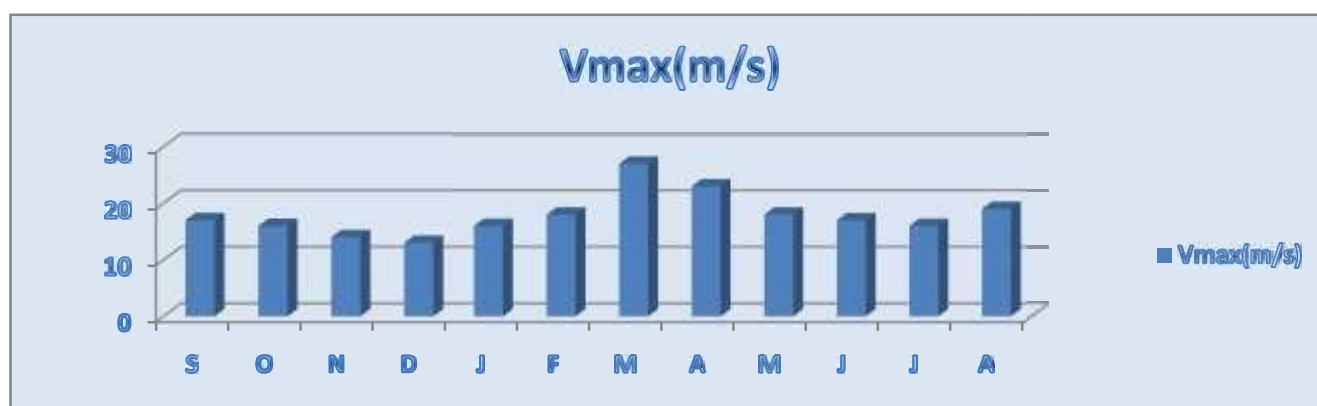


Figure 11 : des valeurs moyennes mensuelles d'année 2015.

V.4.5-Vitesse maximal de vent :

Tableau 08: les vitesses maximales de vent de la moyenne mensuelle de l'année 2015. [14]

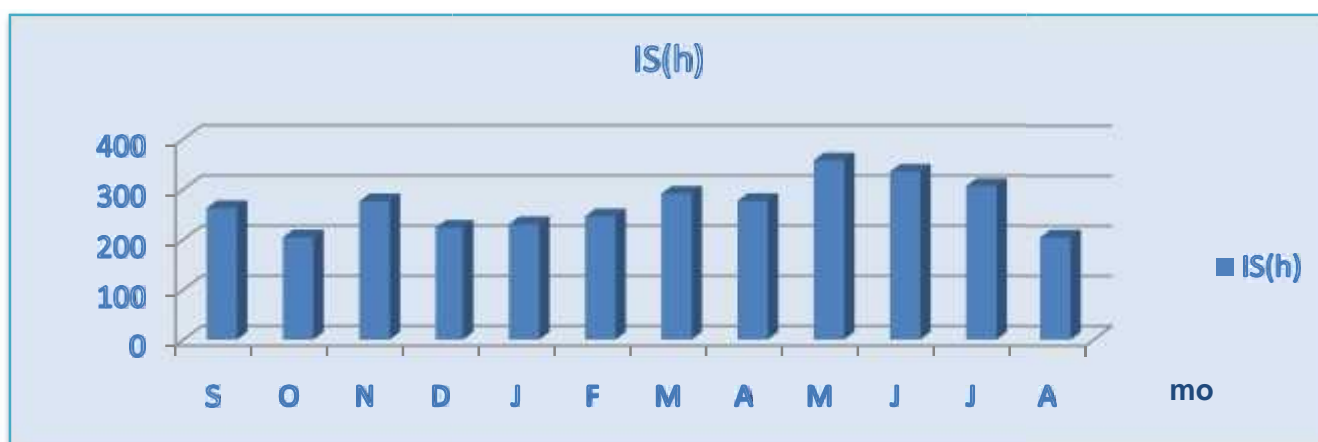
Moi	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Aou.
-VMX (m/s)	17	16	14	13	16	18	27	23	18	17	16	19

**Figure 12** : les valeurs des vents maximaux enregistrés mensuelle de l'année 2015

V.4.6-Insolation :

Tableau 09 : les insolation moyennes mensuelles de l'année 2015. [14]

Moi	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fév.	Mar	Avar	Mar	Juin	Juil.	Aco
IS(h)	262,1	203,8	275,8	223	230,1	245,8	290,9	276,4	357,2	334,7	306	204,3

**Figure 13** : les valeurs de l'insolation moyenne mensuelle de l'année 2015.

V.5-Les informations hydrogéologiques de la région :

Tableau 10: Les oueds d'OUM EL ASSEL.

Oum EL Assel	Hassi Khebi	Oued Hassi Khebi- Mhabes EL Khezim- Oued Malououd- Mhabes Bou Aouach-Lelouassa Sofra-Oued Tinfouchy-Oued Assami
Oum EL Assel		Oued Oum EL Assel -Mhabes Tolrat- Oued Kihorb Ethel
Hassi Mourir		Oued Talguinet - Oued Essencoul-Oued EL Houera- Oued Oum Aouach Oued Hassi Mourir Oglat Mohasse

-Nappe tertiaire continentale (étage TERTIAIRE CONTINENTALE):

Situe dans la ville d'OUM EL ASSEL de l'entrée au maximum les aquifères d'eau se compose généralement de les grés, le niveau d'eau plus profondément et d'eau douce type nappe libre, par rapport à la région Hassi abdallah (Tindouf) les aquifères se compose généralement de calcaire dolomie et le niveau d'eau moins profonde et faible douce le niveau d'eau type nappe captive.

Exemple : le forage d'OUM EL ASSEL localisation [15].

Tableau 11 : localisation de forage d'OUM EL ASSEL :

X	Y	Z	Profondeur	NS
06° 58' 01"	28° 36' 26"	528m	136m	74m

Tableau 12 : l'élément d'Un coupe géologie désignation d'OUM EL ASSEL.

Profondeur (m)		Description géologique
0	- 17	Grés a ciment calcaire
17	- 30	Grés rose a ciment argileux
30	- 47	Grés gris a ciment calcaire
47	- 60	Grés consdides a rognon silex a la base
60	- 117	Grés et sable vert à grzintrés fin
117	- 120	Grés a ciment calcaire
120	- 136	Marnes jaunâtre

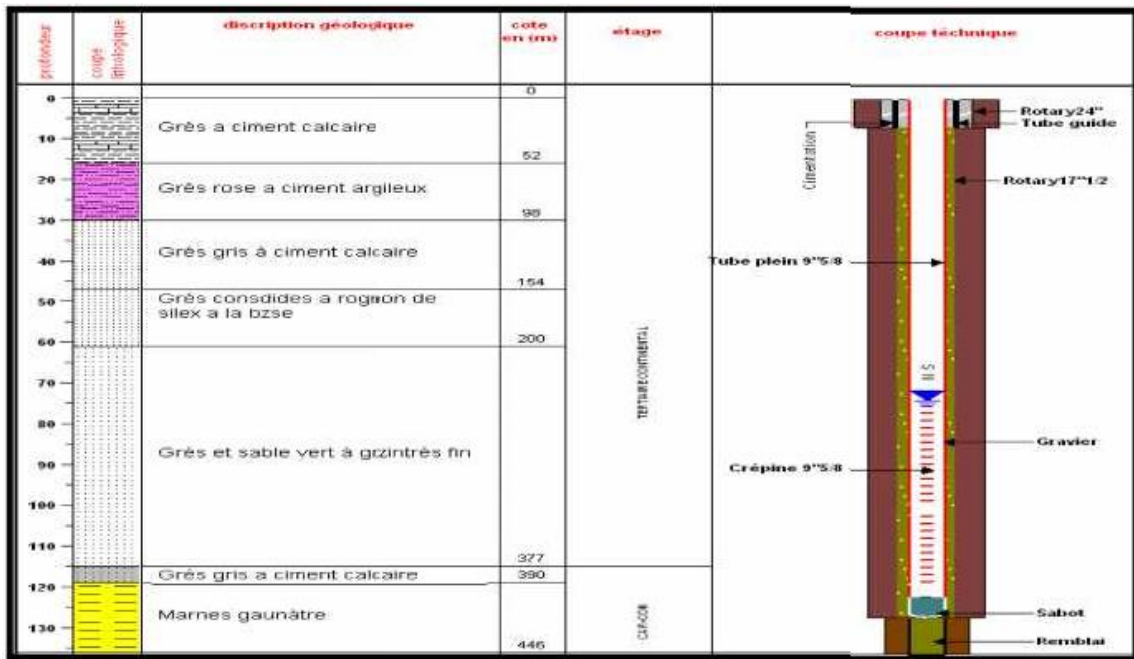


Schéma01 : les couches géologie d’OUM EL ASSEL et technique du forage.[15]

Tableau 13 : les forages étudiés dans la région d’OUM EL ASSEL :

EXPLOITANT	Nom du	NAPPE	Coordonnées						
GESTIONNAIRE	Forage		UTM	UTM			NIVEAU	DEBIT	
			X	Y	Z	Prof	STATIQUE	EXP	
						(m)	M	l/s	
APC. OEA	Oued Naga	T.CON.	649308.82	3149200.03	497	120,00	56,00	1,80	
APC	O-EL Assel 4	T.CON.	697063.60	3165175.85	517	116,50	79,80	4,00	
APC	O-EL Assel 5	T.CON.	697796.63	3165219.01	513	150,00	76,00	4,00	
	O-EL Assel 8	T.CON.	698517.63	3164369.02	506				
APC	L.F.I.122	T.CON.	267337.60	3243419.89	599	127,00	30,00	6,50	
APC	O.A.01	T.CON.	697297.73	3165795.65	526	100,00	74,84	3,00	
IRR	O.E.A IR 01 (IRR)	T.CON.	697831.60	3164757.71	514				
IRR	O.E.A IR 02 (IRR)	T.CON.	698652.44	3164432.90	527				
IRR	O.E.A IR 03 (OEAS 03)	T.CON.	697646.74	3166047.89	527	136,00	84,40	3,00	



Image 01 : la situation des forages sur Google Earth.

Conclusion

La description de la géologie régionale et locale était nécessaire pour montrer la corrélation des systèmes aquifères de la région. En effet, l'exploitation des différents systèmes aquifères dans la région couvrent largement les besoins en eau (domestique et agricole), en revanche les rejets des eaux domestiques posent d'énormes problèmes de pollution et peuvent affecter les eaux des nappes. Le niveau piézométrique en **annexe 3** montre localement une insuffisance de la connaissance en hydrodynamique.

Chapitre II approche méthodologique

Introduction

La réalisation des premières cartes à Tindouf repose essentiellement sur la classification des sites en fonction des propriétés et de la géométrie des milieux aquifères. Les méthodes d'évaluation sont fondées sur les documents cartographiques et les systèmes de cotations en topographie. Les cartes de sources potentielles ou réelles de pollution présentent à différentes échelles en fonction de la diversité des sources de cette dernière, elles représentent des foyers de pollution potentielle ou effective résultants des activités urbaines industrielles et agricoles. L'information sur la géométrie des réservoirs aquifères du bassin saharien provient de l'ensemble des données géologiques et structurales disponibles sur cette région. Cette information est différenciée en :

- cartes géologiques des couches en affleurement établies à différentes échelles et pour des régions spécifiques,
- des prospections géophysiques ayant donné lieu à des cartes d'épaisseurs ou de position de toit et de mur d'une ou de plusieurs formations,
- des descriptions des couches recoupées par les sondages pétroliers et les forages hydrauliques.

L'ensemble de cette information a fait l'objet de synthèses élaborées dans le cadre des études antérieures ayant traité de la géométrie des aquifères du bassin saharien. Un effort de synthèse à l'échelle de l'ensemble du bassin a été entrepris et a abouti à :

- une carte géologique digitalisée des affleurements sur l'ensemble du bassin saharien,
- des coupes litho-stratigraphiques qui traduisent, sous une forme schématique, la structure géologique des trois sous-bassins,
- des cartes du toit, du mur et de l'épaisseur des formations aquifères du Continental intercalaire.

Une carte géologique des affleurements de l'ensemble du bassin saharien a été élaborée à une échelle de 1/2 000 000 (Planche n°1) à partir des cartes géologiques nationales au 1/500 000 et au 1/1 000 000. Cette carte a bénéficié, pour les deux sous-bassins du Grand Erg Oriental et Occidental, de la synthèse cartographique à l'échelle 1/2 000 000 élaborée par G. Busson (G. Busson, 1970). Des groupements de formations ou étages se sont avérés nécessaires pour aboutir à la nomenclature hydrogéologique adoptée généralisée à l'ensemble du bassin saharien.

