



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

UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR BATNA
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère en dynamique des milieux
physiques et risques naturels

Analyse de la vulnérabilité des nappes aquifères
de la région de Oued Souf
entre le phénomène de la remontée des eaux et l'impact du développement urbain

Présenté par Melle : Arami Soumia

Devant le jury :

Kalla Mahdi **Maître de conférence** **Univ. Batna**

Président

Kherici Nacer **Professeur** **Univ. Annaba** **Examineur**

Amireche Hamza **Maître de conférence** **Univ. Constantine** **Examineur**

Dridi Hadda **Maître de conférence** **Univ. Batna** **Rapporteur**

2007/ 2008

Remerciements

Je remercie **Dieu** qui ma donné la force et la patience pour atteindre mes buts.

Je remercie très vivement mon promoteur Mme **H. Dridi**, qui a proposé et dirigé ce travail, pour sont encadrement efficace, ainsi que pour sa patience tout au long de travail.

Je remercie particulièrement :

- Mr. **M.Kalla**, pour m'avoir donné accès au savoir et à la recherche.
- Mr. **M. Khemari**, pour son aide précieux.
- Mr. **K.Benaziza**, pour m'avoir permis d'effectuer des recherches dans son établissement.
- Mr. **M.Filali**, Pour son aide et tout ses conseils judicieux.
- Mlle. **R. Senouci**, Pour son aide à la recherche scientifique.
- Mlle. **A.Mziani**, pour son encouragement.

Je viens à remercier et exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, ils trouveront ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Enfin mes parents, frères et sœurs et mes collègues pour leur soutien moral et matériel.

Introduction générale



L'eau, une ressource minérale indispensable pour toutes les créatures vivantes. Elle est une nécessité pour la vie. Avec l'accroissement de la population, les gens durent vivre loin des rivières et autres plans d'eau. Par conséquent, d'autres sources comme l'eau souterraine furent découvertes. L'eau souterraine a des avantages évidents sur l'eau de surface. Aussi, a-t-elle été le paramètre principal des études sur l'environnement humain. Scientifiquement, ce domaine a été exploré depuis longtemps.

Le présent travail porte sur l'impact de la remontée des eaux sur la vulnérabilité des nappes aquifères de la vallée du Souf et leur impact sur l'environnement.

La vulnérabilité se définit comme la sensibilité d'un territoire à un aléa. Cette sensibilité se décline en termes de dommages aux personnes et aux biens, et de perturbation de l'activité socio-économique.

La vulnérabilité des eaux souterraines doit être comprise comme un défaut de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

La région d'El Oued est située dans le Bas Sahara au centre d'une grande cuvette synclinale dans laquelle nous pouvons distinguer trois nappes d'eau souterraine :

- la nappe phréatique proprement dite ;
- le Complexe Terminal (CT) ;

- le Continental Intercalaire (CI).

Traditionnellement, les populations utilisent rationnellement les ressources que lui offraient les nappes phréatiques du Souf. La région ne connaissait en effet qu'une faible implantation humaine et il n'y avait donc pas de déséquilibre sur ce plan-là.

Les pratiques agricoles se limitaient à la technique des ghouts (vastes entonnoirs creusés par la main de l'homme) au fond desquels étaient plantées des palmerais. Les palmiers dattiers n'avaient alors qu'à puiser l'eau nécessaire directement dans la nappe phréatique, la surface de celle-ci étant facilement accessible à leur système racinaire.

Vers la fin du 19^{ème} siècle, on observe une sensible baisse du niveau statique de la nappe vraisemblablement due à l'augmentation des besoins en AEP de la population résidente sans cesse croissante, à l'extension des cultures et à son irrigation par de nombreux puits artisanaux. C'est alors par l'accroissement des besoins de la ressource que l'on a recherché d'autres solutions et que l'on s'est tourné vers de nouvelles ressources en eau pour mettre en pratique certaines techniques modernes d'irrigation. On a donc eu recours aux nappes captives profondes, l'artésianisme local de celles-ci a par ailleurs rendu l'exploitation de cette eau facile.

Pour bien appréhender les problèmes de la remontée des eaux et les différents paramètres hydrogéologiques et physico-chimiques de la nappe phréatique de la vallée du Souf et leur distribution spatiale ainsi leurs relations, il nous est apparu indispensable de traiter quatre objectifs précis que nous développerons en trois parties :

- **1^{ère} partie : Environnement physique et caractéristiques des aquifères :**

- **Chapitre I** : Présentation générale de la région d'étude.
- **Chapitre II** : Les Composantes du milieu physique.
- **Chapitre III** : les données hydrogéologiques.

- **2^{ème} partie : Les enjeux socio- économiques (socialisation de l'espace) :**

- **Chapitre I** : Evaluation de l'espace urbain du Souf et ses dysfonctionnements.
- **Chapitre II** : Réseau d'assainissement et d'AEP.
- **Chapitre III** : L'impact des rejets urbain sur l'environnement.

- **3^{ème} partie : Solutions préconisées pour le phénomène de la remontée des eaux :**

- **Chapitre I** : Solutions environnementales.
- **Chapitre II** : Solutions techniques.

Problématique

Le développement urbain, l'importante augmentation de la population et l'extension des surfaces de cultures ont exigé un accroissement en eau potable, entraînant une baisse du niveau de la nappe phréatique dans la région du Souf. Pour répondre à ces besoins croissants, des forages profonds, atteignant les nappes d'eaux souterraines, des niveaux captifs du complexe terminal et du continental intercalaire ont été réalisés.

La surexploitation des nappes souterraines, l'absence de réseau d'eau usée et de drainage ont engendré la remontée du niveau piézométrique de la nappe superficielle, qui s'est manifestée en **1969** dans certaines communes actuellement généralisées dans toute la région du Souf. Cette remontée de la nappe superficielle sous l'effet des rejets urbains et des pertes issues des réseaux de l'agglomération trouve largement son origine dans les grandes concentrations urbaines qui opèrent des prélèvements excessifs dans les nappes profondes.

On distingue **(03)** types de nappe d'aquifères à Oued Souf :

- La nappe phréatique située entre **0 à 60 m** de profondeur (1^{ère} nappe).
- Le complexe terminal situé entre **220 à 600 m** de profondeur (2^{ème} nappe).
- Le continentale intercalaire ou "Albien" situé entre **1800 et 2000 m** de profondeur (3^{ème} nappe).

Dans notre travail de recherche, nous accordons une attention particulière à la vulnérabilité de ces nappes aquifères eu égard de l'impact de la remontée des eaux sur ces derniers ainsi que des flux hydriques non traités en provenance des centres urbains qui nous laissent aucun doute sur leur qualité. L'objectif est d'apporter une modeste contribution à ce problème environnemental complexe. Pour cela nous suggérons un plan de travail en trois volets :

- Le premier consistera à caractériser les paramètres hydrodynamiques des nappes aquifères et leurs variations spatio-temporelles dans le seul but de cerner et de cartographier les secteurs les plus vulnérables. Nous utiliserons pour cela les méthodes cartographiques les plus adéquates.

- Le deuxième volet correspond à une analyse de l'espace en amont en l'occurrence l'espace urbain et son impact sur ces milieux récepteurs. Il s'agit dans cette partie d'analyser certains aspects de la dynamique urbaine, de caractériser les réseaux d'assainissement et leur articulation dans l'espace, et d'identifier les principales sources de pollution au droit de ces nappes.
- Le dernier volet sera consacré à un essai pour un plan intégré d'aménagement qui présentera des propositions de solutions pour l'excédent d'eau dans ces nappes et la protection de celles-ci contre la dégradation.



Première partie

**Environnement physique
et
caractéristiques des aquifères**

Introduction

A l'instar des autres régions du Sahara Septentrional, domaine des Oasis où le sous-sol regorge de deux nappes impressionnantes, durant la dernière décennie dans la région du Souf, un phénomène de remontée progressive de la nappe phréatique a été observé.

L'inondation des cratères et des dépressions, entraîne des conséquences néfastes tant sur le plan hygiénique que sur le plan écologique.

Afin de préconiser une solution à ce phénomène crucial, nous avons repris l'étude géologique, hydroclimatologique, géophysique, hydrodynamique et des analyses statistiques des données piézométriques et chimiques pour mieux éclaircir la relation entre l'alimentation de la nappe et le phénomène de remontée lui-même. Ces études ont conduit à l'établissement des cartes piézométriques (sens d'écoulement, équidistance, gradient hydraulique...) indispensables à toute étude hydrodynamique et permettent de localiser les zones de contamination.

Pour analyser ce basculement, nous disposons d'un bon élément de référence.

Ce travail a été réalisé à l'aide du logiciel de cartographie et des SIG :(**MAPINFO version 7.5, SURFER version8.0**).

Premier chapitre

Présentation générale de la région d'étude

Le **Souf** nom berbère de rivière, synonyme de «Oued». Depuis plusieurs siècles ce type d'espace saharien souffre des problèmes assez importants, et/ou on peut dire qu'il est une problématique de lui-même.

Pour comprendre ces espaces, leur fonctionnement, leurs problèmes, leur morphologie et climat, ..., il convient d'abord de cerner leur situation générale.

I- Situation de l'air d'étude :

La région du Souf, vaste ensemble de palmeraies entourées de dunes blondes, atteignant par endroit jusqu'à cent mètres de hauteur, fait partie du Sahara Nord- Est septentrional.

Le Souf n'est pas une région naturelle, mais une région humaine : c'est une unité créée par le travail de l'homme, et qui, de ce fait, s'oppose au reste de la région présentant une véritable unité géographique.

I-1- Situation géographique :

Oued Souf est occupée par un chaos de dunes au « Grand Erg oriental » sur un territoire de **44.586, 80 Km²**. cette région se trouve limitée au nord par la zone des chotts (Melhir et Merouane), au Sud par l'extension du grande Erg oriental, à l'ouest par l'Oued Rhig, il s'agit des sebkhas entourées par des dunes de sable, et à l'Est par la frontière tunisienne.

Oued Souf se trouve à environ **500 Km** au Sud – Est d'Alger et **350 Km** à l'Ouest de Gabes (Tunisie). (Voire carte n° 01) :

I-2- Situation topographique :

Elle se caractérise par une importante variation de côte faite jusqu'à **21,46 m**, le point le plus haut c'est la côte **81.48m** alors que le point le plus bas correspond à la côte **60,01m**. (Voire carte n° 03).

I-3- Situation administratif :

La wilaya d'El Oued occupe une superficie de **44.586 km²** avec une population de **529.842** habitants donnant ainsi une densité de **12 hab/km²**, répartie à travers **18** communes regroupées dans **12 daïras**, elle est limitée par les wilayas suivantes :

- Biskra, Khenchela et Tebessa au Nord.
- Djelfa au Nord- Ouest
- Ouargla au Sud et au Sud Ouest.
- La Tunisie à l'Est. (Voire carte n° 04).

I-1-1- Situation d'après latitude et longitude :

La région de Oued Souf est une petite région comprise entre les 33° et 34° de latitude de Nord et les 6° et 8° de longitude Est. Aux confins septentrionaux de l'Erg oriental.

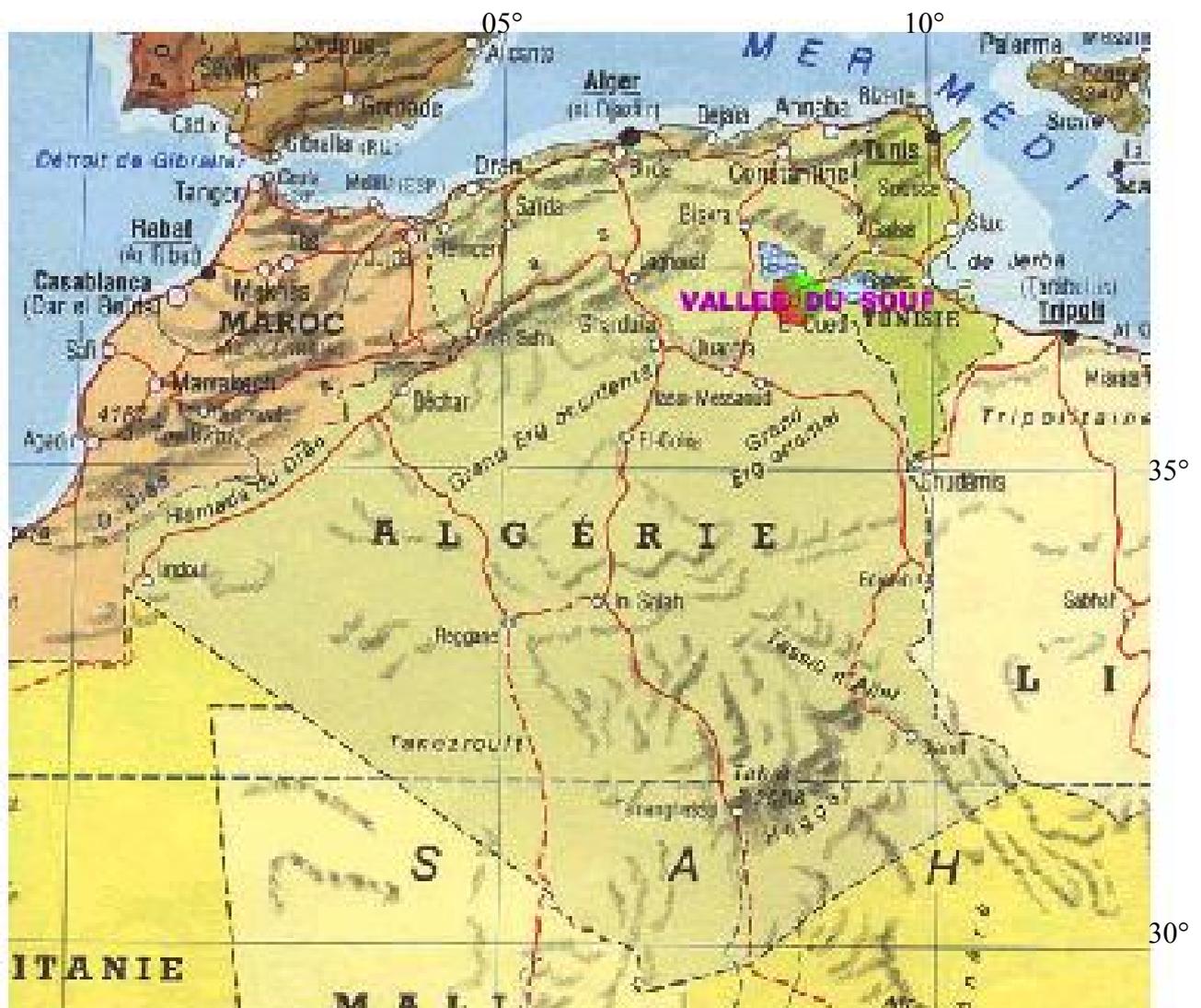
Le Souf est limitée par les coordonnées suivantes : (Voire carte n° 02)

$$X1 = 05^{\circ}30' \text{ et } X2 = 07^{\circ}$$

$$Y1 = 35^{\circ}30' \text{ et } Y2 = 37^{\circ}$$

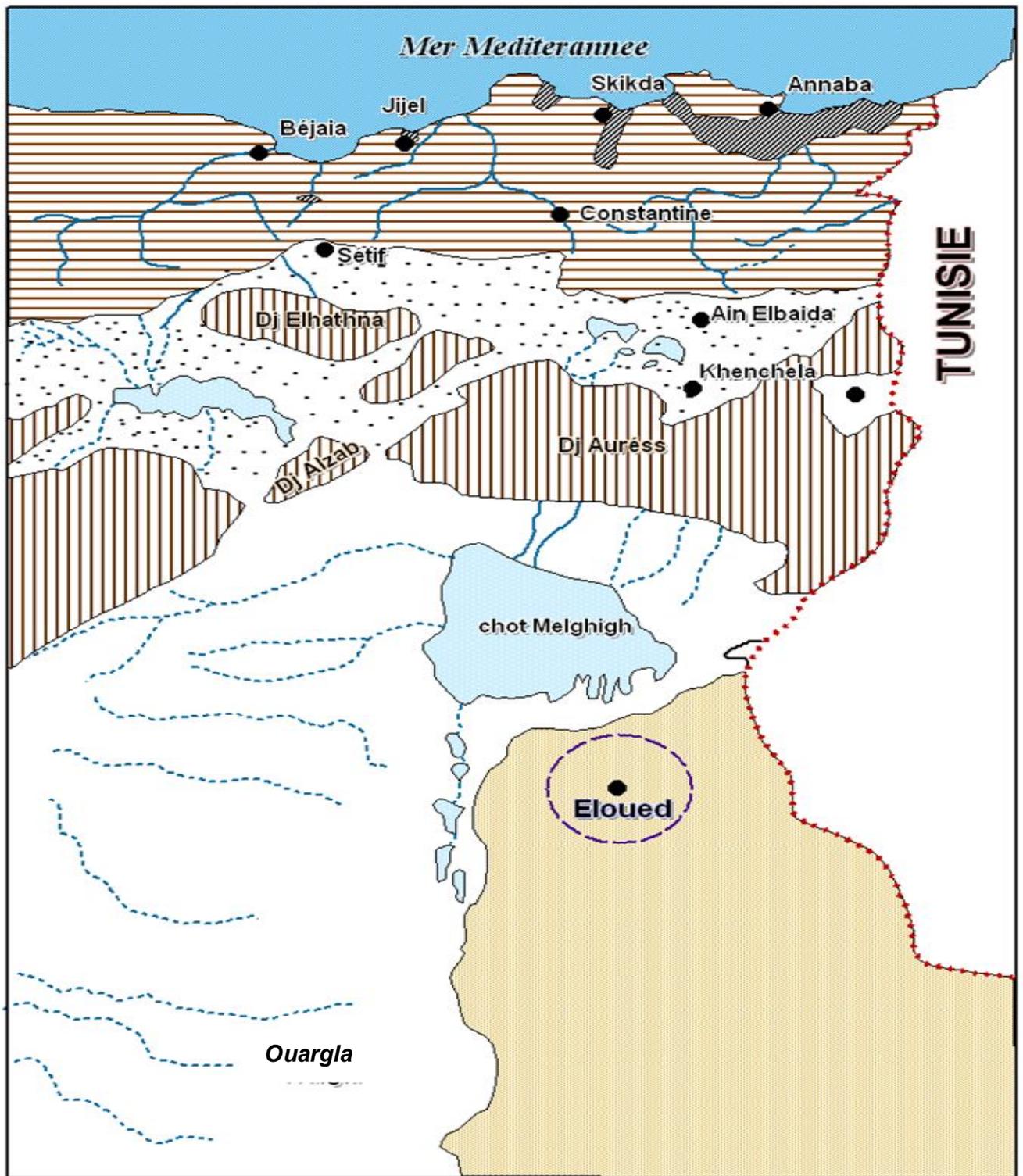
Carte n° 02 :

Carte de situation d'après latitude et longitude



Source : Le grand Atlas

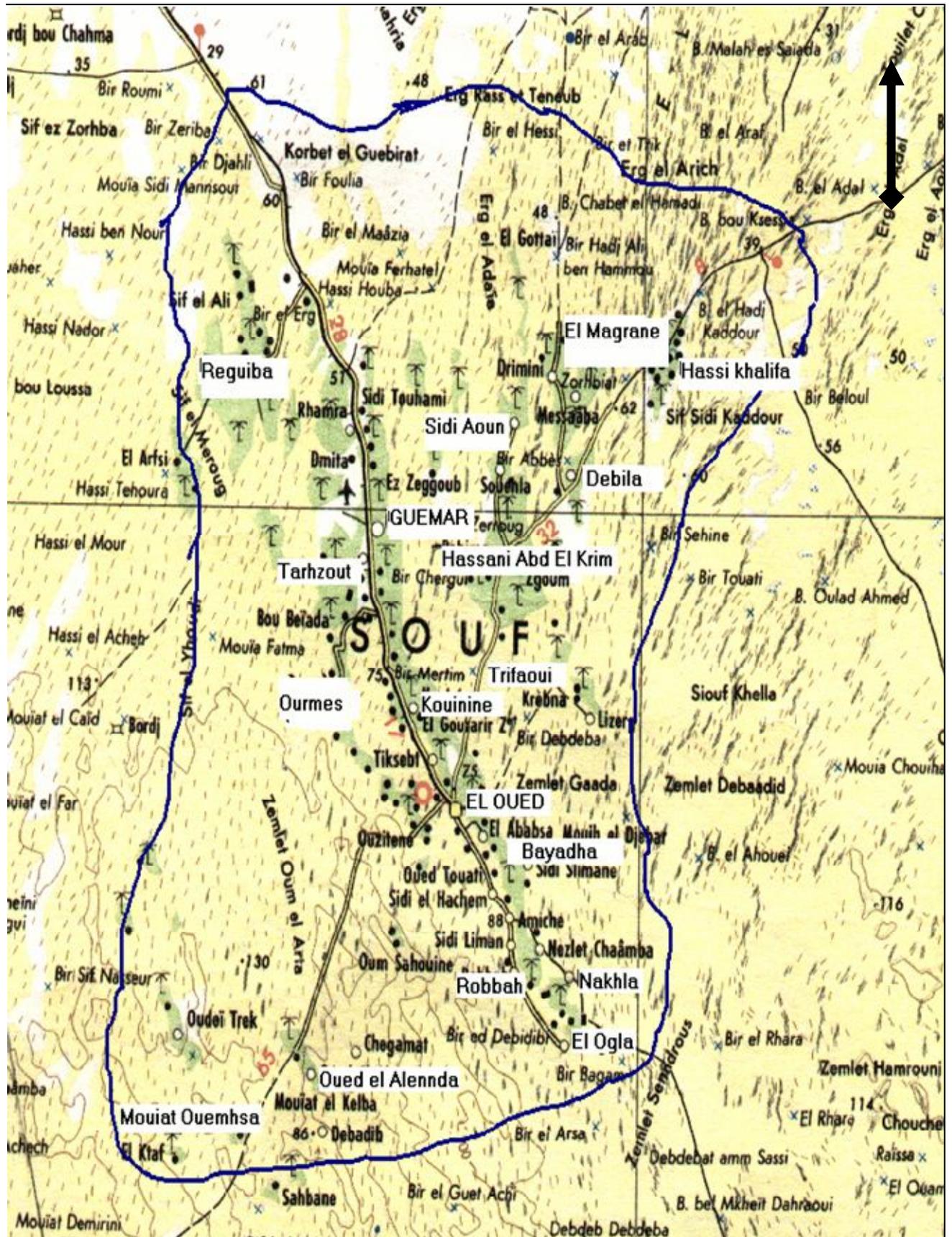
Situation géographique de la zone d'étude



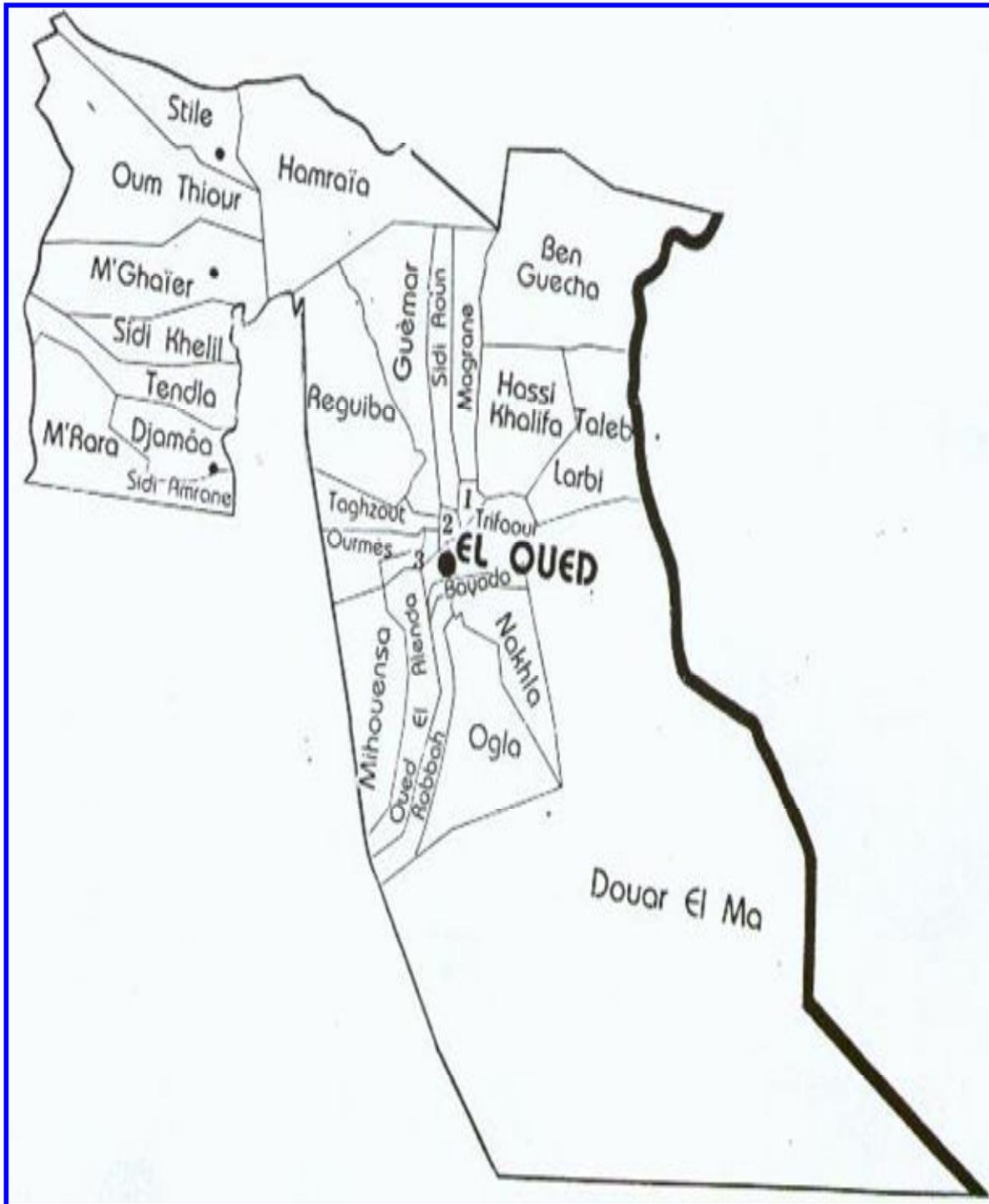
-  *L'Atlas Saharien*
-  *L'Atlas Tellien*
-  *Les Hautes plateaux*
-  *Les Dunes*
-  *Chott*
-  *La zone d'étude*

Source : carte des territoires naturels

Situation topographique de la région d'El Oued



Le découpage communal de la région du Souf



0 25 100 Km

Légende

-  Limites nationales
-  Limites des wilayas
-  Limites communales
-  Chef lieu de la wilaya

L'étude concerne globalement toute la wilaya d'EL Oued, et nous la présentons sous forme de deux zones :

- La zone du Souf (El Oued, Taleb Larbi, Benguecha).
- La zone d'Oued Righ Nord (Djamaa, Meghaier).

I-2- Situation bioclimatique :

Oued Souf est une oasis perdue au milieu d'un labyrinthe de montagnes de sable, qui absorbent comme autant d'éponge les pluies abondantes. Jamais le Souf ne fut couvert de forêts et jamais de grands fleuves aux eaux tumultueuses ne le traversèrent, seul une végétation assez dense croissait au bord des oueds aux crues fréquentes. Puis les périodes humides cédèrent la place aux périodes sèches. Au paléolithique moyen, voici **40.000** ans le Sahara commença à devenir désertique, les premières dunes du Soufi firent leur apparition. Une dernière phase humide, au mésolithique, permet l'installation des savanes parsemée de bouquets d'arbres et de galeries forestière au long des cours d'eau presque permanents.

Au néolithique qui débuta voici **6000** ans, le pays restait toujours humide, puis la savane s'installa (**4000** ans), et à la fin du néolithique, le pays était devenu celui que nous connaissons, son climat n'a pas changé depuis l'époque romaine.

A ces latitudes, il existe tout autour du globe une zone de steppes ou de déserts, c'est la "ceinture d'aridité". la raison est d'ordre plantaire. Les hautes pressions atmosphériques sont les conséquences de l'arrivée des contres alizés, vents de la haute atmosphère qui représente un contre-courant provenant des régions équatoriales. En effet sous l'équateur règnent en permanence des basses pressions qui provoquent un puissant mouvement d'air en direction du Nord. Cet air a abandonné toute son humidité et exerce un pouvoir desséchant. Ces anticyclones sont en grande partie responsables de l'absence de pluies dans le désert.

Le Souf est compris entre **33°** et **34°** de latitude Nord, et s'inscrit dans la zone Nord de l'Erg oriental. La mer se trouve à **390 km** au nord (Annaba) et **305 km** à l'est (Gabès). El Oued est à **1100 km** au Nord du tropique du cancer et à **3700 km** de l'équateur. L'altitude moyenne du Souf est de **75m**. Du fait de sa position continentale et de sa proximité de l'équateur, le Souf présente de forts maxima de température, et de grands écarts thermiques.

Situé dans les dernières dunes du grand Erg oriental, le Souf a des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent au Sahara central. La moyenne des températures du mois le plus chaud atteint **34°**. En hiver par contre, les températures peuvent être très basses avec une moyenne des minima du mois le plus froid est **4°**.

II - Historique et causes de la remontée des eaux :

A l'origine, les habitants vivaient de la culture, de la terre et chacun avait sa palmeraie et son potager, réalisés à l'issue, d'une somme d'efforts considérables. La forme de la culture consistait à creuser des cuvettes pour planter à proximité de la nappe phréatique.

Dans un passé non lointain (années **1940**), cette nappe était l'unique ressource pour l'approvisionnement en eau potable de la population et l'abreuvement du cheptel, ainsi que pour l'arrosage des cultures vivrières (**10.000** puits traditionnels actuellement).

La vallée du Souf est confrontée depuis **1969** au problème du niveau piézométrique de sa nappe phréatique, ce phénomène a été observé uniquement au niveau de certains ghouts et l'explication est confirmée par la corrélation temporelle des faits :

- dans les années **1940-1950**, le souf connaissait un rabattement de la nappe de l'ordre de **2m**, par rapport au niveau antérieur,
- en **1956**, premier forage au continental terminal, pour les besoins en approvisionnement en eau potable d'el Oued,
- en **1956 à 1970**, un forage est réalisé chaque année, pour les besoins domestiques ou agricoles (par exemple à Hobba),
- forte pluies : **1963-1969** provoque une montée spectaculaire (mais temporaire), qui révèle un renversement de tendance amorcé auparavant,
- forte remontée : **1969**,
- menace des ghouts : **1981**,
- descente du niveau piézométrique dans les zones irriguées (commune de Hobba),
- Stabilisation hors (Oued-Khobna-Kuinine),
- en **1987**, premier forage au continental intermédiaire pour les besoins d'El Oued,
- de **1970 à 1995**, chaque année, réalisation de plusieurs forages.

Les premières apparitions de ce phénomène remontent à l'année **1969** et en pris de l'empieur dans les années **80**, en raison d'un développement urbain anarchique venant perturber l'équilibre naturel qui existais auparavant, l'aire qui est touché correspond à **370000 ha** dans **18** communes (**363000ha** en **1998**). Cette crise provoquée par le très fort développement de la zone entraînant une multiplication par **20** de la demande en eau ! Cette rupture de l'équilibre hydraulique dans les années **1975-1980**, en plus de la nappe phréatique exploitation du complexe terminale (miopliocène) et continental intercalaire (albien) ; a permet l'apparition de la remontée progressive de niveau de la nappe par suralimentation et sous évacuation, l'impact de ces changements apparaît sous la forme suivante :

- Ennoiement de **1000** ghouts environ.
- eau stagnante, de véritables mares d'eau se sont formées au niveau des ghouts, et la principale ressource agricole de la région fut étouffée. Avec la croissance de la population et le recours aux forages profonds (**CT-CI**), une montée progressive et persistante de la nappe phréatique a atteint son paroxysme dans les années**1990**.

Les causes de la remontée des eaux de la nappe du Souf sont multiples, dont les principales sont :

- L'accroissement des consommations en eau potable,
- Un sol perméable,
- Les rejets d'eaux usées et - Le transfert des eaux des nappes profondes vers les nappes superficielles par les forages anciens,
- Les eaux pluviales,
- L'absence d'exutoire naturel proche de la région,
- Le développement des périmètres irrigués et la concentration des cultures industrielles et maraîchères.

-Accroissement des consommations en eau et des rejets :

• Production d'eau potable :

Les **80** forages implantés dans la nappe du Pontien (Complexe Terminal) exploités par pompage et les **3** forages albiens (artésien) donnent une production de **180.000 m³/j**, soit une dotation moyenne journalière de **480 litres** par habitant.

Une grande partie de cette eau vient alimenter la nappe phréatique en raison d'une mauvaise gestion de la distribution d'eau.

• Réseau de distribution :

Le réseau de distribution d'eau potable est vétuste, il accuse une grande déperdition et contribue ainsi à aggraver l'alimentation de la nappe phréatique.

Par ailleurs les branchements illicites sur le réseau, engendrent des éclatements de conduites et la perte de milliers de **m³** par jour.

Absence de compteurs d'eau sur les branchements particuliers et l'utilisation de cette eau pour l'arrosage des jardins, gratuitement conduit à un gaspillage énorme d'eau et accentue l'alimentation des nappes superficielles.

• Réseau d'assainissement :

A ce jour, le réseau d'assainissement de la région de Souf est pratiquement inexistant malgré les efforts des autorités pour réaliser l'opération. Les habitants utilisent toujours les puits abandonnés et les Ghouts comme destination finale de l'assainissement. Ceci influe sur le réservoir de la nappe phréatique et détériore davantage la qualité de l'eau. De toutes les localités du Souf, seule la ville d'El Oued est dotée d'un réseau d'assainissement sur un linéaire de **75 Km** de conduite en béton et amiante. Seule une partie du réseau est opérationnelle, avec un rejet à **4 km** à l'extérieur de la ville.

Cette concentration d'eau va vers les nombreuses fosses septiques (eaux usées) augmente considérablement la vulnérabilité des aquifères.

–Transfert des eaux à partir des nappes profondes vers les nappes phréatiques :

L'utilisation des nappes profondes (CI et CT) pour l'alimentation en eau potable et l'agriculture contribue fortement à la remontée des eaux des nappes superficielles.

En effet, sur le **1500 m³** pompés journalière ment un important volume vient s'ajouter à celui de la nappe phréatique par le biais de fuites provenant des conduites vétustes. Ce transfert est facilité par la communication inter nappes, due à la vétusté des équipements des forages.

–Structure du substratum argileux :

Les chapitres traités auparavant expliquent clairement comment la géométrie de la nappe ainsi que la géologie du substratum, impose le sens d'écoulement des eaux de cet aquifère et facilite l'ascension des eaux en surface.

–Eaux météores, infiltration et topographie :

La topographie de la région d'El Oued est très vallonnée avec des zones basses et des dépressions.

Cette topographie conjuguée à une très forte perméabilité des sols (**90% de sable**) facilite l'infiltration des eaux d'irrigation et de pluie (**70 mm/an**) vers la nappe phréatique.

Cette situation est aggravée par l'absence d'exutoire naturel proche de la région.

–L'absence d'exutoire :

La ville d'El-Oued ainsi que les agglomérations environnantes touchées par le phénomène, sont situées dans une région endoréique où aucun exécutoire quel qu'il soit n'existe.

III- Présentation de la ville d'El Oued :

La région du Souf est composée de **02** sous zones : le Souf central et la zone frontalière. Cette région regroupe une population totale de **378.730** habitants sur une superficie de **35.572 km²** soit une densité de **11** habitants/ km².

La région d'Oued Righ se compose des daïras de Djammea et Mghair pour une population de **132.696** habitants et une superficie de **8.834.8 km²** soit une densité de **15** habitants/km².

Sur la base d'un ensemble de documents graphiques (cartes, photos aériennes, image satellitaire et d'autre...), et une première lecture globalisante, on note une masse bâtie qui compose la ville comme un groupe hétérogène étendu, qui s'exprime à travers la diversité des espaces physiques. La forme générale est donc un ensemble de parties d'espace physiques qui le forment. L'aspect général est donc un ensemble de parties différentes qui ne donne pas du tout lieu à un objet physique totalement homogène. Elle est la somme de plusieurs fragments de tailles et de formes différentes, leur construction obéit certainement à un ordre successif dans le temps et dans l'espace, et produit dans sa conception d'ensemble une discontinuité continue. Cette discontinuité est constatée par une juxtaposition de ces fragments qui se joignent les uns aux autres comme une mosaïque ou alors, comme un jeu de puzzle. Chaque fragment possède ses propres caractéristiques qui se définissent dans le temps et dans l'espace.

III-1-Aspect socio - économique :

Pour avoir une vue générale sur l'économie du Souf, il convient d'envisager successivement les principales activités. Celles-ci s'articulent autour de l'agriculture, qui sera étudié en premier lieu et les activités de transformations et commerciales, qui seront traitées par la suite :

1- L'agriculture :

Etant principale activité de la région pour l'homme du Souf avec comme culture dominante, le palmier dattier.

La wilaya d'EL Oued dispose de **19050** hectares occupés par des palmiers.

2- L'artisanat :

EL Oued à été toujours un centre, artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture.

On note trois activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers et des maçons.

3- Le commerce :

Grâce à sa position géographique on peut dire que la ville d'EL Oued est un centre d'échange commercial très actif.

Ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région du Souf d'où l'importance de son marché.

4- L'industrie :

Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu au Souf, l'industrie. A la différence des autres villes du bas -Sahara (Biskra, Tougurt, Ouargla), l'état n'a aucunement investi dans ce créneau. Mais depuis la décennie **1980**, de petites unités privées se sont montées.

Une spécialité est apparue, celle des parfums et cosmétiques. A partir d'une activité familiale implantée à Alger, une unité s'est créée dans le Souf, est devenue une des premières entreprises de parfums d'Algérie, et emploie **180** personnes. Par effet d'entraînement, **20** entreprises (de petite taille, **10** à **15** ouvriers) se sont créées dans la région sur le même créneau, un personnel laborieux est appliqué, et la forte valeur ajoutée, compensent le fait qu'aucune matière première ne soit locale (essence importées).

Au domaine cosmétique sont venues s'ajouter **3** autres branches d'activités (l'agro - alimentaire, les plastiques, les matériaux de construction. Egalement, une grosse unité Pepsi -Cola. Au total, **1600** personnes travaillent aujourd'hui dans l'industrie.

Tableau n°=01 : **Inventaire des unités industrielles du Souf :**

Nature des industries	Nbre d'unités industrielles
Parfums et cosmétiques	20
Transformation du plastique	15
Fabrication carrelage	07
Transformation aluminium	06
Insecticides et détergents	04
Semoulerie, pâtes alimentaires	03
Unité déminéralisation eau	02

Ces unités ont été implantées à Ghamra, à Kuinine, et surtout à El Oued. Elles se présentent comme de grands entrepôts modernes et propres, certaines se donnent l'image de palais de verre avec façade arabo- musulmane, ni déchets polluants, ni bruits, ni fumées. La société Soufie a sécrété un esprit entrepreneurial.

III-2- Comment s'est constitué spatialement le Souf :

« Dans le Souf, pas de réseaux de vieux ksour semblables à ceux de Oued Righ. L'élément le plus ancien auquel se raccrocher est l'existence des **3** villages historiques de Zgoum, Guemar, et EL-Oued.

Les populations avaient choisi là des dépressions de l'erg dans lesquelles l'eau était à moindre profondeur, pour y planter leurs palmiers. Pourquoi Guemar a-t-elle choisi son site difficile en terrains meubles sous forme linéaire, qui compensait les handicaps du site.

L'existence aujourd'hui de dépressions saumâtres (**Chott**) à proximité de chacune de ces **3** cités est preuve de l'ancienneté de leur mise en valeur.

A partir de ce tripode de villages fondateurs, se sont mis en place les villages de vieux sédentaires, tel que Taghzout, Kuinine, Sidi Aoun, Hassani A., Debila. Le Souf demeure à cette époque un territoire très restreint. Mais déjà s'esquisse l'ordonnancement général du territoire soufi, en long rubans de culture, épousant les dépressions sableuses où l'eau est plus proche, entre les remlas des dunes vives.

Dans ces dépressions, les pionniers choisissent les zones de Sahane pour leur habitat, les zones de sables libre pour la culture. Disposant, avec leur seule houe, de plus de patience, ils préfèrent creuser leur ghouts dans le sable libre des couloires (El-Oued, Zgoum, Trifaoui, les Horras du nord).

La croissance démographique aidant, chaque village a ensuite essaimé, une partie de la population partant pour créer à quelque distance un autre village : Trifaoui fut créée par El-Oued, les gens de Taghzout ont créé Bezouga et Arfji, ceux de Guemar- Demita et Ghamra- Kuinine est à l'origine de Ourmès et Douéra.

Ce territoire a été élargi, notamment au XVIII^e siècle, par les groupes semi-nomades venus se fixer au Souf. La nécessité d'élargir le terroir cultivé s'est fait d'autant plus sentir qu'en pays de vieille plantation les sols avaient tendance à se fatiguer, ou s'encroûter, et l'eau à devenir saumâtre. D'où dépérissement au centre, et un renouvellement par les marges.

Fin XIX et XX siècle, la pression démographique a entraîné un nouveau front pionnier. Les possibilités au sud-est étaient très limitées (eau trop profonde et dunes très hautes), mais existaient du côté du sud-ouest principalement, à condition de traiter les terrains un peu différemment (cratères évasés avec protection éolienne, utilisation des coups de cuillères dessinés par le vent). Cela a constitué un nouveau desserrement du Sauf, avec création des localités de Oued Alenda, Mih Ouensa...paysage qui reste pionnier aujourd'hui, parce que les implantations récentes demeurent dispersées, par petites taches, la densification et l'agrandissement des ghouts n'ayant pas eu le temps de se faire : l'évolution semble avoir été stopée (ou fortement freinée ?), par l'apparition dans les années **1980** de formes motorisées de mise en valeur, dans d'autres secteurs du souf.

La ville s'étale, et envahit le paysage. Mais elle se renouvelle également profondément dans ses formes. Sous la double poussée de l'enrichissement, et de la recherche de modernité, elle s'est donnée un visage de ville active, dynamique, aisée. Grands équipements flambant neufs et maisons privées cossues y contribuent. Regardons de près la ville d'El Oued, les autres localités ne sont souvent que des El Oued en plus petit.

Dans l'agglomération, la vieille ville ne représente plus que un vingtième de la superficie urbaine, mais elle garde aux yeux des habitants l'image du centre historique : passage sous voûte, crépis en reliefs, rues de sable, mini placettes conviviales. Plus ouvert que la vieille ville de Touggourt, plus régulière que le ksar de Ouargla, elle tend à se transformer en centre commercial par pénétration des boutiques sur sa frange Est.

Dans ses venelles étroites, simples et calmes, les maisons se rénovent sur place, respectant les tracés anciens, montrant que la vieille ville reste vivante. Une trouée récemment ouverte sépare désormais les deux communautés, Messaaba et Acheche, en **2** quartiers.

Restée fonctionnelle, la vieille ville n'a plus de rôle structurant dans la ville.

Jouxtant la vieille ville, le quartier administratif : il n'ya jamais eu à El Oued de ville coloniale proprement dite, seulement un petit quartier administratif centré sur une grande artère Ouest -Est. il conserve un certains nombre d'équipements centraux.

La ville a grandi d'abord par un certains nombre de quartiers informel (Ouled Ahmed, Bab el Oued, Sahane, Nadjar...), abritant les uns les ruraux de l'exode rural, les autres les réfugiés de retour de Tunisie en **1962**. Des plus anciens aux plus récents de ces quartiers, le bâti passe des formes de filiation directe avec la vieille ville, a des formes qui s'en affranchissent de plus en plus, planifiant la trame viaire, élargissant les rues, occupant les cours intérieures. Les lotissements récents marquent l'aboutissement de cette tendance, avec construction en hauteur, la terrasse sur dalle remplace la cour.

A El Oued pas de grands ensembles collectifs, et peu d'habitat public. On retrouve ici la prégnance de l'initiative individuelle, qui oppose cette ville à des agglomérations prise en main par l'Etat, tel que Tougourt ou Ouargla. L'habitat public, récent, a été conçu sous forme de cités en semi- collectif, avec un effort d'adaptation au style local. Le long ruban sud de l'agglomération est un des aspects les plus étonnants du paysage urbain, héritage des camps de tentes des nomades du XVIII Siècle.» (1)

(1) : Si le Souf m'était conté, M. Côte.

III-3- Le développement de la ville et les déséquilibres

associés :

Au cours ⁽¹⁾ des **50** dernières années, le Souf s'est urbanisé. Il compte aujourd'hui environ **75** localités. Parmi elles, **5** villes de **10.000** à **30.000** habitants (Guemar, Taghzout, Reguiba, Hassi Kalifa, Magrane, Zgoum-Abdelkrim). Et l'agglomération linéaire d'El Oued, s'allongeant aujourd'hui de Kuinine à Robbah, comprend **150.000** habitants. Le Souf est actuellement en pleine expansion. Elle couvre une superficie de **4000 km²** et **20.000** habitants. Elle concentre toute la vie administrative, commerciale et industrielle du Souf, **60%** des fonctionnaires et **30%** des commerçants et artisans vivent à El Oued.

Dans le Soufi ⁽²⁾, la qualité de l'architecture va de pair avec celle de l'agriculture. Les éléments d'ensemble de la construction reprennent le modèle classique d'habitat magrébin, avec cour centrale et pièces sur le pourtour.

Cet habitat est celui des villages du souf. Il se présentait également sous forme de construction isolées, les nezlas, construites à proximité des ghouts généralement, et abritant les semi-nomades, ou servant de résidence d'été.

Ces nezlas étaient particulièrement nombreuses au sud d'EL Oued : (de Bayada à Aimeche s'étendait un immense camp d'hiver de nomades, se touchaient sur près de **10 km**. Ils y ont construit des greniers (Decheras), et maintenant les maisons cubiques forment une interminable rue qui s'allonge sans interruption d'EL Oued à Robbah).

III-3-1- La ville en 1960 (le traditionnel) :

Il existait jusqu'en **1962** une population française assez restreinte qui formait une société à par, vivant dans un quartier qui leur était réservé en partie.

La vie est concentrée sur deux grands axes :

Nord-Sud avenue Med Khmisti (avenue de la Gare), et Est-Ouest : boulevard Taleb Larbi. Ces deux artères forment un angle droit. Elles concentrent les principaux bâtiments administratifs, scolaires ou commerciaux. De nombreuses rues sont goudronnées et parcourues par une circulation de plus en plus intense. Aujourd'hui la ville traditionnelle est en partie conservée.

(1), (2) : Si le Souf m'était conté, M. Côte.

III-3-2- Développement urbain spontané 1980 (l'auto construit informel) :

Le 2^{ème} type de développement (spontanée auto construite) est considéré comme le prolongement du 1^{er} type (traditionnel), qui s'est développé dans l'espace et dans le temps, mais d'une façon aléatoire. Elle a connue une croissance urbaine considérable qui reste liée au 2 phénomènes (l'industrialisation et le commerce d'une part, la mort d'un paysage agraire du a la montée de la nappe phréatique, qui a poussé les habitants des palmeraies a quitter leur oasis pour le commerce de la ville.

III-3-3- Extension de la ville en 1987 :

On peut dire que la ville s'étend actuellement dans toutes les directions. Les travaux de nivellement ont vite fait d'enlever les dunes qui gênent l'extension des nouveaux quartiers et le long des routes.

El Oued qui comptait **12.000** habitants en **1948**. En compte aujourd'hui plus de 100.000 habitants. Une transformation continue de la ville s'effectue journellement, plus de **4000** attendent leur prochaine réalisation, les petits quartiers isolés se soudent à la ville : Sidi Mestour, Nezlet Zerraget, Dhaouai Rouha, N.Mellah, N.Mahria, El Asnam, El Gara, Taksabt, s'agrandissent chaque jour.il est probable que dans une dizaine d'années, la route d'El Oued à Taksabt ne soit qu'une seule rue reliant Mabrouka, Sidi Abdellah et El Gara entre eux. Un nouveau quartier s'étend progressivement au Sud d'El Oued afin de faire face à l'afflux de la population. Deux lotissements existent à l'Ouest de la ville.

III-3-4- Développement actuelle :

Il y a là continuité du bâti, mais le contenu n'est que partiellement urbain. La proportion des agricoles dans les actifs est de **11%** à la commune d' El Oued, de **30%** à Bayada, et de **45%** à Robbah à l'extrémité sud de la contribution (**Belguidoum, 2004**).

Dans cette agglomération composite, multiforme, quelques éléments assurent l'unité d'ensemble. C'est tout d'abord cette immense rue commerçante, qui, de Tiksebt à Robbah, ne connaît pas d'interruption sur **15 km**, et qu'un urbanisme d'arcades tend à rehausser l'aspect depuis peu. Se sont également les équipements de haut niveau, qui font d'El Oued un vrai centre urbain, à l'instar de ceux du nord.

On verra que la phase actuelle de crise tend à dessiner une nouvelle ceinture autour du souf, qui se sera ainsi développé par auréoles successives, du centre vers la périphérie, diversifiant progressivement les formes de mise en valeur.

Le Souf à connaît plusieurs problèmes sur le plan naturelle et urbanistique, et la combinaison entre ses deux variations.

Là où l'aspect physique fait appelle à des phénomènes cruciaux qui apparaissent après comme des aléas dans l'espace (urbain ou agricole), grâce à leur situation et leur développement dans l'espace et dans le temps.

Deuxième chapitre

Les composantes du milieu physique

Ce qui caractérise généralement un site, sont ses conditions naturelles définies comme un ensemble de données qui concernent (la topographie, la nature des roches et sols, le climat, le couvert végétale, la dynamique de l'eau...).

Il convient de concevoir clairement que ces données sont largement interdépendantes (la dynamique de l'eau dépend à la fois du climat et du système des pentes...), c'est pourquoi, l'analyse de ces données reste indispensable pour les études dans le domaine de l'urbanisme et de l'aménagement, puisque elles jouent un rôle important dans la formation de l'espace urbain.

Les conditions naturelles peuvent aussi avoir un impact sur la forme et le développement des villes. De ce fait, et pour répondre à l'hypothèse d'adaptation de la ville à son environnement naturelle, il convient de définir l'ensemble des paramètres qui caractérise la région du Souf.

I-les caractéristiques morphologiques :

L'organisation générale d'une ville ou d'une région est régit par le relief qui se décline en terme de jeu de pente et de dénivelées.

I -1- Morphologie naturelle :

I-1-1-Relief :

Le relief ⁽¹⁾ du Souf est presque tout entier compris entre 2 lignes orientées Est- Ouest ; la première au Nord est la courbe des **50 m** , et la seconde au Sud , celle des **100m** . Une troisième ligne, reliant les points de **75m**, est parallèle à ces deux lignes en leur milieu .La courbe de niveau des **50m** passe par Réguiba, Magrane et Hassi-el gassi. Celle des **75m** relie Guémar à Z' guum et la courbe de **100m**, Oued - Ziten, Amiche et El -Ogla.

Le plus « haut sommet » du Souf est une dune de **127 m** située à **2 Km** au sud d'Amiche.

L'opposition primordiale à faire dans la topographie du sud est celle qui existe entre l'Erg et le Sahane : l'Erg est une région où le sable s'accumule en dunes ; c'est la partie la plus importante, elle occupe les $\frac{3}{4}$ de la surface totale. Le Sahane est une région plate et déprimée formant les dépressions fermées, entourées par les dunes, au fond desquelles quelques rares végétaux poussent sur une croûte gypseuse.

Dans le sud de la région, on rencontre des dunes immenses et bien différenciées, ne dépasse pas les **90 m** de hauteur ; on les appelle les Ghroudes .La plus haute dune de la région est à mi-chemin entre El Oued et Ghadamès, elle domine le puits de Gardaia à une altitude de **204 m** . Le relief de l'Erg Soufi est plus modeste, presque jusqu' à Bir -Djedid (**160 Km** au sud d'El-Oued) on ne rencontre qu'une étendue uniforme et imprécise de Remla (monticule).

Les masses de sable qui paraissent à première vue infranchissables, le sont au contraire assez facilement, car l'Erg est rarement ; il est la plus part du temps coupé par de longs couloirs appelés Gassi.

La région du Souf appartient au domaine de la plate- forme saharienne ; elle est située dans le bas-sahara oriental. Vaste étendue de sable (**200.000 km²**).

L'appellation « **OUED SOUF** » que l'on a donné à la partie septentrionale de la région du souf a un sens ; la région ainsi nommée, à la forme très nette d'une dépression de direction Nord-Sud. De part sa distribution géographique sur un site de faible pente, ses caractéristiques topographiques présentent des problèmes d'évacuation des eaux.

La morphologie de la région d'El Oued est caractérisée par l'existence de trois principales formes :

I -1-1- Une région sableuse :

Qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.

Elle couvre la totalité du Souf et s'étend sur la partie Est et Sud-est d'oued Righ. C'est le grand Erg oriental. Il est caractérisé par ses grandes dunes qui dépassaient souvent une hauteur de **20 - 40 m**. il diminue du Sud vers le Nord jusqu'à **25 m** au dessous du niveau de la mer.

I -1-2-Une forme de plateaux rocheux :

Qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses (**120m**), et s'étend sur la route nationale N°3 à l'Ouest de la wilaya et se prolonge vers le sud sur Oued Righ.

I -1-3- Une zone de dépression :

Elle se situe au Nord (route Biskra) de la wilaya et se prolonge vers l'Est, caractérisée par la présence d'une multitude de chotts salés qui plongent vers l'Est et qui n'offre aucune utilité pour l'agriculture (chott Marouane, chott Melghir, chott Adol).

Deux formations principales s'y distinguent :

- L'erg, proprement dit, résultant de l'accumulation du sable en dunes,
- La sahne, qui correspond à des zones plates et déprimées de dépressions entourées par des dunes.

(1) : Le Souf monographie, Ali Abid, Algérie 2004.

I -1- 4 -Une zone haute :

Qui s'étend du Sud - Est au Nord - Ouest de la ville, formée par un jeu de dunes de type «Siouf», qui présente des pentes raides et douces avec des crêtes de plusieurs kilomètres ou de type «Rhoud», qui sont des dunes de formes pyramidales. La hauteur des dunes peut atteindre les **20 m** sur un relief d'altitude moyenne de **80 m**.

I -1-5- Une zone moyenne :

Qui se prolonge du Sud- Est au Nord - Ouest le long de la route nationale N°48. Cette zone était caractérisée par sa vocation agricole où se développaient les Ghouts (palmeraies).

I -1- 6- Une zone basse :

Qui se prolonge en diagonale du Sud- Est au Nord - Ouest Par sa forme allongée. Elle détermine probablement l'ancien lit de Oued qui traversait cette région dans le passé et dont est issu le nom de la ville(Oued Souf) . Elle englobait dans sa totalité une bonne partie des Ghouts.

Les déplacements respectifs des zones d'erg et de sahne, ainsi que l'effet du vent et de l'eau sur les différents types de matériaux sableux, ont formé les couches de terrain récent.

Le pendage général de la zone d'étude est orienté Sud/Nord, avec une pente moyenne très faible (au mieux de l'ordre de **0.002 m/m à 0.003 m/m**).

Il est signalé que l'altitude diminue du sud vers le Nord et de l'ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

I -2 - Morphologie des Ghouts:

L'activité principale a longtemps été basée sur l'agriculture, et notamment l'exploitation du palmier dattier (phoeniculture) en utilisant une méthode originale : les ghouts, sortes de cratères creusés et perpétuellement entretenus à main d'hommes, dont la profondeur était telle que les racines des palmiers qu'on y plantait trouvaient l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale. D'où ce paysage si caractéristique de la vallée du Souf.

C'est une zone très basse et humide, localisée au Nord - Est de la ville, elle fonctionne depuis longtemps comme une surface évaporatoire qui reste exposée à une forte remontée de la nappe phréatique et ou, ils ont placé aujourd'hui la station de pompage.

I-2-1- Les Ghouts profond en terrains sablonneux :

Ils sont localisés dans la partie Sud du Souf, où les encroûtements sont minces et friables, ou le sable est relativement homogène. La contre-partie est la profondeur de la nappe : elle est là à **10 m**, voire **12 m** de profondeur, le manteau de sable à dégager est donc important. Mais le Soufi choisit une zone de sable libre (meuble), en position basse dans la topographie, de façon à limiter le volume à excaver, il creuse et transporte. Car la nappe est profonde, les ghouts sont profonds (**10 à 15 m**). Parce que les ghouts rapprochés se protègent mieux les uns les autres contre les vents, ils sont organisés en ensembles coalescents sous forme d'un pavage d'élément circulaire.

Telle est la logique de ces cratères profonds, que l'on trouve principalement le long de l'axe Kuinine/ElOued/El Ogla, mais également dans les secteurs d'Ormès et de Trifaoui. Aujourd'hui condamné par la remontée des nappes.

I-2-2- Les Ghouts évasés en zone éolienne :

La partie Sud-Ouest du Souf présente des conditions un peu différentes, une nappe moins profonde (**5 à 8 m**), des terrains sablonneux peu encroûtés, mais une grande mobilité du matériel, une grande sensibilité à tous les vents, la présence de petites dunes mobiles. La difficulté ici est moins l'accès à l'eau que la maîtrise de la dynamique éolienne.

La contrepartie de ces aménagements est la nécessité de vaste espace, le rapport entre l'espace aménagé et l'espace cultivé est presque de dix fois. Mais il y a ici possibilité de jouer sur l'espace, les densités sont faibles, les cratères espacés l'un des autres. On trouve ce type de mise en valeur dans toute la partie Sud -Ouest du Soufi (Mih Ouensa, Oued Turk).

La topographie est caractérisée ici par une forme de maillage orthogonale définie par deux directions de dunes et de couloirs interdunaires Nord- Ouest et Sud.

Pour les espaces cultivés avec une optique de modernisation. (Voire photo) :

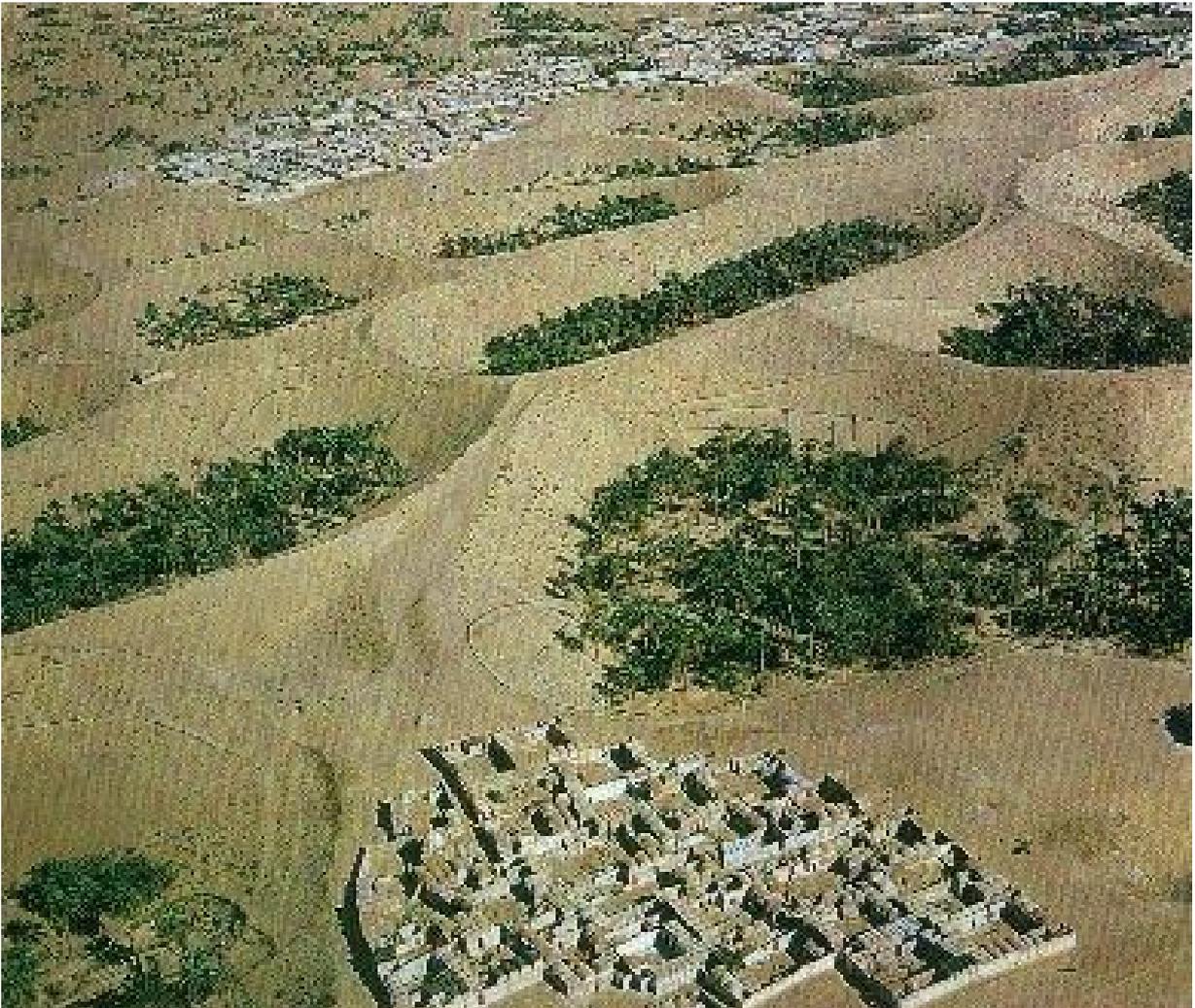


Photo aérienne des ghouts du Sud-Ouest du Souf (D.H.W. Oued Souf)

I-2-3- Les Ghouts verticaux en terrains compacts :

La partie nord du Souf présente des caractères peu profonds, avec escarpements, qui marquent les paysages de leur teinte rougeâtre (liée au gypse), en contraste avec les aménagements blonds ou blanchâtres des ghouts classiques. Ce sont ces cratères peu enfoncés dans le sol que les populations appellent houd. Ici, la nappe est peu profonde (**3 à 8m**), avec un caractère semi artésien. Le problème pour l'agriculteur est que la couche (ou les couches) encroûtée est constituée de matériaux durs ,compacts , et à souvent **3 à 4m** d'épaisseur .Ce n'est que lorsqu'il n'a pas trouvé de place libre dans les terrains de sable meuble qu'il a entamé la mise en valeur ici .

D'où le changement de forme vers des aspects plus géométrique (forme carrée).

Il est à noter ici que cette forme est aussi répandue que les autres. Cependant on doit décrypter dans le paysage un élément important ; c'est la fine adaptation de l'homme à son milieu.

II- Les caractéristiques géologique :

La géologie, moyen d'étude de l'eau souterraine, est la base fondamentale de l'hydrogéologie.

La géologie identifie des formations litho stratigraphiques par les caractéristiques des matériaux et la structure des sous-sols, qui est complétées par des informations sur l'eau souterraine et les formations hydrogéologiques.

Les formations hydrogéologiques perméables constituent les gisements d'eau souterraine ou aquifère, dont elles identifient la configuration de la structure du réservoir. La localisation en profondeur et l'extension géographique des aquifères ou zones hydrogéologiques, sont étroitement liées à celles des formations hydrogéologiques.

Les caractéristiques géologiques ont variés dans le temps. Leur étude porte donc sur leur genèse et leur distribution dans l'espace (variabilité spatiale).

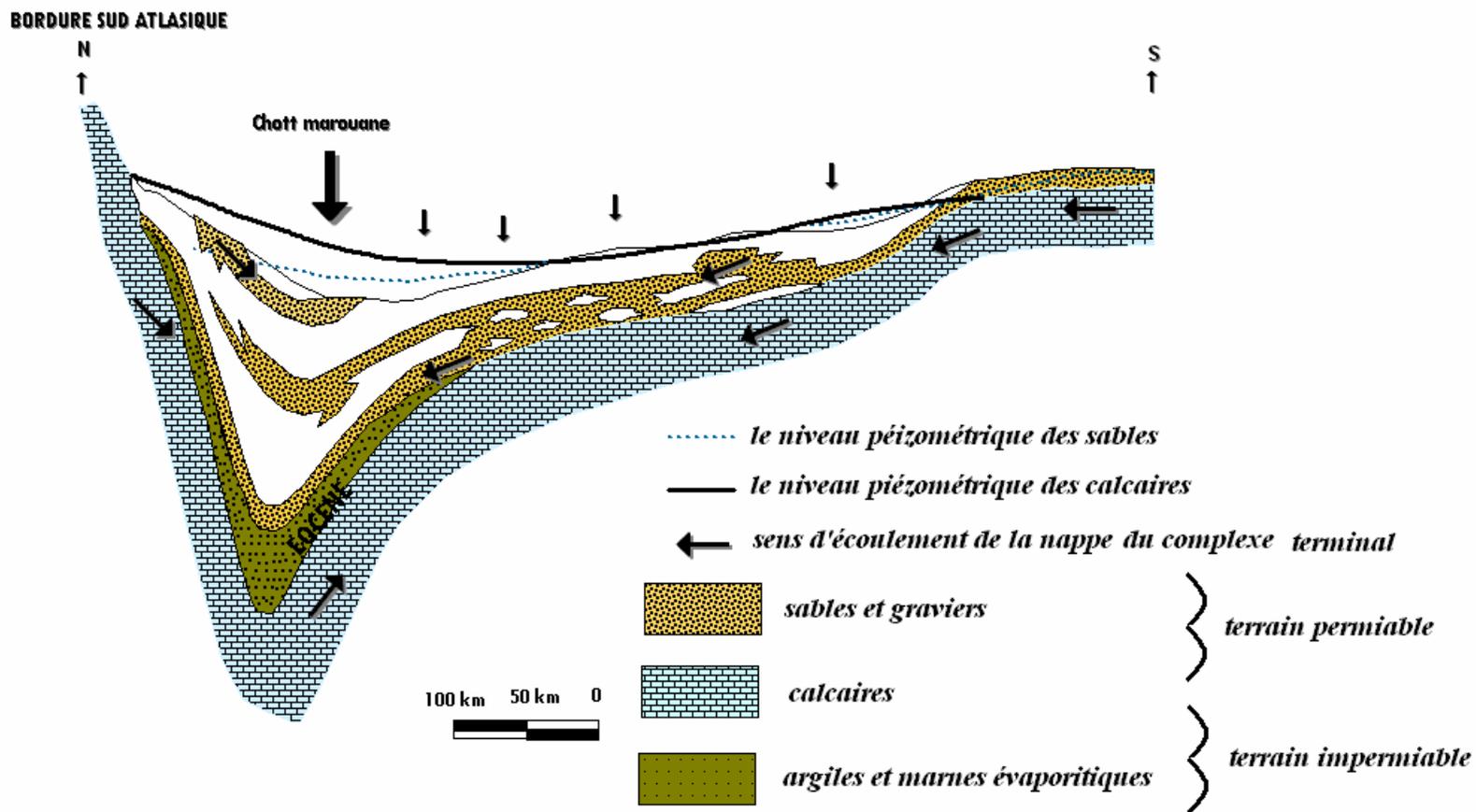
La région d'étude appartient au domaine de la plate- forme saharienne dans la partie Nord, elle est caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses,offrent des possibilités aquifères intéressantes.

II -1- Cadre géologique régional et paléogéographique :

L'air d'étude est caractérisée par le remplissage sédimentaire qui s'étend sur près d'une centaine de kilomètres au niveau du sol désertique est proche et même parfois au dessous de l'altitude **ZERO**. Sur toute l'étendue de la région du Souf, la structure géologique est simple et le substratum est formé par le Crétacé.

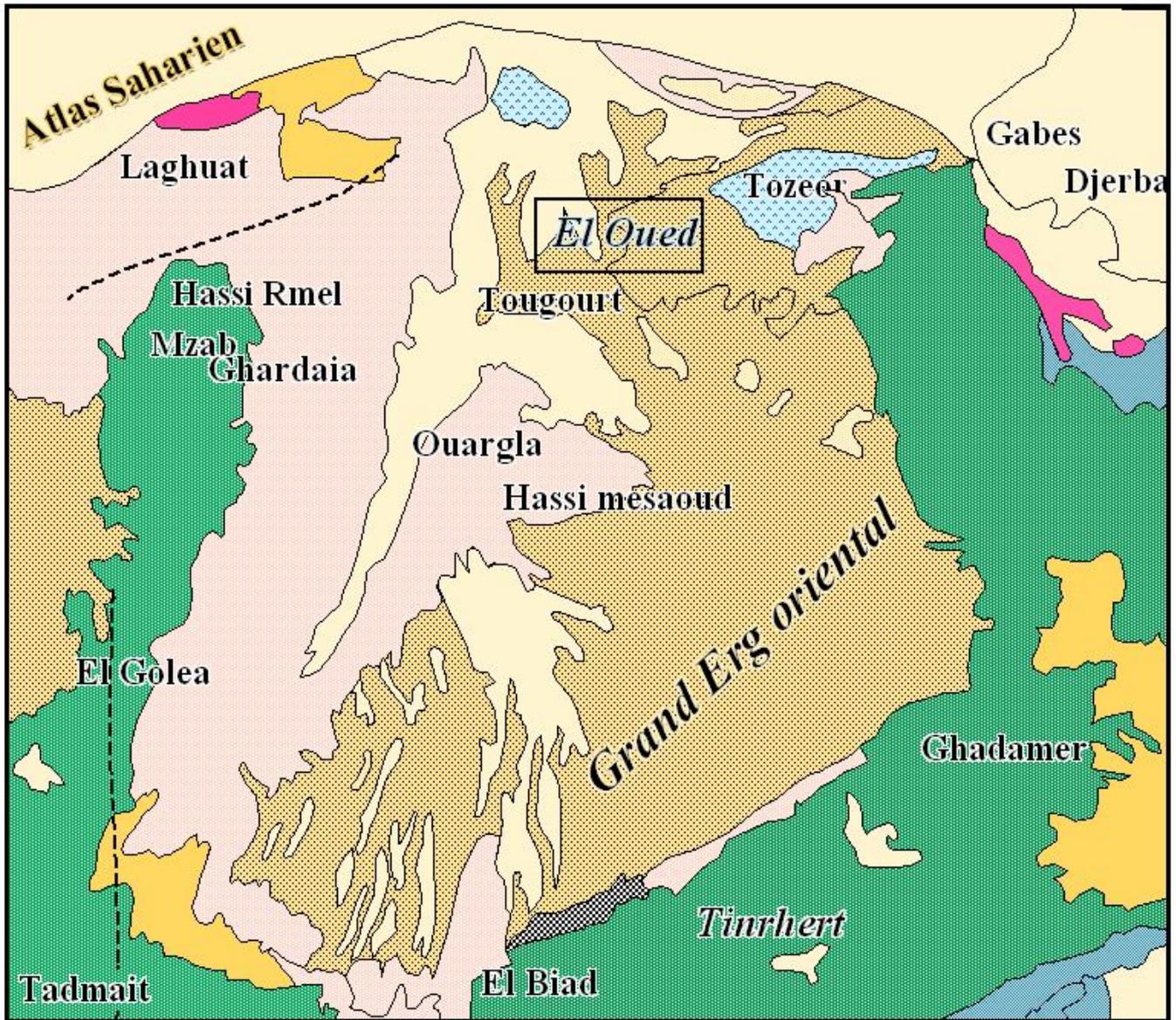
Abstraction faite de différents terrains de couverture, post-crétacé, on observe se succéder du Sud au Nord, les différents étages du crétacé, l'albien au derniers termes, du sénonien supérieur, sous les chotts (voir coupe, figure n° 01). Cette structure de soubassement crétacé est le résultat d'une phase d'érosion précédente la transgression Miocène.

Coupe hydrogéologique de la région du Souf



Source : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf Constantine 1993, Nezli Imeddine.

Cadre géologique régional de la région d'El Oued



Légende

- | | |
|--|--|
| Eocène | Chott.lac |
| Crétacé | Dunes sableuse |
| Jurassique | Quaternaire |
| Trias | Mio- pliocène |

Cassures

Source : Carte géologique du Nord-ouest de l'Afrique
1/5000.000

Dès le début du Miocène, il s'est établi partout un régime lagunaire et continental donnant naissance à un dépôt détritique sableux et argileux.

Les sondages réalisés le long de la région montrent que le substratum n'affleure nulle part (voir coupe). L'immense étendue de la région est recouverte par les dépôts sableux du quaternaire, sauf dans le nord de la région d'El oued, ou encore dans les environs de Bayada on voit apparaître des couches sableuses du pliocène.

Dans la partie méridionale et centre d'El Oued, le dépôt quaternaire est représenté par les dunes formant ainsi l'extrémité ouest du Grand Erg oriental, dans le nord. Ce sont les formations des chotts qui disparaissent peu à peu également sous le sable dunaire (Voir carte n°05)

Ainsi les terrains rencontrés sont les suivants :

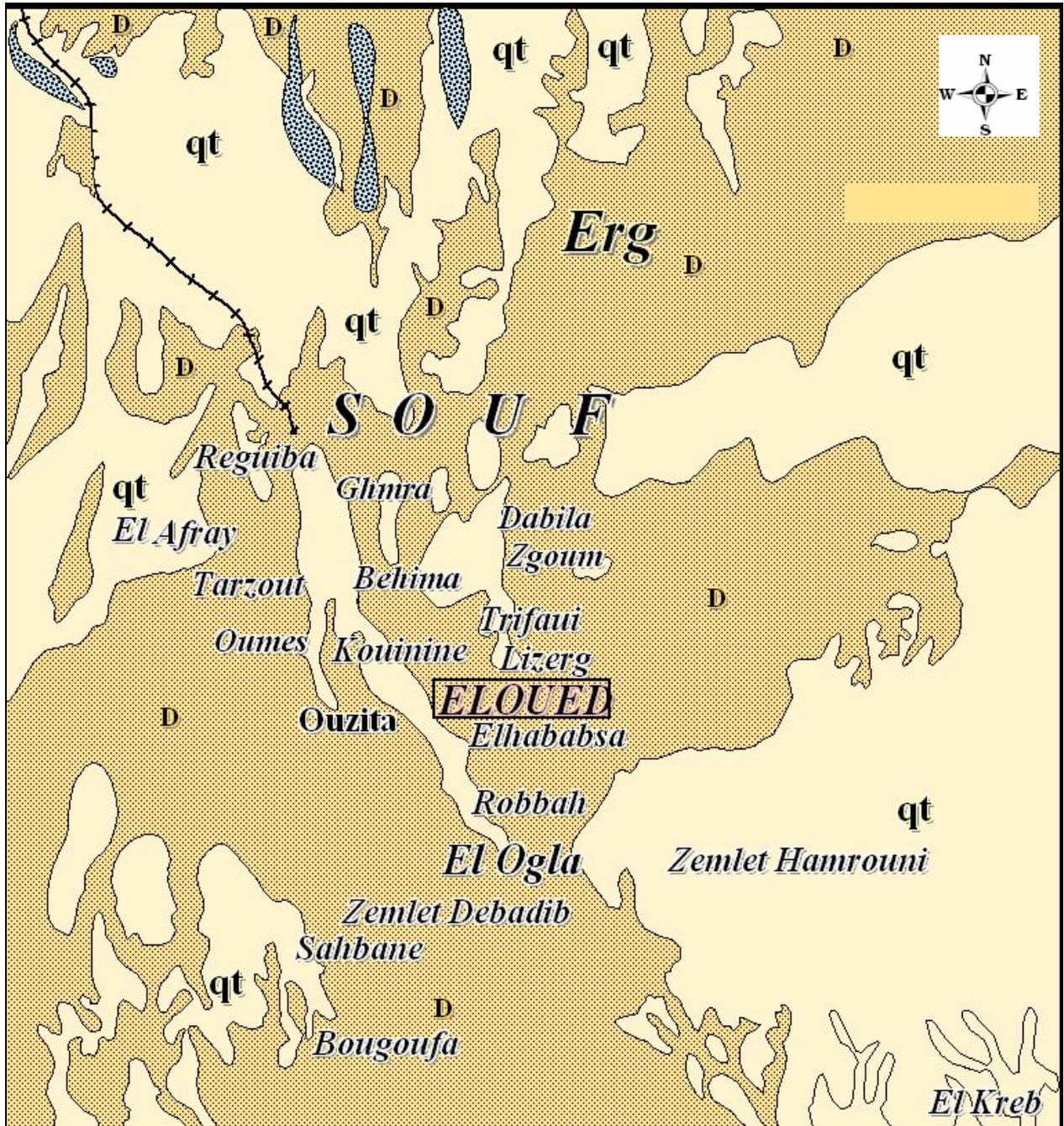
- du sable blanchâtre à brunâtre,
- ponctuellement du sable rougeâtre,
- de la Techra, couche mince constituée de fins cristaux, d'aspect gréseux, parfois utilisée pour faire du plâtre,
- du Louss, ou roses des sables, en couches continues parfois mêlées à du sable,
- du Salsala, semblable à du Louss, mais plus fin et plus serré,
- du Tofsa, ou tuf, qui est la pierre à plâtre.

II-2- Cadre géologique local :

Nous nous proposons dans le cadre de cette étude, de définir le comportement hydrogéologique de la nappe phréatique. Nous étudierons plus précisément les formations allant du Miocène jusqu'au Barremien, en précisant une description lithologique dans notre zone d'étude.

Seuls les terrains Miopliocènes sont visibles aux affleurements. Ils sont recouverts par endroits par une considérable épaisseur de dépôts quaternaire (dune et cordon d'Erg). La succession des terrains et leur description lithologique ont été rendus possibles grâce aux Logs de forages d'eau (voir carte n° 06).

Carte géologique locale



- Quaternaire continental (Alluvion , terrasses)*
- Dunes recentes*
- Alluvions actuelles (marécage, chotts, sebkhas)*

Echelle 1/500.000

Source : d'après la carte dressée par : Gouskouv M.M.N.

II-2-1- Stratigraphie et ses caractéristiques lithologiques :

Selon la colonne stratigraphique de la région, on s'aperçoit que tous les terrains sont perméables à semi-perméables. Donc pratiquement tous les terrains peuvent être aquifères mais la présence de gypse peut causer des problèmes de salinité et donc de potabilité (carte n° 07).

D'après les forages (**F2, F9, F12, et F6**), on constate que les profondeurs des étages varient d'une région à une autre. Le long de toute notre région d'étude, on rencontre de bas en haut, les formations suivantes :

II-2-1-1- Secondaire :

a)-Barremien : (F2). : Il représente une alternance d'argile avec passage et intercalation des grès, calcaire, dolomies et sable et avec des intercalations de silex. L'épaisseur de cet étage est de l'ordre de **231m (F2)**.

b)-Aptien : on y observe des dolomies, des marnes, des calcaires et on remarque que cet étage a une très faible épaisseur (**30m**).

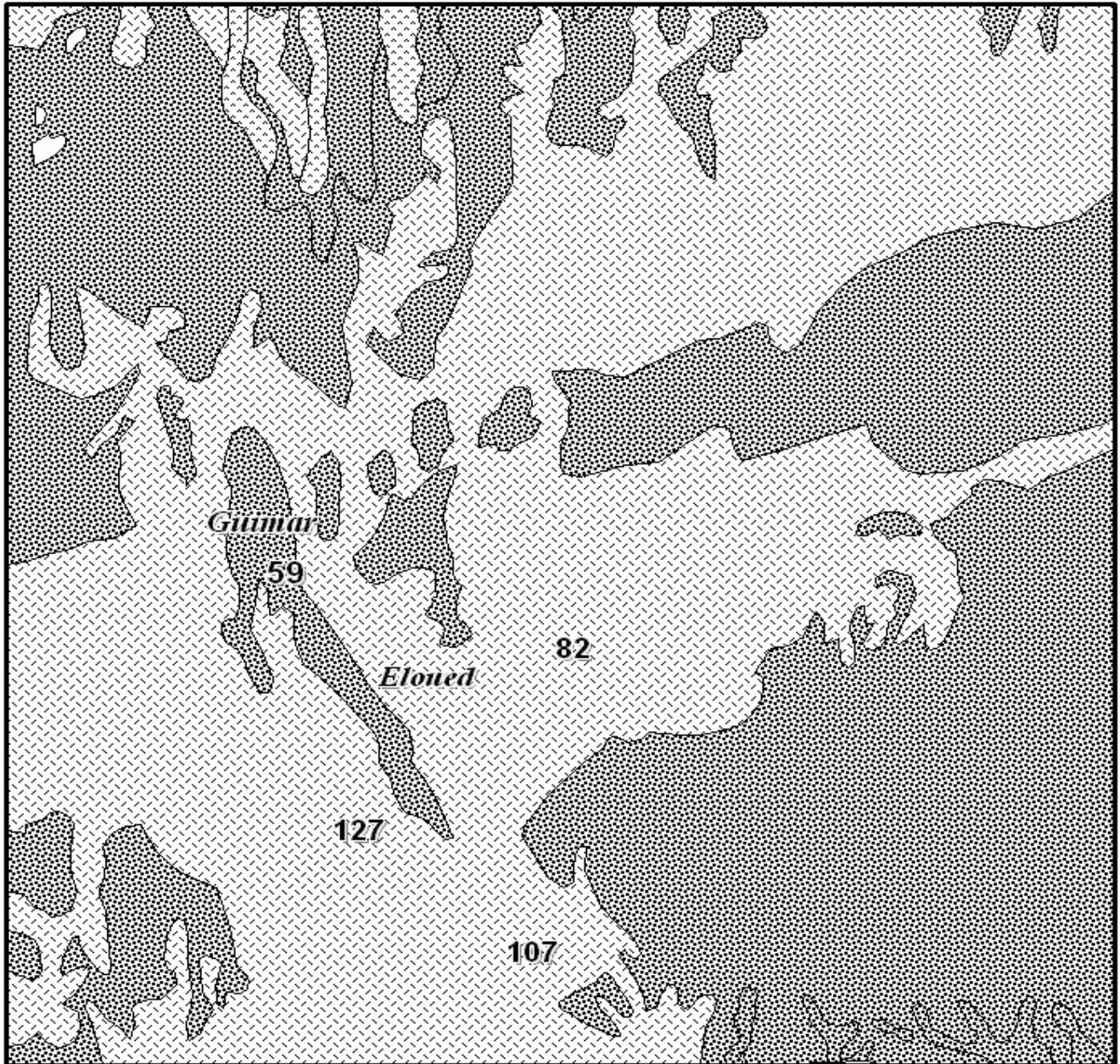
c)-Albien : sa limite inférieure est constituée par le toit de barre aptienne tandis que sa limite supérieure correspond à l'apparition des faciès argileux carbonatés. Il présente une alternance de marnes, de grès et de calcaire avec quelques passages d'argile et de silex, son épaisseur est de l'ordre de **91m (F2)**.

d)-Vraconien : sa limite constitue un terme de passage entre l'albien sableux et le cénomanien argileux carbonaté, telle que ses limites supérieures et inférieures correspondraient à la disparition du faciès francs sableux de l'albien, on y observe des calcaires gris, clairs, argileux et passages de dolomies compacts micro-cristallins avec des intercalations d'argiles, d'une épaisseur de **127m**.

e)-Cénomaniens : la limite inférieure est nette, et est caractérisée par l'apparition des dolomies, et Anhydrite avec passage des calcaires, la limite supérieure correspond à l'apparition des bancs calcaires. Cet étage est formé par des anhydrites, des calcaires, des marnes, des dolomies avec quelques intercalations d'argiles, son épaisseur est de **201 m (F2)**.