La Pollution de l'eau et de l'air, l'augmentation des déchets ménagers et industriels, changement climatique, étalement urbain, perte de la diversité biologique: vu la diversité et la transversalité de ces enjeux, il n'est pas étonnant que la politique environnementale touche à de nombreuses politiques publiques qui l'affectent en retour. Les activités économiques et industrielles, l'agriculture, l'énergie et le transport, l'approvisionnement en eau, le développement rural et urbain ou la santé publique sont indissociables des problèmes environnementaux. Ce constat vaut particulièrement pour une région comme la wilaya de Tindouf qui abrite une biodiversité riche en ressources géologiques pour une superficie de 168000 km².. Pourtant, si l'abondance des ressources naturelles est un phare sur le plan économique, elle est aussi une tare sur le plan environnemental.

II. Contexte objectif

L'intensification des créations des forages d'eau depuis les années 1970, a permis de préciser les connaissances sur le fonctionnement hydrodynamique des nappes aquifères et leurs caractéristiques hydrogéologiques. Les principales études utilisées pour analyser et traiter l'information disponible et pour la mise en œuvre du modèle mathématique sont les suivantes:

Etude sur modèle détaillé du Complexe Terminal dans la zone de l'Oued Rhir (Ecole des Mines de Paris, 1973). Cette étude a tenté d'affiner les résultats de l'ERESS dans une zone particulière de l'Algérie, l'Oued Rhir, où le modèle ERESS n'avait pu tenir compte de la complexité des aquifères multicouches du Complexe Terminal.

Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes (BRL, 1998): Cette étude a analysé et critiqué les résultats des deux études précédentes et a repris les deux modèles du CI et du CT sur de nouvelles bases mais sans disposer de la totalité des données algériennes.

L'étude récente qui constitue la première tentative de sortir du cadre de l'approche ERESS, n'a pu être menée au stade d'affinement souhaité pour les raisons suivantes (BRL, 1998) :

- Pour le **Complexe Terminal**:
 - ✓ absence d'une synthèse hydrogéologique récente,
 - ✓ absence d'un système permanent d'observation des aquifères et de contrôle de leur exploitation,
 - ✓ grande disparité des connaissances avec cantonnement des données dans les oasis et manque d'informations au niveau des nouvelles zones de mise en valeur.

- Pour le **Continental Intercalaire**:
 - ✓ Conceptualisation schématisée de la géométrie qui influence son fonctionnement hydrodynamique,
 - ✓ rareté des données actualisées sur la piézométrie et les prélèvements de la nappe.

Aquifère	Foggaras	Groupes de foggaras	Forages pompés	Forages artésiens	Forages pétroliers	Sources	Piézomètres (2)	Total points d'eau
Continental intercalaire	701	176	1257	214	33		2	2383
Complexe terminal			3415	156	87	66	1	3725
Total	701	176	4672	370	120	66	3	6108

Tableau 01 - Données algériennes ANRH 2002

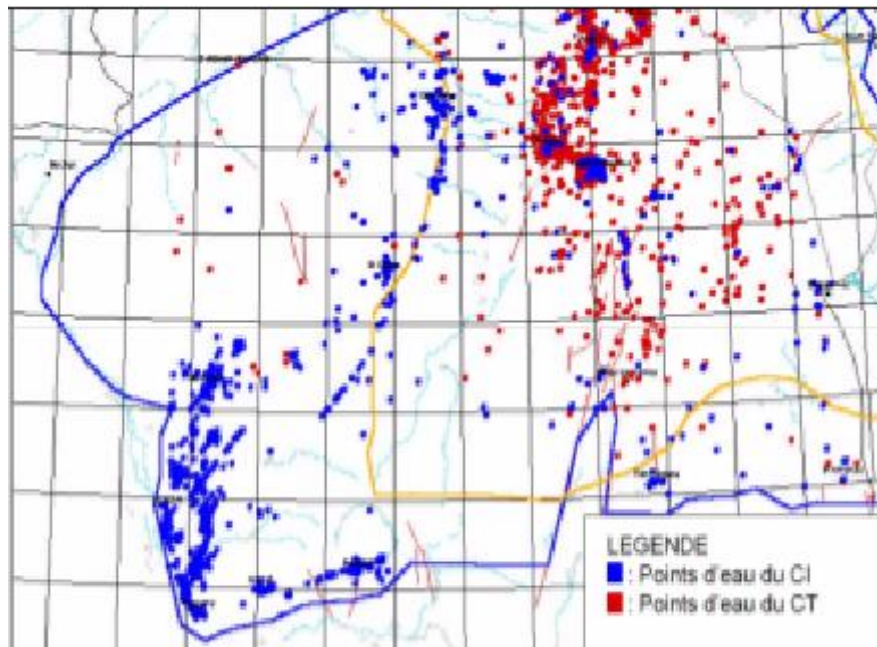


Figure 01 : Carte des points d'eau du CI et du CT en Algérie

II.1.Cas de la région d'OUM EL ASSEL :

Cette commune englobe les agglomérations de Hassi Khebi, Oum El Assel et Hassi Mounir est alimentée par des forages destinés à l'alimentation en eau potable (Oum el Assel 4 et 5) donnant respectivement 2,5 et 05 l/s. Deux autres forages sont programmés au cours de l'année en cours, afin d'améliorer les conditions de vie de la population et le renforcement en AEP de cette commune. Les points agglomérés présentant un aspect hydrique se résument comme suit :

▪ **HASSI NAGA :**

Cette localité se trouve à mi-distance entre la commune d'Oum el Assel et celle de Tindouf. Dans cette région on compte trois (03) forages destinés à l'alimentation en eau potable captant la nappe du tertiaire continental avec des débits compris entre 1 et 2,5 l/s.

▪ **HASSI KHEBBI :**

Cette région est alimentée par citernage à partir du forage LFI.122, situé à environ 30 Km au nord ouest de Hassi Khebi. L'aquifère est représentée par une formation détritique sous forme de lentille et une prospection géophysique s'avère importante pour délimiter l'extension de cet aquifère hamadien

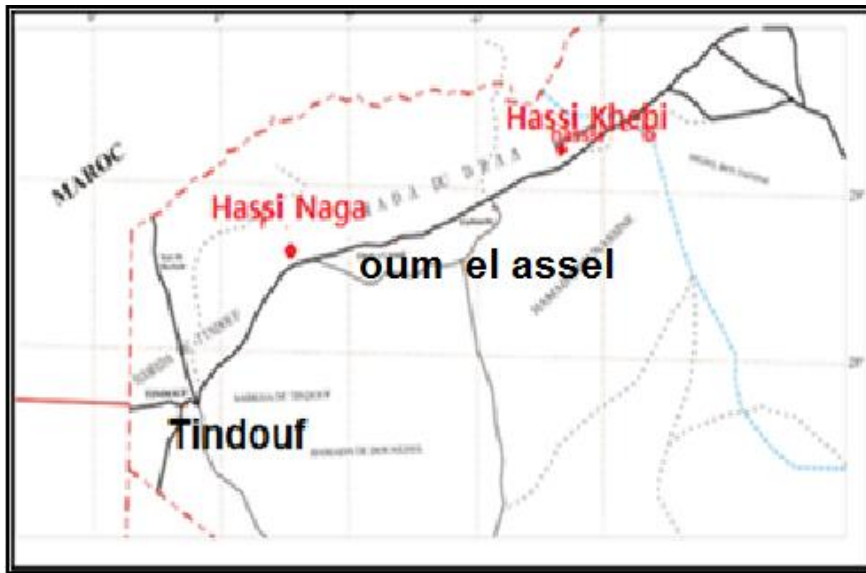


Figure02 : axe [hassi naga - oum el assel - hassi khebi] dans la hamada

▪ **GRARRET EL HARTH**

Cette zone agricole se situe à une trentaine de Kilomètres au Nord - Nord-Est de la ville de Tindouf. Treize (13) forages contribuent à l'irrigation de ces parcelles, ils ont été réalisés entre 1990 et 1999 dans la Hamada.

Ce secteur est caractérisé par une surexploitation de la nappe (le rabattement est de 04 à 05 m pour une période de 10 années), de ce fait et pour réussir a apporter aux réserves hydriques ce qu'elles méritent, un programme de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques dans la Wilaya a été lancé pour la réalisation d'une prospection géophysique de la Hamada et dont les objectifs sont de :

- repérer les axes de drainage ;
- déterminer l'épaisseur et l'extension latérale de la formation hamadienne ;
- préciser les zones favorables à l'implantation de forages.

Le développement industriel, agricole et urbain est à l'origine de la dégradation de la qualité et la quantité des eaux potables. La protection des ressources en eau et la santé publique nécessitent une étude détaillée de la vulnérabilité à la pollution des régions qui a été introduite dans les agglomérations (**Vrba et Zaporozec, 1994**).

La vulnérabilité des nappes souterraines est une notion complexe en raison du nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et de l'importance qui peut être attribuée à chacun d'eux. La vulnérabilité évalue la faiblesse de cette protection naturelle. Entre autre, elle matérialise la facilité avec laquelle la protection peut être rendue caduque par une pollution. Cette pollution peut être classée suivant son origine ponctuelle (décharges publiques, cimetières, eaux usées et industrielle) et diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides, Epannage des eaux usées (**Bezalgues et al ,2002 ; Gilli et al ,2004**). L'analyse de la vulnérabilité des nappes repose sur trois critères : le sol, la zone non saturée et la zone saturée.

Les cartes de vulnérabilités constituent une base d'information pour l'évaluation des risques de pollution des eaux souterraines. La réalisation des premières cartes en(**Albinet et Margat ,1970**) repose essentiellement sur la classification des sites en fonction des propriétés et de la géométrie des milieux aquifères. Les méthodes d'évaluation sont fondées sur les documents cartographiques et les systèmes de cotations numériques. Les cartes d'aptitude montrent des différents terrains susceptibles à se laisser traverser par une substance polluante dont on distingue plusieurs horizons : Horizons très sensibles, horizons sensibles et horizons peu ou pas sensibles (**Boularak, 2003**).

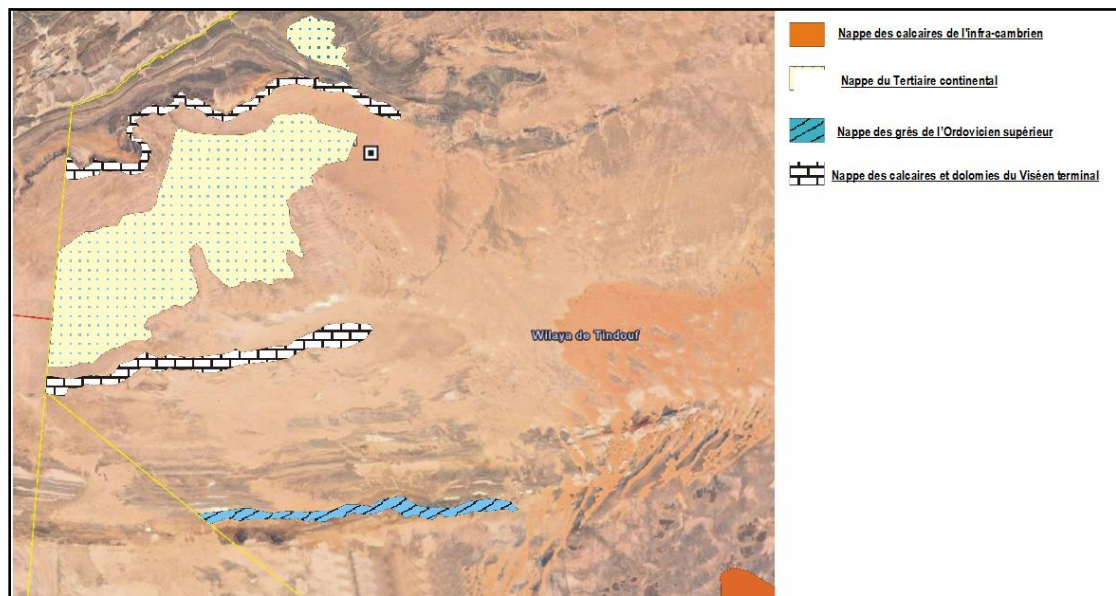


Fig. 03: Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf [16]

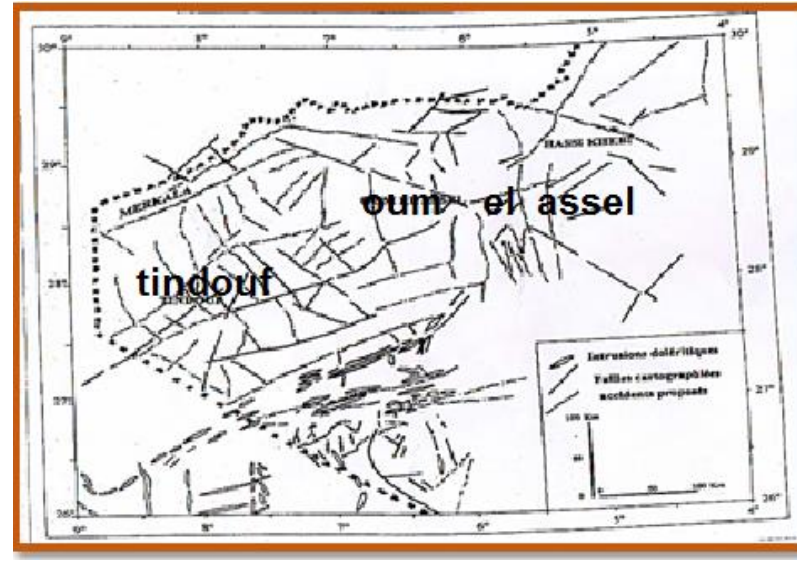


Figure 04: Carte de fracturation de bassin de Tindouf [17].