F)-Turonien : Les limites tant inférieures que supérieures, sont facilement identifiables ; le turonien est constitué par des dolomies microcristallines compactes, dures avec des intercalations de calcaires légèrement dolomitiques. Avec leur épaisseur est de l'ordre **57 m**, ils présentent donc un intérêt hydrogéologique.

Carte lithologique de la région de Oued Souf



0 5 10 15km

-  Formation Quaternaire
-  Des alluvions récentes
-  Des dunes récentes

Source : carte géologique d'Algérie (sud de Constantine)

g)-Senomien lagunaire : il est représenté par les anhydrites blanches, massives et dures avec quelques passages de dolomies gris, clairs et des intercalations de calcaires, son épaisseur est d'environ **270m**.

h)-Senomien carbonaté : la limite inférieure correspond au toit des anhydrites du sénonien lagunaire, il existe une continuité du point de vue lithologique entre l'Eocene et Senomien carbonaté, le forage **F2** montre clairement une alternance de calcaire, de marnes, de Dolomies compactes, d'anhydrites blanches et grises et calcaires, argileuses, son épaisseur est de **200m**.

II-2-1-2- Tertiaire :

a)-Eocene :

La limite inférieure de l'éocène coïncidence avec le toit du sénonien, la limite supérieure est marquée par l'apparition des sables, et argiles sableuse de miopliocène. D'après les forages réalisés dans cette région, on y observe une alternance de calcaire, fissurés et marnes. Dans le forage d'AMICHE, on observe dans l'éocène l'existence d'un calcaire jaune compacte d'une épaisseur de **12.3m**, elle peut atteindre **340m** (voir carte n° 05)

b)-Miopliocene :

Il repose en discordance sur la dernière couche éocène, sa limite inférieure coïncide avec les premiers dépôts détritiques (argile et sable). Le miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sable argileux, avec des intercalations de gypse et de calcaire (voir carte n° 05).

BEL et DEMARGNE, Paris1978, distingue de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires :

Niveau 1 :

Argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocene évaporitique, ces argiles de la base du mio-pliocène constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocene carbonaté et celle des sables du niveau2.

Niveau 2 :

Grésos-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant. A sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 3. Le niveau 2 est le principal horizon aquifère du mio-pliocène.

Niveau 3 :

C'est une formation argilo-sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. La couche n'existe que dans certaines zones.

Niveau 4 :

C'est le deuxième niveau sableux du mio-pliocène, parfois en continuité avec le niveau 2. Le sommet du niveau quatre affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaires gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de **300** mètres.

II-2-1-3- Quaternaire :

Il est représenté sous formes de dunes récentes, de sable fins à moyens de couleur beige sillicieux et des paillettes de gypse ; son épaisseur varie de **39 m** à **67m** (voir carte n° 05), il s'agit d'une formation continentale (alluvions, terrasses).

II-3- Tectonique :

D'après la coupe passant par les sondages de la région d'El Oued, la série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate forme crétacée forme un vaste synclinale dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'événement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du quaternaire.

Tableau n° 02 :

Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien, Karpoff, 1952 :

AGE	STYLE
1- Antécambrien	Plis très aigus, failles.
2- Paléozoïque.	Mouvements amples d'axe Est-Ouest Formation de chaînes orientées N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens.
3- Post-éocène et anté-Miocène.	Rejeu des structures hercyniennes avec leur orientation ancienne.
4- Post-Miocène.	Premiers plis d'axe NW-SE.
5- Post-Pliocène.	Mouvements peut-être dans la région Nord seule. Plis en genou de l'Aurès d'axe E-W.
6- Fin du Quaternaire ancien.	Plis affectant le Mio-pliocène seul ou accompagné du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux dont l'axe NW-SE est le principal.
7- Néolithique.	Mouvements de grande amplitude à plis faibles et localisés.

II-4- Interprétation des coupes :

Ces coupes orientées Nord- Sud (coupe N°1), Ouest-Est (coupe N°2), Nord Est-Sud (coupe N°3) et Nord Ouest-Sud Est (coupe N°1) ont pour objectif, d'une part d'établir une corrélation lithologique du sous- sol, d'autre part d'identifier l'extension géographique ainsi que l'épaisseur utile de la nappe phréatique de la région.

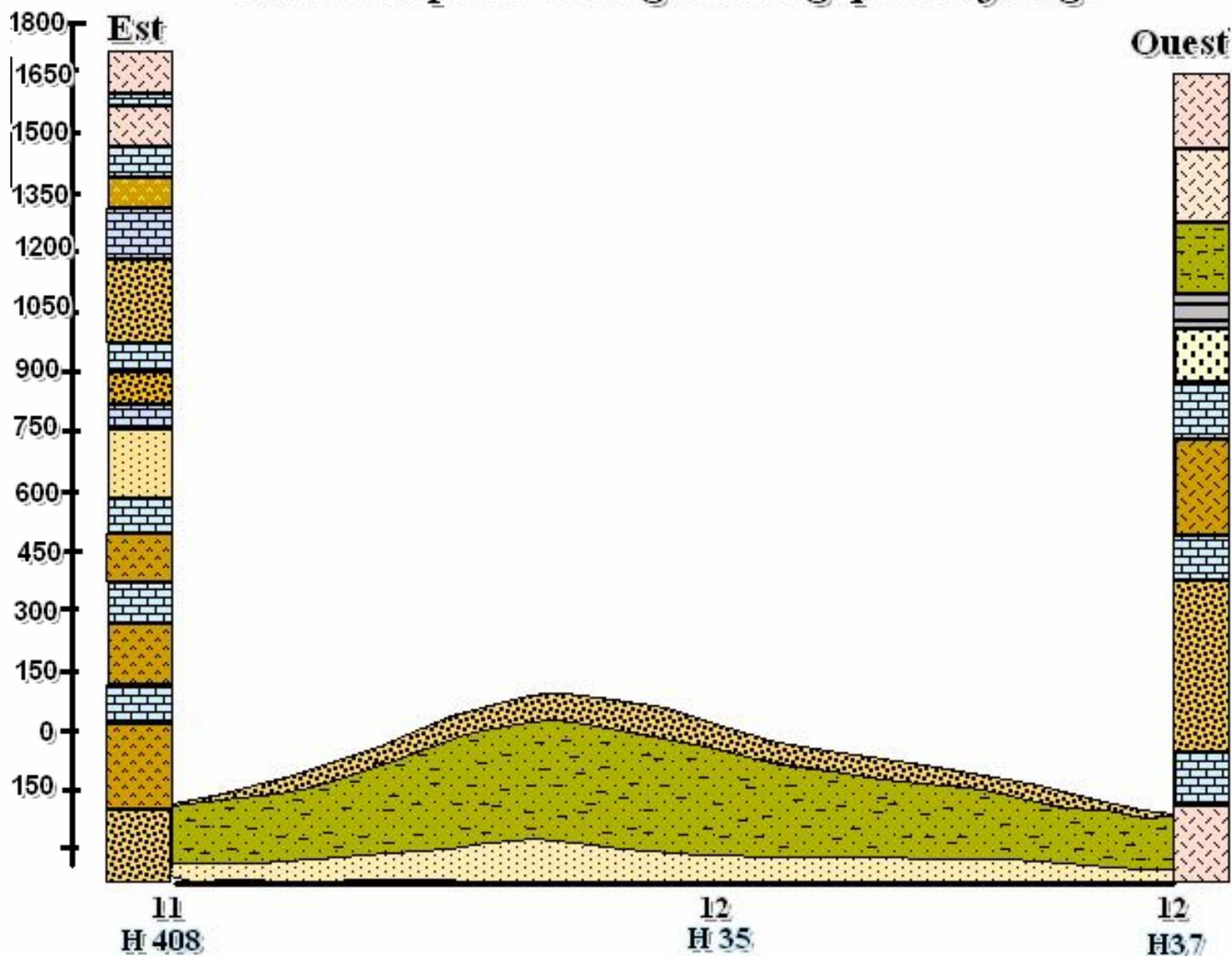
a)- Coupe N°1 :

D'après cette coupe orientée Nord – Sud, faite sur la base de coupes de forages, on remarque que l'épaisseur de formation miopliocène (constituée par des argiles sableuses, de sable et de calcaire) diminue du Nord vers le Sud. Au niveau du **H11.104**, on remarque l'absence des formations quaternaires correspondant aux formations sableuses ; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion éolienne, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud

Figure n° 03

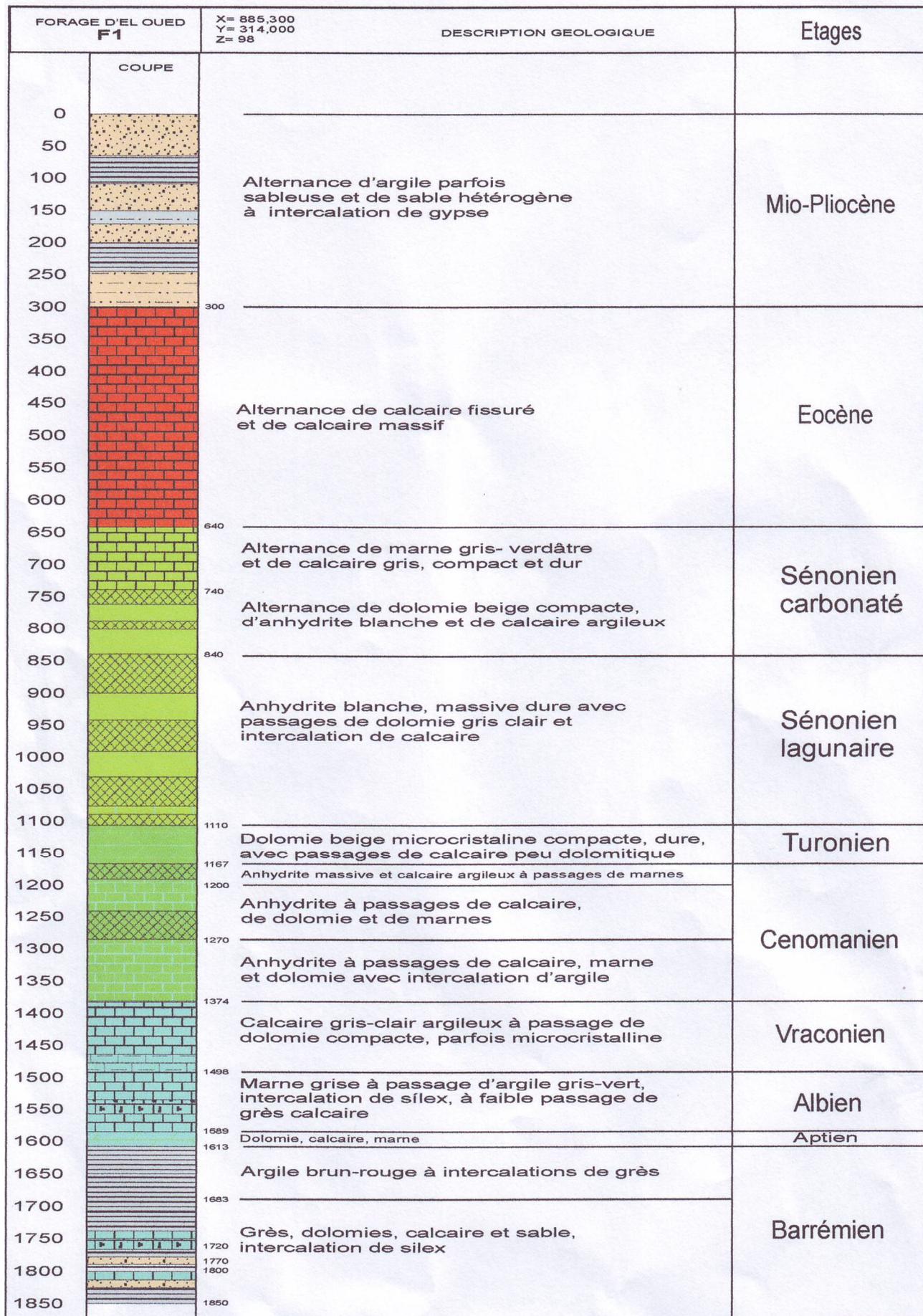
COUPE CORRELATIVE

Extraire a partir des logs lithologiques de forage



Source : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf Constantine 1993, Nezli Imeddine.

Figure n°03



b)-Coupe N°2 :

Sur **170 Km** allant de Djamaa vers Bouaroua, en passant par Magrane, on constate que les couches d'argile sableuses qui correspondent au substratum de la nappe phréatique sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus importante que les formations sableuses).

Cette importance est plus remarquable dans la région de Magrane que dans les autres régions. C'est ce qui nous donne une forme de cuvette remplie de sédiments sableux d'âge quaternaire correspondant à ceux de la nappe phréatique. L'épaisseur de la couche de sable diminue progressivement à l'Est et à l'Ouest de Magrane. C'est ce qui montre que ces sédiments quaternaires suivent l'allure de cette cuvette par les argiles.

c)-Coupe N°3 :

En allant de la région dite Merzaka vers Ourmes, on remarque au niveau du forage (H12.52), l'absence de formations quaternaires. Ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations de miopliocène sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de **200m**). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, par contre celle des formations quaternaires est constituée par des sables qui changent d'une région à une autre (par exemple, au niveau du forage H12.540, l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H12.84).

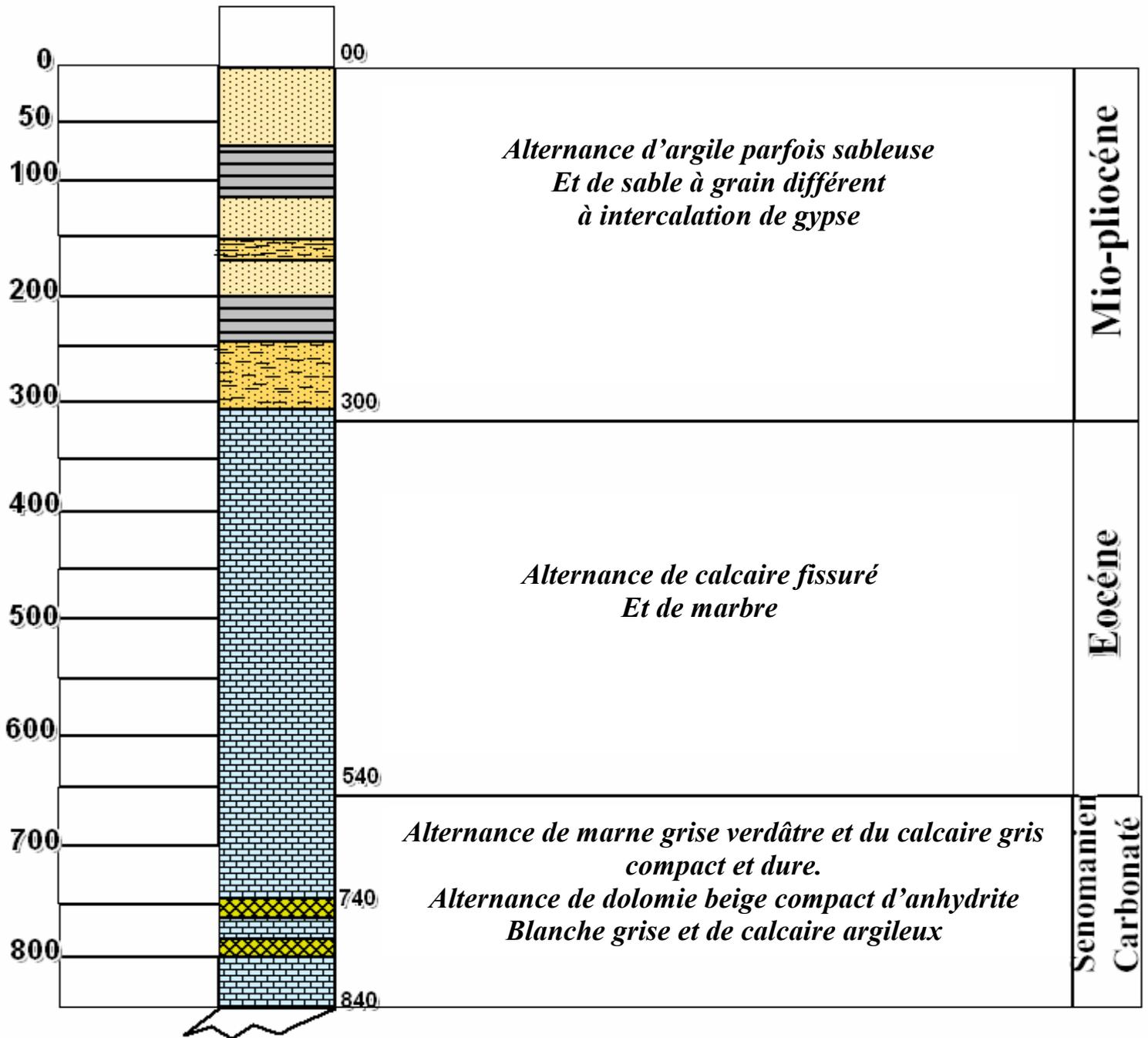
d)-Coupe N°4 :

La coupe N°4 est différente des autres surtout du point de vue stratification ; cette dernière entrecroisée, donne ainsi naissance à des « biseautages » résultant d'un environnement paléogéographique particulier. Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. Quant aux formations quaternaires, on constate que leur épaisseur est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est.

Selon la colonne stratigraphique de la région d'El Oued, on s'aperçoit que tous les terrains sont perméables à semi-perméables.

Donc pratiquement tous les terrains peuvent être aquifère mais la présence de gypse peut poser des problèmes de salinité et donc de potabilité.

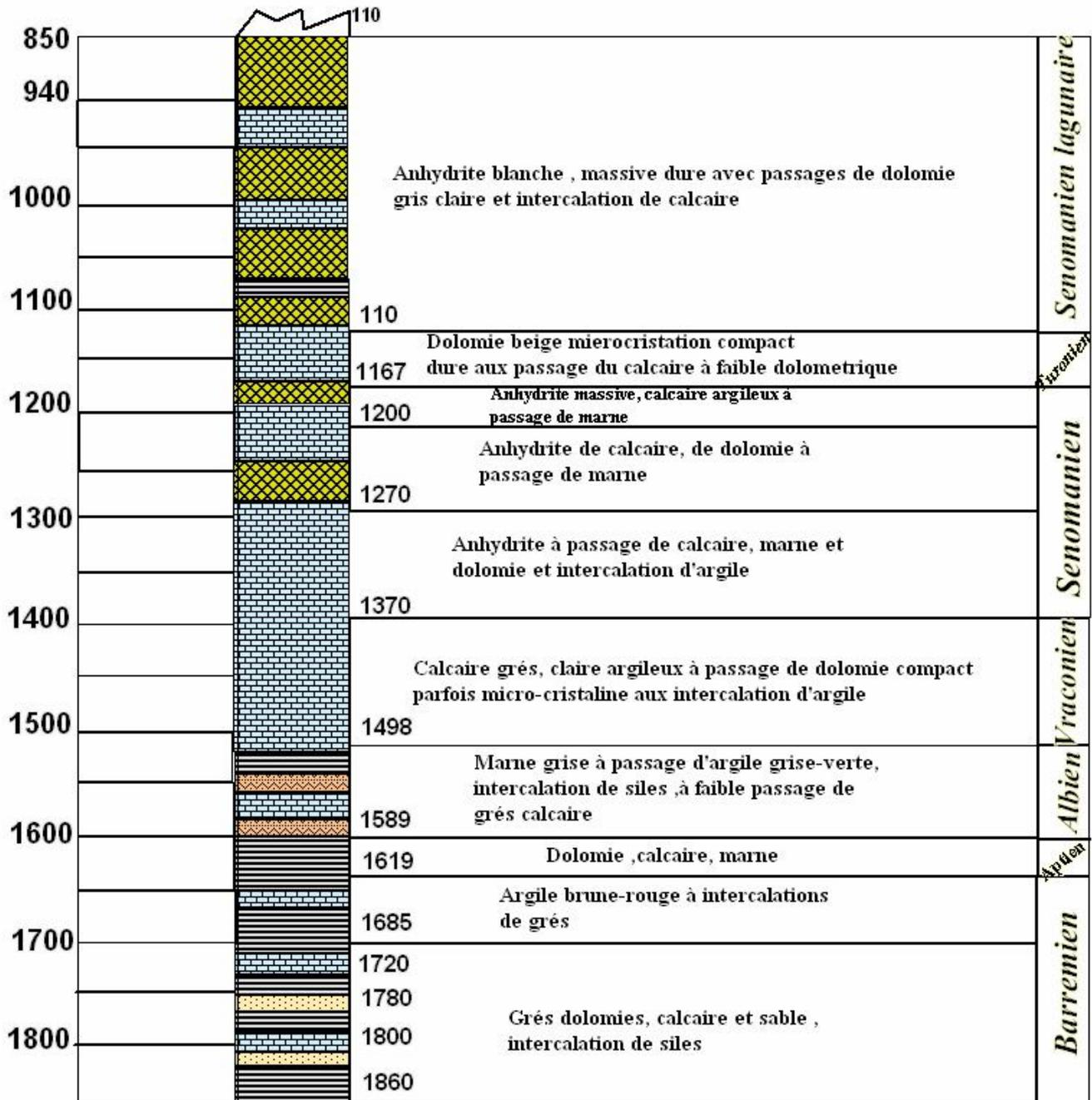
Coupe géologique (N° 03) de la nappe phréatique d'El Oued



Source : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf Constantine 1993, Nezli Imeddine.

Figure n° 05

Coupe géologique (N° 04) de la nappe phréatique d'El Oued



Source : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf Constantine 1993, Nezli Imeddine.

III -Les données du climat :

La connaissance des caractéristiques hydroclimatologiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique. En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines et d'autre part d'avoir une idée sur les phénomènes météorologiques qui caractérisent la région.

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec où la température peut atteindre **35°C** et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps.

Les données pluviométriques, de la température, de l'humidité, de l'évaporation,... etc) ont été observées par l'Office National de la Météorologie (**O.N.M.**) et enregistrées à la station climatologique de l'aérodrome de Oued-Souf.

III-1 - la pluviométrie :

D'après Dubief (**63**) les origines des précipitations dans les régions sahariennes sont différentes et ce selon les saisons :

Durant l'été, elles sont dues aux dépressions de mousson en hiver, leur provenance est due aux dépression accompagnant la migration vers le sud des fronts polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano Sahariennes traversant notre Sahara du sud vers le Nord.

Les précipitations prennent ici la forme d'averse qui ruisselle à la surface du sol et qui ne s'infiltrer pas profondément. A l'état de saturation, le sable absorbe environ **21%** de son poids à l'état sec. Les régions désertiques qui ont une pluviosité faible sont celles qui présentent les plus fortes irrégularités.

III-1-1- Etude des précipitations :

Le Souf est compris entre les isohyètes **100 mm** et de **50 mm**, la moyenne annuelle des pluies à El Oued est de **80 mm**. La répartition saisonnière est extrêmement variable, le Soufi se trouve dans la zone des pluies ayant le maximum principal en automne. La pluie ne tombe que quelques jours par an, laissant une longue période estivale complètement sèche. Ce pendant les pluies peuvent tomber à torrent pendant quelque heures, ce qui provoque des dégâts et des effondrements (avril **1947** - mai **1967**).

Tableau n° 03 :

Les précipitations moyennes mensuelles (1913-1938) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	3	7	13	8	5	9	13	6	5	4	0	0

D'après le diagramme des pluies (Fig.06), Nous constatons que le mois de Mars et Novembre est le plus arrosé avec une hauteur de l'ordre de **13 mm**, le mois de juillet et Août montrant une sécheresse totale interannuelle (**P**) est égal à **73 mm**.

Tableau n° 04 :

Les précipitations moyennes mensuelles (1967-2005) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne annuelle
P (mm)	6,28	7,96	6,94	11,84	7,84	8,96	5,57	5,57	5,04	5,18	0,30	0,79	6.02

Tableau n° 05 :

Caractéristique des précipitations en 2005 :

Mois	Hauteur moy. des P. (mm)	Moyenne mensuelle de P	Nbre moy. de jours de pluies
Janvier	17	7.5	3
Février	10	5.7	2
Mars	12	15.2	2
Avril	6	14.1	1
Mai	3	4.2	2
Juin	4	7.3	3
Juillet	0	0	0
Août	1	0.5	0
Septembre	6	4.8	1
Octobre	5	2.6	1
Novembre	8	15.1	3
Décembre	6	5.8	2

Le maximum des précipitations annuelles est de **160 mm**, le minimum est **19 mm**. La moyenne du nombre de jours de pluie est de **17**. Le volume des pluies utiles, c'est-à-dire dépassant **5 mm**, atteint **67%**, et la fréquence des jours de pluies utiles est **22%** (Dubief).

Les relations entre la nappe phréatique et l'atmosphère ont été étudiées par **Aris et Devilux**. Leur étude récente confirme qu'une précipitation isolée est sans effet sur la nappe. Elle nous apprend également que la couche superficielle est traversée constamment par un flux d'eau provenant de d'évaporation ou de condensation alternées qui marquent, suivant l'heure et la saison, l'état des sables superficiels. Ils ont mesuré la vitesse de percolation des tranches d'eau dans le sable du Souf ($V = 0.01 \text{ cm/s}$), **15 m** de sable seraient donc franchis en **48 heures**.

D'après les hauteurs mensuelles des précipitations à la station d'El-Oued, on s'aperçoit que la période la plus pluvieuse se situe entre Octobre et Avril qui englobe **75,63 %** du total annuel. Ces variations pluviométriques sont plus ou moins marquées d'une année à l'autre. (Figure n° 07).

L'année **1990** apparaît la plus pluvieuse avec un total annuel de **155,7 mm** tandis que l'année **1983** est la plus sèche avec une valeur de l'ordre de **23,00 mm**. Le mois de décembre apparaît le plus pluvieux à la période qui s'échelonne sur une période de **39 ans** montre une moyenne interannuelle (**P**) égale à **21,46mm**. Le mois de Juillet montre un minimum de l'ordre de **0,30mm**.

III-1-2- Interprétation des courbes de précipitations : **(1913 - 1938) et (1967 - 2005) :**

La première série montre deux maximums, le mois de Novembre et le mois de Mai ; par contre, la deuxième série présente un seul maximum c'est le mois de Décembre (Voir fig.n° 07). On constate qu'il y a des précipitations au mois d'Août pour la **2^{ème}** série ; par contre, la **1^{ère}** série présente une sécheresse. (Voir fig.n° 06) présente les variations moyennes annuelles de **T** et **P (67-2005)**, montre une variabilité des précipitations dans le temps sur une période de **38 ans**.

La station d'El Oued a enregistré **20** années de précipitations supérieures à la moyenne et **18** années au-dessous de la moyenne, l'interprétation du graphe, montre trois tranches de variations de précipitation selon qu'elles se situent en dessous ou au-dessus de la moyenne interannuelle.

Figure n° 06

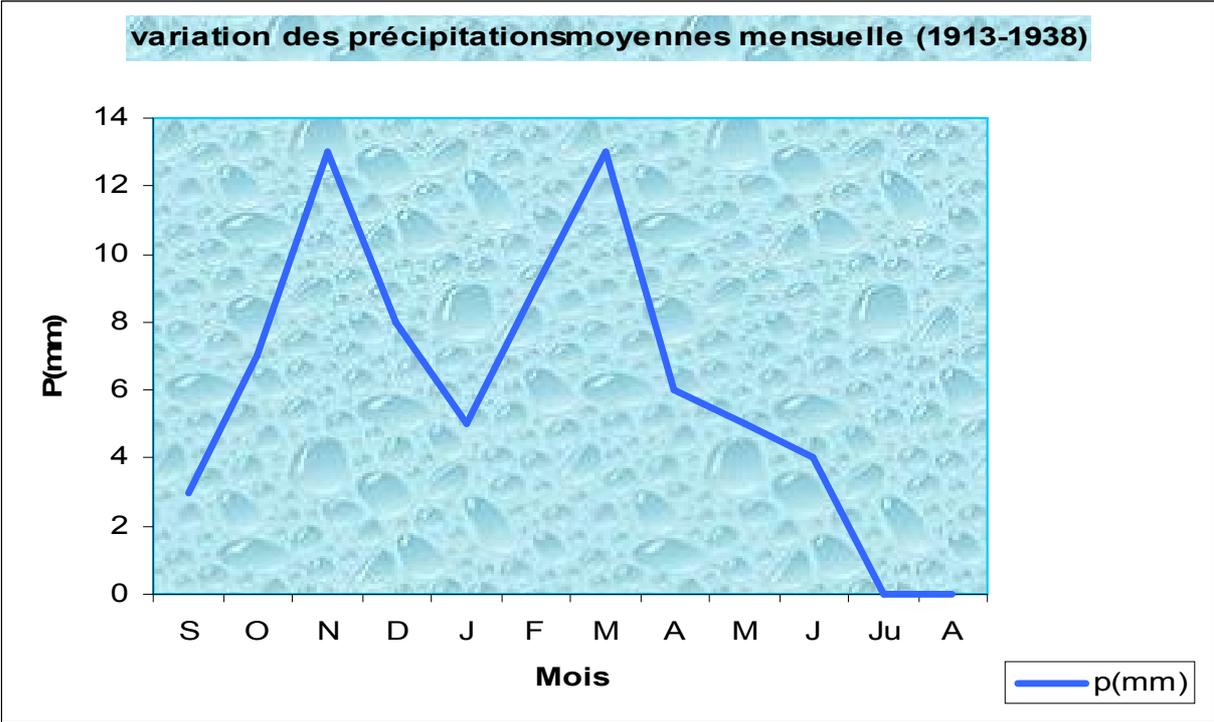
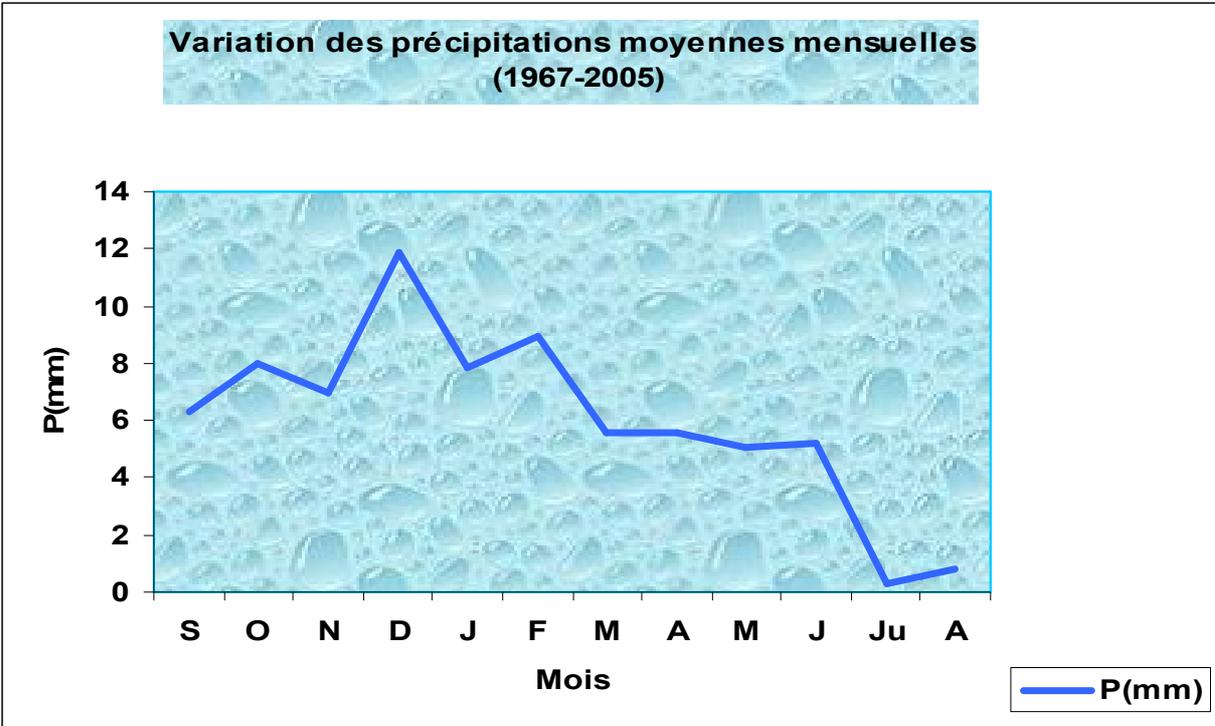


Figure n° 07



I-2-Analyse statistique :

Pour effectuer l'analyse statistique d'un phénomène aléatoire naturel et son ajustement à une loi de probabilité il faut :

- a- Choisir le type fondamental de loi adopté à l'analyse ;
- b- Tenter les ajustements à un groupe de lois de type reconnu adéquat, en retenant le meilleur.

Dans ce cas précis, on a appliqué **2** types de lois d'ajustements aux valeurs de précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station d'El Oued entre **1967** et **2005**, à savoir : la loi Normale et Log-Normal.

L'application est faite à l'aide du logiciel **HydroLab** spécialisée dans le domaine.

I-2-1- La distribution log normale (GALTON) :

(Voir tableau n°06 et figure n°=08)

La formulation de la fonction de répartition de la loi Log-Normale qui fait le mieux le parallèle avec la loi de Gauss est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec :

$$u = a \log(x - x_0) + b$$

L'équation d'Henry est de la forme/

$$\log(x - x_0) = \frac{1}{a}u - \frac{b}{a}$$

Tel que : a et b : coefficients d'ajustements.

x_0 : Paramètre de position.

u : Variable réduite de Gauss.

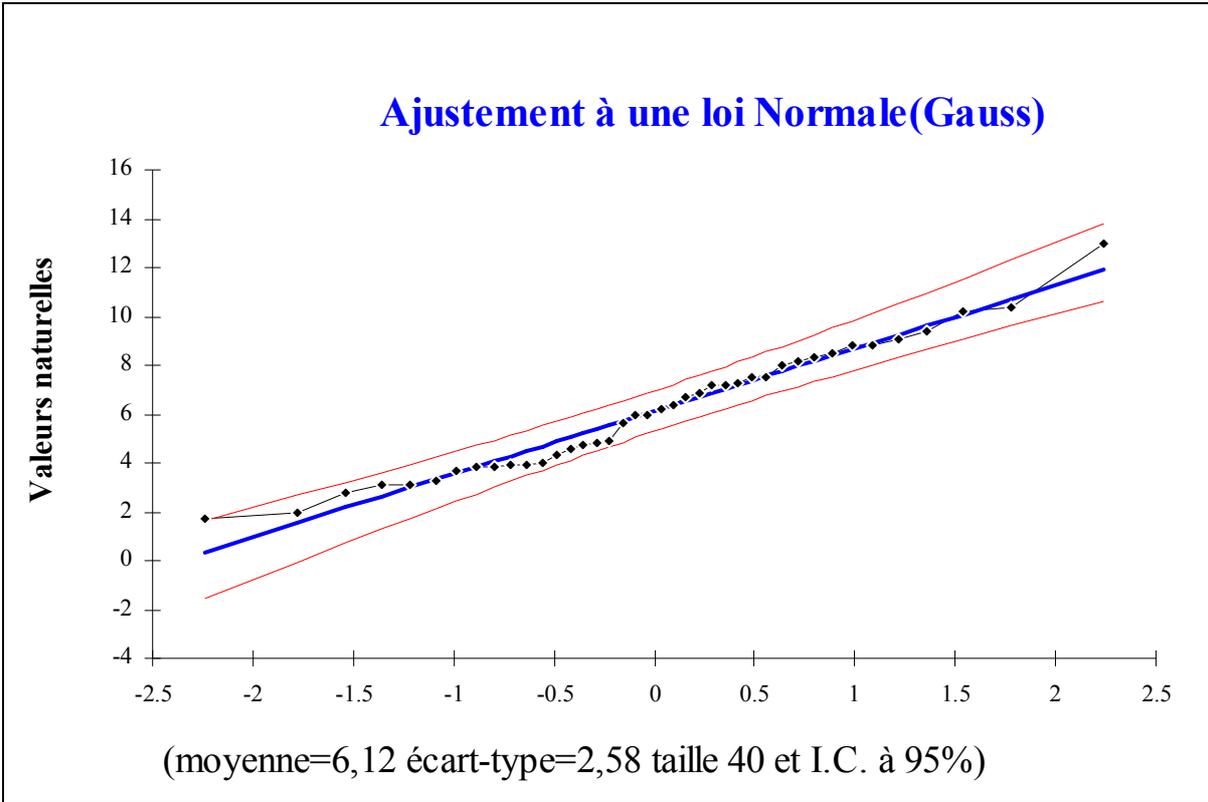
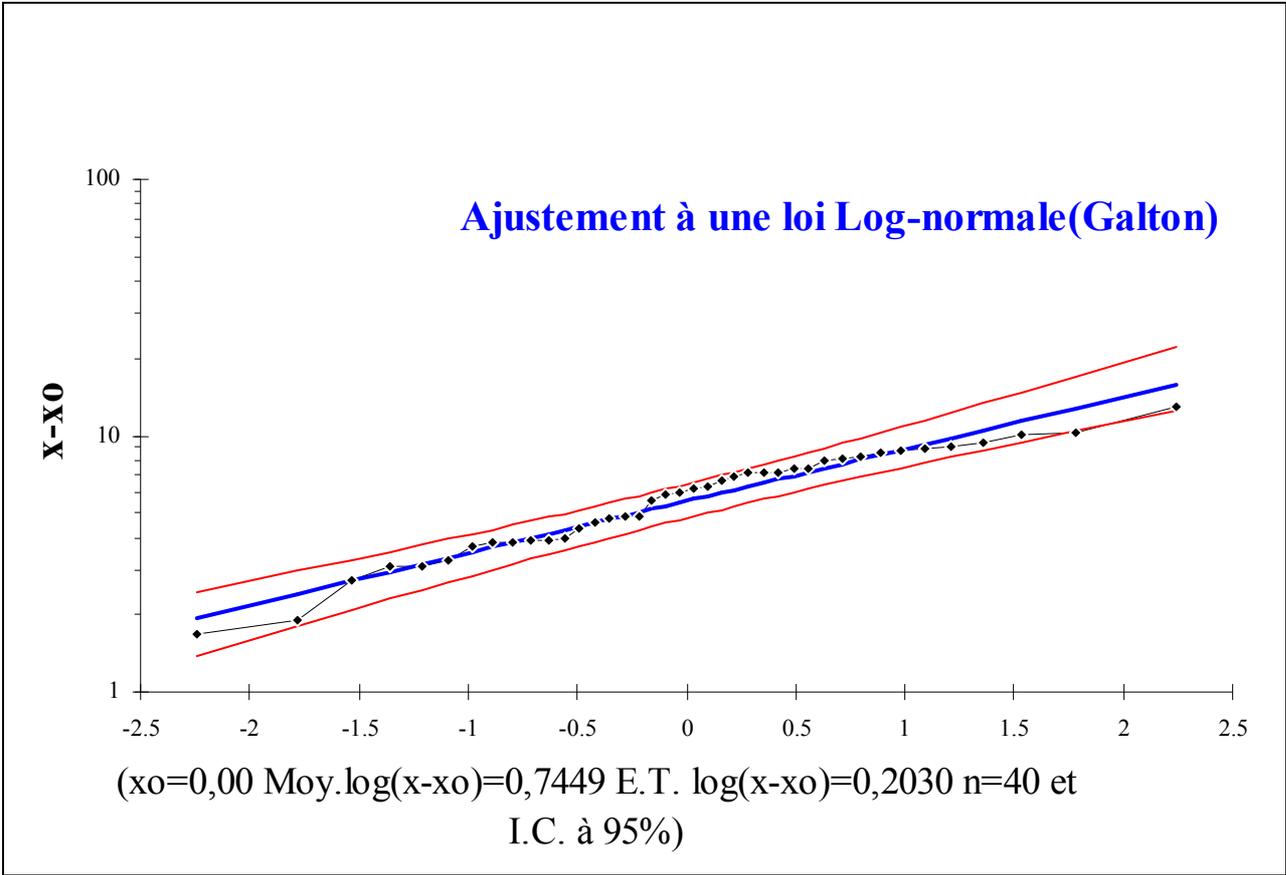
L'équation de la droite d'Henry est :

$$\log x = 0.19u + 0.3$$

Tableau n° 06 :

Ajustement à une loi log-normale(Galton)

Taille n=	40	Moyenne=	6,12425					
		Ecarttype=	2,57574175		I.C. (en%)=	80	U Gauss=	1,2817
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
7,15	1,68	1	0,0125	-2,242	1,68	0,34983658	-0,7701124	1,22765397
2,74	1,92	2	0,0375	-1,781	1,92	1,53720822	0,58405468	2,29801884
8,32	2,74	3	0,0625	-1,534	2,74	2,17194239	1,30269712	2,87546029
7,23	3,11	4	0,0875	-1,357	3,11	2,63016642	1,81842619	3,29539345
3,85	3,11	5	0,1125	-1,213	3,11	2,99866185	2,23088945	3,63537271
9,05	3,25	6	0,1375	-1,092	3,25	3,31241036	2,58020585	3,92670937
3,82	3,71	7	0,1625	-0,984	3,71	3,58922953	2,88678445	4,18537664
7,97	3,82	8	0,1875	-0,887	3,82	3,83951399	3,16251485	4,42071003
8,53	3,85	9	0,2125	-0,798	3,85	4,0699017	3,41497642	4,63868446
9,42	3,88	10	0,2375	-0,714	3,88	4,28491852	3,64932552	4,84338504
7,18	3,9	11	0,2625	-0,635	3,9	4,48780963	3,8692491	5,03775128
5,6	3,98	12	0,2875	-0,560	3,98	4,68099859	4,07749099	5,22398806
8,84	4,33	13	0,3125	-0,488	4,33	4,86635848	4,27616253	5,40380878
8,18	4,58	14	0,3375	-0,419	4,58	5,04538116	4,46693628	5,57858713
3,11	4,73	15	0,3625	-0,351	4,73	5,21928785	4,65117247	5,74945655
6,87	4,84	16	0,3875	-0,285	4,84	5,38910433	4,83000467	5,917378
1,92	4,87	17	0,4125	-0,221	4,87	5,55571399	5,00440021	6,08318804
4,73	5,6	18	0,4375	-0,157	5,6	5,71989678	5,17520402	6,24763428
3,25	5,94	19	0,4625	-0,094	5,94	5,88235871	5,34317181	6,41140268
7,47	5,96	20	0,4875	-0,031	5,96	6,04375541	5,50899598	6,57513955
3,9	6,17	21	0,5125	0,031	6,17	6,20474459	5,67336045	6,73950402
5,96	6,33	22	0,5375	0,094	6,33	6,36614129	5,83709732	6,90532819
1,68	6,68	23	0,5625	0,157	6,68	6,52860322	6,00086572	7,07329598
12,98	6,87	24	0,5875	0,221	6,87	6,69278601	6,16531196	7,24409979
6,68	7,15	25	0,6125	0,285	7,15	6,85939567	6,331122	7,41849533
6,33	7,18	26	0,6375	0,351	7,18	7,02921215	6,49904345	7,59732753
3,88	7,23	27	0,6625	0,419	7,23	7,20311884	6,66991287	7,78156372
3,98	7,47	28	0,6875	0,488	7,47	7,38214152	6,84469122	7,97233747
4,87	7,48	29	0,7125	0,560	7,48	7,56750141	7,02451194	8,17100901
8,78	7,97	30	0,7375	0,635	7,97	7,76069037	7,21074872	8,3792509
5,94	8,18	31	0,7625	0,714	8,18	7,96358148	7,40511496	8,59917448
6,17	8,32	32	0,7875	0,798	8,32	8,1785983	7,60981554	8,83352358
10,36	8,53	33	0,8125	0,887	8,53	8,40898601	7,82778997	9,08598515
3,11	8,78	34	0,8375	0,984	8,78	8,65927047	8,06312336	9,36171555
4,33	8,84	35	0,8625	1,092	8,84	8,93608964	8,32179063	9,66829415
7,48	9,05	36	0,8875	1,213	9,05	9,24983815	8,61312729	10,0176106
10,18	9,42	37	0,9125	1,357	9,42	9,61833358	8,95310655	10,4300738
4,58	10,18	38	0,9375	1,534	10,18	10,0765576	9,37303971	10,9458029
4,84	10,36	39	0,9625	1,781	10,36	10,7112918	9,95048116	11,6644453
3,71	12,98	40	0,9875	2,242	12,98	11,8986634	11,020846	13,0186124



- série de B. Seltzer (1913 à 1938) :

Tableau n° 08 :

Les températures moyennes mensuelles :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne (°C)
T°C	29,2	22,8	16,3	21,4	10,9	13,3	16,8	21	25,2	32,3	35	32,7	22,9

Le tableau ci-dessus montre clairement que le mois de janvier est le mois le plus froid tandis que le mois le plus chaud correspond au mois de juillet

(Figure n° 10). Enfin, la température moyenne annuelle de cette série est de l'ordre de **22,9°C**

- 2^{ème} série effectuée (1967- 2005) :

Tableau n° 09 :

Les températures moyennes mensuelles interannuelles :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T (°C) moyenn e annuelle
T°C	28, 42	22,15	15,4 8	11,09	10,38	12,86	15,85	19,9 4	25,38	30, 4	32,68	32,82	21,45

Dans cette série, nous remarquons que la température moyenne mensuelle est de l'ordre de **21,45°C**. Comparée à celle de Seltzer, on peut dire qu'elle n'est pas très différente (voir Figure n° 11)

En fin, pour une température moyenne annuelle montrée sur le tableau, D'après ce tableau, nous distinguons deux périodes :

- Une période froide, s'étale de Novembre à Mars et variant de **10,38 à 15,85°C**.
- Une période chaude s'étalant du mois de d'Avril au mois d'Octobre avec des températures variantes de **19,94 à 32,82°C**.