III-Méthodologies En Hydro-Environnement

L'analyse environnementale et l'aménagement du territoire portent en général sur le stockage des déchets, la restauration des monuments avec des matériaux adéquats, et la protection des sites importants pour le développement durable. L'hydrogéologie rentre dans ce cadre de gestion et de protection du patrimoine hydrique. En effet, le planificateur doit disposer d'une carte hydrogéologique précise à l'échelle des plans de secteurs pour mieux définir les sources et éventuellement les points de pollution à prendre en charge.

Dans le cas de sites en zone aride et semi-aride, tels que la commune d'Oum el Assel, la carte géologique permet au planificateur de disposer d'une carte précise à l'échelle des plans de secteurs. Cela permet de mieux définir les sources éventuelles de pollution et il est donc nécessaire de savoir si les roches environnantes et celles qui recouvrent le site sont suffisamment étanches, afin que les matières susceptibles de mettre en danger l'environnement et de nuire à la santé ne puissent pas migrer plus loin.

La cartographie géologique tient également une place importante dans **la recherche scientifique**. Elle permet entre autre d'intégrer la **paléogéographie**, d'expliquer la composition et la nature du sol (par la **stratigraphie**), d'en connaître les différents constituants ainsi que la position géologique des substances utiles, d'inventorier le **patrimoine géologique**... enfin d'être une pièce maîtresse dans les **programmes d'investissement et d'aménagement du territoire**.

Une autre contrainte doit aussi être prise en compte, la vulnérabilité à la pollution. Il n'est pas indiqué, par exemple, de placer un zoning industriel sur un sous-sol calcaire fissuré riche en eau ou criblé de cavités karstiques, milieux très propices à la diffusion des pollutions et qui peuvent encore être déstabilisés si des industries y installent des captages pour exploiter la nappe aquifère.

L'analyse environnementale, la protection de l'environnement et la valorisation des sites et du patrimoine géologique implique la nécessité de la protection de la faune et de la flore et de leurs habitats s'est peu à peu imposée à notre mode de vie et de pensée. En revanche, l'idée de protection des formations géologiques suscite encore trop d'indifférence et d'incompréhension. Nous oublions que ce sont les seuls témoins des forces prodigieuses qui animent notre planète et des formes de vie anciennes, à jamais disparues, qui s'y sont succédées pendant des centaines de millions d'années.

Pourtant, le substrat géologique étudié comme mémoire de l'histoire de la Terre, devient paysage, héritage et patrimoine au moment où il est valorisé grâce à des motivations écologiques relevant de l'attrait que l'homme peut lui donner.

Le substrat géologique peut ensuite être exploité suite à des stimulations écologiques et économiques, ce qui implique la conception et la réalisation de projets touristiques ayant comme base ce substrat géologique (c'est le géotourisme) et là aussi on constate le rôle primordial de la carte géologique. Ce concept de **géotourisme** s'inscrit dans une dynamique mondiale concrétisée notamment dans la politique de l'UNESCO, par la création de géo-parcs et de réserves ou de sentiers géologiques. Il repose sur l'utilisation du patrimoine géologique d'une région pour supporter son développement aussi bien en le faisant connaître (valorisation de l'intérêt scientifique, de sa rareté, de son aspect esthétique ou de son intérêt pédagogique) qu'en se servant de lui comme support d'une activité économique. Le géotourisme représente aujourd'hui un facteur essentiel du développement local.

Dans cette optique, le concept de réserve ou de sentier géologique peut donc produire de l'emploi et des nouvelles activités économiques. La wilaya de Tindouf et particulièrement la commune d'Oum el Assel, faut-t-il le rappeler, est un paradis des géologues et regorge de richesses du patrimoine géologique. La réhabilitation des sites en fin d'exploitation pourrait conduire à de projets d'aménagement hydro environnementale. Il est possible donc de restaurées les réserves «naturelle» ou géologique si l'exploitation a mis à nu des phénomènes géologiques dignes d'intérêt. Des sentiers géologiques pourraient être établis dans diverses

régions de notre pays, La carte géologique permet d'apprécier d'un seul coup d'œil les terrains susceptibles de répondre à ces besoins (anciennes carrières etc).

Le concept de développement durable, pour sa part, est entré dans le langage politique en 1987 avec la publication du rapport «Notre avenir à tous» de la Commission des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (également nommé rapport Brundtland, du nom de Gro Harlem Brundtland, ancienne premier ministre de la Norvège). Cherchant à réconcilier les dimensions économique, environnementale et sociale et à tenir compte des capacités (carrying capacity) de la planète aussi bien pour le présent que pour l'avenir, les auteurs du rapport définissent le développement durable comme suit: «Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs» (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1988). Deux Canadiens furent activement impliqués dans la rédaction du rapport: Maurice Strong, le secrétaire général de la Conférence de Stockholm en 1972 et ensuite le directeur exécutif du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), et Jim MacNeill, qui était directeur de l'environnement de l'OCDE (Gale, 1997, p. 100). C'est au Sommet de la Terre, tenu à Rio de Janeiro en 1992, que la communauté internationale, dont le Canada, a repris le concept phare du rapport Brundtland et s'est engagée à mettre en œuvre le développement durable. Les discussions autour du développement durable et l'engagement pris à Rio se sont traduits de plusieurs façons à l'échelle canadienne. Une initiative prise dans la foulée de rapport Brundtland fut la création de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) en 1988 afin que les Canadiens «apprennent à voir d'un autre œil la relation entre l'environnement et l'économie, et à agir en conséquence»³. Le mandat de la TRNEE comme organisme consultatif en matière de politiques de développement durable fut inscrit dans la loi en 1994. Une autre initiative ambitieuse fut l'annonce du Plan vert du gouvernement conservateur en 1990, qui aurait dû ancrer une vision transversale de développement durable dans la politique fédérale. Les ambitions se sont toutefois rapidement réduites (Gale, 1997). Également en 1990, le gouvernement fédéral et le gouvernement provincial du Manitoba ont créé l'Institut international du développement durable (IISD) à Winnipeg pour encourager le développement durable à l'échelle globale au moyen de l'innovation, de partenariats, de la recherche et des communications⁴. Toutefois, si la TRNEE et l'IISD furent des innovations institutionnelles intéressantes, ils sont restés à l'écart des processus décisionnels qui façonnent les politiques environnementales et de développement durable (Toner et Meadowcroft, 2009, p. 85). Un autre exemple d'institutionnalisation de la politique du développement durable est la création en 1995 du poste de Commissaire à

l'environnement et au développement durable, qui est rattaché au bureau du Vérificateur général du Canada. Le commissaire veille notamment à la mise en œuvre et à l'efficacité des politiques fédérales en matière d'environnement et de développement durable. Pour résumer, on constate que si l'environnement a été mis tardivement à l'agenda politique, une véritable institutionnalisation s'en est suivie. À partir des années 1980, l'attention s'est déplacé des politiques environnementales vers les politiques de développement durable. Ce déplacement conceptuel a eu un impact sur la perception des problèmes.

IV - La Cartographie Numérique

Il faut dire que la cartographie connaît une véritable mutation avec l'utilisation des outils numériques aussi bien au niveau de la fabrication des documents cartographiques que par le biais de l'intégration de ces cartes dans les systèmes d'informations géographiques et les banques de données géo référencées interopérables. Dans le domaine de la géologie, en particulier, la cartographie numérique a considérablement progressé et désormais une «carte géologique» est un ensemble de fichiers géoréférencés au format vecteur et stockés dans des banques de données géographiques structurées, gérées et mises à jour. C'est au début des années 1990 que les premiers outils informatiques ont été utilisés par les géologues cartographes. Le géologue arrive depuis cette date à dessiner la maquette de la carte dès la phase d'acquisition sur le terrain et donc devenu possible pour lui de dessiner un document provisoire, qu'il peut améliorer au fur et à mesure. La question de l'hydro environnement concernant la pollution utilise les méthodes utilisées sont :

- La méthode **DRASTIC** (Aller et al,1987) ,
- **GOD** (Foster 1987) ,**GLA** (Holting et al ,1995),
- **ISIS** (Civita et De Regibus , 1995) ,
- **SINTACS** (Civita ,1994) ,
- **EPIK** (Doerfliger et al ,1999).
- **PI** (Golscheider et al ,2000) ,
- **RISK** (Petelet et Giraud 2000)
- et la méthode **VI** (Bejnep. et al 2012).

Les techniques d'évaluations de la vulnérabilité ont été développé par (Gogu et Dassaguess,2000 ;Gogu et al 2003). Plusieurs méthodes d'étude de la vulnérabilité et d'évaluations ont été étudiées dans le monde par (Margat, 1968. Albinet&Margat, 1970. ;

Foster & Hirata, 1988. ; Doerflinger&Zwahlen ,1998) ; En Algérie (Mabrouk et al 2003). La cartographie numérique nous permet de contrôler l'espace aquifère en utilisant des fonctions tel :

$$h(x,y,z,t) = U(x,y,z,\alpha,\beta,\gamma) \quad [1]$$

Avec : xyz : facteurs de localisation,
 $\alpha\beta\gamma$: facteurs thématiques.

Cette approche de modélisation présente l'avantage d'élaborer de nouvelles investigations de terrain à savoir la localisation des AAC (Aires D'Alimentations et de Captage). Dans ce processus une nouvelle vision de la nappe de hamada. En effet, cette nappe intéresse toute la partie septentrionale de la Wilaya, elle couvre une superficie de 23 000 km² environ. Elle est constituée essentiellement par des sables fins à grossiers et sables argileux ; l'ensemble est surmontée par une dalle de calcaire silicifié. Son épaisseur est d'environ 10 m près de Sebkhath Abdallah passant à une centaine de mètres vers le centre du bassin aux environs de Hassi-naga. Actuellement elle est exploitée dans les Aires D'Alimentations et de Captage reperees a Hassi Ammar, Oued Zez, Graret el Harth , Oued Naga , Oum el Assel et Hassi Khebbi avec un débit variant entre 0,5 et 10 l/s. La minéralisation des eaux varie entre 0,9 et 03 g/l.

IV-1.Les Aires D'Alimentations et de Captage (AAC)

Oued Zez :

C'est un périmètre irrigué qui se situe à quelques Kilomètres à l'est de la ville de Tindouf. Dans cette localité on compte plusieurs puits d'eau pour l'irrigation de petites parcelles de terre et quatre (04) forages d'eau captant les formations tertiaire, il s'agit de Oued Zez 1, 3 et 4 (ferme) et Oued Zez 2 (destiné à l'irrigation du pépinière). Afin de permettre le développement du périmètre de l'Oued Zez dont les besoins destinés actuellement à l'irrigation ne sont pas satisfaisants, la réalisation d'un barrage d'infero-flux dont l'étude a été achevée (bureau d'études Geosystem consult) est d'une nécessité absolue.

Nappe Du Viseen Superieur (Carbonifere Inferieure) :

Constituée essentiellement par une alternance de calcaire, dolomie, argile et anhydrite ; cette nappe connue dans la région de Sebkhath Abdallah , représente la principale ressource en eau de la ville de Tindouf.

Sebkhath Abdallah :

La région de Hassi Abdallah, ou sont installés actuellement les réfugiés sahraouis, se situe à une trentaine de kilomètres au Sud de la ville de Tindouf. La nappe viséenne est captée par neuf forages dont deux sont fermés en attendant la réalisation d'adduction (SA.7 et 8) et cinq sont en service, parmi il y a SA.3 et SA.6 qui alimentent la ville de Tindouf.

L'inscription d'une étude hydrogéologique de cette nappe a permis de déterminer l'allure géométrique de l'aquifère, ainsi que l'évaluation des potentialités hydriques de cette localité.