III-2-1- Interprétation des courbes de températures

(1913 - 1938) et (1967 - 2005) :

La comparaison des deux figures montre que :

Le mois de Janvier est le mois le plus froid et le mois de Juillet est celui le plus chaud pour la série de **1913 –1938**. Pour la série **1967 – 2005**, le mois le plus froid est le même que la 1^{ère} série **1913 - 1938** (janvier); par contre, le mois le plus chaud est Août. L'autre différence, entre les deux séries c'est que la série (**1913 - 1938**) présente une chute de température entre le mois de Juillet et Août.

- La courbe pluviométrique ou embro-thermique :

En se basant sur les données de précipitations et les données de températures mensuelles sur une période de **39 ans** et **26 ans**, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de terminer la période sèche.

D'après Baygnons, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.

La (figure n°12), nous permet de déduire la saison sèche. D'après cette figure, on constate que toute l'année est sèche. La détermination de cette période est une importance primordiale des besoins en eau d'irrigation.

Lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau.

Lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

Figure n° 10

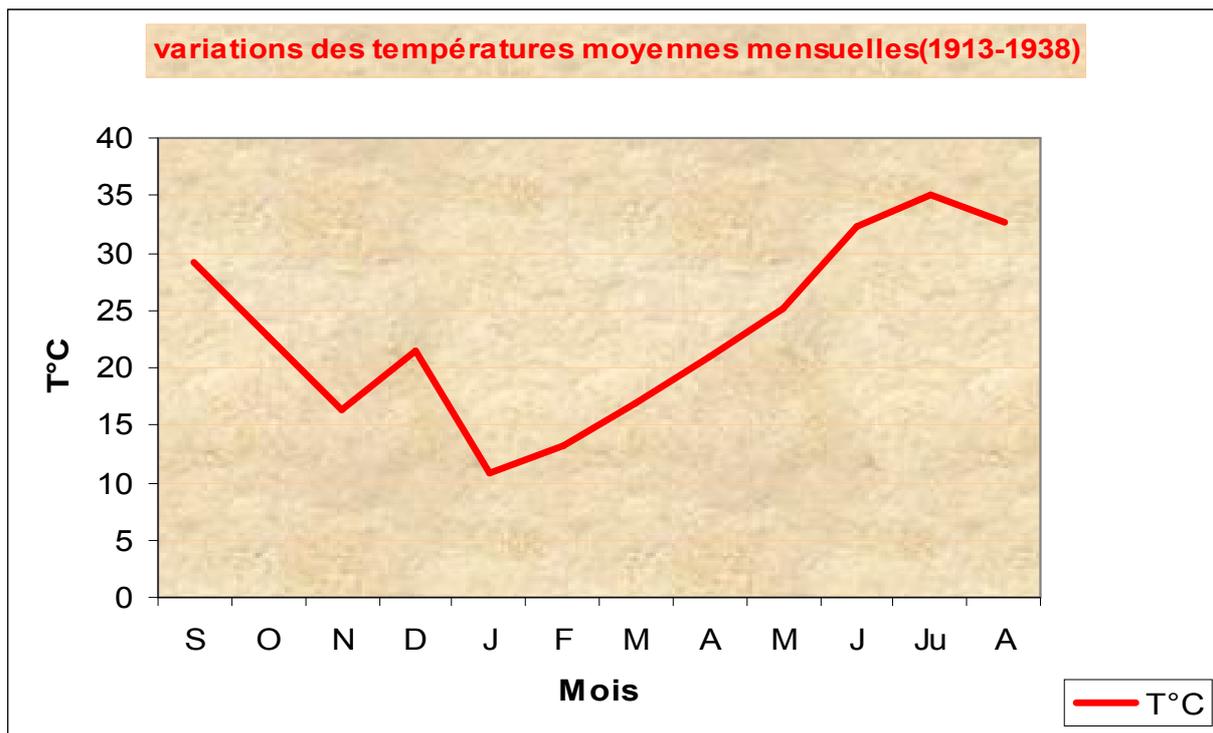
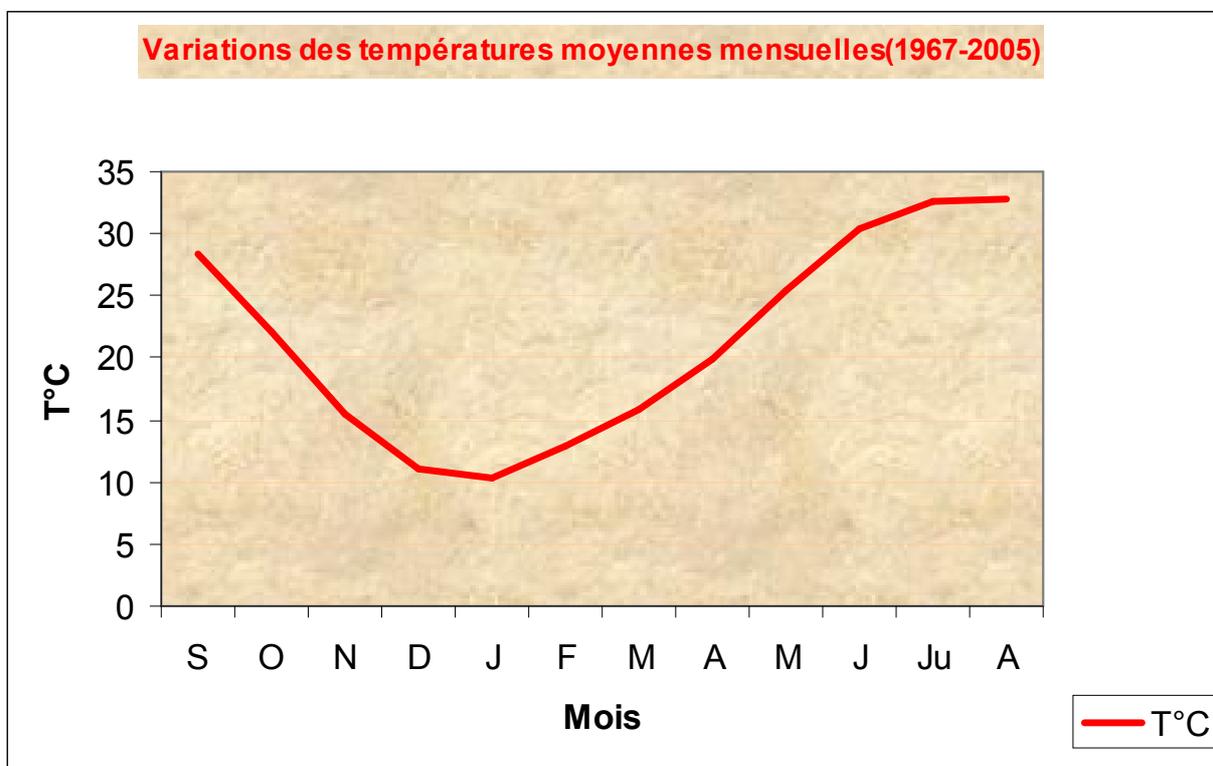


Figure n°11



III-2-2- Indice d'aridité :

Cet indice permet d'identifier le type de climat dans la région d'étude à l'aide de la formule de **MARTONE** :

$$I = P / 10 + T$$

- Si $20 < I < 30$, le climat est tempéré.
- Si $10 < I < 20$ le climat semi-aride.
- Si $7,5 < I < 10$ le climat est septique.
- Si $5 < I < 7,5$ le climat est déserte.
- Si $I < 5$ le climat est hyper aride.

On a :

$$T = 21,45^{\circ}\text{C}$$

$$P = 72,27\text{mm}$$

Donc : $I = 2,29$, on a un climat hyper aride.

III-3- L'humidité :

D'après les données représentées dans le tableau 3, on établit la courbe des moyennes mensuelles d'humidité (**Fig.13**). On peut tirer les informations suivantes :

La moyenne la plus forte pour la période d'étude est au mois de Décembre d'une valeur de **66,84 %** et la plus faible valeur est au mois de Juillet d'une valeur **32,32 %**.

D'après la courbe des moyennes annuelles, (tableau 10 Figure n°13), on dit que : L'année **1969** est caractérisée par une forte valeur égale à **53,11%** par contre l'année **1988**, une faible valeur de **42,29**.

Tableau n° 10 : **les moyennes mensuelles d'humidité (1967- 2005)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité	65,5	57,3	50,95	43,96	39,73	35,88	32,32	34,8	45,1	54,1	61,1	66,
(%)	7	5						7	0	6	1	84

Figure n° 12

Courbe Ombro-thermiqued'EI Oued(1967-2005)

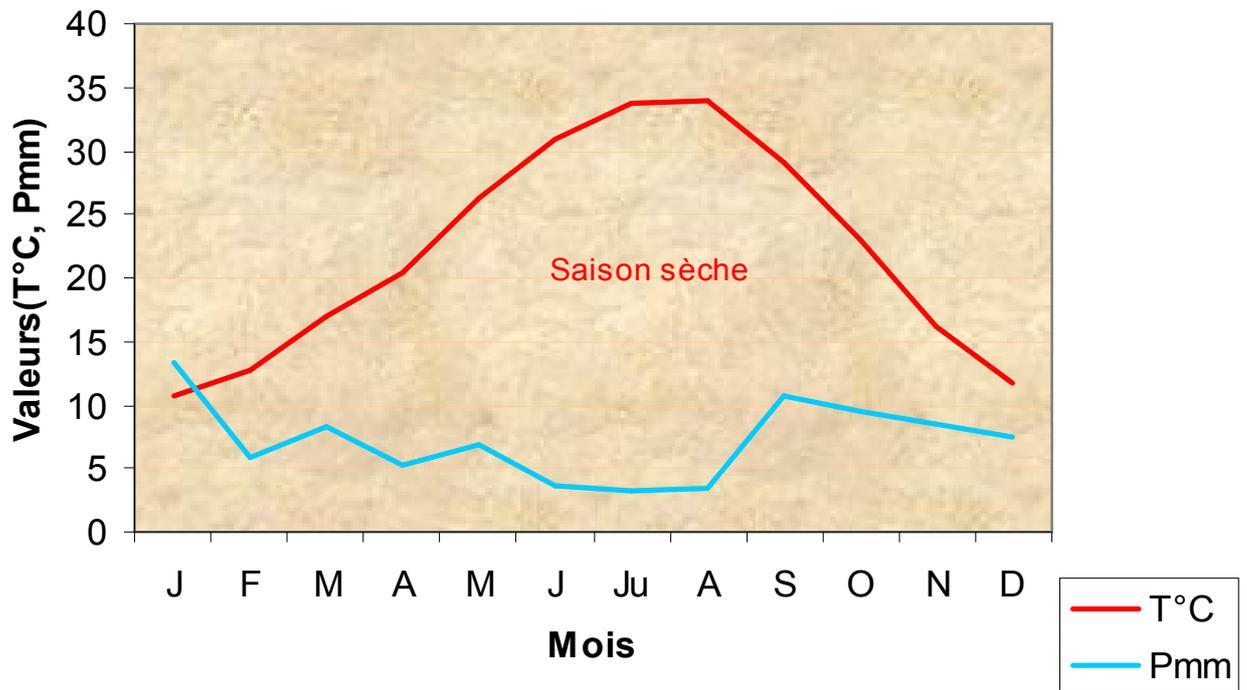
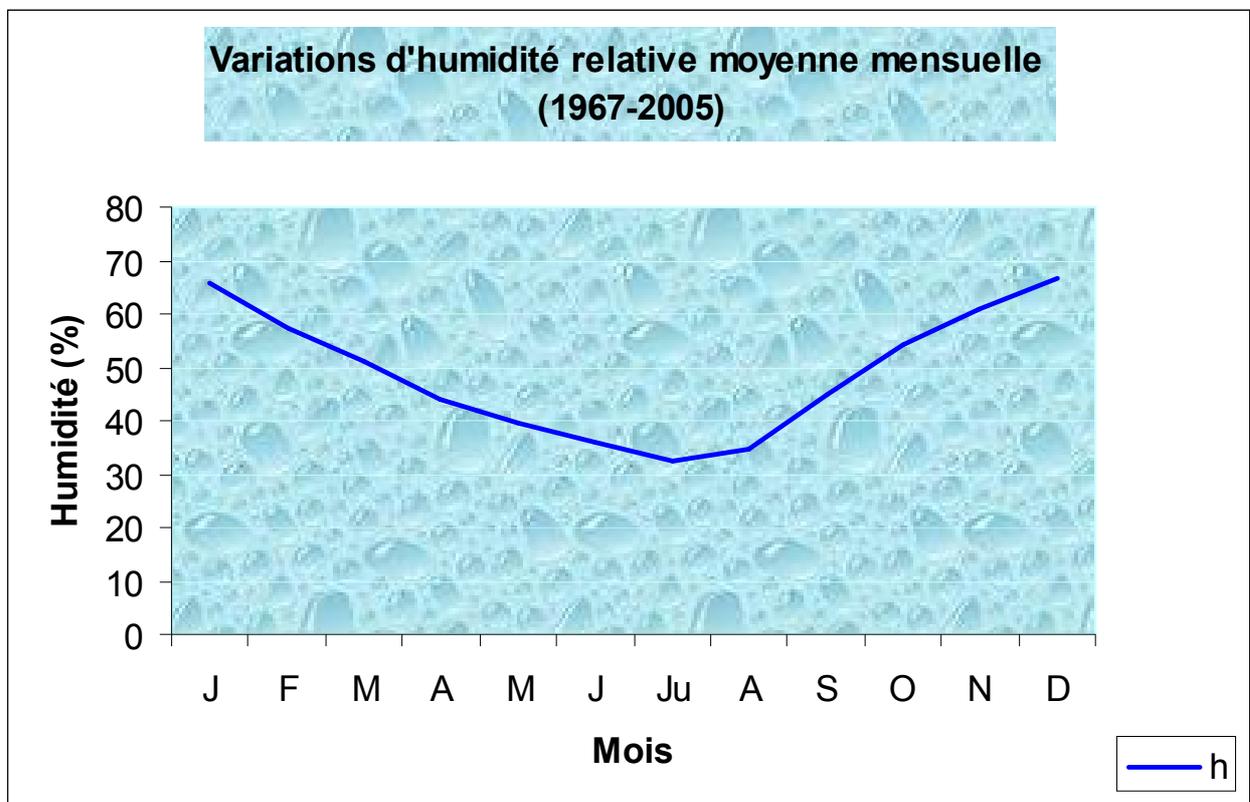


Figure n° 13

Variations d'humidité relative moyenne mensuelle (1967-2005)



III-4- Les vents :

Le vent souffle de façon continue sur le Souf et son importance est considérable, il détermine l'emplacement des villages qui sont ainsi toujours bâtis à l'ouest de leur zone de culture, il est étudié avant de construire des draa, murs destinés à protéger les routes de l'ensablement, ou les haies de djrids, destiné a empêcher l'ensablement des palmeraies.

La direction et la vitesse des vents enregistrée à la station météorologique d'El-Oued, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°11 :

La vitesse des vents (1967-2005) :

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (Km / h)	3	2, 5	2, 7	2, 1	2, 5	3, 6	4, 2	4, 4	4, 6	4, 6	3, 7	2, 8
Nombre de jours d'orienta tions	5, 5	1, 5	0, 2	0, 7	0, 8	2	4, 1	4, 4	4, 6	4, 7	4, 4	5, 4

D'après les observations de cette station, les vents du secteur Est et Nord- Est prédominent, puis à un degré moindre ceux de direction Ouest et sud- Ouest caractérisés par la température élevée :

Sirocco : qui soufflant du Sud vers le Nord, il est relativement fort où pendant l'été devient dangereux, notamment pour les plantes. Il est chargé de sable désertique donnant au ciel une couleur jaune, il peut durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de **40 à 50Km /h**.

Il y a **3** saisons du vent à El Oued, la plus importante est celle qui va de mars à juin, ou le vent souffle durant **29 jours** par mois en moyenne, une saison intermédiaire de juillet à octobre durant laquelle il se manifeste pendant **26 jours** par mois, et enfin la saison ou les vents sont peu nombreux de novembre à février, **20 jours** par mois. Ces **3** saisons ne correspondent pas avec celle de la force des vents, car c'est le mois de juin qui comporte le plus de jours de vent, c'est le mois d'avril qui voit les vents les plus forts. C'est le mois de février est celui ou les jours de vent sont peu nombreux, c'est le mois d'octobre ou il sont moins forts. Il y a **3** mois durant lesquels les vents de sable sont les plus nombreux (avril, mai et juin). Les vents atteignant **80 km/h**, présente un phénomène normal, l'air reste obscurci pendant **2 à 3** jour et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à **1500 m**. le sable pénètre alors partout, malgré toute l'ingéniosité déployée pour l'empêcher de rentrer. En hiver, les vents froids dominants sont ceux des secteurs Ouest (N.O et S.E). Au printemps et en été, ils viennent uniquement de l'Est (N.E et S.E), en automne, ils sont N.E ou S.E.

Généralement c'est au printemps que les vents sont les plus forts (période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de **40 à 50 Km / h**.

III-5- Insolation :

On appelle insolation ou radiation solaire globale la période durant laquelle le soleil peut briller ; on la détermine par des mesures directes ou par dépouillement des bandes héliographiques. Au niveau de la station d'El Oued, nous possédons une série de données de **1992 à 2001** :

- La durée moyenne d'insolation annuelle est de **284.42** heures ;
- Le maximum est enregistré en juillet avec **362.75** heures ;
- Le minimum apparaît en janvier avec **231** heures.

Ce qui ressort de ce tableau est une durée de six (**06**) mois d'enseillement de mars à août où la moyenne est supérieure à **284.42** heures (moyenne d'insolation annuelle). En saison froide la durée moyenne d'enseillement ne descend jamais en dessous de **230** heures. (Figure n° 14).

Tableau n°=12 :

Durée moyenne d'insolation (heures) à la station d'El Oued (1992-2001)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
Ins.	231	244. 62	286. 12	295	318. 37	322. 37	362. 75	341. 25	267	263. 25	232. 37	239	284.42

III-6- Evaporation :

D'après les données représentées dans le tableau, on établit la courbe des moyennes mensuelles d'évaporation (Figure n°15). On peut tirer les informations suivantes :

Tableau n°13 :

Les moyennes annuelles d'évaporation :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E (moyenne)	4,2	5,68	8,25	11,01	13,63	15,76	16,88	15,6	11,37	9,2	5,49	4,33

La moyenne la plus forte pour la période d'étude est au mois de Juillet d'une valeur de **16, 88 mm** et la plus faible valeur est au mois de janvier avec une valeur de **4,2mm**.

D'après la courbe de moyenne annuelles (**Fig15**), on dit que : l'année **1999** prend une forte valeur égale à **21,52mm** par contre, l'année **1986** prend une faible valeur égale à **4,85mm**.

III-6-1- Bilan hydrique :

Le calcul du bilan est comme suit :

a - Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est en quelque sorte l'exemple de toutes les pertes en eau (la végétation, les nappes libre) par la transformation de cette dernière en vapeur.

Figure n° 14

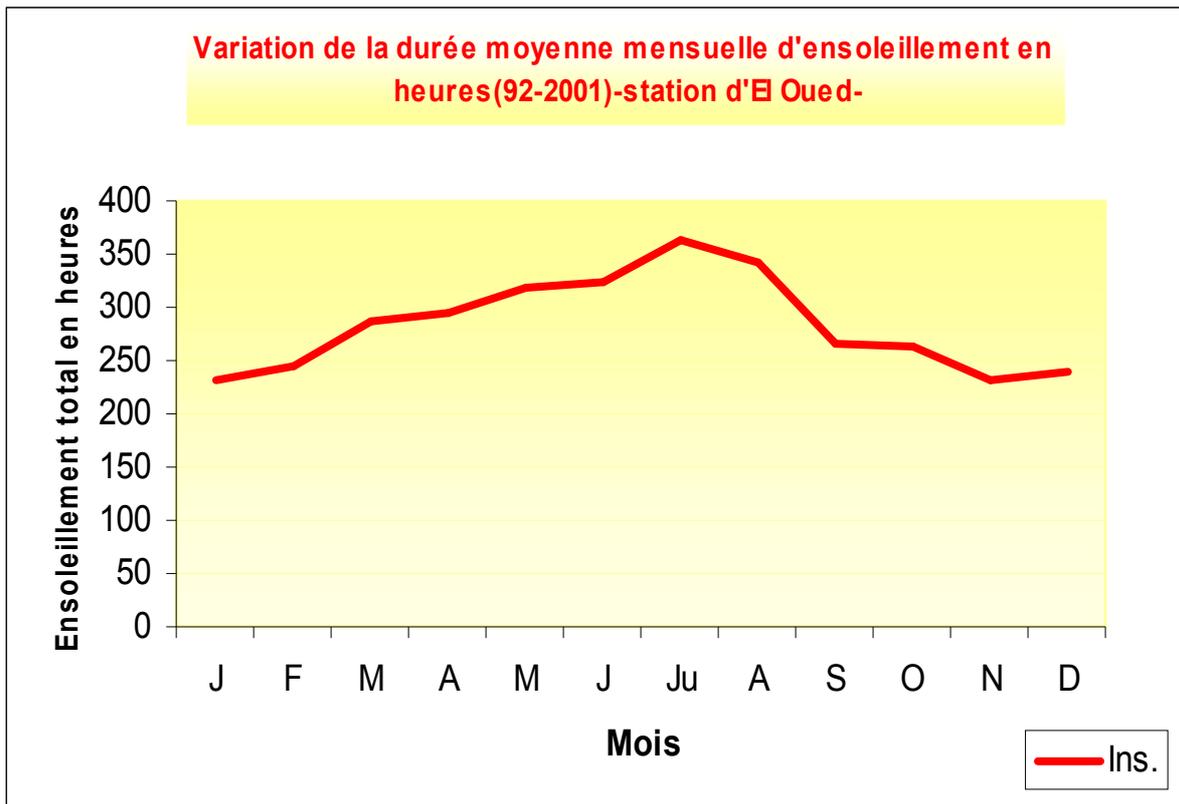
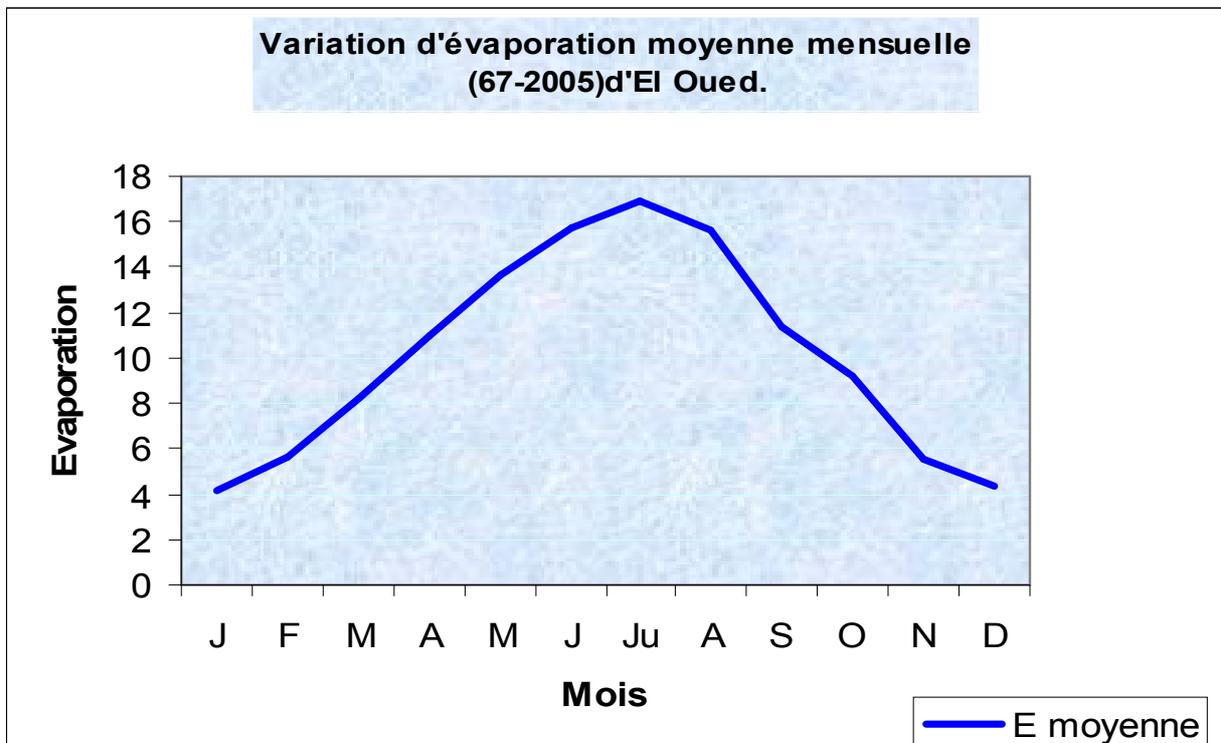


Figure n° 15



Donc l'évaporation résulte de deux phénomènes : l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (Transpiration). Elle est en fonction de plusieurs facteurs tels que : climat, humidité, température, l'insolation et aussi végétation.

b - L'évaporation potentielle (ETP) :

L'ETP représente la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.

La région d'étude est une zone- aride, on a utilisé la méthode de Thornthwaite et à partir de cette dernière, on peut calculer l'évaporation potentielle.

Pour calculer l'ETP, on utilise :

b-1-Formule de Thornthwaite :

C'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée en hydrologie car sa résolution ne nécessite que la connaissance de la température moyenne, un facteur correctif (K) prend en compte la durée du jour ; il est lu sur des tables qui donnent sa valeur en fonction de la latitude et du mois considéré.

Elle est exprimée par la relation :

$$ETP = 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a = Kt^a$$

- ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle, en cm.

- **t** : Température moyenne mensuelle en °C.

- **I** : Indice thermique annuel : $I = \sum_{i=1}^{12} i$

- **a** : exposant constante :

$$a = 6.7510^{-7} I^3 - 7.7110^{-5} I^2 + 1.7910^{-2} I + 0.492, \text{ pour SERRA :}$$

$$a = 1.6 \frac{I}{100} + 0.5$$

- **i** : Indice thermique mensuel : $i \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$

Avec : **t** : température moyenne mensuelle °C.

Les valeurs de l'ETP n'en sont pas corrigées donc il faut faire le coefficient de correction "**K**" qui dépend de latitude, prend en compte la durée d'isolation théorique tirée d'un abaque, notre station se trouve à une latitude **33° 30 N**

$$\mathbf{E.T.P_c = ETP \cdot K}$$

Tableau N°12 : Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1913 - 1938)
D'après la méthode de Thorntwaite :

ois	M	Se	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T
	p	ct	ov	ec.	an.	ev.	ars.	vr.	ai	uin	ui.	oût	otal	
C	T°	29 ,20	2 2,8	1 6,25	1 1,45	1 0,90	1 3,25	1 6,75	2 1	2 5,55	3 0,35	3 5	3 2,62	
	P(mm)	3	7	1 3	8	5	9	1 3	6	5	4	0	0	73
I		14 ,11	9 ,73	5 ,85	3 ,46	3 ,21	4 ,31	6, 13	8 ,60	1 1,55	1 4,95	1 8,99	1 6,68	11 7,57
	K	1, 03	0 ,98	0 ,89	0 ,88	0 ,90	0 ,87	1, 03	1 ,08	1 ,18	1 ,18	1 ,20	1 ,14	
	E TPn-c (mm)	29 ,701	2 5,10	1 9,93	1 5,71	1 5,19	1 7,35	2 0,35	2 3,73	2 7,12	3 0,49	3 3,98	3 2,04	
	E TPc (mm)	30 ,59	2 4,59	1 7,73	1 3,82	1 3,67	1 5,09	2 0,96	2 5,62	3 2	3 5,97	4 0,77	3 6,52	30 7,03
	D p (P-ETPc)	27 ,59	1 7,59	4 ,73	5 ,82	8 ,67	6 ,09	7, 96	1 9,62	2 7	3 1,97	4 0,77	3 6,52	23 4,33
	E TR	3	7	1 3	8	5	9	1 3	6	5	4	4 0,77	0	73
	R FU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E X (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Da (mm)	27 ,59	1 7,59	4 ,73	5 ,82	8 ,67	6 ,09	7, 96	1 9,62	2 7	3 1,97	4 0,77	3 6,52	22 7,33

Formule de vérification : P= ETR + EX = 73= 73 + 0

ETP= ETR + Da = 307,03= 73 + 234

**Tableau N°13 : Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1967 - 2005)
D'après la méthode de Thorntwaite :**

ois	M	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	To
ep	ct	ov	ec.	an.	ev.	ars.	vr.	ai	uin	ui.	oût	tal		
°C	T	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	
		8,42	2,15	5,48	1,09	0,38	2,86	5,85	9,94	5,38	0,4	2,68	2,82	
P(mm)	P(6,	7	6	1	7	8	5,	5	5,	5,	0,	0,	72
		28	,96	,94	1,82	,84	,96	57	,57	04	18	32	79	,27
I		1	9	5	3,	3	4	5,	8	1	1	1	1	11
		3,88	,52	,53	34	,02	,17	73	,11	1,69	5,27	7,15	7,26	4,77
K		1,	0	0	0,	0	0	1,	1	1,	1,	1,	1,	
		03	,98	,89	88	,90	,87	03	,08	18	18	20	14	
E		1	7	3	1	1	2	3	5	1	1	1	1	
TPn-c (mm)		32,33	4,03	2,12	4,777	6,66	0,85	3,94	7,95	01,66	54,81	83,23	85,06	
D		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
p (P-ETPc)		130,01	64,58	26,07	1,17	3,55	9,17	29,38	56,77	114,91	177,49	219,55	210,17	
E		6,	7	6	1	7	8	5,	5	5,	5,	0,	0,	72
TR		28	,96	,94	1,82	,84	,96	57	,57	04	18	32	79	,27
R		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FU														
E		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X (mm)														
E		1	7	3	1	1	1	3	5	1	1	2	2	11
TPc (mm)		36,29	2,54	3,01	2,99	1,39	8,13	4,95	9,34	19,95	82,67	19,87	10,96	12,09
D		1	6	2	1,	3	9	2	5	1	1	2	2	10
a (mm)		30,01	4,58	6,07	17	,55	,17	9,38	3,77	14,91	77,49	19,55	10,17	39,82

Formule de vérification:

$$P = ETR + EX = 72,27 = 72,27 + 0 \quad _ \quad ETP = ETR + Da = 1112,09 = 72,27 + 1039,82$$

c - l'évaporation réelle (E.T.R) :

L'évaporation peut être évaluée par l'établissement du bilan, comme par l'application de certaine formule empirique. Ce paramètre peut être calculé d'après G. Thortwaite en utilisant les conditions suivantes :

Si les précipitations du mois sont supérieures à l'**E.T.P.** (**P>ETP**) alors **ETP=ETR**. Dans ces conditions, l'excédant (**E x D**) des précipitations sur l'évaporation sont emmagasinées dans le sol pour alimenter les réserves jusqu'à la Saturation du sol. Le surplus après saturation constitue donc l'excédant qui alimente la nappe profonde et l'écoulement de surface.

Si les précipitations du mois sont inférieures à l'**E.T.P.** (**P<ETP**), les réserves en eau du sol du mois précédent est assez forte pour compenser le manque de précipitations du mois considéré et dans ce cas, le niveau de réserve de **RFU** (Réserve Facilement Utilisable) baisse donc : **E.T.R= P+RFU**. Disponible. Ces réserves disponibles sont insuffisantes pour satisfaire l'**E.T.R.** alors **ETR=P** et dans ce cas, il y a un déficit Agricole ou par la formule de Turc où :

c-1-Formule de turc :

Cette formule est définie par l'équation suivante :

$$ETR(mm) = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitations moyenne annuelle en mm.

L : Pouvoir évaporant avec **L = 300 + 25 T + 0.05 T³**

T : Température moyenne annuelle en °C.

Donc :

$$L = 1397.11$$

$\text{ETR} = 90.47 \text{ mm.}$

c-2-Formule de wundt :

Wundt a établi un abaque, modifié par **Coutagne**, permet afin d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations. Sur cet abaque sont reportées en abscisse les températures moyennes annuelles, et en ordonnées les précipitations moyennes annuelles, et par lecture sur cet abaque on obtient le déficit d'écoulement correspondant à la station d'El Oued. Son application nous donne :

Déficit d'écoulement inférieur à **200 mm / an**. Et un quotient d'écoulement nettement inférieur à **10 %**.

c-3-Formule de coutagne :

Le déficit d'écoulement déduit de la hauteur moyenne des précipitations et de la température moyenne annuelle est donné par la relation :

$$D = P - \lambda P^2$$

D : Déficit d'écoulement (en mètre / an).

P : Précipitations moyenne annuelle (en mètre / an).

T : Température moyenne annuelle (en °C).

Le paramètre λ a pour expression : $\lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$

Le paramètre λ a pour expression :

$$\lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

La méthode n'est pas applicable que pour P compris entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$.

Dans notre cas, les **P** sont inférieures à la limite inférieure donc cette formule est par conséquent inadaptée à ce type de climat.

On remarque que les différentes formules mathématiques appliquées pour déterminer l'évapotranspiration, ces formules s'avèrent cependant totalement inadaptées aux conditions climatiques du Bas Sahara algérien.

d - les réserves facilement utilisables (R.F.U.) :

Pour calculer la RFU, on utilise la formule suivante : (J. Richard 1979)

$$\mathbf{R.F.U} = 1/3 \cdot \mathbf{D_a} \cdot \mathbf{H_e} \cdot \mathbf{P}$$

D'où :

D_a : densité apparente du sol

H_e : humidité équivalente en %

P : profondeur de la terre parcourue par la ravine en (mm)

Pour la région d'étude Marsily lui affecte une valeur de **100mm** pour les sables.

e - le facteur de précipitation d'Emberger :

D'après le facteur d'Emberger qui est développé en 1969 par la relation suivante :

$\mathbf{Q} = 3,43 \times \mathbf{P} /$ $\mathbf{(M-m)}$
--

Où :

Q : facteur de précipitations d'Emberger

P : précipitations annuelles.

M : la température du mois le plus chaud.

M : la température minimale du mois le froid.

Et d'après les données de la période de **38 ans** on a :

P: 72,27,mm

M: 313,08 calven.

M:277,98 calven.

Donc : Q = 7,06

Et après la position sur le Diagramme d'Emberger, on trouve que la région d'étude est située dans la partie caractérisée par un climat saharien avec un hiver doux, ce qui confirme toutes les analyses précédente.

D'après l'interprétation du bilan hydrique, on conclue que tous les mois sont déficitaires, et l'évapotranspiration réelle présente **100%** des précipitations ce qui limite l'infiltration directe.

Le pendage générale de la zone d'étude est orienté Sud /Nord, avec une pente moyenne très faible (au mieux de l'ordre de **0.002m** à **0.003m**) et des incidents liés à la présence des dunes.

Il est signalé que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des Chotts.

La nappe phréatique comprend les dépôts sableux fins de type éolien, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Les formations du Complexes Terminale (CT) sont très hétérogènes, elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio- pliocène. La formation du continentale intercalaire (CI) est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo- argileux du crétacé inférieur.

L'étude des paramètres climatiques ainsi que leur répartition dans le temps et l'espace sur une période allant de **1967** à **2005** et d'après l'indice d'aridité (**I= 2,09**) et le facteur d'Emberger (**CP= 7,06**), ne peut conclure que notre zone d'étude est caractérisée par un climat typiquement saharien, avec une précipitation faible (L'analyse statistique des précipitations moyennes inter annuelles (**1967-2005**) nous a permis d'aboutir à un meilleur ajustement avec la loi Normale).