Merkala - Oum El Achar :

Cette zone est située au nord ouest de la commune de Tindouf et au sud de Djebel OUARKZIZ (la frontière avec le Maroc). Ce secteur est actuellement alimenté par camion citerne :

- Merkala a partir du forage HNT.104 distant de 44 km,
- Oum el Achar à partir d'un puits traditionnel distant de 34 km,

Des projets d'études pour réaliser des châteaux d'eaux restent des opportunités pour les différentes agglomérations en tenant compte du paramètre de la distance. Une prospection géophysique ainsi qu'une étude hydrogéologique locale sont nécessaires dans cette partie du bassin afin d'évaluer les potentialités locales et de déterminer les zones favorables à des éventuelles implantations de forages.

V-Données Et Méthodologie

Il n'existe pas de méthode absolue d'évaluation des nappes d'eau souterraine, mais plusieurs méthodes d'estimation de la capacité des aquifères ont été mises au point (Murat et al, 2000). L'analyse des différents niveaux et la représentation des phénomènes restent le domaine incontournable des technologies spatiales et de la cartographie. Pour atteindre ces objectifs, toutes les données disponibles et utiles pour évaluer le comportement des nappes doivent être intégrées dans une geodatabase créée pour l'environnement. Ces données vont subir par la suite une série de traitements permettant l'acquisition des cartes matricielles et paramétriques pour nous fournir des métadonnées. Les modèles de géotraitement ainsi créés sont une source d'économie et d'efficacité grâce à l'automatisation et au partage des processus. Dans le cadre de la présente étude, on expose aussi la méthode DRASTIC pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines (Aller et al. 1987) : un système de protection de l'aquifère pourra être intégré.

Au cours des dernières années, la qualité des eaux souterraines s'est détériorée dans de nombreuses régions à la suite de l'élimination des déchets solides et de l'industrialisation. L'étude de la vulnérabilité consiste à évaluer la sensibilité de la ressource à toute forme de polluant introduit à partir de la surface du sol en se basant sur les propriétés physiques du milieu. La méthode DRASTIC couplée à un SIG a été appliquée afin d'évaluer la vulnérabilité de ce système aquifère. Les résultats montrent que la zone d'étude se décline en trois classes de vulnérabilité, les indices DRASTIC les plus élevés apparaissent au niveau des zones de faible profondeur de la nappe et au niveau des zones non protégées par les argiles quaternaires, soit dans les parties nord, nord-ouest et sud-est de la région étudiée. Tandis que les zones moins vulnérables sont situées dans les secteurs où l'épaisseur d'argiles de recouvrement est importante et la nappe plus profonde.

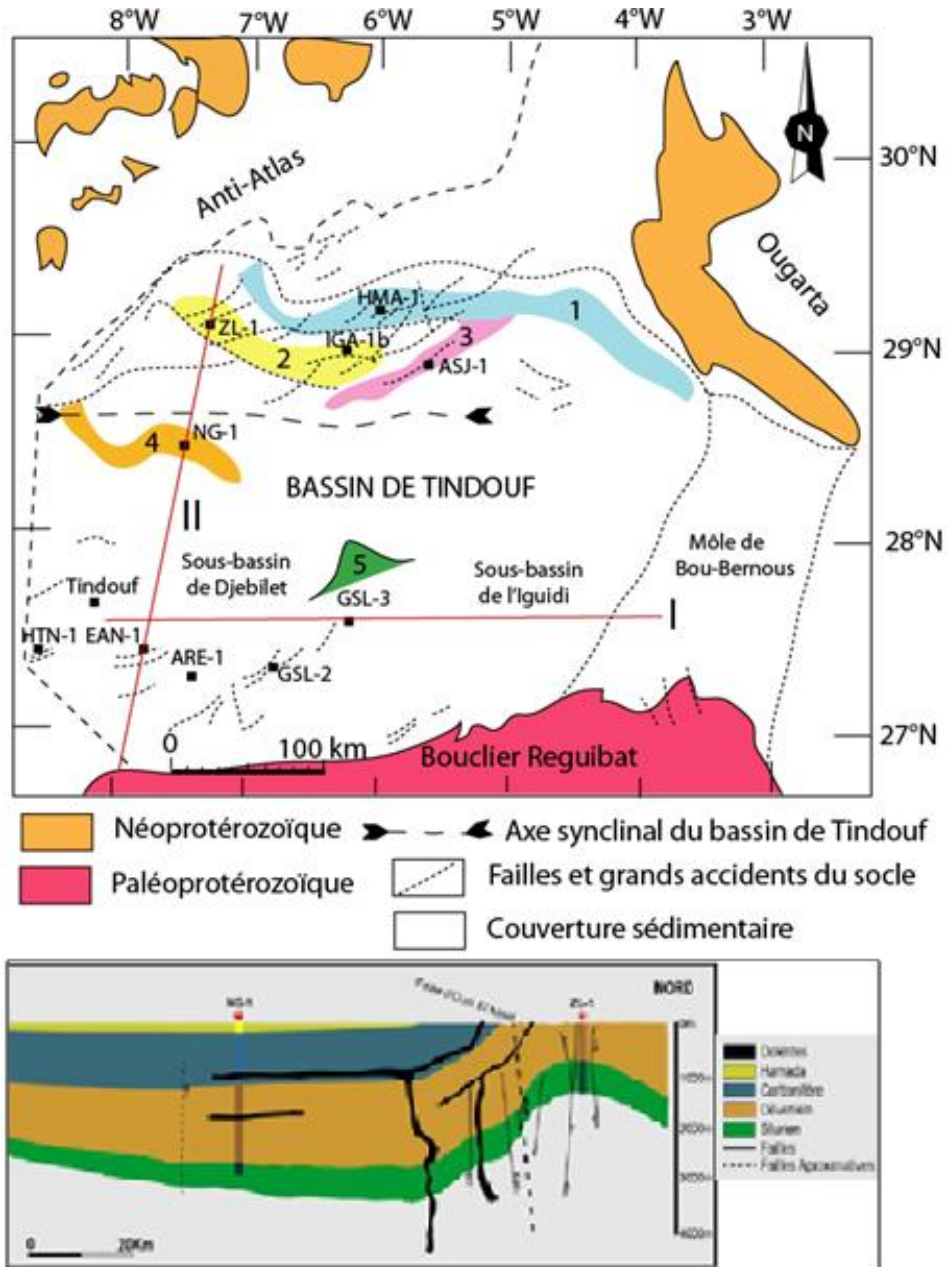
Description de la méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC a été mise au point par Environmental Protection Agency (EPA) (Agence de Protection et de l'Environnement) aux Etats-Unis en 1987 (**Aller et al. 1987**). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale des eaux souterraines à la pollution. La méthode DRASTIC tire son nom de l'acronyme de ses 7 paramètres de vulnérabilité. [18]:

- Depth of water (D) Profondeur de la nappe;
- Net Recharge (R) Recharge efficace de l'aquifère;
- Aquifer media (A) La lithologie de l'aquifère;
- Soil media (S) Type de sol;
- Topography (T) : Pente topographique du terrain;
- Impact of vadose zone (I) Impact de la zone vadose (zone non saturée);
- Hydraulic conductivity of the aquifer (C) Conductivité hydraulique de l'aquifère.

$$ID = Dp * Dc + Rp * Rc + Ap * Ac + Sp * Sc + Tp * Tc + Ip * Ic + Cp * Cc. \quad [2]$$

(Où D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et, c la cote associée). La distribution spatiale des points d'eau et l'utilisation diversifiée des ressources hydriques pourront être analysées. La carte globale de la figure 05 exprime une coupe et une projection plane représentant la géologie et les principaux puits.



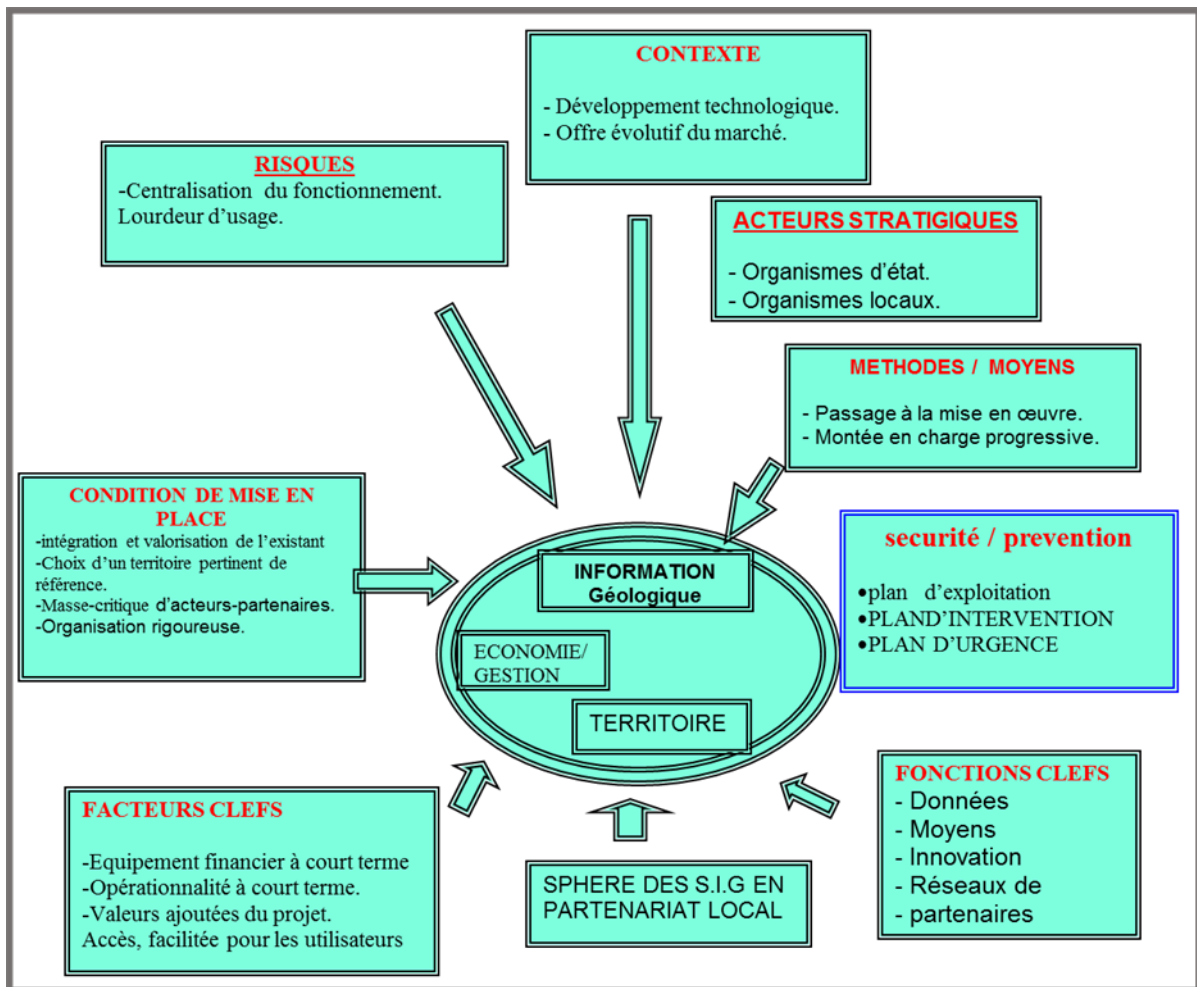


Figure 06 systèmes d'information pour les collectivités locales

Conclusion

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 topographique comme à la carte thématique : son pouvoir de résolution (sa précision), l'appréhension du phénomène. A travers ce chapitre nous avons donné une première démarche comme contribution à la mise en place d'une étude hydro environnementale sur l'aspect hydrogéologique de la commune D'Oum el Assel.

Chapitre III application hydro environnementale à Oum El Assel

Introduction

L'eau de la nappe tertiaire continentale représente une ressource importante pour l'agglomération d'OUM EL ASSEL. A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude hydro environnementale pour des applications hydrogéologiques. Dans le cadre de cette étude des métadonnées sont utilisées pour satisfaire les besoins de l'étude. L'objectif de ce travail étant d'analyser qualitativement et quantitativement l'hydrologie et l'hydrogéologie pour l'agglomération d'OUM EL ASSEL. en Algérie, le Complexe Terminal exploite aujourd'hui et le Continental Intercalaire demain, se trouvent dans un état d'exploitation tel qu'il faudra que les services de l'hydraulique, contrôlent les prélèvements dans une volonté mutuelle de garantir l'avenir de la région à travers notamment une politique concertée de préservation des ressources en eau.