Troisième chapitre

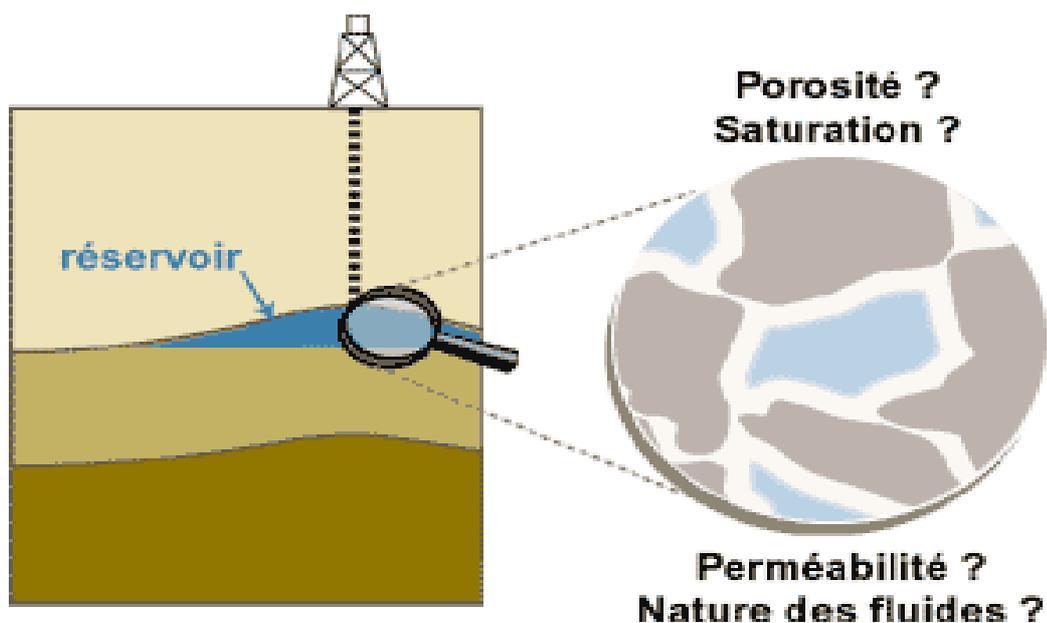
Les données hydrogéologiques

L'hydrogéologie comme la plupart des sciences de la terre est une branche interdisciplinaire. Tant qu'il peut être difficile de tenir compte complètement de toutes les interactions entre le sol, l'eau, la biosphère et l'homme, aussi bien sur un plan chimique que physique, biologie ou même légal. Bien que les principes de base de l'hydrogéologie soient intuitifs (par exemple : l'eau coule vers le bas), l'étude de leurs interactions peut être très complexe. De façon générale le fait de prendre compte les interactions de différentes facettes d'un système à plusieurs composantes demande une connaissance de plusieurs branches autant au niveau expérimental que théorique.

L'hydrogéologie est donc la science des eaux souterraines, et notre étude a pour but de déterminer la géométrie des aquifères, le sens de l'écoulement souterrain, la capacité des réservoirs aquifères et les caractéristiques hydrodynamiques, la piézométrie du système aquifère et enfin de montrer le niveau de vulnérabilité de l'aquifère.

I- Les données géophysiques :

La géophysique est la branche des sciences de la terre qui s'intéresse à l'étude de la Terre par des méthodes de physique quantitative, entre autres par des mesures de : (Propagation des ondes sismiques ; gravité ; magnétisme ; électromagnétisme ; radioactivité ; résistivité des roches).



Cette étude basée sur la réalisation des sondages électriques a permis de déterminer la morphologie, la répartition spatiale et la profondeur du substratum imperméable de la nappe phréatique. La méthode utilisée est celle du sondage électrique (**DIAGRAFIE**).

I-1--Aspects théoriques de la méthode :

La méthode électrique repose sur la mesure d'un paramètre physique : la résistivité électrique d'une roche. La résistivité électrique est un paramètre complexe qui dépend de nombreux facteurs dont les plus importants sont la nature et la quantité de la solution contenue dans la formation.

De nombreuses expériences faites pour trouver une relation entre la résistivité des roches, leur porosité, et la résistivité d'eau d'imbibition a abouti à diverses formules plus ou moins empiriques dont la plus connue est celle d'ARCHIE (1942) :

$$\zeta_r = a \cdot \zeta_w \cdot \Phi^{-m} \cdot S_w^{-2}$$

Où :

ζ_r = résistivité électrique de la roche (en ohm.m)

ζ_w = résistivité électrique de l'eau d'imbibition (en ohm.m).

Φ = Porosité de la roche en (%).

S_w = degré de saturation en eau des pores (en %)

M = facteur de cimentation, sensiblement constant pour une roche donnée. Il dépend de la forme des pores, des liaisons entre pores et varie expérimentalement entre **1,3** pour les sables lâches (sans cohésion) et **2,6** pour les roches très cimentées (calcaires, dolomies).

a = facteur qui caractérise la lithologie et varie entre **0,6 – 2** ($a < 1$ pour les roches à porosité intergranulaire, a porosité de fracturation).

En cas de saturation complète ζ_r est surtout fonction de la porosité ; par conséquent plus une roche saturée et poreuse, plus elle contient d'eau et plus sa conductivité augmente.

Le paramètre résistivité se trouve ainsi directement lié à la teneur en eau que renferme la roche.

La loi d'ARCHIE, pour une roche saturée, exprime la relation entre la résistivité de la roche, sa porosité, et la résistivité du liquide imbibant les pores.

$$\zeta_r = a. \zeta_w .\phi^m$$

(Pour $\zeta_w = 1$).

Cette loi n'est rigoureusement applicable que pour les roches à porosité enter-granulaire et saturée en eau. En présence d'argile on utilise la formule suivante :

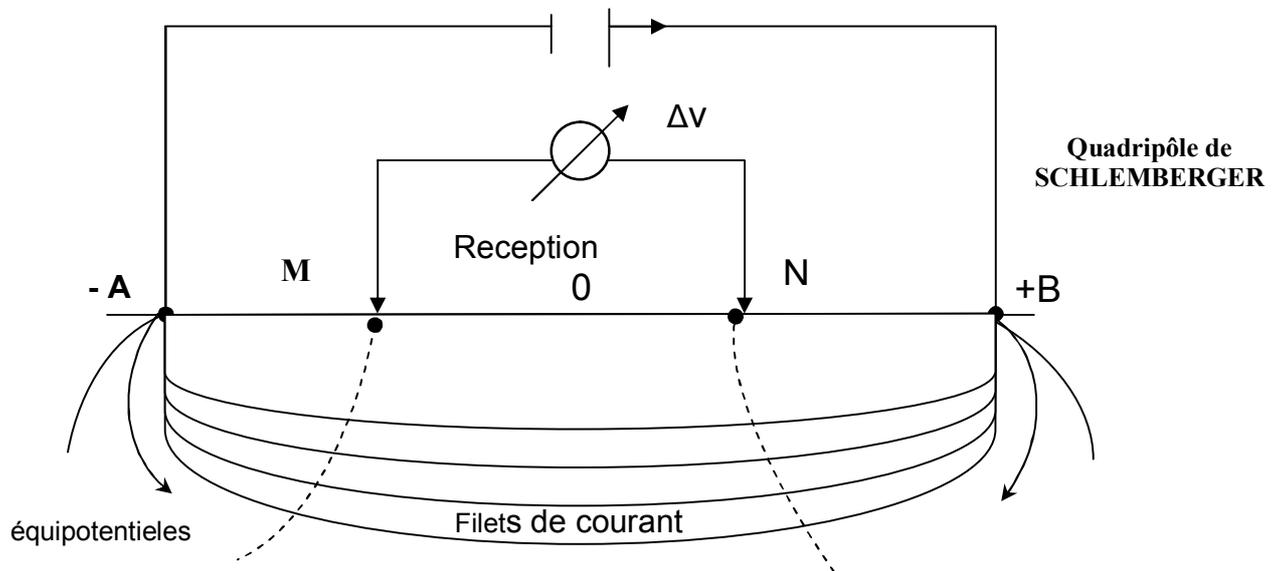
$$\zeta_r = (\phi + \phi \text{ argile})^{-2} \zeta_w$$

Où ϕ argile : Porosité avec un pourcentage d'argile.

A noter que d'autres facteurs intervient dans la résistivité d'une roche dont il faudra souvent tenir compte ; il s'agit de la température, la répartition géométrique des pores et leurs modes de communications.

La mesure de la résistivité électrique s'effectue généralement à l'aide du quadripôle de **SCHLUMBERGER**.

I courant



On envoie dans le sol un courant électrique d'intensité I , crée par un générateur (piles accumulateur) à l'aide de deux électrodes A et B ; les électrodes de réception M et N permettent de mesurer la différence de potentiel ΔV provoquée par le passage du courant. On obtient la résistivité apparente grâce à la formule suivante :

Déduite de la loi d'Ohm :

$$\zeta = K \Delta V / I$$

Où : K = est coefficient qui ne dépend que de la géométrie du dispositif, pour le dispositif de Schlumberger. $K = 2 AMAN / MN$ (quadripôle symétrique).

ΔV et I sont mesurés respectivement à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des formations sont approximativement et empiriquement de l'ordre de $(1/4. 1/10) AB$.

Généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons différents, dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités des différents couches et des leur épaisseur. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes, et c'est à partir de ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies "i" et les épaisseurs "hi" caractérisant chaque niveau.

II- Objectif de l'étude :

Notre étude géoélectrique repose essentiellement sur les données de sondages électriques obtenues lors de la campagne géophysique menée par l'ENAGEO. Nous avons repris l'interprétation de certains sondages électriques pour une meilleure compréhension de la lithologie et des formations investiguées en les ajustant sur ordinateur grâce à un programme de calage et de déterminer la morphologie du substratum argileux de la nappe libre.

III - Présentation et analyse des résultats :

On la fait comme suit :

III-1-Echelle des résistivités :

Pour une meilleure corrélation entre la résistivité et la lithologie des formations, parmi les 126 forages effectués dans la zone d'étude nous avons choisi les forages **P56, P51, P43, P46** et P44 qui se localisent respectivement à l'emplacement des **SEV 15, 131, 76, 30** et **104**.

1 – Sondage électrique vertical 15 et forage P56 :

Tableau n°16 :

La colonne stratigraphique du forage 15 montre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 2	Sable fin
	2 – 24	Alternance de grés à grain fin à moyen et sable fin
	24 - 30	Argiles sableuses
	30 – 50	Gré siliceux fin rosâtre et blanchâtre avec présence de passage de sable fin et d'argile
	50 – 52	sable argileux rougeâtre

Le diagramme du SEV 15 fait apparaître un premier horizon très résistant dont la résistance transversale ($RT = h_1 \zeta_1 = 16100 \Omega m^2$) suivi d'un niveau moins conducteur ($RT = h_2, \zeta_2 = 120 \Omega m^2$) suivi d'un terrain plus conducteur que le précédent dont la résistance transversale ($RT = h_3, \zeta_3 = 493 \Omega m^2$); suivi d'un substratum conducteur de résistivité ($\zeta_4 = 9 \Omega m^2$).

Tableau n°17 :

La comparaison et le recoupement des résultats des forages nous permettent alors d'attribuer les valeurs aux formations suivantes :

Mio - Pliocène	Sable 700 $\Omega . m$
	Sable Argileux..... 29 $\Omega . m$
	Argile sableuse..... 15 $\Omega . m$
	Argile..... 9 $\Omega . m$

2 – Sondage électrique vertical 131 et le forage P51 :

Tableau n° 18 :

La colonne stratigraphique du forage 15 montre les formations suivantes :

Profondeur en m		Lithologie
Mio-pliocène	0 - 9	Sable fin
	9 – 13	Sable fin avec la présence de gypse
	13 – 17	Gypse et sable
	17 – 28	Sable fin avec la présence de gypse
	28 – 37	Sable grossier avec la présence de gravier
	37 - 41	Sable fin
	41 - 44	Sable moyen avec la présence de graviers
	44 -50	Sable fin
	50 - 57	Argile sableuse blanchâtre

La courbe des résistivités du SEV 131 fait apparaître 2 terrains. Le 1er terrain est résistant avec une résistance transversale. $RT = \zeta 1h1 = 9400 \Omega \cdot m^2$. Le 2^{ème} terrain correspond au substratum très conducteur de résistivité ($\zeta 3 = 3 \Omega \cdot m^2$)

Après ces résultats on constate :

Mio – Pliocène	Sable 200 $\Omega \cdot m$
	Argile..... 3 $\Omega \cdot m$

On remarque que le forage mécanique a bien différencié les formations par contre le forage électrique prend l'épaisseur allant de **0 à 50 m** comme étant un seul terrain résistant.

3 – Sondage électrique vertical 76 et le forage P43 :

Tableau n°19 :

La colonne stratigraphique du forage **76** montre les formations suivantes :

Profondeur en m		Lithologie
Mio-pliocène	0 – 16	Sable éolien très fin de couleur marron
	16 – 55	Grès faiblement consolidé avec la présence de graviers et galets gréseux et des argiles
	55 – 57	Argile rougeâtre

Le diagramme du SEV n° **76** montre les résistivités suivantes :

- Un terrain très résistant de $RT = \zeta 1h1 = 5100 \Omega \cdot m^2$.
- Un deuxième terrain peu conducteur de $RT = \zeta 2h2 = 3200 \Omega \cdot m^2$.
- Le substratum conducteur a une résistivité $\zeta = 7 \Omega \cdot m$.

Après la comparaison des deux forages on obtient les résultats suivants :

Mio - Pliocène	Sable 300 Ω .m
	Sable Argileux..... 80 Ω . m
	Argile 7 Ω . m

Donc il y'a une bonne corrélation entre le sondage mécanique P43 et le SEV 76.

4 - Sondage électrique vertical 104 et le forage :

Tableau n° 20 :

Le forage **P44** découvre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 2	Sable fin
	2 - 24	Alternance de grés à grain fin à moyen et sable fin
	24 - 30	Argiles sableuses
	30 - 45	Gré siliceux fin rosâtre et blanchâtre avec présence d'argile
	45 - 48	sable argileux rougeâtre
	48 - 67	Argile

Le sondage électrique **104** montre :

1) Un premier terrain résistant ou la résistivité transversal est

$$RT = \zeta I h I = 1300 \Omega m^2 ;$$

2) Le second peu résistant et de résistivité transversale $RT = \zeta 2h 2 = 2340 \Omega m^2$).

3) Le substratum conducteur de résistivité égale à **15 Ω m**.

La comparaison et le recouplement des résultats des forages nous permettent alors d'attribuer les résistivités suivantes aux différentes formations :

Mio – Pliocène	Sable 100 Ω . M
	Sable Argileux..... 60 Ω . M
	Argile sableuse..... 15 Ω . M

- **Le forage P46 et le sondage électrique 30 :**

La colonne stratigraphique de forage **P47** montre la présence des terrains suivants :

Le sondage électrique **30** montre la présence de **4** terrains :

- Le 1er Terrain très résistant de résistivité ($RT = \zeta i h_i = 2500 \Omega m^2$).
- le **2^{ème}** Terrain peu conducteur de résistivité ($RT = \zeta_2 h_2 = 136 \Omega m^2$)
- le **3^{ème}** Terrain peu résistant de résistivité de l'ordre de ($Rt = \zeta_2 h_2 = 1330 \Omega m^2$)
- et en dernier, le substratum très conducteur de **7Ω m**.

La comparaison et le recouplement des résultats des forages nous permettent alors d'attribuer des résistivités suivantes aux différents horizons :

Mio – Pliocène	Sable fin..... 125 Ω . m
	Sable Argileux..... 70 Ω . m
	Argile sableuse..... 17 Ω . m
	Argiles..... 7 Ω . m

Après la comparaison entre les sondages électriques et mécaniques nous avons emprunté l'échelle des résistivités suivantes :

Formation	Résistivité
Sable	> 100 Ω . m
Argile	< 10 Ω . m
Sable argileux	de 20 à 100 Ω . m
Argile sableuse	DE 10 à 20 Ω . m

III-2-Corrélation des résultats géophysiques :

Les fourchettes de variations des résistivités de certaines formations sédimentaires sont les suivantes :

Sables	50 à 400 Ohms-mètres
Argiles	5 à 10 Ohms-mètres
Gravier	150 à 500 Ohms-mètres
Marnes	20 à 100 Ohms-mètres
Calcaires et dolomies	100 à 10 000 Ohms-mètres
Grès	300 à 10 000 Ohms-mètres
Grès argileux	50 à 300 Ohms-mètres

D'après les logs stratigraphiques des forages existants dans la région du souf, les terrains rencontrés correspondent à des sables, sables argileux et des argiles.

III-3- Les coupes géoélectriques :

Neuf coupes géoélectriques ont été réalisées, leur analyse et leur interprétation nous ont permis de constater que la succession des différents horizons de sédimentation se répète avec un rythme similaire, seule les profondeurs et les épaisseurs de ces dunes. Changent d'un secteur à un autre.

Coupe I :

Nous avons analysé la coupe I à titre d'exemple, le reste des coupes montre une articulation similaire des formations en terme d'épaisseur et de résistance.

Cette coupe orientée Sud Ouest- Nord Est débute du **SE 48** est située à la sortie Nord d'El oued et va jusqu'au **SE 86** à Hassi-Khelifa en passant par Bhima et Debila.

La coupe montre la succession des terrains suivants :

- Une couche superficielle résistante d'épaisseur allant de **5 à 20** mètre, caractérisée par une résistivité élevée de **750 ohms.mètre**. Cette formation correspond à des sables non consolidés (sables dunaires).

- Une deuxième couche moins résistante (de résistivité comprise entre **13** et **70** ohm mètre d'épaisseur variable de **5** à **35** mètres. Cette variation de résistivité montre que cette formation n'est pas homogène et passe latéralement de sables argileux à des argiles sableuses. Dans la partie centrale de la coupe, entre les sondages **52** et **64**, cette formation disparaît complètement au profit d'un autre terrain plus conducteur, avec l'apparition de lentilles d'argiles localisées entre les sondages **61** et **86**.

- Une troisième couche généralement plus conductrice que la précédente avec une épaisseur plus importante atteignant une cinquantaine de mètres. Cette formation est caractérisée par des résistivités plus au moins identiques et correspond à des argiles sableuses.

En fin la quatrième couche franchement conductrice et de résistivité ne dépassant pas les **10** ohms-mètre.

III- 4- Commentaire des données du substratum argileux :

L'interprétation indique que les plus grandes profondeurs se situent dans la partie centrale de la zone d'étude, c'est à dire dans la région délimitée par El Oued au sud, Hamadine au Nord et Hassi Houba au Nord-Est.

Dans cette région, la profondeur du substratum dépasse parfois une centaine de mètres. Dans la partie centrale de l'étude, où le substratum argileux est profond, le reste de la région étudiée est caractérisée par une remontée du substratum pouvant atteindre des profondeurs d'environ **5** mètres.

D'une manière générale, le substratum argileux présente une suite de structure, tantôt positives, tantôt négatives, traduisant, une allure ondulée formant une succession de bombements et de dépressions.

Les quatre diagraphies réalisées par les unités des forages sont nécessaires, mais restent insuffisantes. Il serait préférable pour les forages de grande profondeur de rajouter les diagraphies suivantes : la courbe normale, le latérolog, le gamma-gamma, neutron, la mesure de la vitesse vertical de l'eau.

IV- Cadre hydrogéologique :

Dans le Sahara septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du continental intercalaire (CI) et celle du complexe terminal (CT).

L'étude géologique du Sahara septentrional montre que la dorsale du M'Zab orientée Nord-Sud divise la plate forme en deux bassin hydrologiques endoréiques :

- Le bassin occidental (**280 000 Km²**) drainé vers le sud.
- Le bassin oriental (**100 000 Km²**) drainé vers le Nord.

Au niveau du bassin oriental, le continental intercalaire et le complexe terminal sont séparés par la transgression cénomanienne alors qu'au niveau du bassin occidental nous observons l'existence d'une relation directe entre les deux aquifères. Seule la série allant du Crétacé au Quaternaire présente un intérêt hydrogéologique. Elle est constituée d'une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série comporte trois grands ensembles perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifères : la nappe phréatique (superficielle et libre), la nappe du Complexe Terminal (C.T.) et la nappe du Continental Intercalaire (C. I.).

IV-1-Présentation des nappes aquifères de la région du Souf :

D'après les études hydrogéologiques effectuées dans le passé et la coupe schématique établie à partir des coupes de sondages, nous observons l'existence de deux types de nappes :

Une nappe libre, et deux autres nappes captives correspondant au Complexe Terminal et au Continental Intercalaire.

a- La nappe phréatique :(nappe libre) :

Est l'aquifère souterrain que l'on rencontre à faible profondeur et qui alimente traditionnellement les puits en eau potable. C'est évidemment la nappe la plus exposée à la pollution en provenance de la surface. La nappe libre présente dans toutes les Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre **10** et **60** mètres. Vu son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon notre enquête sont en nombre de **10 000**. Elle est présente sur toute l'étendue du Souf, elle présente une profondeur moyenne de **40 m**.

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans la région des Chotts la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

Les principales sources d'alimentation de cette nappe sont les pluies torrentielles, viennent s'ajouter depuis quelques années, les eaux d'irrigation provenant des nappes profondes (Pontien et Barrémien) et en fin les eaux de rejets vu l'inexistence de réseau d'assainissement et d'exécutoire naturel.

b- Nappe du complexe terminal :

On appelle " Continental Intercalaire " au sens large l'ensemble des dépôts sédimentaires du long épisode continental intercalé entre les deux cycles marins du Paléozoïque et du Crétacé supérieur. Le complexe Terminal (CT) s'étend sur une superficie de **350 000 Km²** ; il regroupe les formations récentes déposées dans le bassin saharien depuis le début du tertiaire jusqu'au quaternaire. Il existe sous forme de trois nappes, Les deux premières correspondent aux nappes des sables d'âge mio-pliocène et pontien, la dernière est celle des calcaires d'âge sénono-Eocène :

b-1- Nappes des Sables :

Elle est constituée par des sables peu grossier se trouvant à une profondeur moyenne de 180m. Cette nappe dite du Mio-Pliocène couvre presque toute la wilaya.

La deuxième nappe des sables est d'âge pontien (Eocènes supérieur), elle se situe entre la première et la nappe des calcaires. Sa profondeur varie entre 400 et 600 m. Cette dernière est captée par quelques forages dans la région de : Hamraia, Reguiba et Hassi Khalifa.

b-2- Nappe des calcaires :

C'est une nappe qui n'est pas sollicitée, vu sa structure géologique qui ne présente guère d'intérêt, elle est composée de formations calcaireuses de l'éocène inférieur.

C - Nappe du Continent Intercalaire (C.I) :

On regroupe sous le nom de " Complexe Terminal " l'ensemble des formations les plus récentes allant du Sénonien supérieur au Mio-Pliocène.

Le traitement manquant du réservoir aquifère du continental intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de **600 000 Km²** et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres.

L'épaisseur totale du réservoir dépasse **250** mètres dans la plus grande partie du Sahara Septentrional. Elle atteint **1000** mètres au Nord-Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre plonge vers le Nord –Est. La puissance de l'ensemble des formations aquifères existantes dans la région (crétacé Inférieur, Miopliocène, Eocène et nappe phréatique) dépasse parfois **2000** mètres.

IV-2- Coupe hydrogéologique :

Il est difficile d'aborder en détail l'étude de toutes les nappes de la région de Souf. (Fig. n°01)

Trois principaux aquifères peuvent être individualisés. Dans le complexe Terminal, nous avons de bas en haut, la nappe de calcaire qui est importante au Sud-Est du Souf ; au Nord-Ouest, ces calcaires sont très friables ; ils disparaissent parfois, pour être remplacés par des argiles sableuses et des marnes comme indique la coupe Sud-Est, Nord-Ouest et les deux nappes de sables, la coupe Sud-Est, Nord-Ouest montre l'intercalation d'argile entre le niveau sableux et le niveau comportant le sable gravier et gré. On retrouve également la nappe phréatique (quaternaire) alimentée par la surface (figure n°16).

Elle est essentiellement constituée par des sables ordinaires. De bas en haut, les sédiments du secondaire forment le continental intercalaire (sablo-gréseux et argilo-sableux).

Ils contiennent l'aquifère le plus puissant du Sahara (Albien) de **250 à 1000 m** d'épaisseur.

L'examen des coupes nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- l'extension latérale de la nappe phréatique avec une épaisseur utile
- les bus stratum qui contient cette nappe a une épaisseur considérable avec une allure plaine de crêtes et de sillons
- l'inexistence de bizotement au niveau de cette coupe.

V- Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe phréatique :

Les principaux paramètres hydrodynamiques caractérisant une nappe aquifère sont la perméabilité, la transmissivité, et le coefficient d'emménagement mais faute d'essai de pompage, ce dernier n'a pu être estimé.

V-1- Conductivité hydraulique : (coefficient de perméabilité) (K) :

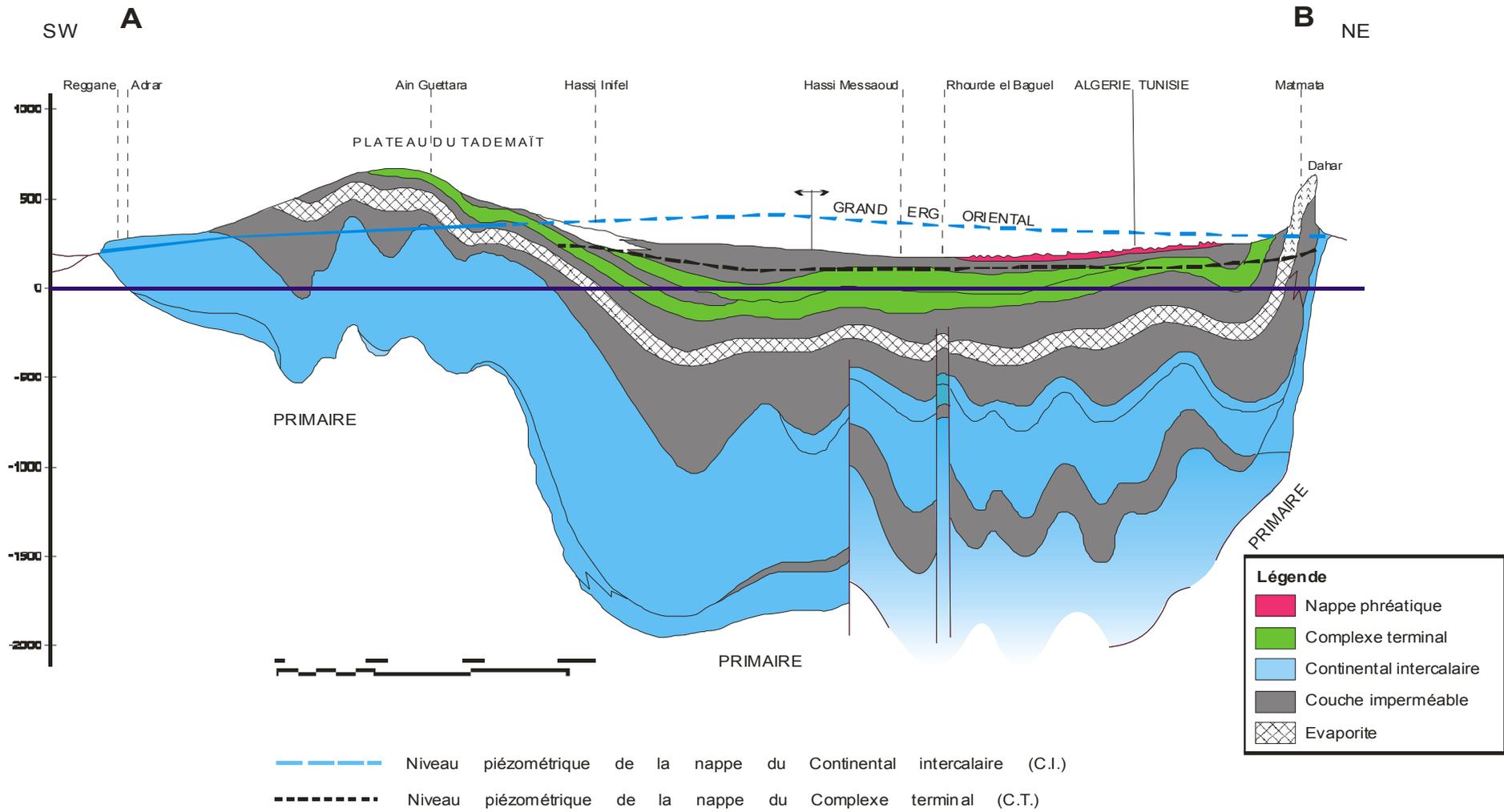
Pour bien déterminer le sol de notre aquifère, on a réalisé une carte d'iso valeur de perméabilité qui est réalisée à partir de **33** échantillons bien éparpillés sur toute notre zone d'étude.

a) la détermination de la perméabilité au laboratoire :

Comme le sol de la nappe en question est très perméable, on a utilisé le perméamètre à charge constante. Ce perméamètre est composé enceinte d'étanche dans laquelle est placé un échantillon de sol de section « S » et de longueur L.

Figure n°= 16

Coupe hydrogéologique à travers le Sahara



Source : UNESCO 1972

Les deux extrémités de l'échantillon sont reliées à deux tubes par l'intermédiaire de pierres poreuses. Nous maintenons à l'aide de Top-pleins la différence de charge « H » entre les 2 faces de l'échantillon constante et l'on mesure la quantité « V0 » d'eau qui est passée pendant un temps donné « t ».

D'après la loi de **Darcy**, nous avons :

$$V_0 = K_i S L = K + H / L \cdot S L$$

$$K = V_0 \cdot L / H \cdot S \cdot L$$

Le tableau n° 10 présente les perméabilités de différents points (Annexe).

b- L'interprétation de la carte de perméabilité de la nappe libre d'El Oued (Mars 2002) :

D'après la carte établie en Mars (2002) (voir carte n° 08), la capacité du substratum argileux de la nappe libre d'El Oued à se laisser traverser par l'eau varie d'un endroit à l'autre :

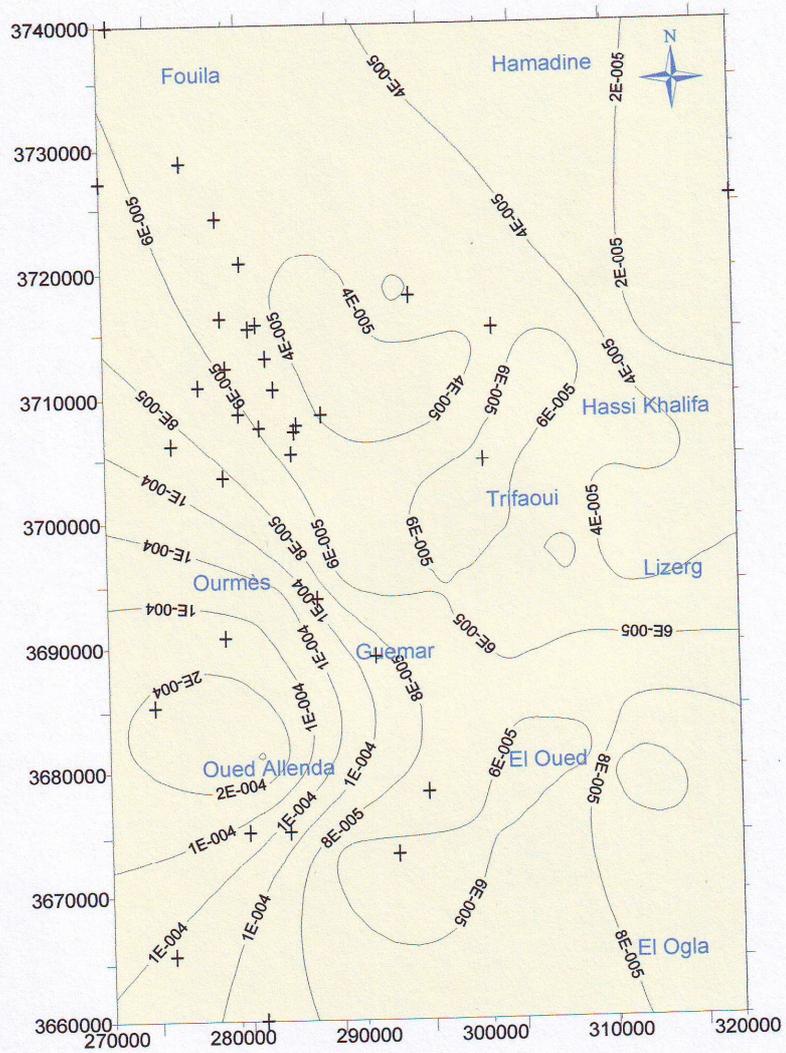
Elle est forte à l'extrémité Sud-Ouest et varie de **4 à 16 m/j**.

- A La partie Sud, la plus forte valeur est de **10 m/j**.
- A la partie Nord-Ouest elle est variée de **2 à 7 m/j**.
- A la partie Nord-Ouest, elle atteint la valeur zéro en allant de Debila à Hassi Khalifa et à l'ensemble, elle varie de **2 à 6 m/j**.

Donc, il se trouve que la partie Sud – Ouest est la zone la plus perméable ce qui va avec le gradient hydraulique des cartes piézométrique donc la perméabilité décroît en allant vers le Nord.

Le calage de carte piézométrique (Février et Avril 93) avec la carte hydrochimique (d'égal résidu sec) a montré une véritable concordance entre les sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique et les profils de dépression de la carte d'égal résidu sec. L'espacement de courbes isopiezies indique qu'une éventuelle contamination de la région Sud serait tardive.

Valeurs du coefficient de la perméabilité en m/s de la nappe libre d'El Oued (Mars 2002)



Legende

-  Courbe isovaleur du coefficient de perméabilité en m/s
-  Point de mesure de la perméabilité

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Contrairement au Nord de la région, on observe un rétrécissement de ces courbes où la salinisation est accrue et rapide. Ce phénomène contribue à la détérioration des nappes d'eau douce (interface) et pourrait affecter des régions voisines.

Il faut rappeler qu'il s'agit là d'une montée (crûe) des eaux chimiquement non potables, non propre à l'irrigation.

Remarque : le faciès chimique dominant de ces eaux est sulfatée calcique.

V-2- Transmissivité (T) :

La conductivité hydraulique et la transmissivité sont des propriétés indirectes de l'aquifère. T est égale à K intégré sur l'épaisseur verticale de l'aquifère. Ces propriétés sont des mesures de la capacité d'un aquifère à conduire l'eau. La perméabilité (K) est une propriété secondaire du milieu. Elle ne dépend pas de la viscosité ni de la densité du fluide. K et T sont spécifiques à l'eau.

Elle représente le débit d'une couche aquifère sur toute son épaisseur, par unité de largeur, et soumise à un gradient hydraulique unitaire. Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de l'aquifère exprimé en M^2/s .

$$T = K.e$$

Ou :

T : transmissivité en m^2/s .

K: coefficient de perméabilité.

e : épaisseur de la couche aquifère en m.

V-3- Coefficient d'emménagement (S) :

C'est la proportion d'eau écouable contenue dans l'aquifère, Dans une nappe libre il représente la porosité efficace, estimée à **84.23%** dans notre zone d'étude pour un échantillon de sable consolidé au ciment carbonaté (d'après DHW d'El Oued). - le coefficient d'emménagement vaut, selon LEVASSOR (1978) : **S= 0.2**.

VI -La piézométrie du système aquifère :

On assiste durant ces trois dernières décennies à une exploitation accrue parfois anarchique de la ressource hydrique dans les deux régions à savoir le Souf et Oued Righ.

Ce la peut être expliqué par une croissance démographique se traduisant par une forte demande en eau potable et d'irrigation. Afin de satisfaire cette forte demande, des centaines d'ouvrages ont été réalisés à travers les régions sus- citées et d'énormes volumes d'eau sont soutirés.

D'après le dernier inventaire (2004), on compte **653** forages et d'un débit mobilisé de **430** millions de **m³** soit : **354 Hm³/an** pour le CT et **70.5 Hm³/an** pour le CI. La piézométrie dans la région du Souf varie entre **20m** à Benguecha et **66m** dans la région de Robbah. Le niveau statique varie entre **3.75m** à Hassi Khelifa , et **40m** à Guemar .

VI-1-Analyse des résultats obtenus du réseau de surveillance :

Les résultats obtenus par le réseau de surveillance au niveau de la nappe du C.T et C.I sont présentés par :

VI-1-1-Variation des niveaux piézométriques de la nappe C.T.

Tableau n°21 : **Piézométrie de la région du Souf** : (voir figure n° 17)

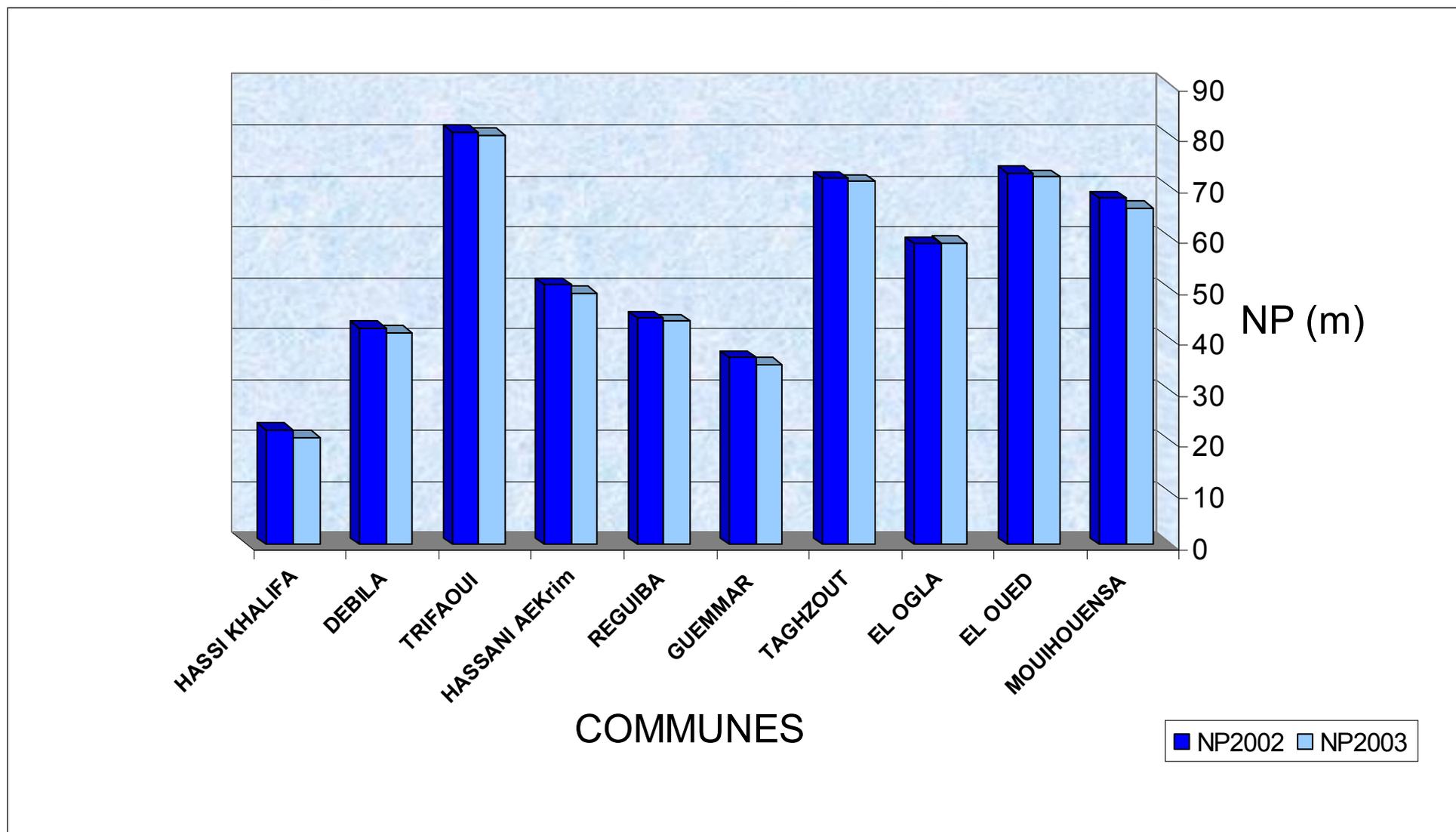
Commune	Niveau Piézométrique (m)	
	Mars-02	Mars-03
Mouihouensa	66	68
El Oued	72,15	72,9
El Ogla	59,1	59
Taghzout	71,2	71,9
Guemmar	35,3	36,6
Reguiba	43,82	44,4
Hassani A.El Krim	49,33	51
Trifaoui	80,4	81
Debila	41,55	42,5
Hassi Khalifa	21	22,5
Taleb Laarbi	29,15	Art
Douar El Mae	Art	Art
Ben Guecha	Art	Art

VI-1-1-2- Commentaire des résultats :

Les forages exploités dans la région du souf, sont majoritairement utilisés pour l'alimentation en eau potable des agglomérations, quelques forages seulement sont exploités pour l'agriculture. Le cas n'est pas le même dans la région de Oued Righ Nord, où on enregistre le plus grand nombre de forages destinés à l'irrigation.

Figure n° 17

Histogramme des variations du niveau piézométrique du C.T. du Souf



Cet accroissement est dû au développement du secteur agricole d'une part et l'augmentation de la demande en eau potable d'autre part. Notons par ailleurs, qu'un grand nombre d'habitations n'est pas équipé de compteur d'eau, ce qui entraîne l'utilisation irrationnelle et incontrôlable de cette ressource. Cela provoqua un volume important d'eau rejeté et vu l'absence d'un réseau d'assainissement efficace, cette eau est déversée dans des fosses perdues, ce qui contribue fortement au phénomène de la remontée de la nappe phréatique.

Comme nous pouvons constater d'après les inventaires, qu'un grand nombre de forages (**255**) ne sont pas en service. Certains ont disparus ou bouchés, d'autres sont fermés ou abandonnés pour des raisons divers, et d'autres sont en attente d'exploitation.