La pratique d'un tel processus, au cours du suivi des nappes doit permettre de forger, progressivement, la confiance mutuelle entre les équipes techniques, la conscience que les problèmes rencontrés par les uns dépendent en partie des actions menées par les autres. La nécessité d'introduire au départ des attributions qui seront principalement axées sur le développement de bases de données et de modèles, la promotion d'études, de recherches et de formations, la production d'indicateurs de suivi et sur la réflexion vers l'évolution future du mécanisme. Les résultats de la cartographie numérique ont permis de répondre à plusieurs questions relatives au sujet. Cela va collaborer à la mise en place d'un modèle.

I. Présentation du site d'étude

L'agglomération d'OUM EL ASSEL se situe au nord de la ville de Tindouf, cette ville consomme l'eau distribuée par plusieurs forages d'eaux potable, il existe trois forages principaux qui sont exploitables par des forages F2 et F4 (La plupart des habitants), et Hassi baladai avec un réseaux de stockage vers les châteaux d'eau. le réseau de distribution des châteaux vers les habitants par gravité et transport de l'eau. L'utilisation d'autres forages pour l'agriculture (irrigation). Il existe des forages qui ne sont pas exploitables, cette quantité des eaux (nappe tertiaire continentale) a besoin d'une étude pratique pour la qualité de ces caractéristiques; physico-chimiques et hydrodynamique.

La commune d'Oum El Assel compte 6310 habitants dont 1320 habitants dans les regroupements de Hassi Mounir et Hassi Khebi. La figure présente la forme du chef lieu de la commune en considérant l'aspect des îlots.



Figure01 plan de situation de la ville d'Oum el Assel

II. Mission sur le terrain

La sortie de terrain nous a permis de constater les aspects techniques mis en œuvre par l'algérienne des eaux et d'apprécier l'ampleur du tissu urbain. Afin d'établir une analyse les eaux existante dans les forages principaux on a pu prélever un échantillon pour les analyses en laboratoire. Malheureusement, avec le confinement les analyses hydro chimiques n'ont pu être réalisées.



Figure02 service technique de la mairie et le point du forage

III. Voisinage des réseaux de distribution

L'augmentation et la concentration des populations dans les agglomérations rurales de la commune d'OUM EL ASSEL induisent un développement important des différents réseaux

dont la gestion devient de plus en plus complexe et ardue. Les réseaux de distribution de gaz présentent un potentiel de risque important. La production et la maintenance de plans et cartes traditionnelles pour l'exploitation et la gestion de ces réseaux deviennent une tâche longue et coûteuse. La prise en compte du voisinage des ouvrages et des réseaux afin d'établir une cartographie fiable et riche est une solution très intéressante pour les utilisateurs et réalisateurs de réseaux. Dans le contexte des systèmes informatiques, la qualité des données cartographiques et des plans topographiques est une condition incontournable pour une bonne exploitation environnementale de l'espace des réseaux. La combinaison des couches des différents réseaux est certes possible, mais du point de vue du cartographe, elle n'est envisageable que si les règles cartographiques sont respectées (lisibilité, exhaustivité, sémantique,...).

La politique de l'environnement et la diversité des approches technologiques et scientifiques conduisent les décideurs à encourager toutes les formes de recherche-développement dans le domaine de l'environnement. La demande de plus en plus accrue de données scientifiques et le développement de nouvelles technologies a conduit l'homme à évaluer les effets néfastes des différents produits que nous utilisons. Au fur et à mesure que l'on connaît et comprendra les méfaits, l'homme doit développer des éco-procédés et de fournir les éléments d'une normalisation et une réglementation de plus en plus rigides.

Des modèles d'évaluation des risques majeurs doivent être établis afin de rendre cette surveillance opportune. Les différents espaces d'intervention contribueront à développer des outils de suivi, des méthodes de diagnostic, de mise en œuvre et d'évaluation des phénomènes à risques. L'environnement de ces ouvrages (forage et réseau) a besoin d'être surveillé et protégé par l'homme, les techniques classiques de surveillance ne sont plus suffisantes pour des interventions rapides. Dans ce domaine, la carte de voisinage peut se révéler un document très synthétique pour le suivi et l'étude du comportement des réseaux en temps réel.

III.2.Approche « cartographie de voisinage »

Il faut rechercher les normes concernant le voisinage du réseau d'alimentation ADE pour permettre la construction de carte de normalisation du voisinage des ouvrages. Dans cette approche l'inventaire se présente sous forme d'articles et de textes régissant les réseaux (transport et distribution) permettant d'explicitier les périmètres de sécurité et de mettre en évidence les périmètres à risques. Le voisinage doit exister dans des formes plus concrètes pour tous les réseaux afin de permettre un meilleur suivi de la prévention. La surveillance et l'étude des risques de pollution et technologiques sont nécessaires pour la préservation de la sécurité des personnes et des biens.

La solution proposée s'articule autour d'une cartographie des risques qui prend en compte le voisinage des réseaux de pour la mise en place d'anomalies constatées sur ce réseau. Le plan d'intervention est

établi en relation directe avec les éléments constitutifs de cette carte. Ainsi, la prévention des risques majeurs concernant les ressources en eau passe par la réalisation d'un ensemble de cartes (incidents, intervention, voisinage) permettant de confectionner un plan d'urgence afin de minimiser les dangers.

Mais, la plupart des cartes n'offrent qu'une représentation statique pour les géo-thematiciens [19]. Pour sortir de ces « arrêts sur image », il faut selon Rimbart construire des systèmes permettant de faire des passages entre différents états (**annexe 2**). Le problème revient à formaliser le fonctionnement des systèmes par des modèles. Il existe plusieurs approches de modélisation dont la principale pour notre étude est celle qui prend en considération les aspects futurs de représentations: ce sont les modèles normatifs. Il s'agit de mettre en jeu beaucoup d'éléments pour la génération de modèles de simulation; ceci est possible grâce aux concepts suivants :

- La surface cartographique,
- Les attributs de lieux,
- Le temps d'évolution sous forme d'intervalles, d'itérations, ou de constructions récursives,
- Le moteur d'inférence qui est généré par des règles de transformation déterministe ou stochastique.

Il est donc facile de comprendre la contribution considérable que l'informatique a apporté à la cartographie de prévention et de simulation en permettant plusieurs structures à la fois et en facilitant une visualisation rapide des résultats. Le voisinage des réseaux et des ouvrages peut être considéré comme un espace industriel localisé où des opérations spatiales s'effectuent. Ainsi, le classique répertoire de coordonnées tridimensionnelles devient un tableau complété par des indicateurs de cet environnement industriel.

[20] (XYZ n° 45) propose dans le cadre d'un programme assurance-qualité une grille d'action ou d'intervention dont l'objectif est d'éviter les oublis et de ne commettre aucune négligence. Cette grille prend en considération le temps, l'espace et l'action.

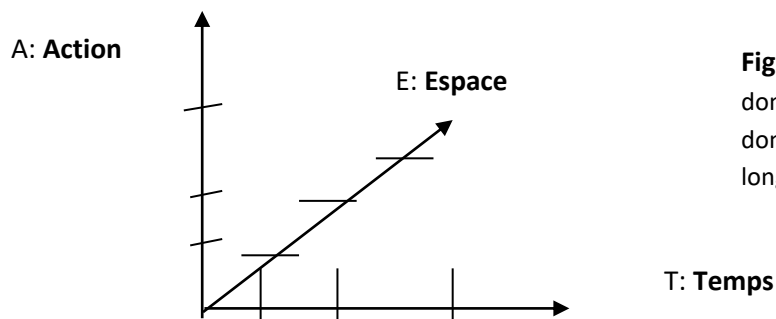


Figure03 : 3A*3T*3E
donne 27 chances de succès
donc une meilleure
longévité des ouvrages.

Toutes ces indications n'ont pas la prétention de donner des solutions finies, ni de résoudre tous les problèmes de voisinage. L'ingénierie topographique coûte cher, mais elle reste incontournable pour la réussite des projets environnementaux. Par ailleurs, Le comportement des ouvrages et des réseaux sur le plan physique entraîne des actions de genèses sur l'environnement qui peuvent avoir des conséquences à court, moyen et long terme : facies géologique, facies chimique et facteurs physiques

La structuration de l'information technique et spatiale (SCHEMA) conduit à une modélisation informatique (MCD) qui doit prendre en charge une implémentation physique des informations. Le système d'information pour l'environnement pose un double problème lié à l'inventaire des différentes informations et à leur structuration sous forme de schémas. Cette étape d'inventaire nécessite la prise en compte d'un modèle de transfert (voir annexe 01 diagramme **Rimbert - 1990**) pour adapter le schéma du SIE et rechercher une équivalence entre les options techniques et les éléments de cartes qui sont généralement des légendes ou des nomenclatures.

Pour entamer les travaux sur l'hydro environnement de la région d'Oum el Assel nous utilisons les métadonnées relatives aux facteurs suivants :

- Les paramètres physiques
- Les éléments chimiques
- Les valeurs des anions et les valeurs des cations majeurs

Les mesures étaient établies au laboratoire du département STU par Madame Djellouli Della pour l'encadrement des étudiants Rahmani et Hadj Belkacemi.

Les métadonnées sont subdivisées en trois parties :

- Les métadonnées du relief
- Les métadonnées des facteurs physiques
- Les métadonnées de paramètres chimiques

Dans cette approche d'étude environnementale l'objectif principal étant de rassembler les données disponibles et de les classer afin de préparer un modèle de développement durable. Les cartes thématiques sont la référence de l'opération initiale du suivi de l'environnement.

Les principales données sont regroupées dans les tableaux suivants :

Tableau.01 : des paramètres physique.

Forage	Cond(us/ cm)	PH	TDS (mg /l)	Turbidité	Dureté (TH)
F2	1875	7.2	986	0.1	66
F4	1530	7.31	960	0.1	67
F5	1700	7.35	1109.4	0.1	74
Hasse baladai	1641	7.65	852	0.1	/
F agricole	1704	7.61	883	0.1	/
Norme Algérienne	2800	6.5+8.5	2000	05	50

Tableau.02 : des éléments chimiques.

Forage	Cl ⁻ (mg/l)	TA C (°F)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	k ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	So ₄ ²⁻ (mg/l)	N O ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)
F2	305.30	3.96	48.31	206	58	4	50	500		0
F4	240	11	134.2	177	42	2	55	270	45	0.005
F5	350	10	122	177	74	4	80	300	64	0.002
Hasse baladai	280.45	5.68	69.29	/	/	/	/	/	/	/
F agricole	266.26	3.87	47.21	/	/	/	/	/	/	/
Norme Algérienne	55	20	244	200	150	20	200	400	50	0.2

Tableau.03: les valeurs des anions et les valeurs des cations majeurs

forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	No ₃	No ²⁻	So ₄ ²⁻
F2	206	42	50	4	305	500	0	45
F4	177	58	55	2	240	270	0.005	31
F5	177	74	80	4	350	300	0.002	64

Les métadonnées du relief

Morphologiquement le relief de la zone peut se diviser en deux parties, l'hamada au nord, les affleurements rocheux au sud ; le coin sud – oriental est constitué par un petit morceau de l'erg.

L'hamada connue, au niveau régional, comme hamada de Tindouf et localement à d'autres noms, en particulier hamada Arouieda au sud et hamada ed Douakel à l'Est.

Sa limite nord est pratiquement constituée par le piémont de l'Atlas ; ses limites Est et Ouest sont constituées par les affleurements des formations plus vieilles, la limite méridionale est constituée par une falaise qui s'élève sur les formations paléozoïques.

La surface de l'hamada est tabulaire avec de petites ondulations ; les cotes varient entre 420 m et 480 m environ. Quelques falaises à direction, presque ouest – est, se trouvent dans la partie centrale de la Hamada ed Douakel. L'Hamada est marquée par des dépressions à la forme et aux dimensions variables. Dans les dépressions se sont installées les sebkhas dont le principal est la sebkha de Tindouf. Celle-ci est étendue le long d'une ligne ouest – est sur une longueur de plus de 100 km tandis que la largeur n'atteint pas 20 km.

Les affleurements rocheux sont constitués pour la plus grande partie, par des grès paléozoïques et par des granites, d'une manière subordonnée par des siltstones et argile du dévonien moyen et supérieur. L'aspect des affleurements rocheux est plus mouvementé que celui de l'hamada, mais il ne présente que rarement des pentes abruptes ; l'érosion a arrondi tous les angles et les arêtes des roches.

La nappe hamadienne située dans les terrains perméables s'étale jusqu'à proximité des pieds de la chaîne Anti - Atlasique. La nappe Hamadienne dont le réseau hydrographique est constituée par une série de bassins endoréique, qui englobe la grande sebkha de Tindouf, la petite sebkha Abdallah, la sebkha d'Ain el Barka dans le secteur N-E et par d'autres sebkhas plus petites. Les terrains Hamadiens sont représentés moins argileux avec conglomérats parfois argiles à la base et au toit des dalles de calcaire dolomitiques.

L'épaisseur de la lithologie de la formation dans la zone de Sebkha Abdallah peut atteindre une dizaine de mètres. Le lit imperméable est normalement constitué par les argiles et les argiles sableuses Namuro-Westphalien ou en général du Paléozoïque, parfois les terrains perméables de la Hamada sont en contact hydraulique avec les couches sous – jacentes du

Viséen Supérieur. La nappe qui se trouve dans ces terrains est libre et l'épaisseur de la zone saturée est variable. La carte de cette zone représentée est représentée sur les figures suivante.

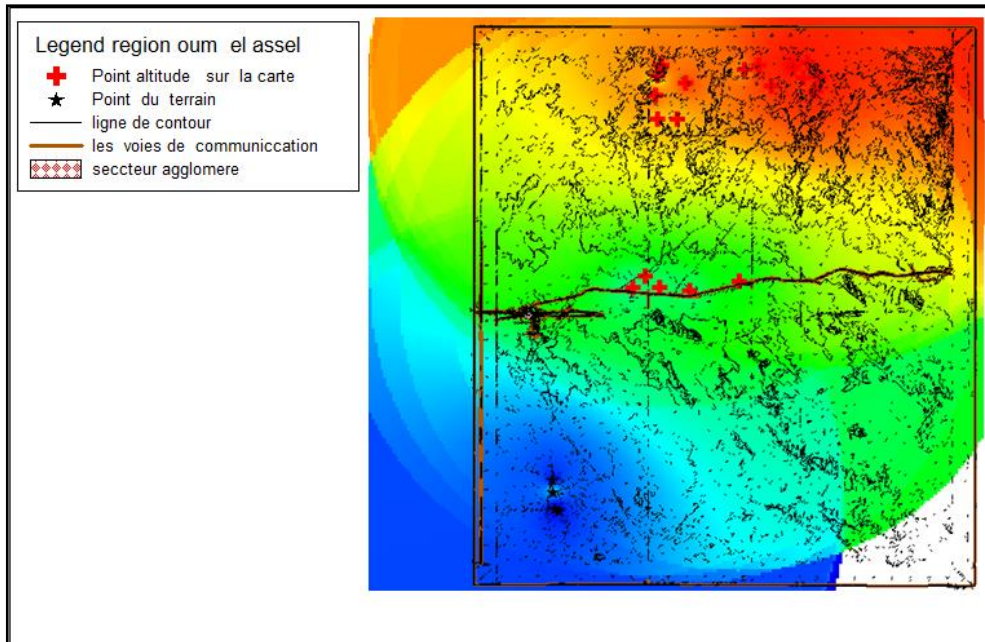


Figure04 topographie de la région D'Oum el Assel

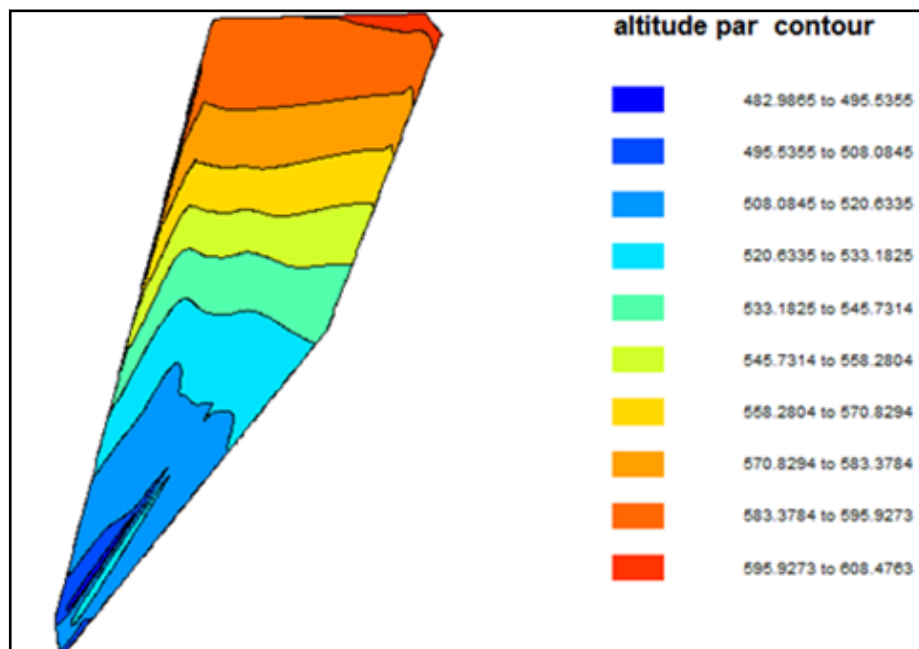


Figure05 Relief défini par contour ou classe d'altitude

Les métadonnées physico-chimiques

Les forages de la commune de Oum el Assel sont visualises sur la carte suivante afin de prendre en charge les différents paramètres. Dans ce contexte il est souhaitable une prospection géophysique pour améliorer le débit et le quantitatif assurant l'agglomération de Oum el Assel.

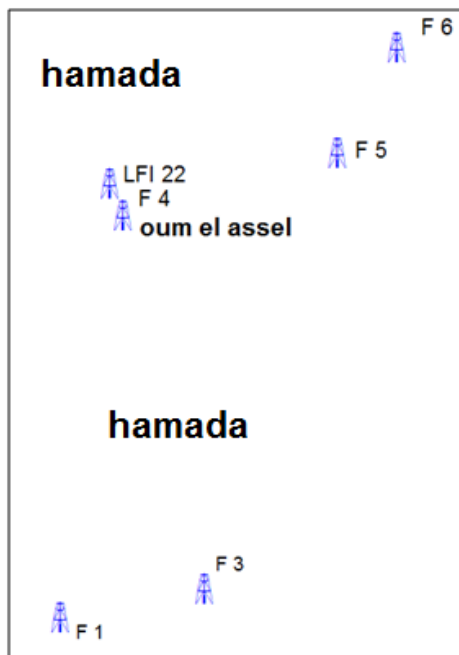


Figure06 : situation des forages par rapport à l'agglomération d'Oum el Assel

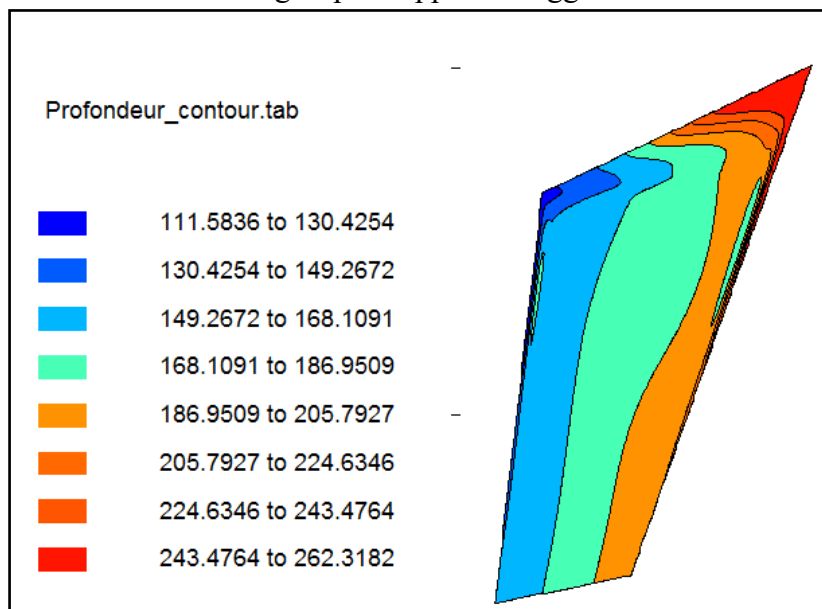


Figure 07 description de la profondeur de la nappe

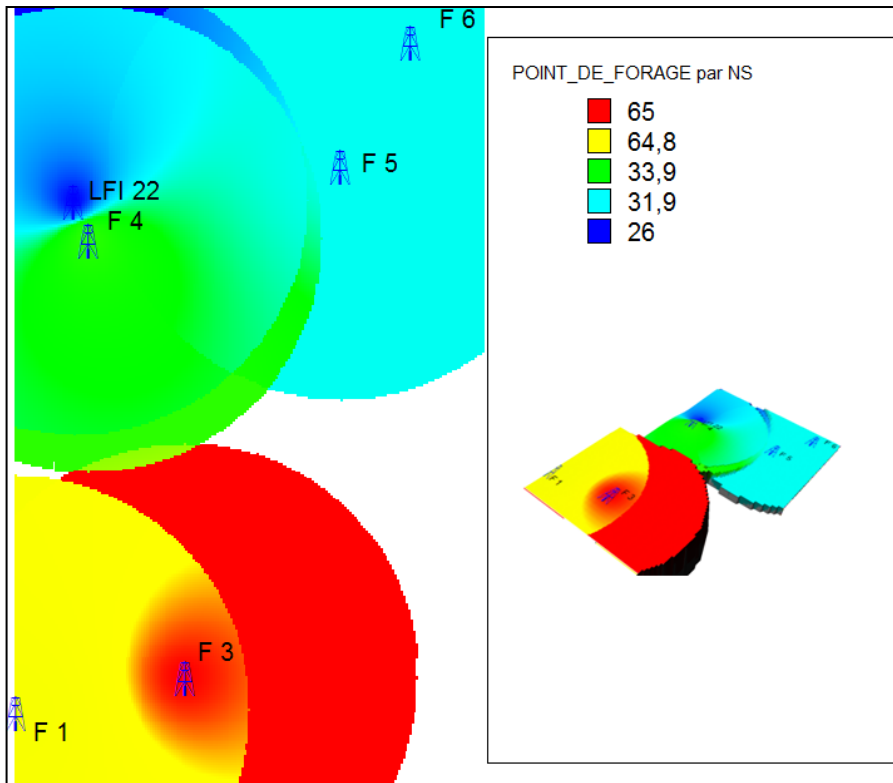


Figure08 représentation du niveau statique

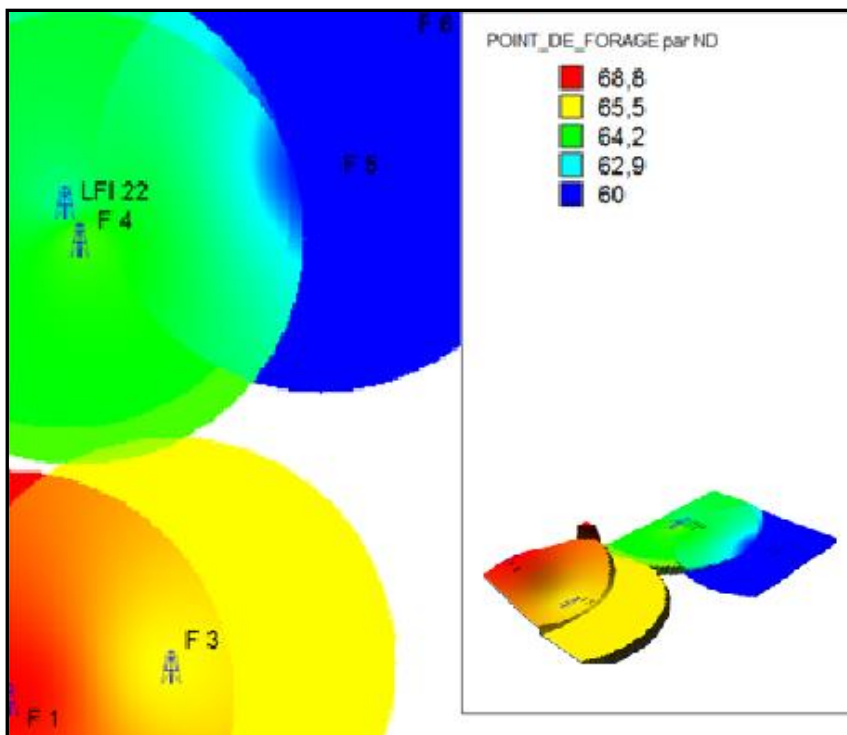


Figure09 représentation du niveau dynamique

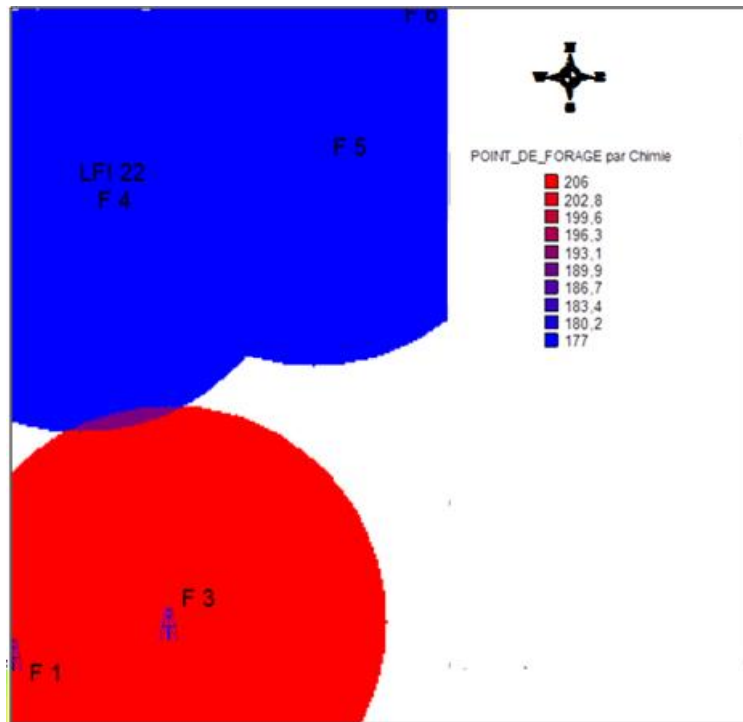


Figure 10 influence du facteur chimique (chlorure)