VI-2- Récapitulatif des résultats d'inventaire 2004 :

L'inventaire réalisé en **2004** au niveau du C.T et C.I, à donné les résultats suivants : (voir fig.18)

Tableau n°22 :

Tableau récapitulatif (nappe du Complexe Terminal) :

Régions	Nbr. total de forages	Nbr.de forages exploités	Nbr.de forages non exploités	Q.moy en (l/s)	Q.extrait en (Hm ³ /an)	Prof.moy. (m)	Observation
<i>SOUF</i>	186	148	38	25 - 35	62.91	200 - 500	AEP + IRR
O.Righ Nord	448	422	32	25 - 45	290.20	60 - 500	AEP + IRR
TOTAUX	634	570	70	-	353.11	-	AEP + IRR

Figure n° 18

Récapitulatif des résultats d'inventaire 2004

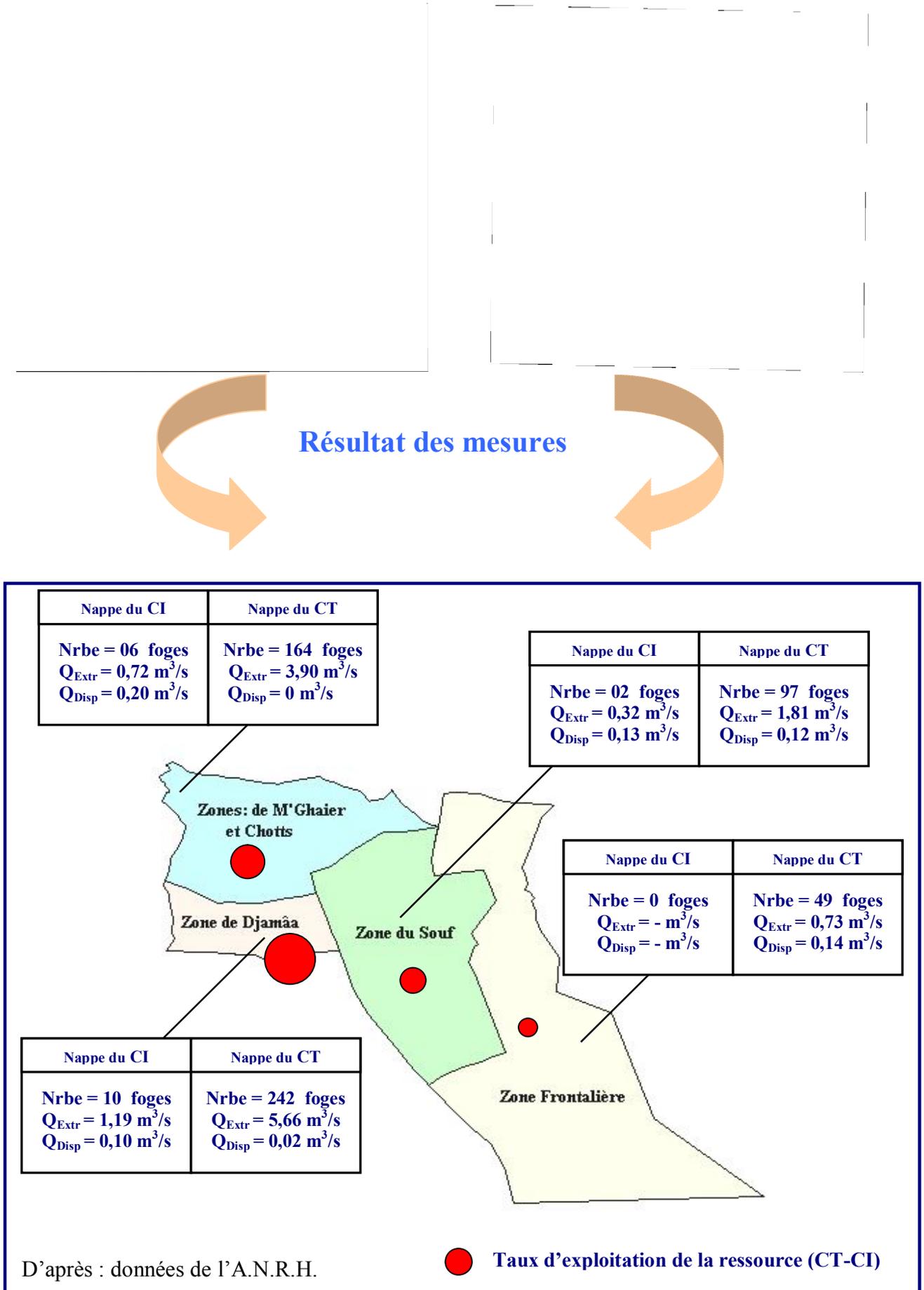


Tableau n°23 :

Tableau récapitulatif (nappe du Continental Intercalaire) :

Régions	Nbr. total de forages	Nbr.de forages exploités	Nbr.de forages non exploités	Q.moy en (l/s)	Q.extrait en (Hm ³ /an)	Prof.moy. (m)	Observation
<i>SOUF</i>	03	02	01	120	10.09	1900	AEP
O.RIgh Nord	16	16	00	300	60.08	2000	AEP + IRR
TOTAUX	19	18	01	-	70.17	-	AEP + IRR

Le dernier modèle mathématique réalisé dans le cadre de la gestion de la ressource en eau souterraine dans le Sahara septentrional est le projet SASS, initié par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) pour promouvoir une gestion concertée et optimale des aquifères du Complexe Terminal (CT) et du Continentale Intercalaire partagées entre les trois pays l'Algérie, la Tunisie et la Libye.

Cette étude a permis par les nouvelles simulations de préciser les débits additionnels susceptibles d'être encore prélevés dans les zones actuellement en exploitation et d'identifier les nouvelles zones de prélèvements.

Tableau n°24 :

Les simulations ont donné les résultats suivants :

Zones	Débit additionnel (en m ³ /s) Nappe du CT	Débit additionnel (en m ³ /s) Nappe du CI
Djamâa	0,1	0,2
M'Ghaire + Chotts	0,2	0,1
Vallée de l'Oued Souf	0,2	0,1
Frontalière	-	0,3

VI-2-1-Inventaire par superficies, volumes soutirés et forage en service par zone agricole :

1-Région de Taibet : Tableau n°25 :

Zones	Superficies en ha	Volumes en hm ³ /an	Forages en service
Taibet	9	0,08	1
M'nagueur	32	0,30	8
Benaceur	8	0,07	3
Total	49	0,50	12

2- Région de Oued- Souf Sud : Tableau n°26 :

Zones	Superficies en ha	Volumes en hm ³ /an	Forages en service
El Oued	437	4,10	10
Guemmar	2757	25,80	35
Total	3194	29,90	45

3- Région de Oued Righ Nord : Tableau n° 27 :

Zones	Superficies en ha	Volumes en hm ³ /an	Forages en service
Hassi Khalifa	1516	14,10	20
Reguiba	2048	19,10	27
Debila	1386	13,10	19
Total	4950	46,30	51

4- Région des Frontières : Tableau n°28 :

Zones	Superficies en ha	Volumes en hm ³ /an	Forages en service
Benguecha	923	8,60	12
Taleb Larbi	417	3,90	4
Douar El mâa	199	1,90	3
Total	1539	14,40	19

VI-2-2-Interprétation des tableaux :

1-Du point de vue exploitation :

a)- Nappe du C.T :

Les prélèvements effectués en **1998** dans la région de Oued Righ Nord ont été de **(4.509 m³/s)** contre **(8.813 m³/s)** prélevés actuellement des **467** forages, soit une augmentation de **3.804 m³/s**. Les prélèvements effectués en **1991** dans la région du Souf ont été de **2.022 m³/s**. Actuellement **2.468 m³/s**, soit une augmentation de **0.446 m³/s**.

b)- Nappe du C.I :

Les prélèvements effectués en **1998** dans la région de Oued Righ Nord ont été de **(1.250 m³/s)** contre **(1.181 m³/s)** actuellement. Cette légère baisse est due au bouchage de certains puits pétroliers reconvertis en puits d'eau. Quand à la région du Souf le débit extrait été de **0.555 m³/s** contre **0.3616**, cela peut s'expliquer par la réduction du débit d'exploitation des forages en service.

VI-3- Les débits d'exploitation prévisionnels :

L'étude **ERESS** a établi un modèle de gestion des ressources en eau du Sahara Septentrional. Des Hypothèses d'exploitation des deux nappes ont été définis.

Selon les hypothèses admises en **1985**, il a été prévu le mode de prélèvement suivant :

Tableau n° 29 :

NAPPE DU C.I.

Années	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Débits (Oued - Righ Nord)	0.756	0.856	1.435	2.485	2.845	2.845	2.845	M³/S
Débits (Souf)	0	0	0.480	2.560	3.200	3.200	3.200	M³/S

Tableau n° 30 :

NAPPE DU C.T.

<i>Années</i>	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Débits (Oued - Righ Nord)	4.441	5.031	5.970	5.970	5.970	5.970	5.970	<i>M³/S</i>
Débits (Souf)	0.664	1.032	2.517	4.869	6.124	6.894	6.894	<i>M³/S</i>

-Débits soutire (situation actuelle des prélèvements) :

Tableau n° 31 :

NAPPE DU C.I.

Zone	Débit soutire (m³/s)
Oued Righ Nord	1,181 (Débit à ce jour soutiré) 1,620 (Débit estimé, prévu dans le programme AGID)
Souf	0,3616

Tableau n° 32 :

NAPPE DU C.T

Zone	Débit soutire (m³/s)
Oued Righ Nord	8.313 (Débit actuellement soutiré) 1.02 (Débit estimé, prévu dans le programme « AGID »)
Souf	2.468

VI-3-1- Interprétation des tableaux :

Nous constatons à partir de ces tableaux, que les débits d'exploitation de la nappe du C.T au niveau d'Oued Righ Nord dépassent largement les prévisions limitées par le modèle. Soit une surexploitation de : **73,88 m³/An**. Pour la région du Souf, le cas n'est pas le même et les potentialités sont loin d'être atteintes.

Quand à la nappe du C.I., le résultat de l'inventaire nous montre que l'exploitation de cette nappe au niveau de Oued Righ Nord, est à ce jour dans les limites de l'optimal avec un débit de **1,181m³/ s**. Par ailleurs si nous tenons compte du programme « **AGID** » qui compte **9** forages qui donneront une moyenne de **180 l/s** par forage, soit **1,620m³/ s**, ainsi le seuil prévu par le modèle sera atteint.

VII- Application de l'analyse statistique et quelques approches géostatistique aux paramètres hydrodynamiques et physico-chimiques de Oued Souf :

Pour bien montrer le niveau de vulnérabilité des aquifères de notre zone d'étude, on a choisis les charges hydrauliques, les nitrates, les résidus secs et les éléments chimiques majeurs (cations et anions).

- Les charges hydrauliques pour déterminer :

- Le sens d'écoulement des eaux souterraines de la nappe phréatique ;
- Les zones à risques (remontée du niveau piézométrique) ;
- Evolution dans le temps par comparaison avec des mesures plus anciennes.

- Les nitrates pour connaître le degré de pollution des eaux qui est causé par l'utilisation des engrais et aussi le problème lié à l'assainissement dans la région d'étude.

- Les résidus secs et les éléments chimiques contribuent à détecter les zones à problème de salinité et les répercussions négatives sur la consommation et l'agriculture.

Pour le test d'ajustement, on utilise le test du Chi- deux (χ^2), qui nous permet le choix de la loi de distribution des variables hydrogéologiques.

VII-1-Analyse des données des charges hydrauliques :

A travers des données de base de **2** campagnes piézométriques (mars **1998** et avril **2002**), on a :

a -Analyse de la variance :

Le but de cette analyse est de voir si les charges hydrauliques des différentes campagnes piézométriques sont issues ou non de la même population, et selon une approche qui revient à étudier la variance entre deux campagnes et de comparer le résultat trouvé avec une variable P, appelée variable de Fisher-Snedecor. L'application de cette analyse aux charges hydrauliques a montré que toutes les campagnes sont de la même population.

Alors, on a décidé de prendre en considérations deux campagnes, à savoir campagne **1998** (plus ancienne) et la campagne Avril **2003** (plus récente).

Le rapport doit être de la plus grande estimation à la plus petite. A partir des variances calculées on trace un histogramme des variances en fonction de la campagne qui lui est associée, afin de faciliter le choix des couples de populations à comparer (Annexe).

b- Analyse statistique descriptive des données :

L'analyse statistique regroupe trois types de paramètres :

- les paramètres de position : moyenne, médiane et quantiles.
- les paramètres de dispersions : variance, écart-type, intervalles inter quantiles.
- les paramètres de forme : coefficient de symétrie et coefficient d'aplatissement.

Les intervalles inter quantiles sont utilisés par la méthode de TUKEY pour déterminer les valeurs aberrantes. Cette méthode consiste à établir des limites supérieures et inférieures, et toute valeur située hors de l'intervalle A_1 - A_2 est dite aberrante.

$$]A_1 - A_2[: A_1 = x_{1/4} - 1.5 \left(x_{3/4} - x_{1/4} \right)$$

$$A_2 = x_{1/4} + 1.5 \left(x_{3/4} - x_{1/4} \right)$$

VII-2-Application aux charges hydrauliques :

VII-2-1-campagne mars 1998 :

VII-2-1-1- Analyse statistique élémentaire :

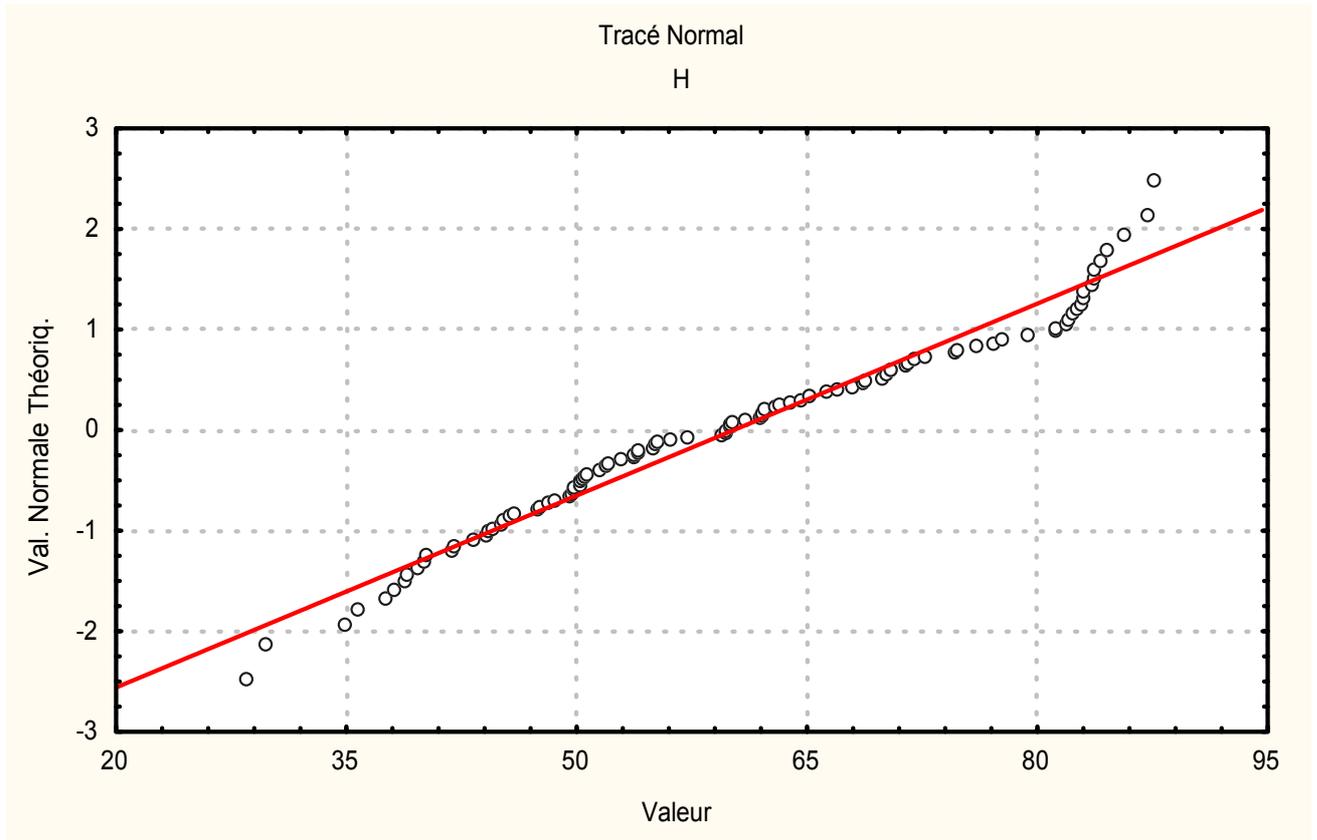
Le nombre de valeurs de mesures est de **112**, les charges hydrauliques de la campagne piézométrique **1998** varie entre **28.6 m** à **89.02 m** avec une moyenne arithmétique de **60.47 m** et une étendue plus ou moins grande de **60.01 m**.

La variance est de **234.24** qui est importante.

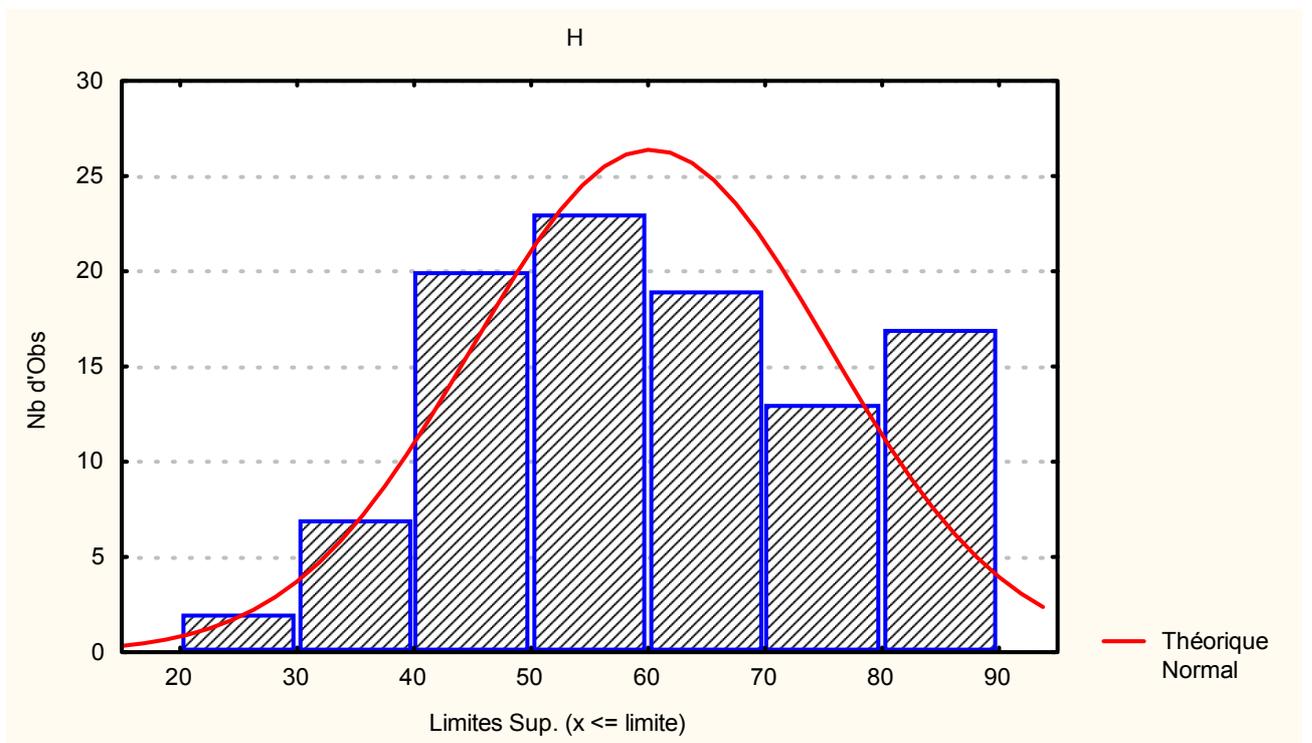
L'intervalle de Tukey est : $]A_1 - A_2[=]18.625 - 87.365[$

Figure n°19

Tracé de la loi Normale des charges hydrauliques (Oued Souf mars 1998)



Histogramme des fréquences des charges hydrauliques (Oued Souf mars 1998)



Après examen des valeurs, **14** sont hors de l'intervalle, c'est-à-dire des valeurs aberrantes, ce qui explique l'hétérogénéité de nos valeurs, mais d'après BEUCHER ; une valeur aberrante n'est pas toujours une valeur fautive, pour notre cas on pourra l'expliquer par la dispersion des valeurs dans notre région d'étude.

Le coefficient d'asymétrie est positif il est de **0.085**, qui s'accorde bien avec la forme de l'histogramme des fréquences (figure n°19).

La représentation graphique des charges hydrauliques en fonction de leurs fréquences relatives montre une symétrie qui nous laisse penser à une loi normale. Le tracé de la loi normale (loi de Gauss) (fig. 19) nous l'exprime bien avec la droite de normalité (droite d'Henry).

Le test d'ajustement nous donne une signification asymptotique de **0.43**, d'où la validation de la loi Normale. Les données seront analysées sans transformation logarithmique.

VII-3- Campagne avril 2003 :

VII-3-1- Analyse statistique élémentaire :

Le nombre de mesures est plus important avec **176** points. Les charges hydrauliques varient entre **19.57 m** à **89.82 m** avec une moyenne arithmétique de **61.27 m**.

L'étendue est de **70.25 m**, la variance est moins importante par rapport à mars **1998** avec **225.82** et un écart-type de **15.03** qui explique l'hétérogénéité spatiale des données.

Cette hétérogénéité est due soit au régime d'alimentation irrégulier d'une part et/ou l'exploitation irrationnelle de la nappe phréatique.

campagne mars 1998 :

L'intervalle de TUKEY est : $]A_1 - A_2[=]19.40, 82.39[$, le nombre de valeurs aberrantes est de **13** valeurs.

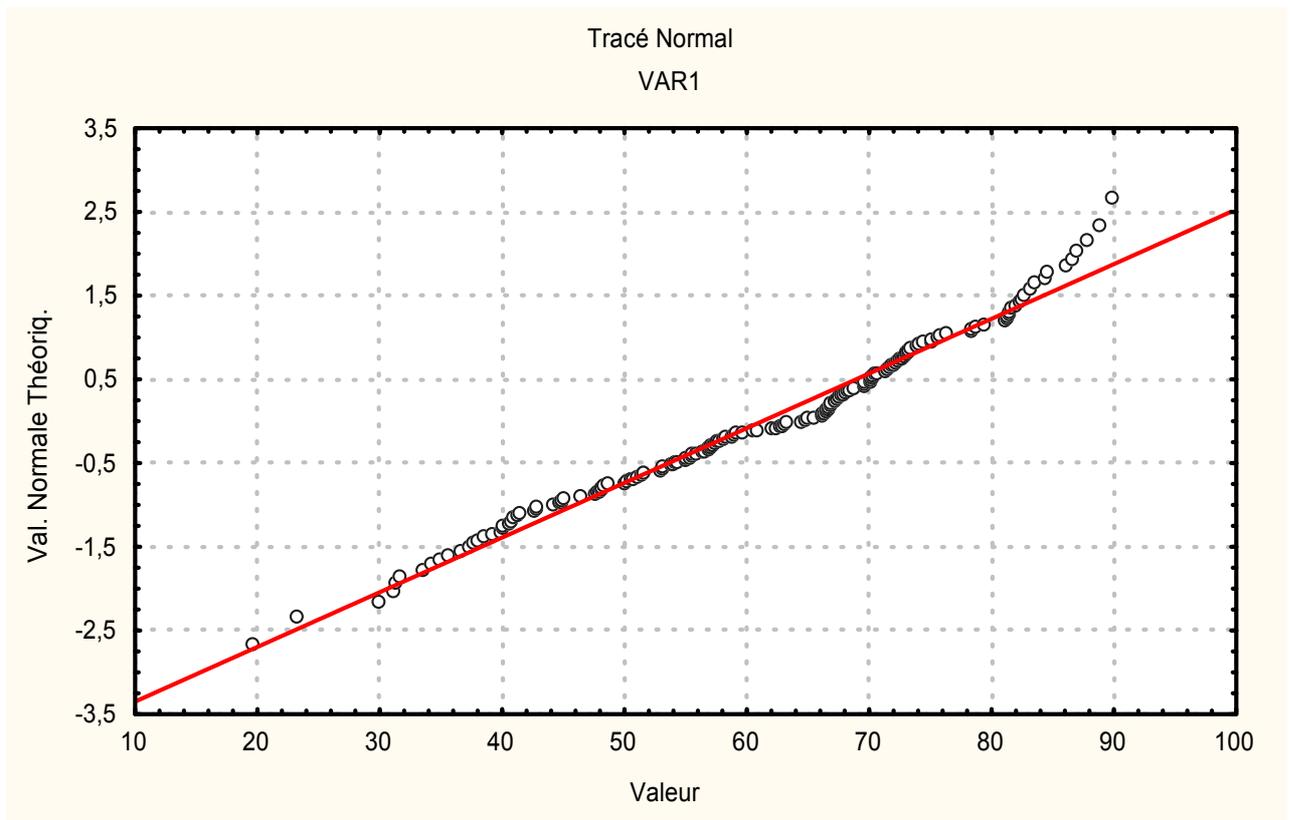
Les paramètres de forme sont négatifs, le coefficient d'asymétrie est de **-0.35** et celui de l'aplatissement de **-0.5** ce qui reflète bien l'histogramme des fréquences (figure n°20).

Les charges hydrauliques s'ajustent à la loi normale (fig. 20) et ce après le tracé des valeurs en fonction des normales théoriques.

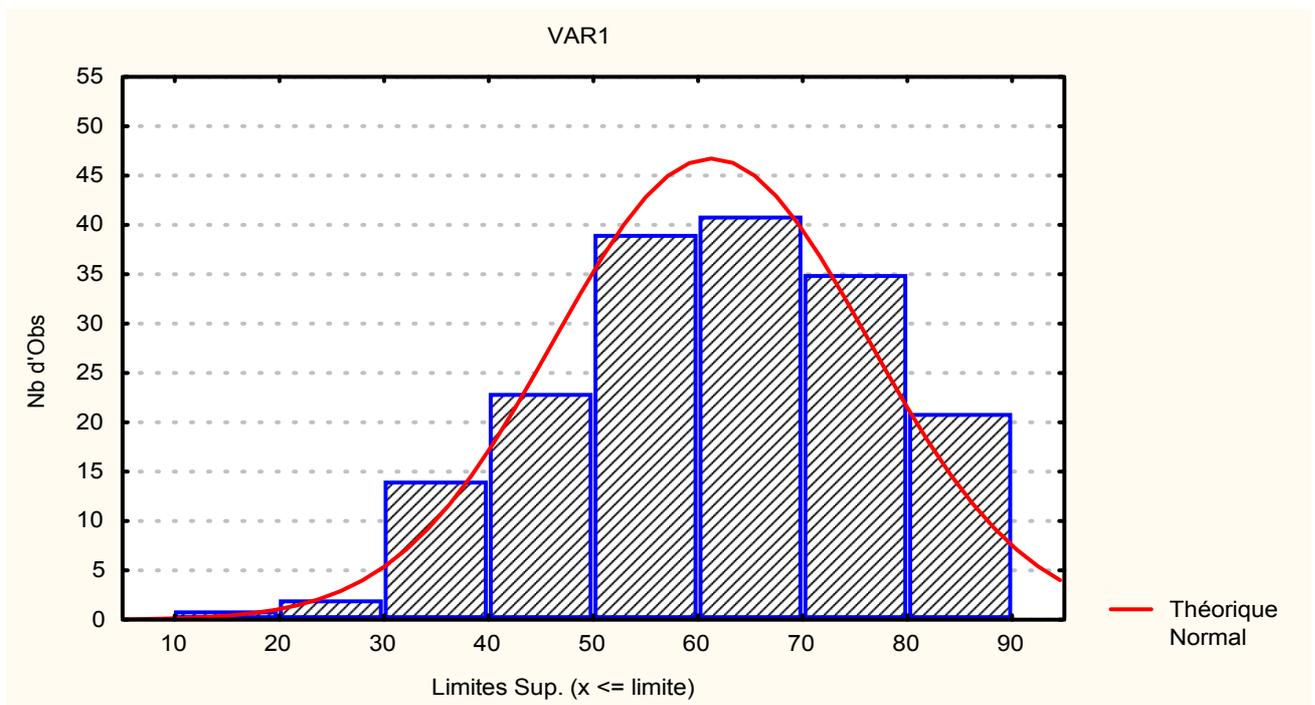
Le test nous donne une signification asymptotique de **0.075** d'où validation de la loi Normale.

Figure n° 20

Tracé de la loi Normale des charges hydrauliques (Oued Souf avril 2003)



Histogramme des fréquences des charges hydrauliques (Oued Souf avril 2003)



VII-4- Interprétation des cartes piézométrique :

La carte piézométrique permet de définir la direction de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que le gradient hydraulique de la région ayant fait l'objet de l'étude :

- Le gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est déterminé sur la carte piézométrique par la formule suivante :

$$\mathbf{I = (H1-H2) / L = \Delta H / L}$$

Ou :

H : La différence des niveaux piézométriques exprimés en mètre.

L : La distance réelle séparant deux courbes iso pièzes en mètre.

Dans la zone de Oued Righ sud le gradient hydraulique est caractérisé par une variation du sud vers le nord, Il est de l'ordre de 10^{-3} à Blidet Amor au sud, de 9.10^{-4} à Touggourt et de 4.10^{-4} à Sidi Slimane.

Le tableau ci-dessous montre que le gradient hydraulique augmente du Sud vers le Nord. Ce qui permet à la vitesse d'écoulement d'augmenter également :

Tableau n°33 : **variation des valeurs du gradient hydraulique.**

Localité	Oum Sahouin	Robbah	El Oued	Drimini	Hassi- Houbba
Gradient hydraulique (I) Fev. 93	$4,5.10^{-4}$	$6,2. 10^{-4}$	$3,3. 10^{-3}$	$2. 10^{-3}$	/
I (Avr. 93)	$4,3. 10^{-4}$	$6,2.10^{-4}$	$3,3. 10^{-3}$	10^{-3}	$1,610^{-3}$
I (95)	/	/	/	/	/
I (98)	$4. 10^{-4}$	$6,2.10^{-4}$	$2,5. 10^{-3}$	$8,3.10^{-4}$	$2. 10^{-3}$
I (2000)	$6,2. 10^{-4}$	/	/	/	/
I (2001)	$3,3. 10^{-4}$	$4,3. 10^{-4}$	$9. 10^{-4}$	/	/

- Cartes piézométriques de Oued Souf 1998 - 2003 : (voir carte n° 08 et 09)

La carte piézométrique de la région de oued Souf est tracée à partir des mesures prélevées des **28** points d'eau sélectionnés au paravent.

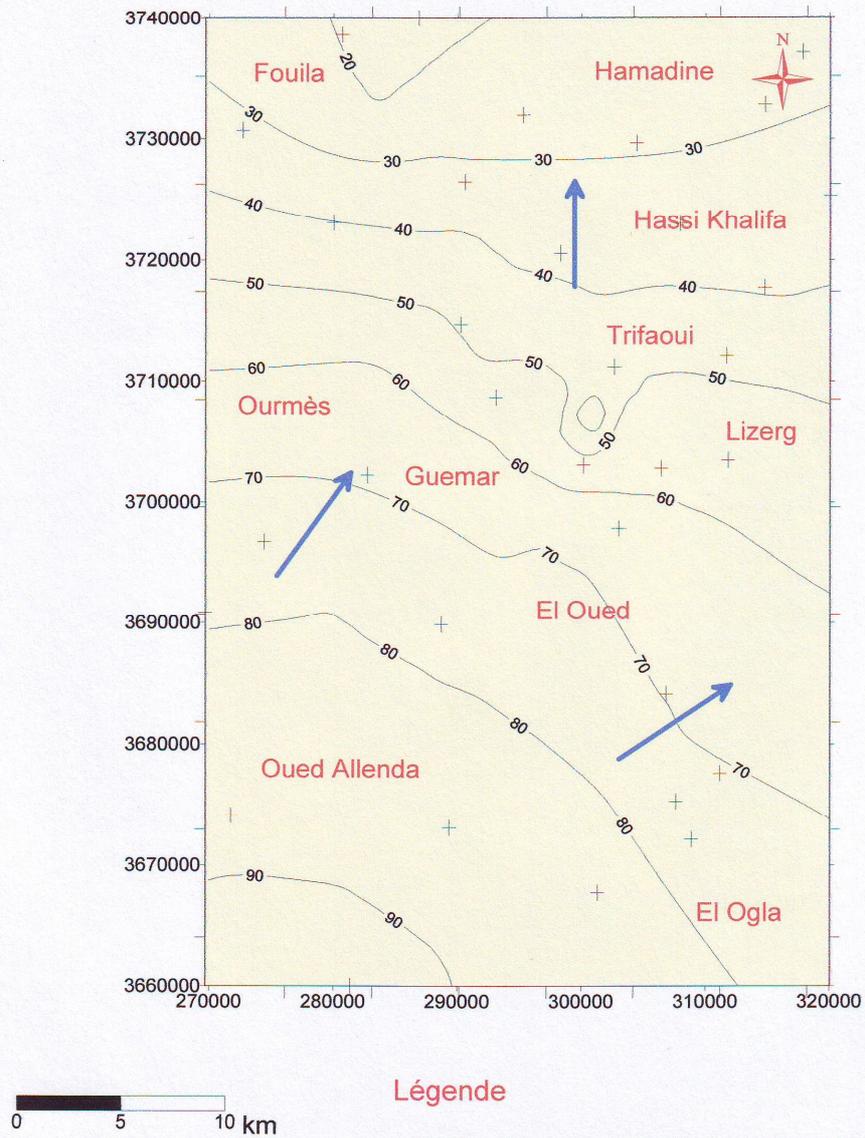
Dans cette carte on distingue deux régions bien définies :

a)- La région des agglomérations au Sud-Ouest :

Elle est caractérisée par une subsidence piézométrique à Oued Alenda, qui draine les eaux avoisinantes. Les axes d'écoulements convergent vers cette concavité, le gradient hydraulique atteint est maximum **$8,2.10^{-3}$** expliqué par la rétrécissement des courbes iso pièzes donnant naissance à une zone favorable d'implantation de forage.

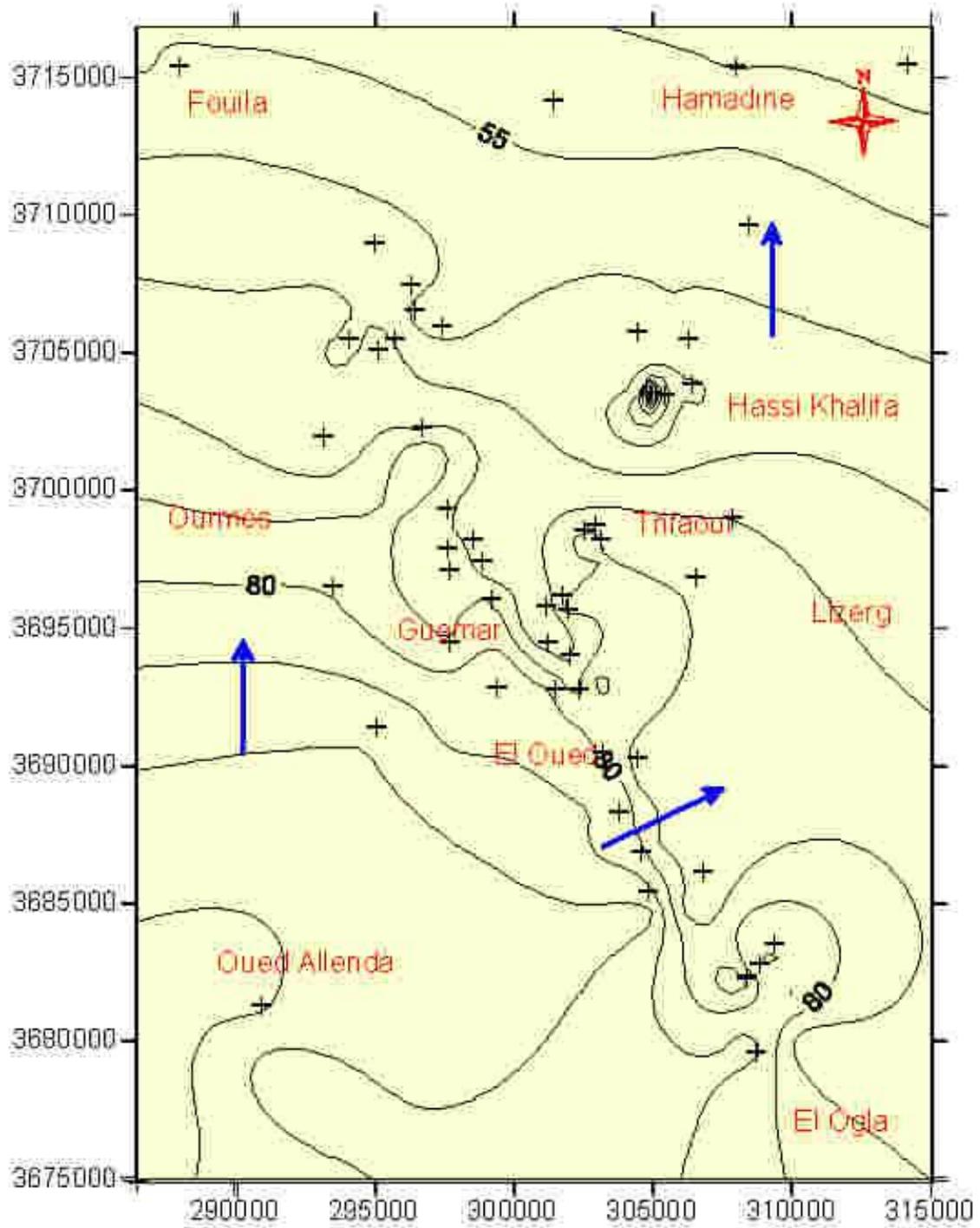
Au de là de cette région une ligne de partage des eaux constitue la limite entre cette région et la région sus-jacente.

Carte piezométrique de la nappe libre d'El Oued (1998)



Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Carte piezométrique de la nappe libre d'El Oued (2003)



Légende

-  Courbe isovaleu des niveaux piézométriques
-  Point de mesure du piézomètre

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

b)- La région du nord :

Cette partie de la carte piézométrique est caractérisée par des courbes piézométriques espacés (l'espacement évolue en allons vers le nord), homogènes. Le sens d'écoulement devient SW-NE.

Le gradient hydraulique diminue avec le sens d'écoulement (de $1,7.10^{-3}$ à Debila et Hassi khalifa jusqu'au $7,3.10^{-4}$ à Douillet et Bengacha).

VII-5- Évolution du niveau piezometrique de mars 1998 à avril 2003 :

Pour appréhender l'évolution du niveau piézométrique des puits communs de mars 1998 par rapport à avril 2003, afin de voir son évolution en fonction des nouveaux pompages, leurs différences de niveau ont été calculé. (Voir figure n°21).

VII-5-1-Interprétation des résultats :

Les deux points en forte montée sont le **P17** et le **H90** :

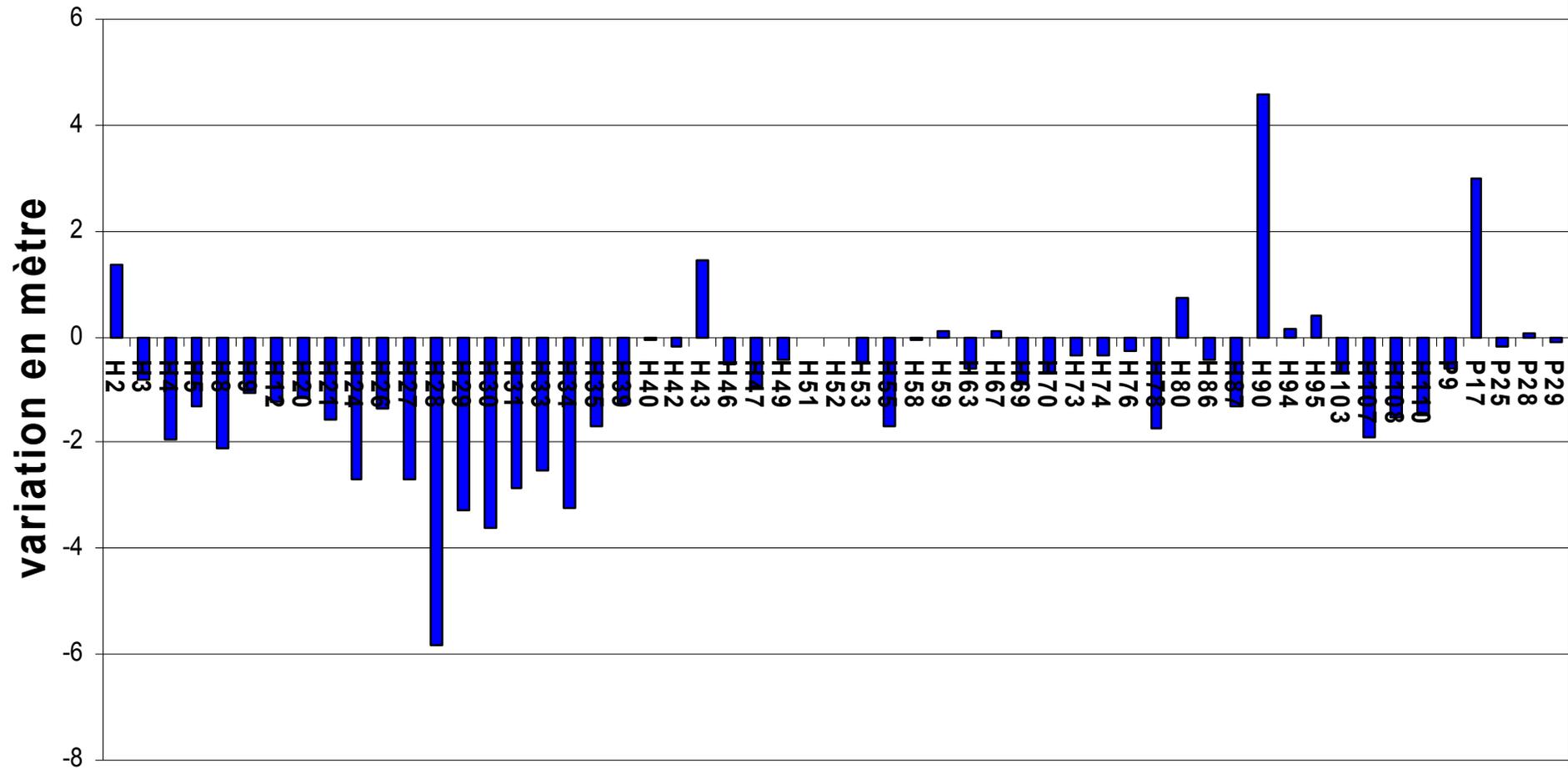
Le **P 17** est situé près de la palmeraie Mehri. La montée supérieure à 3 m peut être expliquée par une irrigation de la palmeraie à partir de forages au Continental Terminal et l'alimentation de la nappe phréatique par infiltration. Cette montée met en danger les ghouts voisins. Elle devrait être contrôlée par une irrigation à partir de puits dans la nappe phréatique (à condition que la qualité de l'eau le permette).