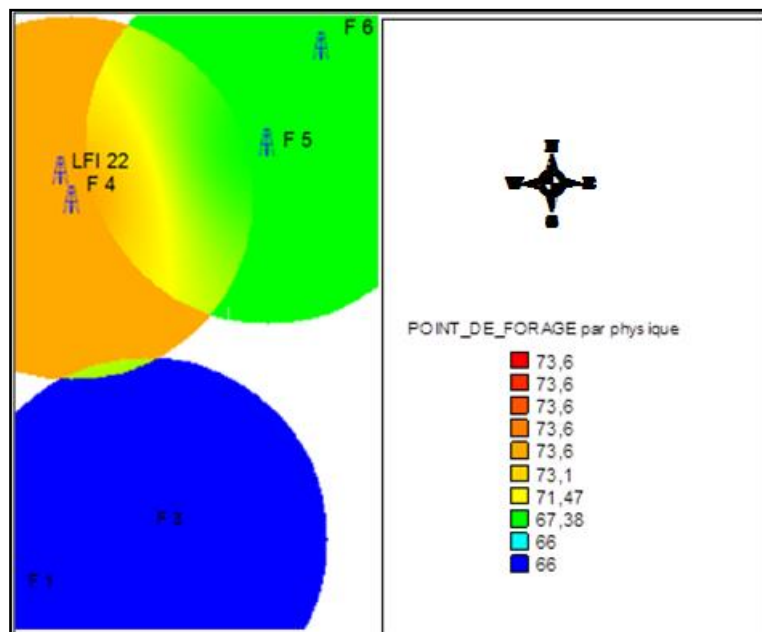


Figure 11 influence de facteur physique

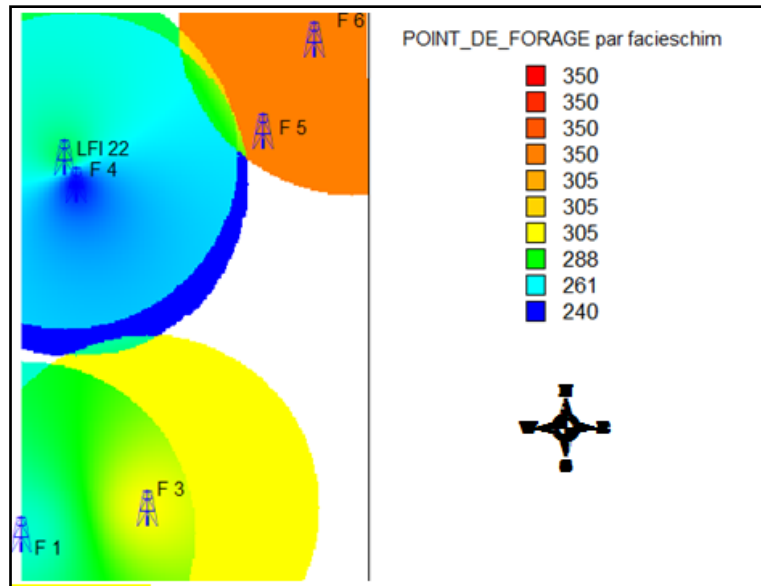


Figure12 influence du facteur facies chimique

IV. Analyse et interprétation

Au niveau de la conception, il est nécessaire de prendre en considération le circuit fonctionnel de l'entreprise pour dégager les informations pertinentes et de suivre les mises à jour de façon simplifiée.

Sachant que le modèle de carte est dégagé selon une vue globale, il est alors nécessaire de parler de base de donnée pour l'intervention dans les réseaux d'alimentation en eau : il est donc nécessaire de mettre en place des spécifications cartographiques des tolérances admise sur les paramètres physico chimiques, la mise à jour et production de la carte d'intervention numérique

Les fonctions de généralisation et d'agrégation sont déduites des inventaires et traités par des schémas de structuration de l'information. Cette phase restera en recherche tout au long du projet. Le traitement cartographique doit permettre un découpage des bassins versants selon les périmètres de sécurité pour le plan d'alimentation.

Les valeurs de PH en toutes les forages ne dépasse pas la norme algérienne (6.5 a 8.5). Les valeurs TDS en chaque forages d'OUM EL ASSEL (F2, F4, F5, Hassi baladai, F agricole) ne dépasse pas la norme Algérienne.

La turbidité dans chaque forages d'OUM EL ASSL (F2 , F2 , F5 , Hassi baladai , F agricole) Pesade la même valeurs et ne dépasse pas la norme Algérienne.

La dureté de chaque **forage (F2, F4, F5) dépasse** la norme Algérienne.

Les valeurs de TAC tout les forages (F2, F4, F5, Hasse baladai, F agricole) ne dépasse pas la norme Algérienne le et les valeurs de bicarbonate tout les forages (F2 , F4 , F5, Hasse baladai F agricole) ne dépasse pas la norme Algérienne.

La concentration des ions de Calcium dans tout les forages F4 et F5 ne dépasse pas la norme algérienne 200mg/l Sauf le forage F2 dépasse la norme Algérienne.

Les valeurs des ions magnésium ne dépassé pas la norme Algérienne dans tous les forages (F2, F4, F5) Le potassium (ions) en tout les forages (F2, F4, F5) ne dépassé pas la norme algérienne dans les forges.

Les ions du sodium dans tout les forages F2, F4, F5 ne dépassé pas la norme Algérienne 200 mg/l.

Les ions de sulfates dans les forages (F4, F5) ne dépasse pas la norme algérienne 400 mg/l **sauf forage F2** dépasse la norme Algérienne.

La teneur de nitrates dans tout les forages F2 et F4 ne dépasse pas la norme Algérienne 50 mg/l **sauf le forage F5** dépasse la norme algérienne.

Les valeurs des ions de nitrite dans tous les forages très faibles par rapport aux normes Algérienne.

Interprétation des facies chimiques en fonction de la lithologie apportera des indicateurs pour la maîtrise de l'environnement des ouvrages (forages et puits).

IV.3.Recommandations

La sécheresse en provoquant la dégradation des sols, eaux et végétation, détruit les trois éléments qui constituent la base naturelle de l'existence même de l'homme. La durabilité de notre développement dépendra de notre capacité de lutte contre la dégradation des ressources hydriques. Elle requiert de vigoureuses actions en aménagement du territoire, gestion des ressources naturelles, recherche, suivi et évaluation de l'utilisation des ressources, mise en place d'un cadre institutionnel de planification et de contrôle de l'environnement, le renforcement des capacités de tous

les acteurs impliqués dans la gestion de l'environnement, gestion décentralisée des ressources et la mobilisation de ressources financières importantes, Etc.

Le Développement Humain Durable de la région de tindouf recommande en plus des recommandations faites dans les paragraphes précédents de :

- améliorer les techniques de maîtrise des eaux de surface et des eaux souterraines par la réalisation de châteaux d'eau, la mise en place d'un programme de gestion intégrée des ressources en eau ;
- assurer le contrôle rigoureux des produits chimiques toxiques utilisés dans l'exploitation minière et l'application rigoureuse du code minier et du décret portant institution des études d'impact sur l'environnemental ;

- promouvoir l'hygiène et l'assainissement dans les agglomérations et les campagnes en zone rurale.
- concevoir et mettre en œuvre un programme de construction et d'entretien d'infrastructures et d'équipements de drainage des eaux pluviales, de collecte et d'évacuation des déchets solides et liquides ;
- Lutter contre l'ensablement de toutes les sources d'eau et singulièrement les cours d'eau.
- Promouvoir la gestion intégrée des ressources en eau sur l'étendue du territoire de Tindouf.
- Renforcer les capacités de gestion communale, communautaire, et villageoise des ressources naturelles.

À travers le temps, plusieurs principes ont été intégrés dans la politique environnementale. Parmi les thèmes à prendre en compte seront comme suit

- Les facies chimiques et lithologiques sous forme de cartes corrélées,
- Les paramètres physiques en relation avec la nappe,
- Etude hydrodynamique au travers NStatique et NDynamique.

La carte de la figure 13 est un exemple pour la mise en relation de la nappe avec les forages (paramètres physico chimique).

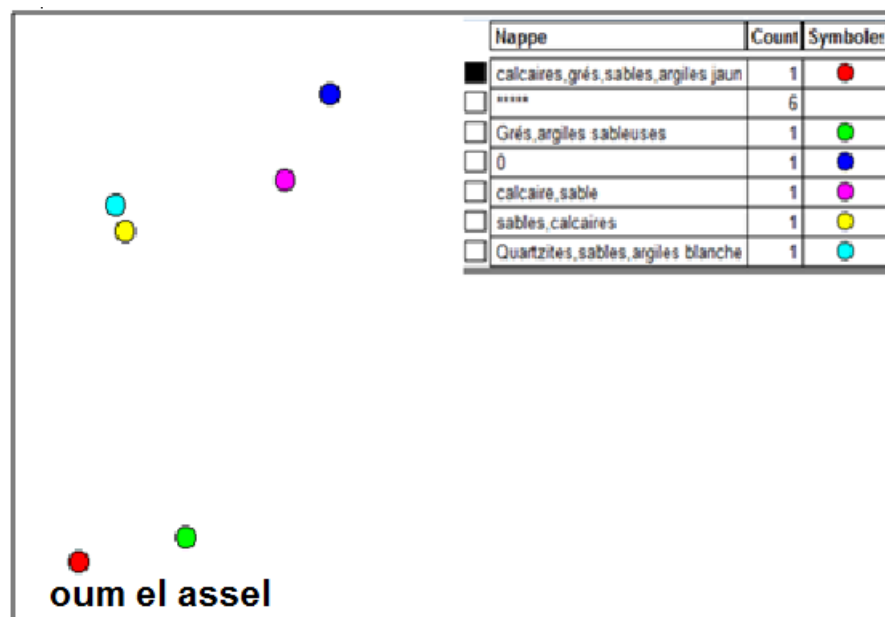


Figure13 situation des facies des forages par rapport à l'agglomération d'Oum el Assel

La mise en œuvre d'un système d'information géographique est nécessaire pour une connaissance détaillée de l'existant avec un inventaire exhaustif de toutes les données liées aux nappes (aquifères) et leur fonctionnement afin d'évaluer les interventions et le traitement

des incidents, depuis la localisation des conduites au moyen des plans cartographiques jusqu'à l'intervention et le dépannage. Les fonctions de généralisation et d'agrégation sont déduites des inventaires et traités par des schémas de structuration de l'information. Cette phase restera en recherche tout au long du projet. Le traitement cartographique doit permettre un découpage selon les périmètres de sécurité pour le plan de gestion. Ce type de modèle est représenté dans l'organigramme de la figure 14.