Le **H 90** avec une montée de près de 4 m, est situé près du rejet des eaux usées et de drainage de la ville d'El Oued, au Nord de la ville. Cette montée s'explique par l'infiltration de la majeure partie des eaux rejetées, le solde s'évaporant à la surface d'eau libre des étangs ou étant évapotranspiré par la végétation de roseaux couvrant une partie de la surface.

Le puits **H 78** en baisse modérée (**1.32 m**) est situé à Nakhla, dans une zone de cultures en surface, irriguée à partir de puits dans la nappe phréatique. Ces puisages associés à une modération de la consommation d'eau en provenance des nappes profondes (CT et CI) sont à l'origine de cette baisse.

Figure n° 21

Histogramme des différence du niveau piézométrique de la nappe phréatique entre mars 1998 et avril 2003



Dans la partie Nord de la région, on observe un large couloir de **10 – 15** kilomètres orienté Est-Ouest, objet d'une baisse généralisée atteignant **5.44 m** au puits H 28 près de Ez Zeggoub au Nord-Est de Tarhzout, mais généralement de l'ordre de **1 à 2** mètres. Cette baisse est due à une intense agriculture de surface irriguée à partir de la nappe phréatique.

Tout au Nord-Ouest, deux puits, **H 1** et **H 2**, situés à Foulia, se singularisent par une montée de **1.2 m** et **0.7 m** respectivement, due à l'apport d'eau du CT pour l'irrigation des plantations.

VII-6- Application aux nitrates :

VII-6-1-campagne mars 1998 :

VII-6-1-1- Analyse statistique élémentaire :

Le nitrate est un élément essentiel parmi les éléments de pollution et il est dû à l'apparition de la maladie de (ganosis).

La campagne mars **1998** ne couvre que **32** puits, qui est très faible par rapport à la superficie de la région. Les nitrates sont des éléments essentiels parmi les éléments de pollution et ils sont dus à l'apparition de la maladie de (ganosis).

Les teneurs en nitrates varient entre **20 à 118 mg/l** avec une moyenne de **70 mg/l**, qui dépasse largement les normes admissibles par l'organisation mondiale de la santé. **88 %** des échantillons dépassent les normes (OMS).

L'étendue est de **92**, la variance est de **425.78**. La variance est grande mais par rapport aux autres campagnes c'est la plus faible.

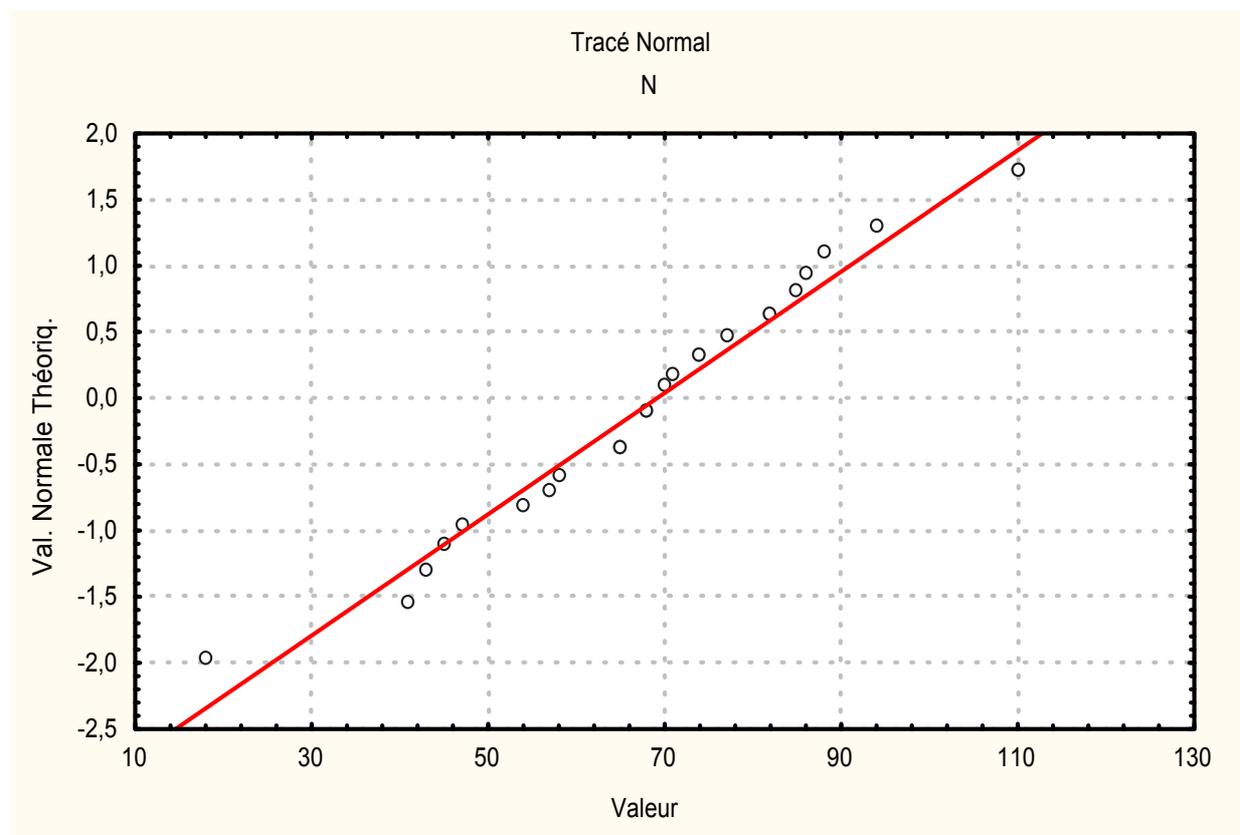
L'intervalle de Tukey est : $]A_1 - A_2[=]22.5 - 96.65[$ et le nombre de valeurs qui sont hors de cet intervalle est seulement deux.

Le coefficient d'asymétrie est faible mais négatif **-0.14**, avec un coefficient d'aplatissement de **0.65** qui ressort dans l'histogramme des fréquences et qui admet une distribution selon la loi Normale (figure n° 22).

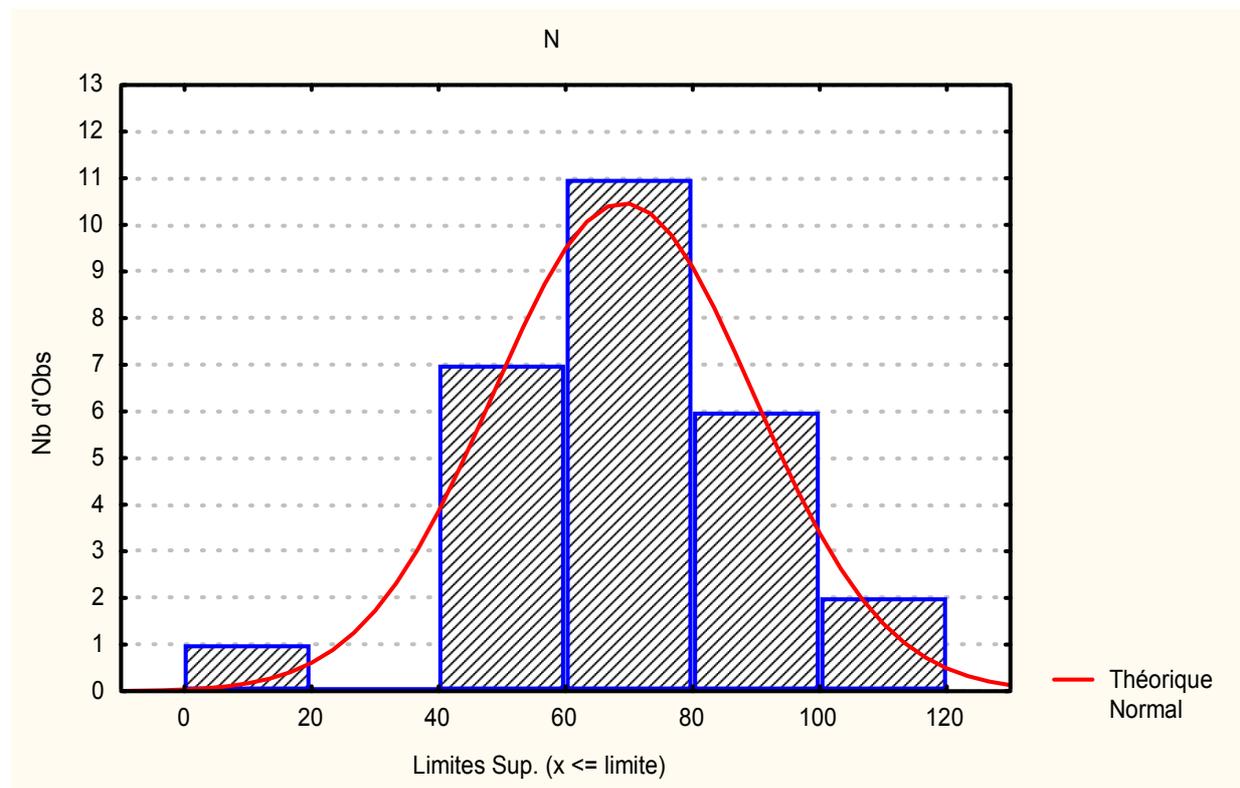
Le test d'ajustement nous donne une signification asymptotique de **0.79**, qui valide la loi Normale.

Figure n°22

Tracé de la loi Normale des Nitrates (oued Souf, mars 1998)



Histogramme des fréquences des Nitrates (oued Souf, mars 1998)



VII-6-2- Campagne avril 2003 :

VII-6-2-1-Analyse statistique élémentaire :

Cette nouvelle campagne regroupe un nombre assez important, **198** puits.

La valeur minimale enregistrée est de 1 mg/l et la valeur maximale est de **256 mg/l**. la moyenne est de **95 mg/l** soit **81%** des échantillons qui dépasse les normes donné par l'OMS.

La variance est de **406.45**. L'écart type est de **65.37** qui est une valeur élevée, ce qui explique l'hétérogénéité des valeurs. L'intervalle de Tukey est de : $]A_1 - A_2[=]- 69.5, 172.5[$ avec 32 valeurs aberrantes. Ces valeurs aberrantes ne le sont pas en réalité puisque les valeurs extrêmes sont due à la pollution provoquer par l'excès d'utilisation des engrais et les rejets urbains.

Le coefficient d'asymétrie est positif **0.65** avec un faible aplatissement **-0.19**. L'histogramme des fréquences et le tracé de la loi normale (figure n° 23) montrent bien la normalité des nitrates à la loi de Gauss.

Le test d'ajustement nous donne une signification asymptotique de **0.014**, qui permet la validation de la loi Normale.

VII-6-3- Interprétation des cartes de teneurs en Nitrates (mars 1998- 2003) :

Ces cartes mettent en évidence de fortes variations spatiales des teneurs en nitrates. Les valeurs élevées devraient être une indication de la pollution. Toutefois, ces fortes valeurs ne semblent pas dépendre de la densité de la population : la ville d'El Oued présente de faibles valeurs, mais plutôt de l'activité agricole ou de la proximité immédiate des zones de rejets : eaux usées urbaines et l'infiltration des eaux d'irrigation.

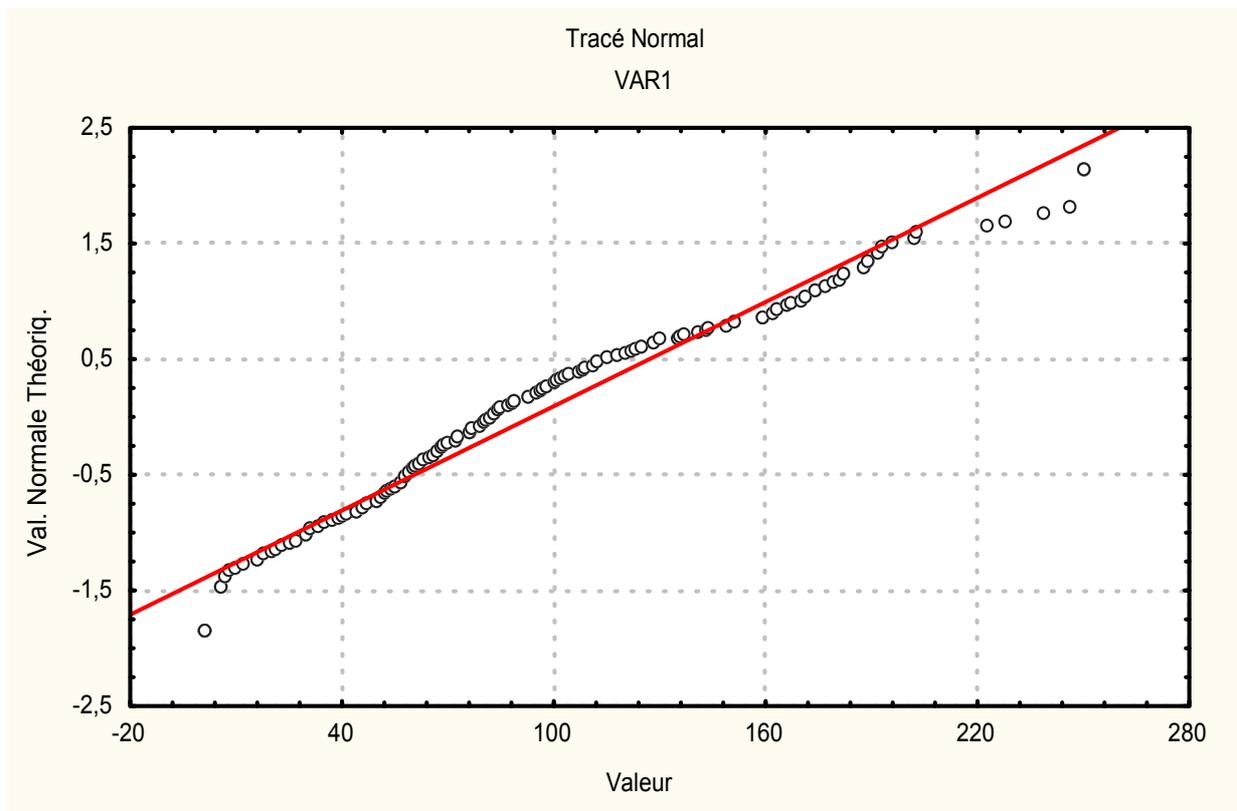
La présence de ces fortes quantités de nitrates dans la nappe phréatique confirme la présence de pollution son origine est l'eau usées

Les zones présentant des teneurs supérieures à **200 mg/l** de Nitrates sont situées au Sud des localités de Bouggoufa et d'Oued El Allenda, ainsi que dans une partie au Centre Nord de la vallée (Carte n° 12).

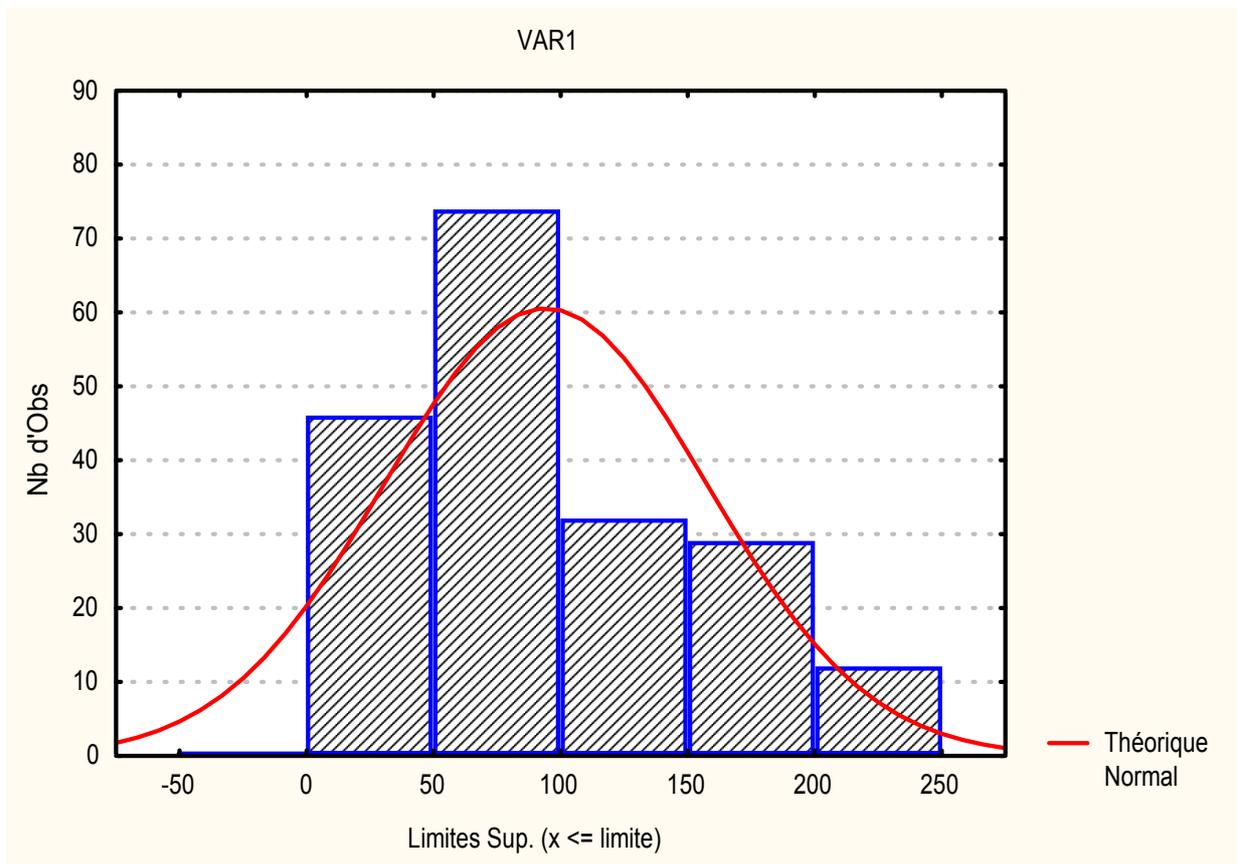
Les zones où la teneur en Nitrates est comprise entre **100 et 150 mg/l** se situent au niveau des localités de Kouinine, Bir Erroumi et Hassi Khalifa. Tandis que les zones connaissant des teneurs en nitrates inférieures à **100 mg/l** occupent la plus grande superficie de l'ensemble de la vallée.

Figure n° 23

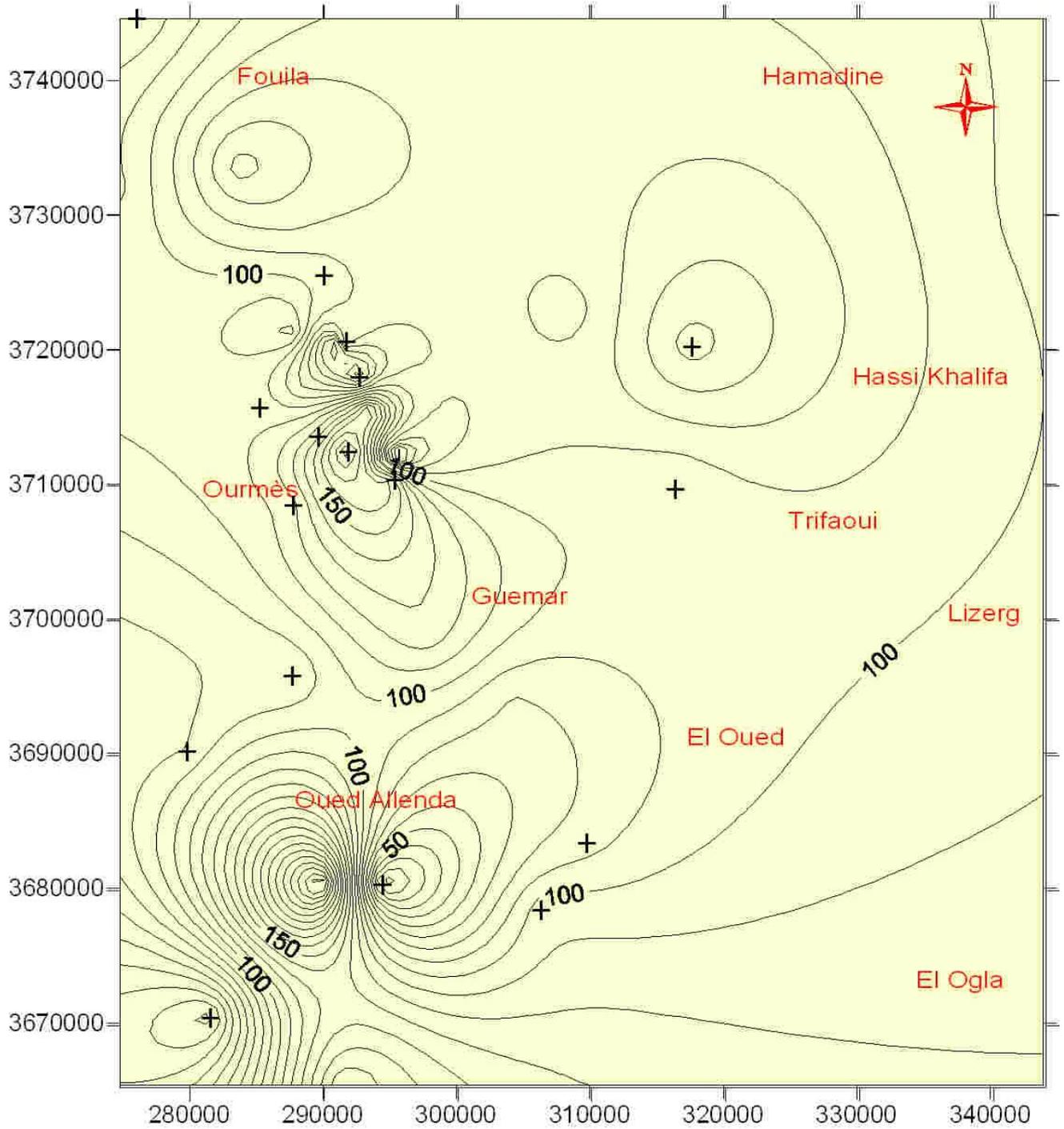
Tracé de la loi Normale des Nitrates (oued Souf, avril 2003)



Histogramme des fréquences Nitrates (oued Souf, avril 2003)



Valeurs des Nitrates de la nappe libre d'El Oued (Mars 1998)

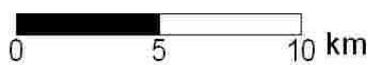
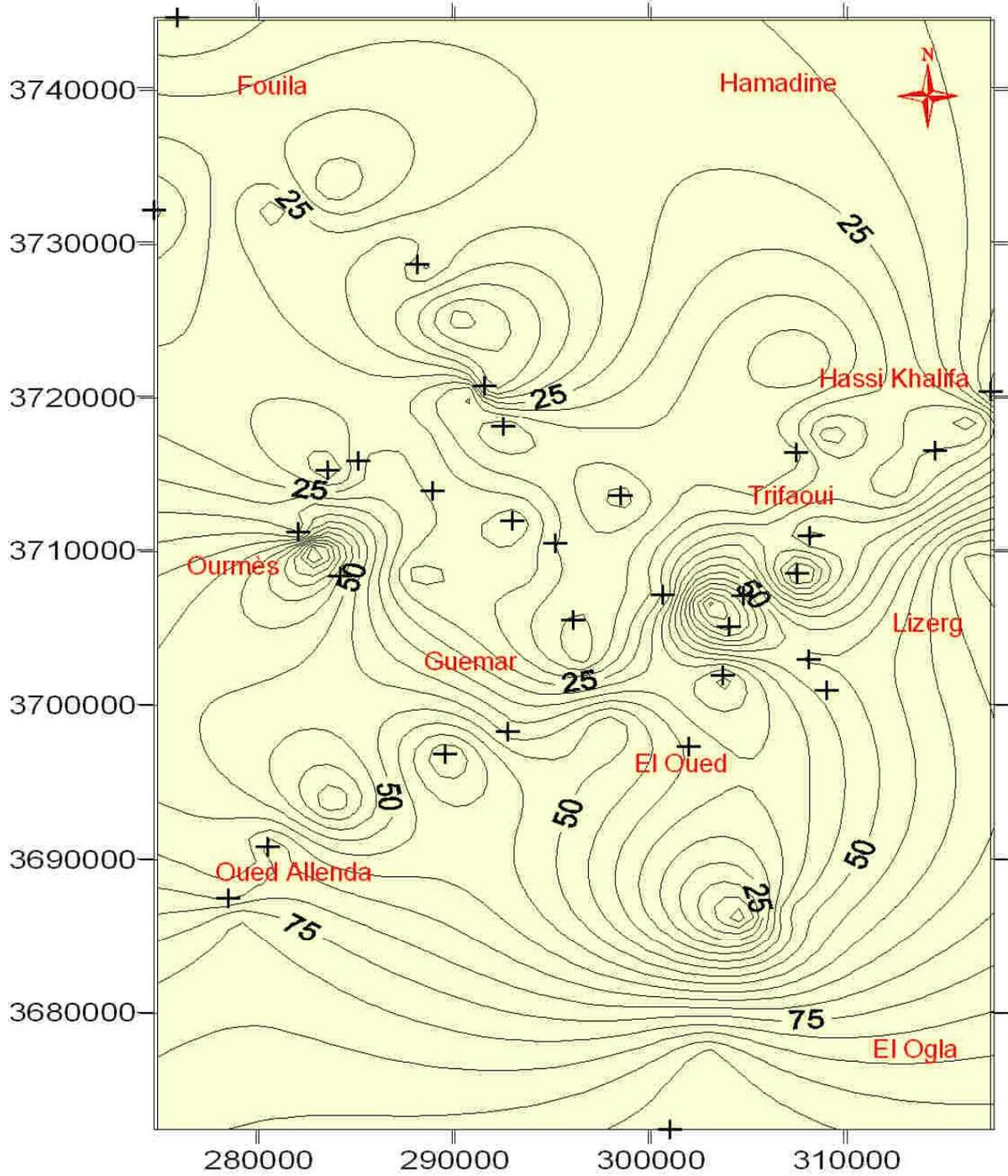


Légende

-  Courbe isovaleur du Nitrate (mg/l)
-  Point de mesure du Nitrate

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Valeurs des Nitrates de la nappe libre d'El Oued (Avril 2003)



Légende

-  Courbe isovaleur du Nitrate (mg/l)
-  Point de mesure du Nitrate

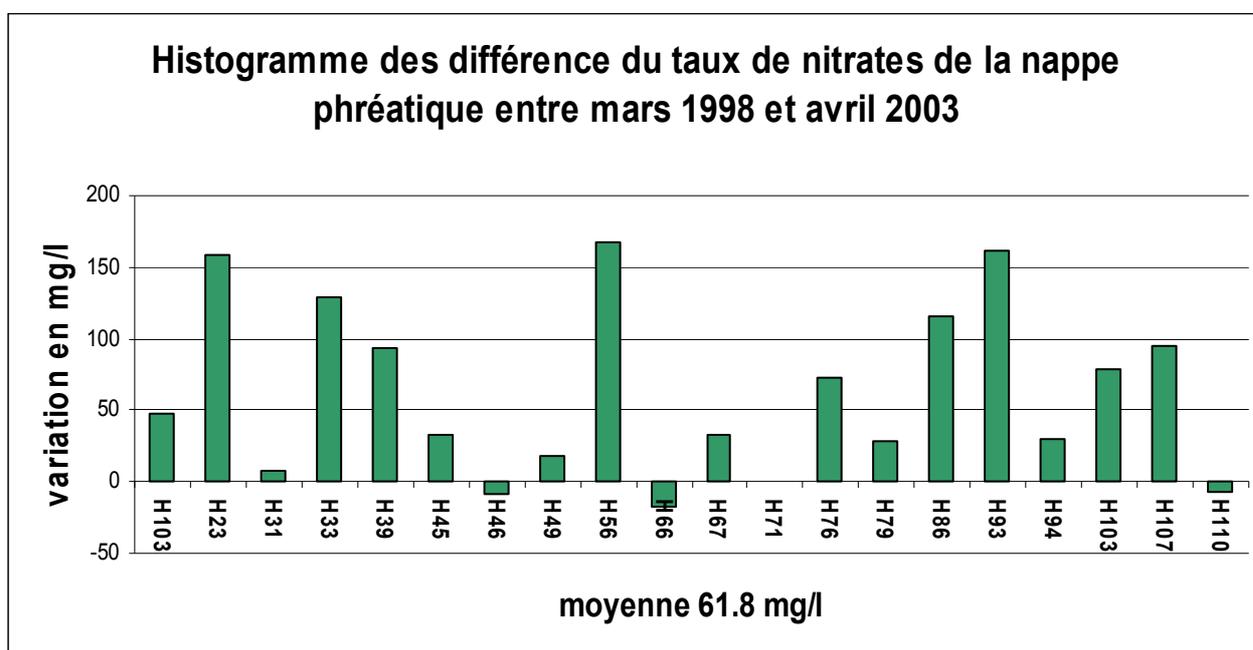
Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Il est à remarquer, que les zones à forte teneur en Nitrates (**sup. à 100 mg/l**) sont situées généralement au niveau des exploitations agricoles, ce-ci s'explique par l'utilisation d'engrais (fumier).

VII-6-4- Variation du taux de nitrates entre mars 1998 et avril 2003 :

Un réseau de surveillance des teneurs en nitrates comprenant **20** points à été réalisé, et les mesures ponctuelles ont été effectués de mars **1998** à Avril **2003**. L'histogramme ci dessous montre bien cette évolution des teneurs.

Figure n° 24 :



VII-7- Application aux résidus secs (RS) :

VII-7-1-Campagne mars 1998 :

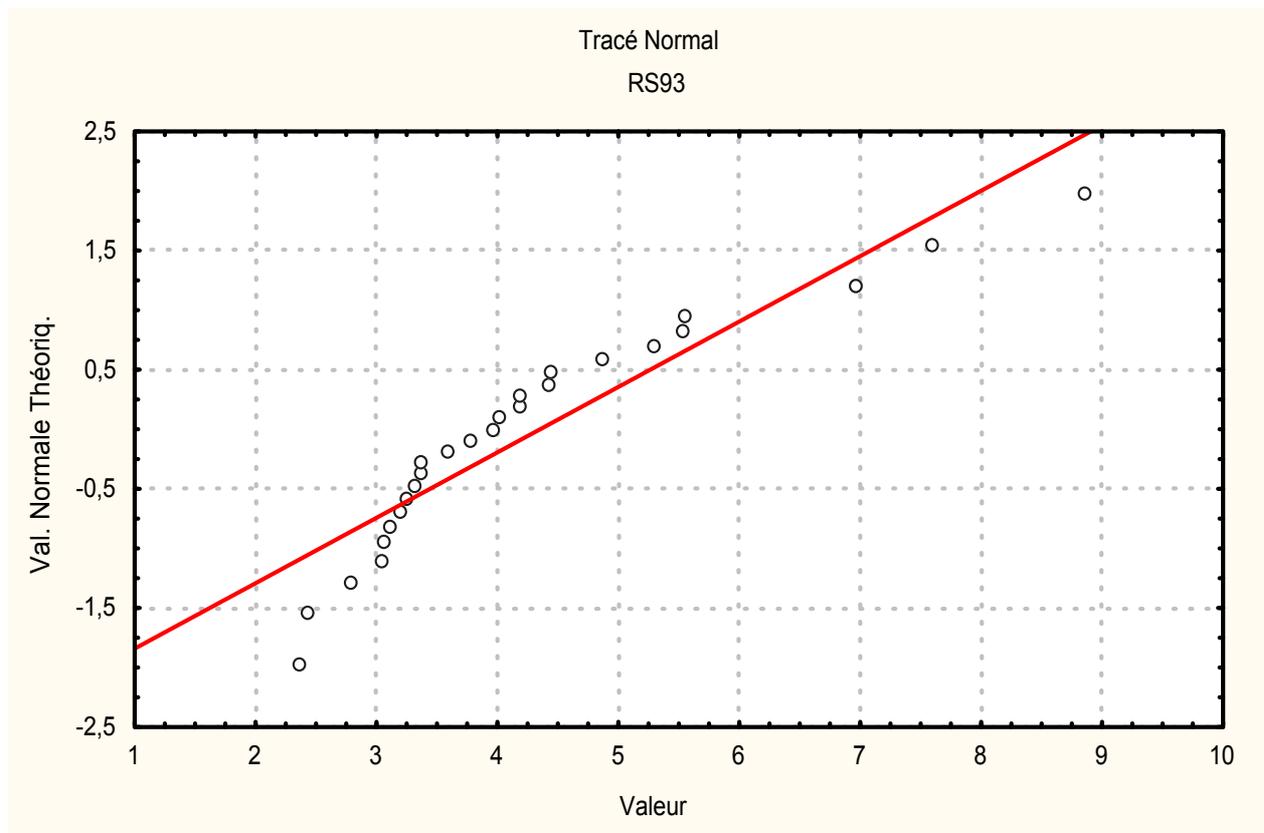
VII-7-1-1-Analyse statistique élémentaire :

Cette campagne à été réalisé sur **30** puits, les valeurs des résidus secs varient entre **2.43 g/l** et **8.87 g/l**, et une moyenne de **4.37 g/l**.

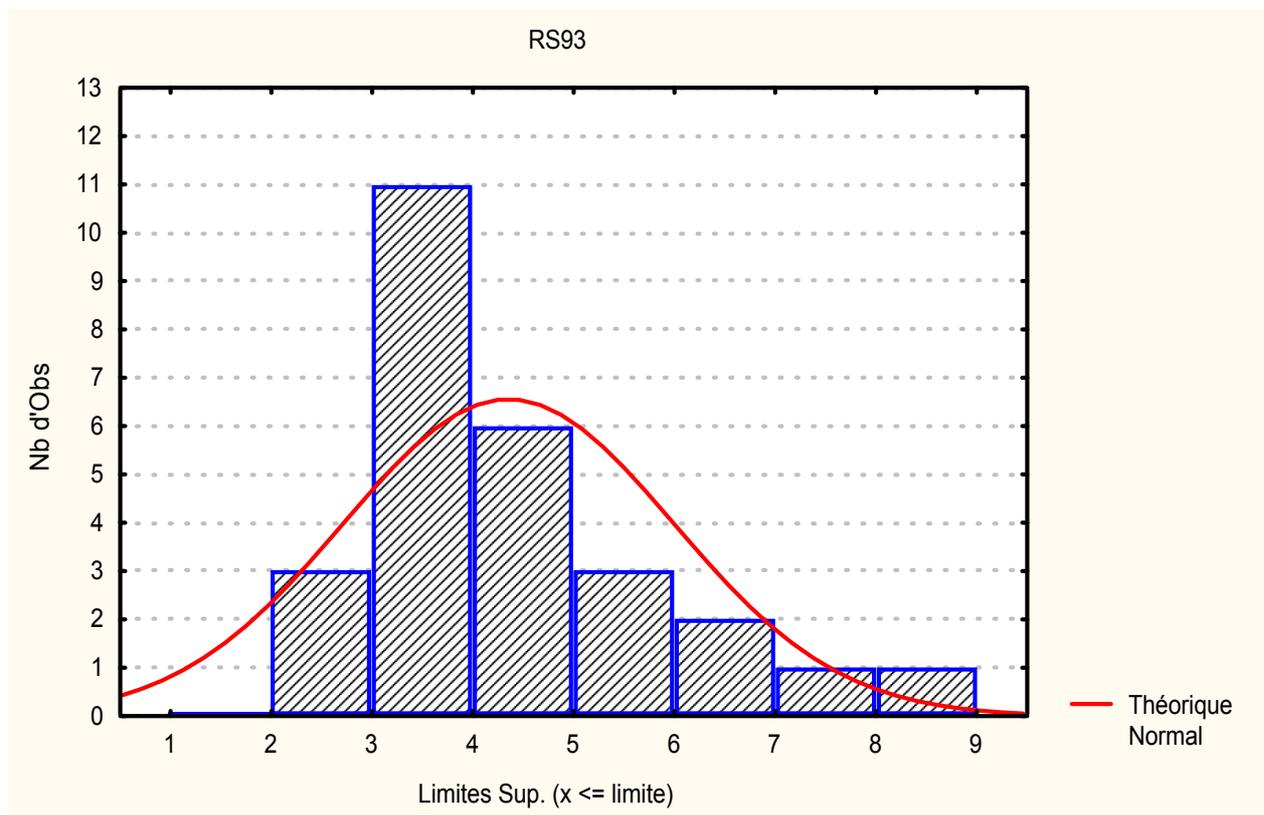
L'étendue est de **6.52** avec une variance de **2.71**, l'intervalle de Tukey est : $]A_1 - A_2[=]0.08 - 6.39[$, avec **5** valeurs d'après Tukey qui sont aberrantes.

Figure n° 25

Tracé de la loi Normale des Résidus secs (Oued Souf, mars 1998)



Histogramme des fréquences des Résidus secs (oued Souf, mars 1998)



L'histogramme des fréquences des résidus secs, nous montre une asymétrie de **1.25**, qui s'ajuste à la loi normale (figure n° 25).

Le test d'ajustement nous confirme cette normalité et une signification asymptotique de **0.337**.

VII-7-2-Campagne mars 2003 :

VII-7-2-1- Analyse statistique élémentaire :

Le nombre de puits échantillonné est de **99**. Les mesures du **RS** donne comme valeur minimale de **1.9 g/l** et maximale de **32.09**, avec une moyenne de **5.12 g/l**.

Les eaux de Souf sont très chargées, ces eaux, créés des colmatages au niveau des canalisations comme nous la montre la photo :



Canalisations d'eau potable colmatées.

Photo : Canalisations d'eau potable colmatées (oued Souf, 2001) par BG

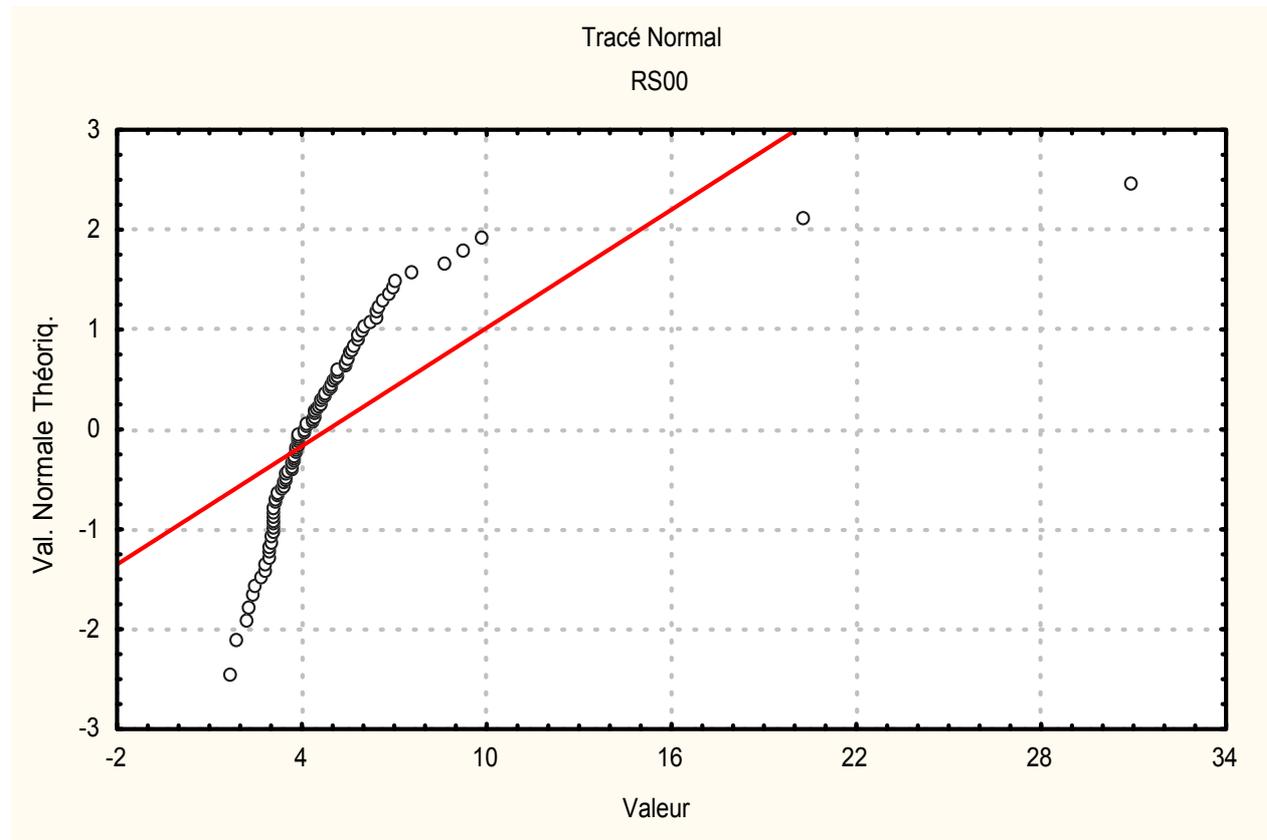
Cette campagne nous révèlent le danger de la minéralisation qui est trop élevée, avec une variance de **12.09** qui dépasse largement la moyenne.