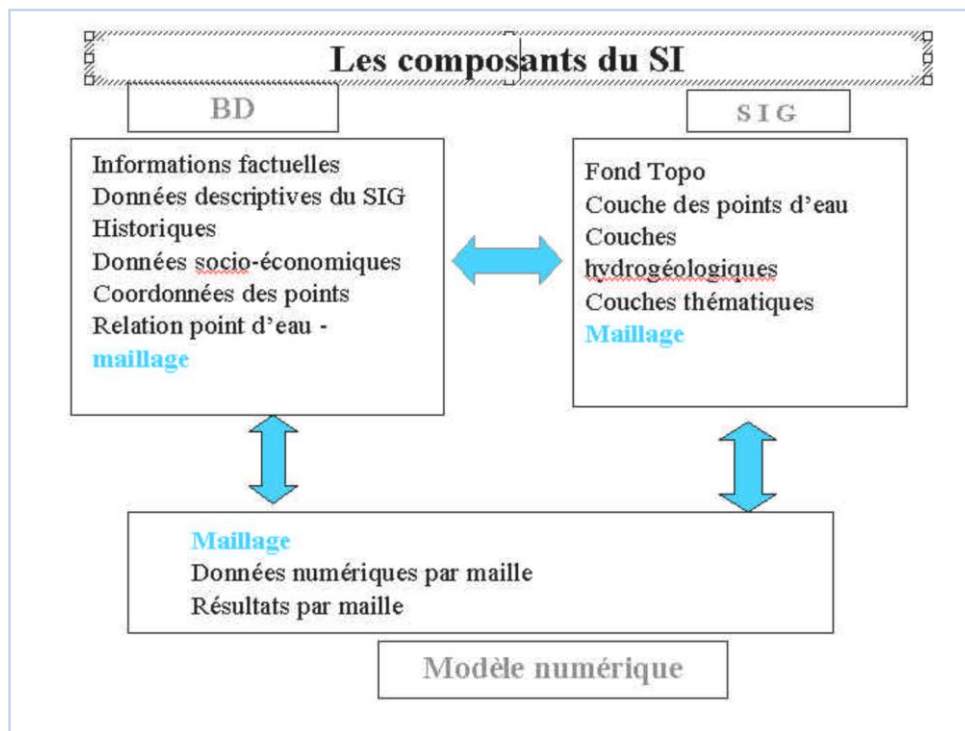


Figure 14 Un exemple de modèle numérique pour un système environnemental

CONCLUSION

Cette étude a concerné les principaux aquifères du sud ouest du Sahara le continental intercalaire dans les régions de Tindouf et Oum el Assel, Nous avons utilisé une variété de données pour qualifier les ressources en eau d'un point de vue quantitatif et qualitatif. D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non-conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du continental intercalaire).

Sur le plan hydrogéologique, en générale, les forages réalisés dans cette région ont mis en évidence des terrains constitués dans l'ensemble, de grès quartzeux, d'argile, d'argile sableuse, de grès parfois roses de sable, de marnes parfois rouges et de grès sableux. L'alimentation de la nappe du continental intercalaire est très faible dans la région d'étude par contre l'exploitation qui est très important soit par des forages d'eau ou la profondeur des forages varie entre (110-263 m).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'application montre que la cartographie numérique est une solution adéquate pour le traitement de l'information géographique hydrogéologique fiable et actualisée. Pour une région comme l'agglomération d'Oum el Assel, Elle assure une bonne gestion et une exploitation effective en hydro environnement, on peut dire que c'est un outil d'exploitation et de mise à jour permettant d'étudier les solutions aux problèmes rencontrés et de prévoir des situations futures. La prévention sur les réseaux passe par une analyse détaillée sur les incidents enregistrés (sur les éléments majeurs).

Cette modeste contribution pour les études en environnement apporte une vision tout à fait nouvelle dans l'intégration des données de proximité pour produire effectivement une cartographie de voisinage liée à la prévention des risques de pollution sur les ressources en eau. Les aspects légaux sont incontournables pour réaliser des modèles normatifs qui s'articuleront autour d'un moteur d'inférence articulé autour de la cartographie numérique. Le découpage de l'espace-temps en intervalles ou en itérations permet de suivre l'évolution du voisinage et donc d'éviter la dégradation des ouvrages, des biens et des hommes.

Lorsqu'on arrive à des levés topographiques de voisinage très cohérent, il s'avère nécessaire de mettre en place une topologie pour les requêtes et l'analyse spatiale. L'adoption d'une représentation corrélatrice des données environnementales des ouvrages sur le réseau est une bonne alternative pour la prise de décision. Selon l'exemple du second chapitre dont :

$f(X, Y, Z, \alpha, \beta, \lambda)$ pour un point i donné, avec (α, β, λ) indicateurs indépendants tenant compte des indicateurs de la méthode DRASTIC. Ces deux fonctions empiriques vont permettre de réaliser des cartes thématiques en hydroenvironnement pour la région d'Oum el Assel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] (Destombesetal., 1985 ; Bertrand-Sarfati et al., 1990). Il s'agit d'un bassin périgratonique qui s'est développé sur la marge nord du craton ouest-africain.
- [2] (SONATRACH, 1987). Son remplissage sédimentaire s'effectue du Cambrien au Carbonifère, et son épaisseur atteint entre 8000 et 10000 m.
- [3] (Durozoy, 1959 ; Buffière et al., 1965 ; Villemur, 1967), Au nord, le bassin de Tindouf repose en discordance majeure sur le socle éburnéen des Eglab.
- [4].Hollard,1970. Les grès et schistes de Tazout(111md'épaisseur):il sa ppartienntau Tournaisien supérieur
- [5] (d'après Sougy, 1969). Coupe géologique du Bassin de Tindouf
- [6] d'après Gevin (1960). Le bassin de Tindouf s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur).
- [7] (Wilson, 1968) Le bassin de Tindouf est l'aboutissement d'une histoire tectonique dont les premières manifestations remontent au Précambrien. Les différentes orogènes de cette partie du Sahara sont les effets directs des collisions inter-continentales qui ont affecté les plaques africaines et Nord-américaine
- [8] d'après Gevin (1960) La couverture sédimentaire a subi un certain nombre d'actions tectoniques;
- [9] d'après DRE Tindouf (2012) Les différentes nappes qui intéressent le bassin de Tindouf sont de bas en haut.
- [10] d'après DRE Tindouf (2012). Elle n'est connue qu'au sud de la région, aux environs de Gara - Djebilet ou très difficilement les forages d'exploitation pourront fournir des débits supérieurs à 02 l/s.
Jusqu'à l'heure actuelle, cette nappe n'est pas encore exploitée
- [11] (DRE TDF). Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf.
- [12] (DIDA. M ING DER TDF). Carte géologique montrant les différentes structures géologiques
- [13] [Lassgaa Ibrahim /2008] .rapport géologique de stage d'Oum el Assel.
- [14] Climat de la région de la station météorologique.
- [15] Les informations hydrogéologiques de la région Direction de ressource en eau et ANRH
- [16] (DRE Tindouf) Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf.

[17] **A.Benhamouche - 2003.** Carte de fracturation de bassin de Tindouf.

[18] **Bézélgues et al ,2002** La méthode DRASTIC tire son nom de l'acronyme de ses 7 paramètres de vulnérabilité.

[19] **S.Rimbert** « carto - graphies » .HERMES

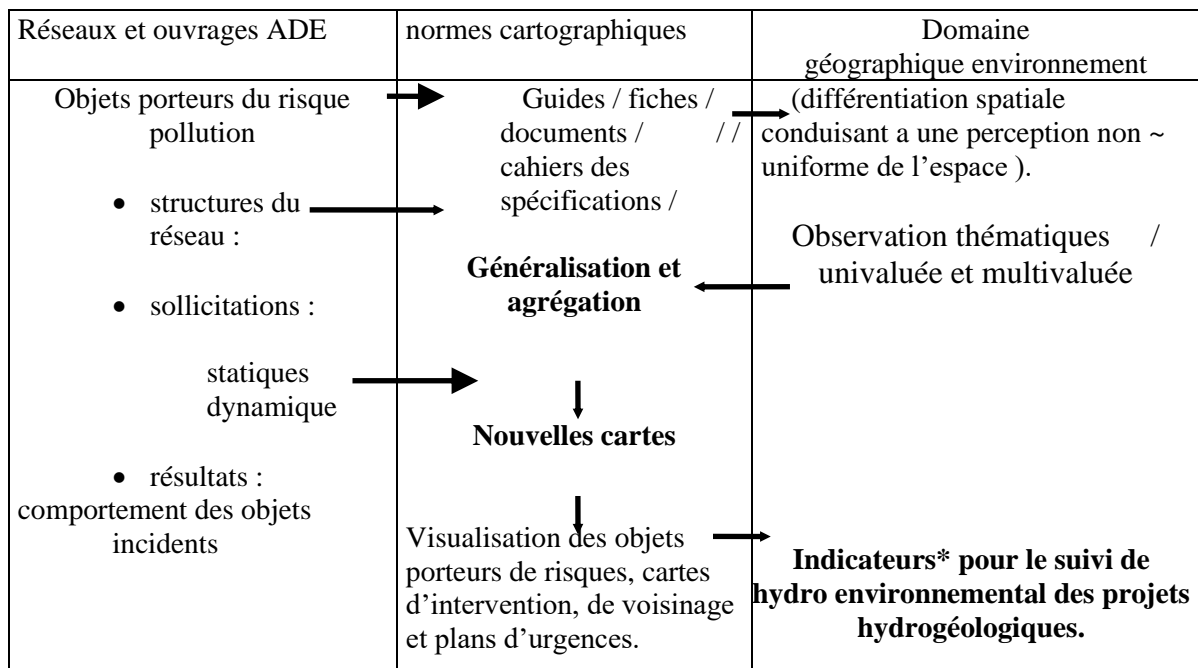
[20] **J. COMBE** « gestion d'un espace industriel » revue XYZ n°45 –1990.

[21] **FERNAND.J** : La cartographie. EDITION Magellan - P.U.F

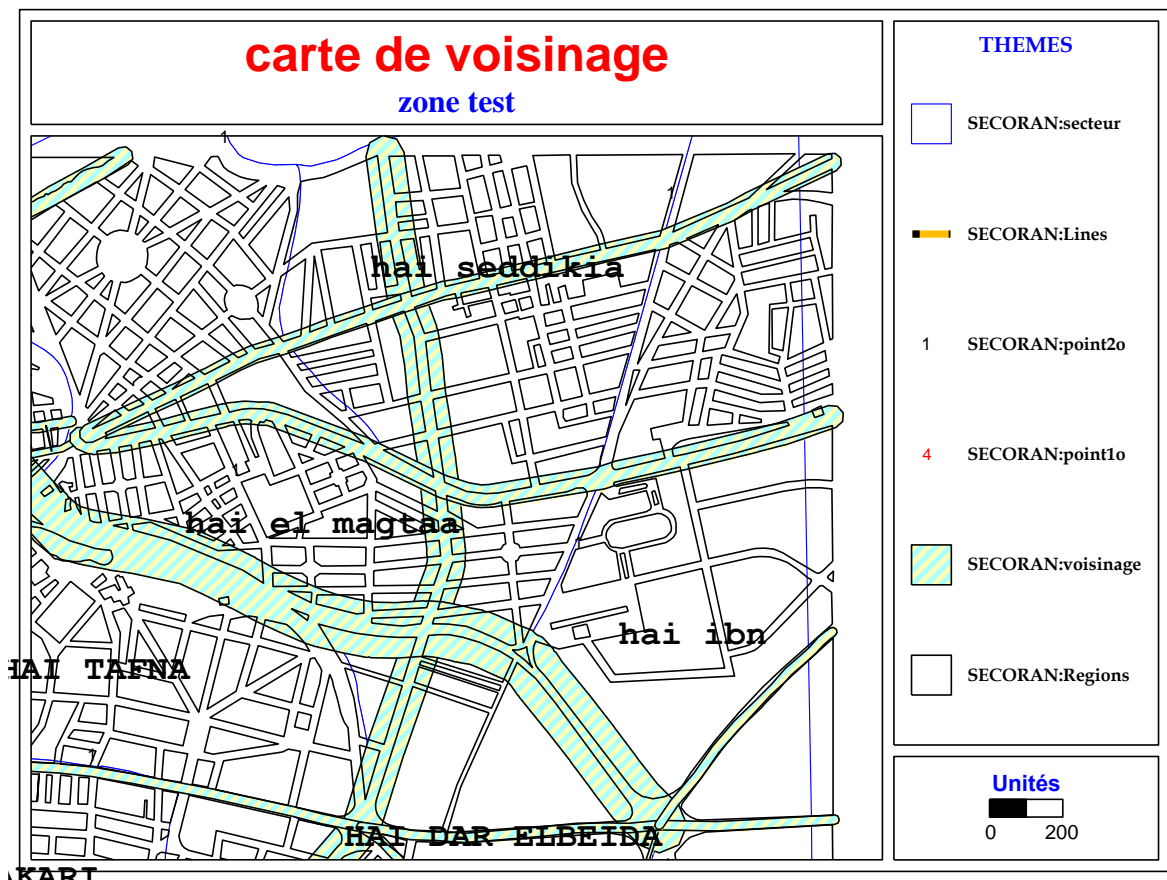
s sites web

- http://www.mapnall.com/fr/Carte-g%C3%A9ographique-Wilaya-de-Tindouf_1104748.html
- <http://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2017/tindouf/valeurs/60656.html>
- http://www.alnaft.gov.dz/IMG/pdf/6-Bassin_de_Tindouf.pdf

Annexe 01 : diagramme selon Rimbart



Annexe 02 : exemple de carte de voisinage en zone urbaine



Annexe 03 : niveau piézométrique d'Oum el Assel