L'intervalle de Tukey est : $]A_1 - A_2[=]-0.13.6.565[$ avec aucune valeurs aberrantes.

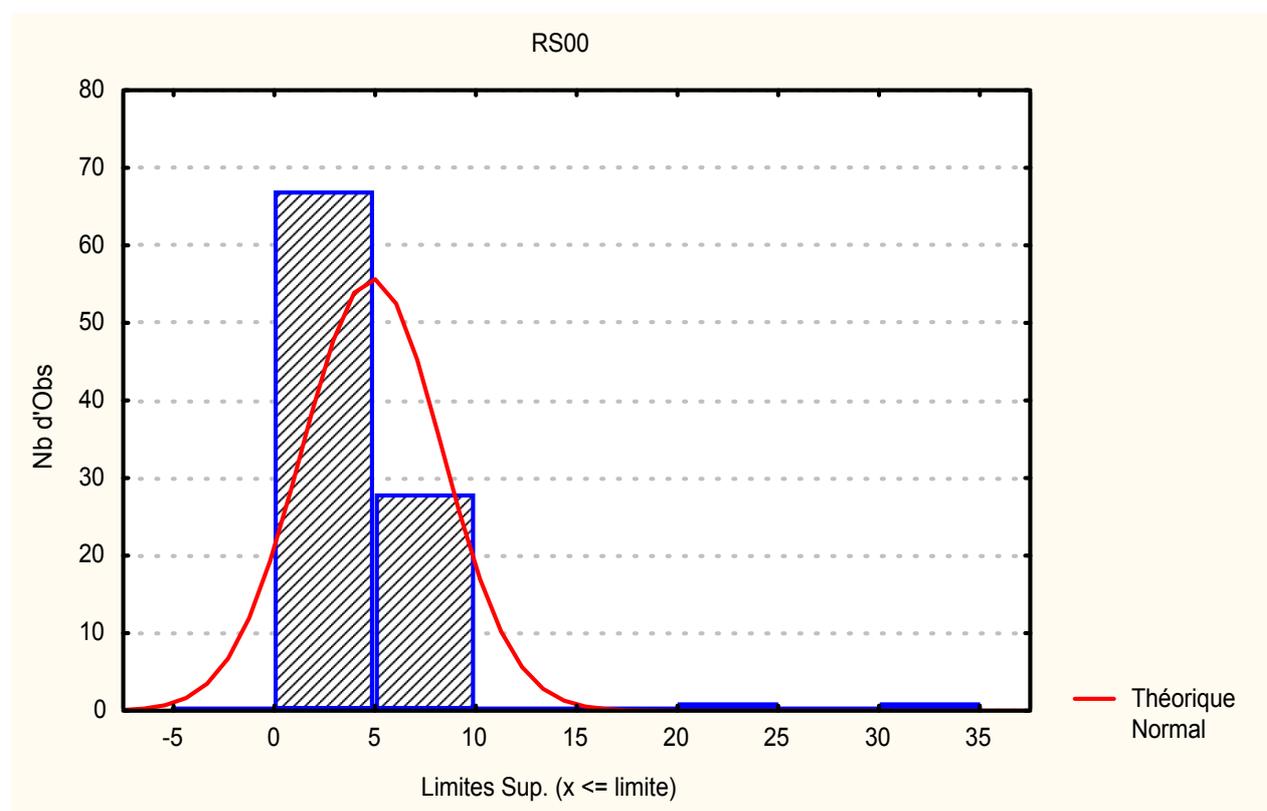
L'étendue est de **29.30**, ce qui confirme l'hétérogénéité des données (figure n°26).

Figure n° 26

Tracé de la loi Normale des Résidus secs (oued Souf, avril 2002)



Histogramme des fréquences des Résidus secs (oued Souf, avril 2002)



Au début nous avons étudié l'ajustement des résidus secs selon la loi Normale. Elle nous montre une dissymétrie prononcée à gauche, ce qui indique que cette distribution peut être ajustée à une loi log- normale (voir figure n° 27).

VII-7-3- Interprétation des cartes des résidus secs :

On a réalisé 2 cartes a travers 2 campagnes de mesure (1998 et 2003) :

VII-7-3-1- Interprétation de la carte des résidus secs (campagne mars 1998) :

Les concentrations en RS augmentent du sud vers le nord, qui est en fait la direction d'écoulement des eaux souterraines, ce qui est toute a fait normale puisque les eaux se chargent au fur et à mesure qu'elle s'écoule, en fonction de la vitesse d'écoulement et le temps de contact avec l'encaissant.

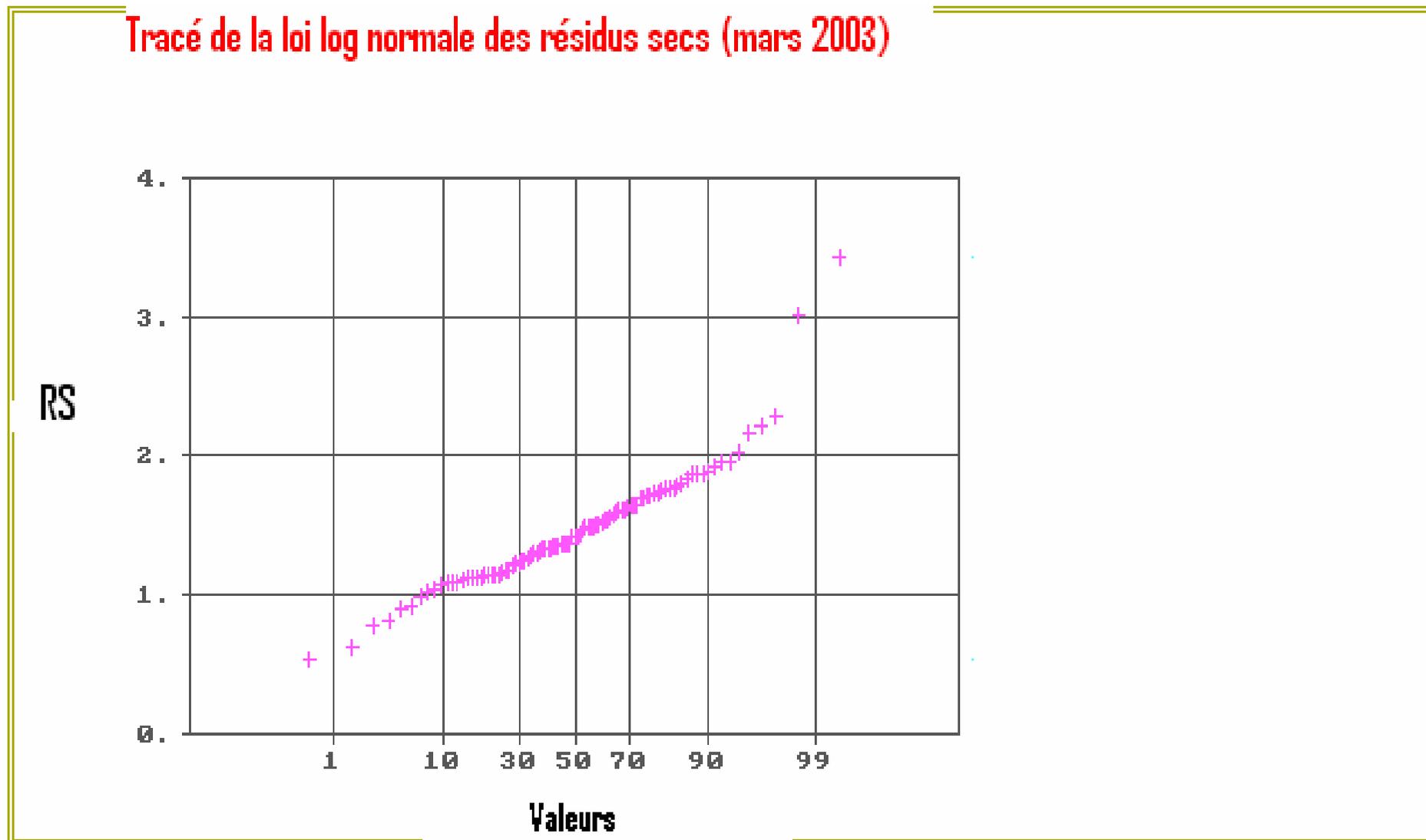
On remarque des zones où le RS est plus ou moins faible pour la région d'étude et ce au niveau d'El Ogla avec **2.41 g/l** et Mouih El Ghezala avec **3.14 g/l**. Le maximum est enregistré au niveau du puits H3 (Foulia) avec **8.87g/l**. (carte n° 13)

VII-7-3-2- Interprétation de la carte des résidus secs (campagne mars 2002) :

L'augmentation des RS est dans la même direction de l'écoulement, c'est-à-dire SO-NE dans la partie Sud puis NO-SE dans la partie Nord d'El Oued.

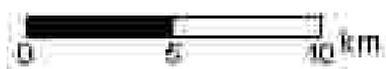
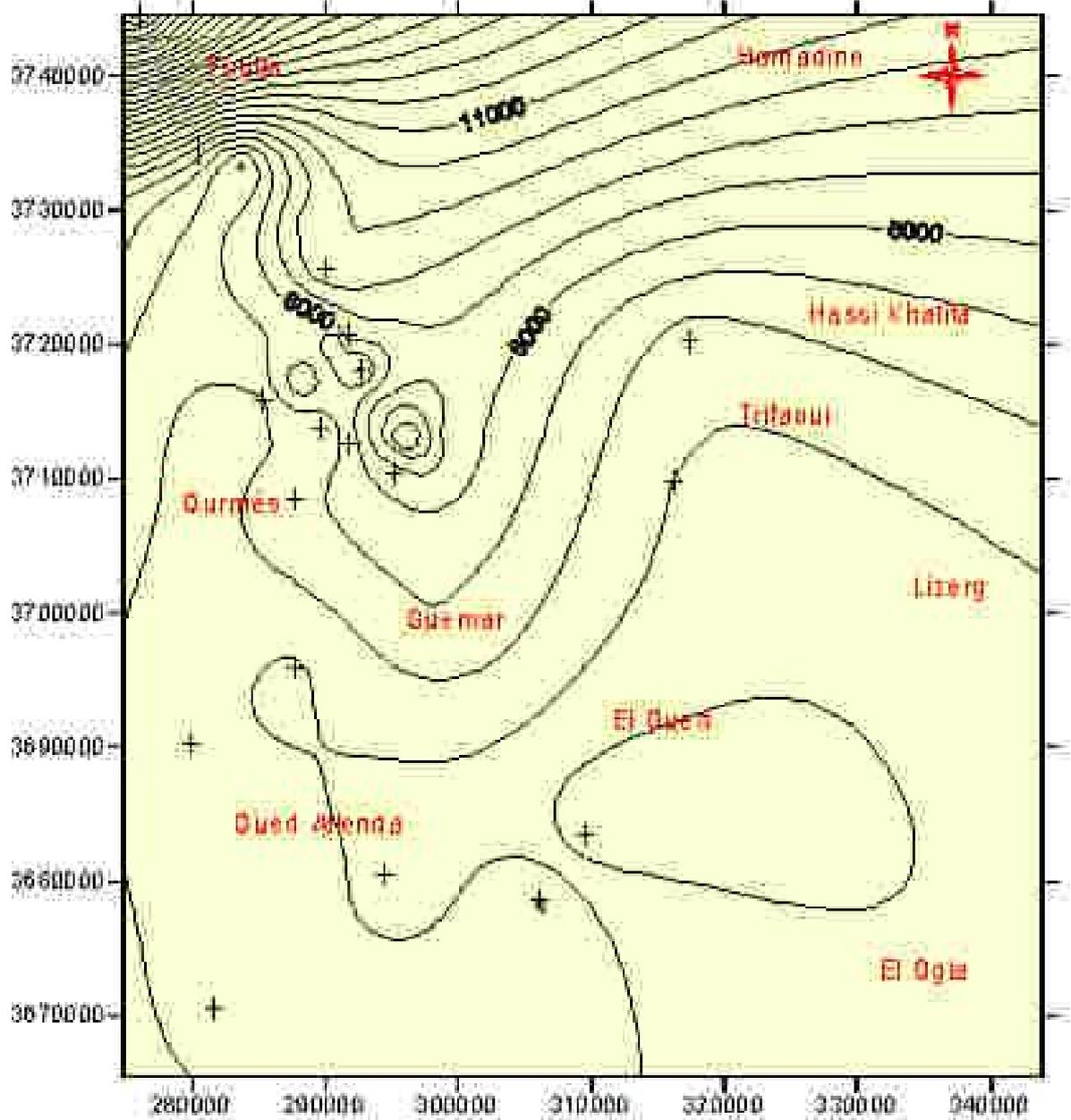
Les eaux de oued Souf sont très chargées ce qui peut être expliqué par le temps de séjour (contacte avec l'encaissant) long et la vitesse d'écoulement faible, il est à signalé également que la contamination des eaux de la nappe phréatique par les eaux du Continental Terminal qui sont chaudes et très minéralisées. (Carte n° 14)

Figure n° 27



Carte n° 12

Valeurs du résidu sec de la nappe libre d'El Oued (Mars 1998)

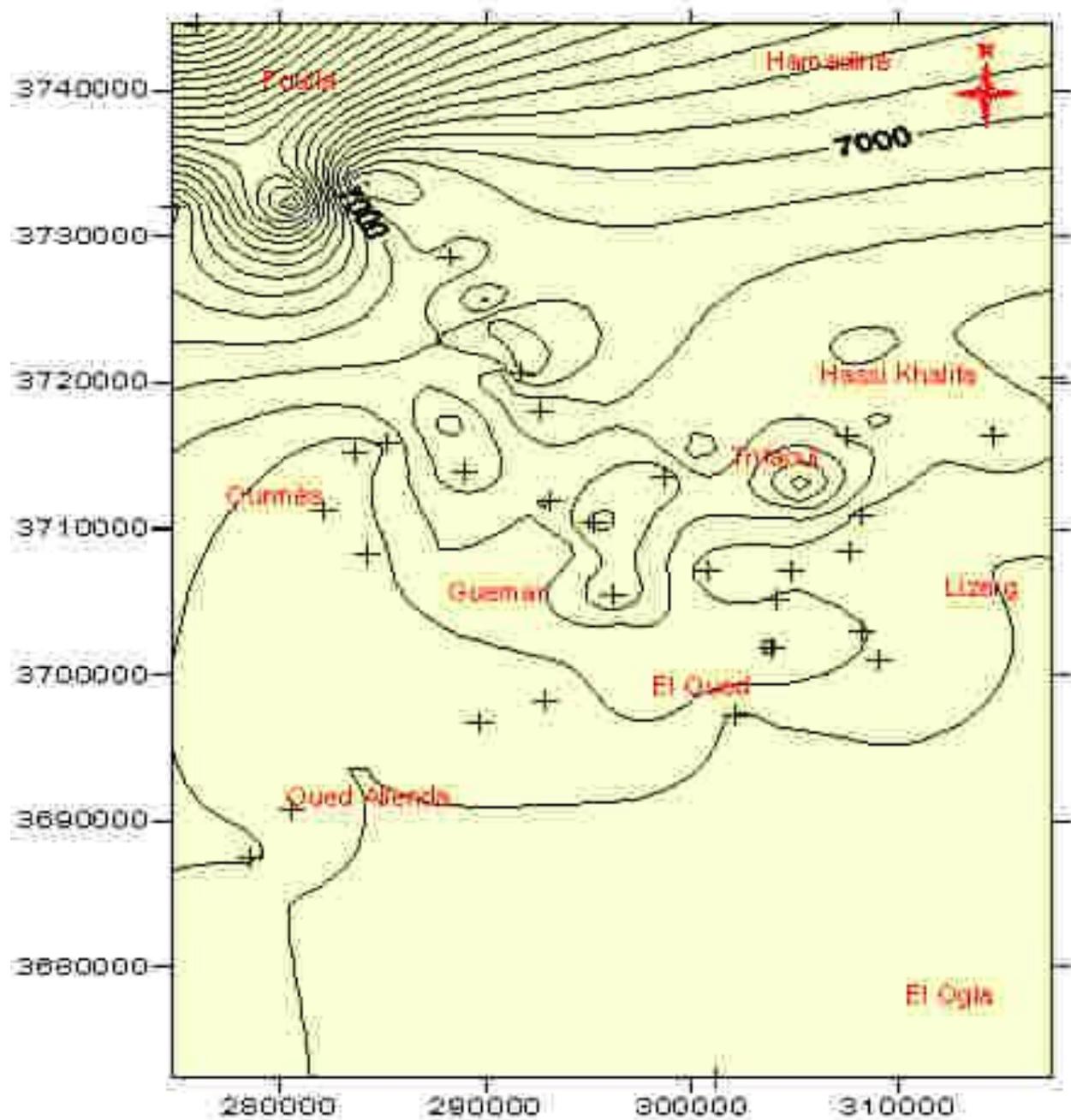


Légende

-  Courbe Isovaleur du RS (mg/l)
-  Point de mesure du RS

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Valeurs du résidu sec de la nappe libre d'El Oued (avril 2003)



Légende

-  Courbe isovaleur du RS (mg/l)
-  Point de mesure du RS

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

La différence des taux des nitrates entre mars **1998** et avril **2003** est positive. On observe des taux dépassant souvent les normes admissibles (O.M.S.) et ce dans les régions : Guemar, Dmitha, Oudeï Trek, El Oglâ, Debila, Trifaoui et Hassi Khalifa.

Les nitrates ont une double origine : une origine agricole par l'utilisation excessive des engrais et une origine liée aux fosses septiques vu l'inexistence d'un réseau d'assainissement adéquat.

Pour les résidus secs, leurs variations s'ajustent à différents types de modèles théoriques, mais l'analyse des cartes montre une augmentation de leur teneur dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines.

La vulnérabilité à la pollution des nappes étant leur sensibilité aux différents facteurs physique stables déterminants la mesure ou elles sont dans les conditions naturelles plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol par plusieurs facteurs :

- La nature géologique ou lithologique du sol et sous sol : (la perméabilité facilite donc l'introduction du polluant).
- La profondeur de la surface piézométrique :(présentant des renseignements sur les séjours en zone non saturée ou les processus d'auto-épuration sont efficaces).
- La modalité de drainage : (l'écoulement de l'eau souterraine agit sur la propagation du polluant selon sa vitesse spécifique).
- Les conditions d'alimentation et d'écoulement.

Et a travers l'analyse statistique aux paramètres hydrodynamique et physico- chimique de l'aquifère, on peu dire que le niveau de vulnérabilité de notre aquifère est augmente parallèlement avec les paramètres analysés, et donc avec le taux de pollution de la nappe phréatique. Et ce qu'on va les biens comprendre dans les chapitres prochains.

Conclusion

La vallée du Souf souffre actuellement des conséquences négatives de la remontée des eaux de la nappe phréatique, les premières apparitions de ce phénomène remontent à l'année **1969** et ont pris de l'ampleur dans les années **80**, en raison d'une forte expansion démographique et d'un développement urbain anarchique venant perturber l'équilibre naturel qui existait auparavant.

L'étude des paramètres climatiques ainsi que leur répartition dans le temps et l'espace sur une période allant de **1967** à **2005** et d'après l'indice d'aridité (**I= 2,09**) et le facteur d'Emberger (**CP= 7,06**), ne peut conclure que notre zone d'étude est caractérisée par un climat typiquement saharien, avec une précipitation faible.

Les terrains rencontrés dans la zone d'étude sont constitués essentiellement de sable, de sable argileux et d'argile. En effet les sables formant la première couche s'identifient aisément par les fortes résistivités (**50 à 400 Ohms-mètres**). La variation des résistivités remarquées le long des coupes est due à l'importance des argiles. Le substratum très conducteur est constitué d'argile ceci est vérifié par les faibles résistivités de l'ordre de **10 Ohms-mètres**.

Le sens d'écoulement révèle dans toutes les cartes une direction vers l'exutoire naturel qui est les chotts. L'axe principal d'écoulement dans la carte du Souf montre une ligne de partage des eaux au niveau de Hassi Khalifa en donnant naissance à un axe principal ayant une direction SO-NO et une zone de convergence au niveau de la ville d'El Oued.

Les éléments chimiques des eaux de la vallée du Souf augmentent dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines avec des quantités assez importantes, et elles ont une grande évolution dans le temps et dans l'espace (relation relative avec l'évolution urbaine), donc la pollution des nappes.

La vulnérabilité à la pollution des nappes étant leur sensibilité aux différents facteurs physique stables déterminants la mesure ou elles sont dans les conditions naturelles plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol par les facteurs suivants :

- La nature géologique ou lithologique du sol et sous sol : (la perméabilité facilite donc l'introduction du polluant).
- La profondeur de la surface piézométrique :(présentant des renseignements sur les séjours en zone non saturée ou les processus d'auto-épuration sont efficaces).
- La modalité de drainage : (l'écoulement de l'eau souterraine agit sur la propagation du polluant selon sa vitesse spécifique).
- Les conditions d'alimentation et d'écoulement.

Une nappe souterraine est d'autant plus vulnérable aux pollutions qu'elle est mal défendue et que sa résilience est faible.

On constate pour l'ensemble des ions majeurs que les valeurs dépassent les normes de référence guides admises à l'échelle internationale pour l'alimentation en eau potable.

Le débit maximum de drainage à l'exutoire d'El Oued a été pris égal à **300 l/s**, ce débit devra pouvoir être évacué jusqu'en **2015** ; au-delà les eaux de drainage seront réutilisées, dans ces conditions, le débit de dimensionnement du réseau de transfert, est le maximum des deux valeurs suivantes :

- Le débit des eaux usées évalué à l'horizon **2015** plus le débit de drainage de **300 l/s** ;
- Le débit d'eaux usées à l'horizon **2030**.

La mise en conformité des installations d'épuration autonome actuelles et futures, ne contribuera pas significativement à la lutte contre la remontée de la nappe qui est l'objectif principal de cette étude.

L'impact sur l'environnement d'après les données des services de l'agriculture de la wilaya d'El Oued ont montré que les cultures industrielles occupent presque la totalité de la superficie de la wilaya et environ **50 %** des superficies des cultures irriguées se concentrent dans la zone d'étude.



Deuxième partie

Les enjeux socio-économiques

Introduction

Le phénomène de la remontée des eaux a pris des dimensions très alarmantes ces dix dernières années contribuant au dépérissement des palmiers, dont les conséquences sont très néfastes sur le plan économique et social.

On voit donc que tout dans le Souf se joue autour de cette nappe phréatique, source de vie et de malheur pour les habitants.

Pour arriver à déterminer les enjeux sociaux économiques, ainsi que l'aléa et la vulnérabilité sur l'espace urbain et agricole, et en vue de contribuer à la résolution de ces problèmes de remontées des eaux, on va étudier :

- L'évaluation de l'espace urbain et ses dysfonctionnements,
- L'aquifère de la nappe phréatique en relation avec le réseau d'assainissement et d'AEP,
- Actualisation de la maille d'étude en fonction de l'étendue du phénomène de remontée de la nappe phréatique. Recensement et première étude des ghouts inondés,
- Enfin on va quantifier le problème et son impact sur l'environnement par une approche de **MNT** et réalisation de la carte de vulnérabilité.

Premier chapitre

l'évaluation de l'espace urbain et ses dysfonctionnements

Lorsque la société change, le paysage change-t-il automatiquement ?

Tel est le problème. Par un phénomène d'inertie, le paysage tend souvent à se survivre à lui-même, à persister au sein d'une société nouvelle. Mais celle-ci finit par le remodeler, et tend à le réadapter à son propre fonctionnement.

A El Oued pas de grande ensemble collectifs. L'espace urbain s'étale progressivement. Mais elle se renouvelle également profondément dans ses formes. Sous la double poussée de l'enrichissement, et de la recherche de modernité, elle a acquis un visage de ville active, dynamique, aisée.

Dans l'agglomération, la ville ne représente plus qu'un vingtième de la superficie urbaine, mais elle garde aux yeux des habitants l'image du centre historique avec tous ses spécificités et son cachet local acquis à travers une multitude de petites habitudes profondément enracinées depuis des siècles.

L'autre facette du paysage Soufi est la multitude de Ghouts dessinés dans l'espace étroitement lié à la nappe phréatique source de vie et de problèmes pour les habitants.

I- Présentation général de l'espace urbain :

El Oued, ville marché joue un rôle de capitale administrative. Elle constitue l'une des plus anciennes implantations dans la région du Souf. Elle était le siège de l'administration française lors de l'arrivée de son armée en **1887**. Au lendemain de l'indépendance, El Oued s'est agrandie à une vitesse étonnante et fut élevée au rang de chef lieu de daïra et comprenait **5** communes.

L'ensemble couvrait une superficie de **7000 km²** ceci avant **1984**.

Le **01/12/84**, El Oued a été élevée au chef lieu de wilaya, englobe dans sa totalité **12** daïras et **30** communes. Elle s'étend sur une surface de **44 586.8 km²** et abrite une population totale de **511.427** habitants (**31-12-1995**), selon l'étude de (P.A.W.), elle est répartie sur **02** grandes zones : le Souf et Oued Righ.

I-1-Demographie :

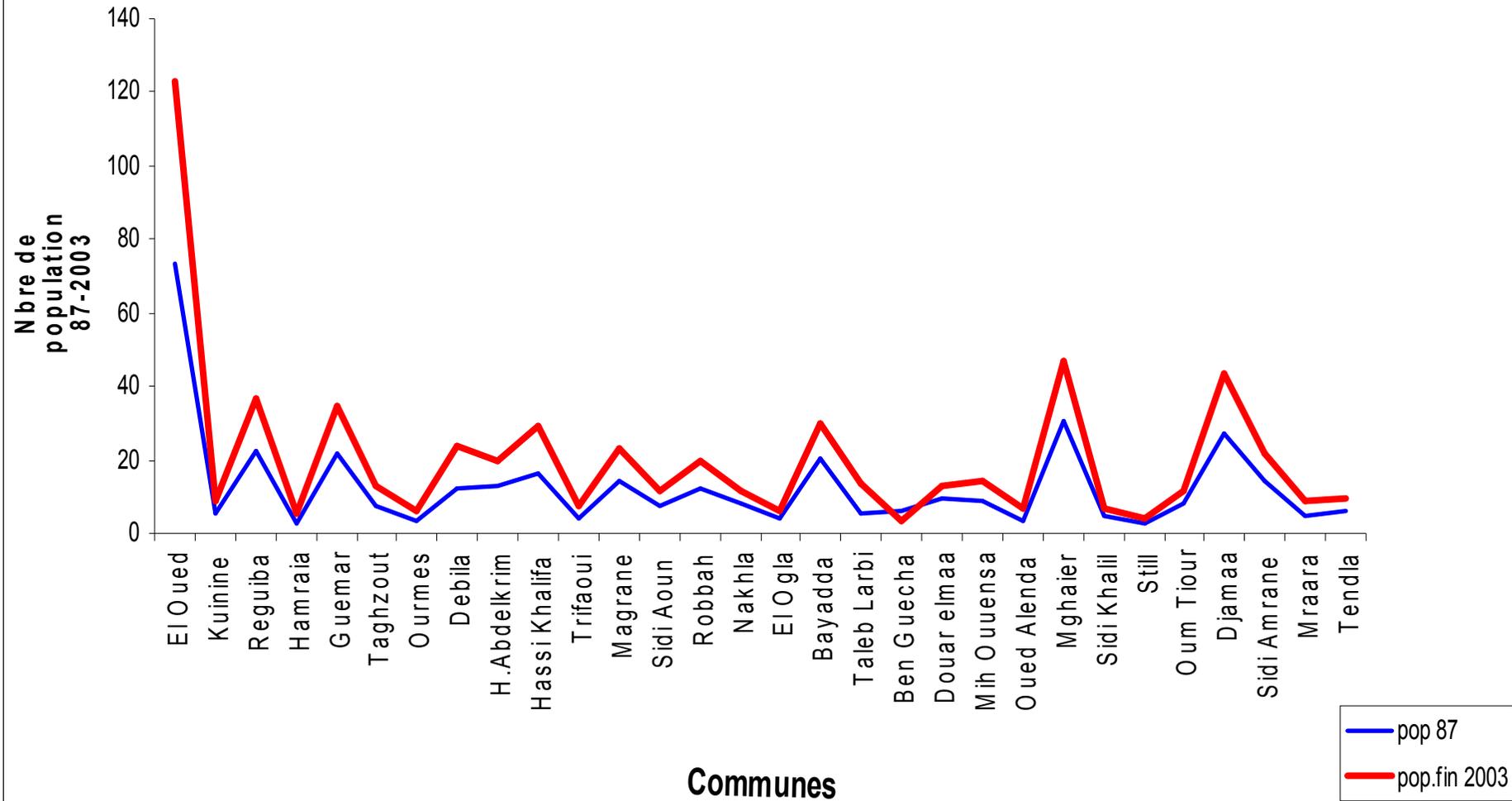
La région d'étude comprend **18** communes qui représentent une population totale de **367802** habitants, selon le recensement de **2003**, dont un tiers environ réside dans la commune d'El Oued.

Tableau n°34 :

Estimation de la population (source : O.N.S. recensement 2003)

Communes	Pop. 1987	pop. fin 2003
El Oued	73.093	122.867
Kuinine	5.52	8.702
Reguiba	22.184	36.665
Hamraia	3.024	5.704
Guemar	22.031	34.884
Taghzout	7.564	12.913
Ourmes	3.557	5.812
Debila	12.207	23.528
H.Abdelkrim	12.612	19.767
Hassi Khalifa	16.018	29.209
Trifaoui	4.135	7.39
Magrane	14.266	23.281
Sidi Aoun	7.243	11.471
Robbah	12.234	19.963
Nakhla	7.924	11.464
El Ogla	3.826	6.429
Bayadda	20.063	29.866
Taleb Larbi	5.737	13.707
Ben Guecha	6.071	3.365
Douar elmaa	9.496	12.878
Mih Ouensa	8.718	14.384
Oued Alenda	3.521	6.909
Mghaier	30.403	47.011
Sidi Khalil	5.009	6.459
Still	3.008	4.04
Oum Tiour	8.115	11.612
Djamaa	27.293	43.241
Sidi Amrane	13.995	21.486
Mraara	4.527	8.529
Tendla	6.118	9.254

Evolution de la population d'El Oued (87-2003)



D'après le tableau et le graphe (fig. n° 28), on remarque une évolution au niveau de la population entre les périodes **1987** et **2003** (la croissance démographique est de l'ordre de **3.89 %**), sur le plan démographique (croit, dispersion, activités...), presque toutes les communes de la wilaya semblent évoluer. Hormis Ben Guecha et Taleb Larbi qui ont connu une décroissance démographique durant les deux dernières décennies, les autres ont un croit important.

Les communes les plus touchées par la rapidité de la croissance naturelle de la population sont Sidi Khelil, Sidi Aoun, Ben Guecha et Trifaoui. Et surtout dans les grandes agglomérations comme la commune d'El Oued où l'évolution démographique est trop élevée par rapport aux autres communes de la wilaya, ceci lié au développement des extensions urbaines, la modernisation et le commerce informel y est pour beaucoup.

La hiérarchisation communale selon le critère de la population groupée par rapport à la population totale met en évidence El Oued qui n'a que **122.87** hab. en dehors de l'agglomération principale qui compte **120 975** hab.

I-2- L'évaluation de l'espace urbain :

I-2-1- Le quartier : un micro espace :

Les différenciations morphologiques dans une mouvance au rythme de l'urbanisation, restent liées à la géographie urbaine. La réalité géographique du quartier urbain - qui participe étroitement à la dynamique des formes urbaines qui compose le paysage urbain - constitue un élément clef de repérage et d'identification des espaces urbains...

Cette réalité complexe ne serait être réduite, comme le soulignent certains géographes à : une simple typologie, établie de la répartition des fonctions et de l'utilisation du sol...

A propos de la ville d'El Oued, on note l'existence de trois types de quartiers (traditionnels, auto construits informels et planifiés qui se sont développés dans deux grandes périodes liées à l'histoire de la ville :

A - Période 1890 - 1980 :

- Les quartiers anciens (l'organisation spatiale traditionnelle) :

Cette période est marquée par la naissance et le développement de deux types de quartiers dans la ville d'El Oued, qui se sont caractérisés par un seul type de bâti :

Achache et Messabah, deux quartiers traditionnels, localisés au centre de la ville. Leur développement concentrique et leur structure organique définissent leur morphologie. Caractérisé par l'enclos (espace introverti), elle définit l'organisation, de l'espace privé

Les quartiers auto - construits (informels) ou l'organisation spatiale spontanée :
Par la même structure.

- Les quartiers auto- construits (informels) : (l'organisation spatiale spontanée) :

Leur structures générale est aussi définis par opposition entre espace semi privés (ruelles) qui contourne les îlots d'habitations et les espaces publics qui sont marqués beaucoup plus par les grand axes d'échange économiques (la rue est le prolongement de la placette linéaire matérialisée par les grands axes routiers, grandes voies mécanique) le long desquels se sont développés les quartiers informels. Entre autre le quartier Bab El Oued (1949-1970) qui se localise au sud de la ville : de part sa période de naissance et développement ce quartier est caractérisé par une forme homogène, malgré un peu différente de celle des quartiers traditionnels, elles restent définis par opposition entre les espaces semi privés (ruelles à l'intérieur de quartier) et les espaces publics (rue extérieure : axe de circulations et d'échanges...).

Cette organisation morphologique du quartier et le produit du groupe social, le reflet de sa culture et son mode de vie adapté à son micro- espace (le quartier).

B - Période 1960 -1980 :

- Aucune logique dans l'organisation spatiale planifiée :

Dans cette période, la nomination des quartiers a été établie par une période par une décision administrative sur la base de la circulaire ministérielle N° 111 du 31-08-1992 et mise à jour par l'assemblée communale qui a eu lieu à El Oued. Cette délimitation laisse apparaître des différenciations morphologiques dans les espaces bâtis qui peuvent regrouper deux à plusieurs types de bâtis...donc une composition du bâti à caractère hétérogène et une structure anarchique interrompue par les espaces larges qu'offre l'organisation sociale définie par une micro société.

Les communes de la wilaya d'El Oued connaissent un développement déséquilibré. Sur le plan de l'équipement (commerce, lits d'hôpital, médecins, pharmaciens,...), le niveau de plus de la moitié des communes est faible. Mais celles qui souffrent le plus sont Ben Guecha, Taleb Larbi, Douar El Ma ainsi que les communes de la daïra de Reguiba. Par contre, El Ogla et Hassani Abd Elkrim qui ne sont que chef lieux de commune sont mieux équipés que les daïras de Reguiba et Taleb Larbi.

Sur le plan social (scolarisation, assainissement, A.E.P, logements sociaux, électricité,...), le niveau semble être moyen y compris pour la capitale du Souf. Le groupe de commune le moins favorisé se compose de Tendla, hassi Khalifa, Robbah, Still et surtout Douar El Ma.

Tandis que sur le plan économique (exploitation de la SAU, rendement phoenicicole, élevage, mise en valeur, culture industrielles, emploi indudtrial...), trois communes émerge du lot et semblent en bonne santé : Reguiba, Guemar et debilla. Alors que Still, Merara et Douar El Ma souffrent économiquement aux infrastructures.

C- Période 1980 - 2003 :

Le développement de la forme de la ville planifiée dans l'époque (1980 - 2003), n'abrite à aucune logique d'extension en matière :

- De protection : les dunes qui formaient autre fois un relief en mouvement abritent des vents de sable et assurent une ventilation, aujourd'hui ont tendance à être rasées pour la construction de nouveaux logements - même si toute fois, le travail de terrassement revient cher.
- D'écologie : les oasis qui ont donnée naissance au développement urbain dans un microclimat agréable par la création des zones ombragées et fraîches, sont aujourd'hui en ruine. Les extensions planifiées sont localisé soit sur un site désertique, soit dans des poches urbaines dans les zones polluées par la montée de l'eau souterraine. Aujourd'hui, la ville entière est exposée à un grave problème écologique : les Ghouts ennoyés aux alentours de la ville sont lieu de pollution et de nuisance, ils présentent une eau qui stagne en surface.

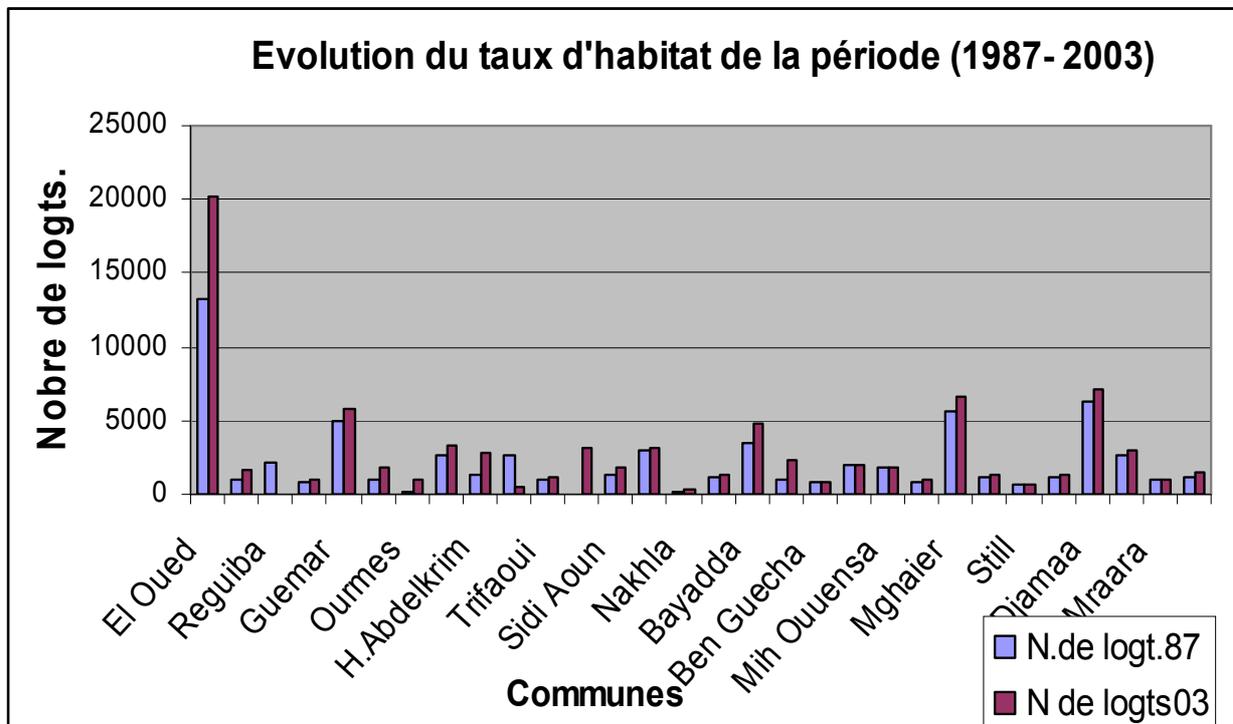
C-1- L'habitat du Souf en 1987- 2003 :

Tableau n° 35 :

Evolution de l'habitat du Souf en 1987- 2003 (D.U.C. El Oued) :

Communes	N.de logt.87	N de logts.03
El Oued	13230	20272
Kuinine	1002	1619
Reguiba	2227	4.953
Hamraia	859	1003
Guemar	4956	5862
Taghzout	1002	1857
Ourmes	226	926
Debila	2568	3364
H.Abdelkrim	1254	2733
Hassi Khalifa	2568	426
Trifaoui	952	1121
Magrane	3.002	3114
Sidi Aoun	1242	1808
Robbah	2959	3128
Nakhla	198	282
El Ogla	1232	1364
Bayadda	3524	4766
Taleb Larbi	1004	2346
Ben Guecha	787	798
Douar elmaa	1983	2047
Mih Ouensa	1751	1844
Oued Alenda	786	941
Mghaier	5645	6606
Sidi Khalil	1129	1375
Still	657	745
Oum Tiour	1212	1279
Djamaa	6258	7198
Sidi Amrane	2639	3016
Mraara	968	995
Tendla	1101	1545

Figure n° 29 :



D'après le tableau et le graphique n° 29, on constate qu'il y a une grande différence entre le taux d'équipement entre les deux périodes (87- 2003), et quand on met une relation entre le croisement de l'ensemble des indicateurs des quatre niveaux (équipement, démographie et socio-économique) et leur hiérarchisation ont mis en évidence des disparités communales très importantes. Le taux de logement en 2003 des communes d'El Oued, Guemar, Debila, djamaa et kuinine semble être le plus évolué, ou El Oued comptabilise 20272 logts suivi de très loin par Nakhla 282, Ben Guecha 798, Mraara 995 Et Still 745 logts, ceci prouve leur impact sur l'exploitation intense des eaux et puis sur les rejets et par conséquent le phénomène de la remontée de la nappe phréatique.

I-3- Problèmes structurels liés au développement de la région

d'étude :

L'environnement naturel du Souf a un impact sur la forme du développement de la ville d'El Oued. En générale, la forme de la ville peut être soumise à des conditions naturelles et donc au site.

Les principales contraintes rencontrées par décideurs et les chargés sont naturelles et peuvent être classées en deux types : physique et climatiques.

I-3-1- Les contraintes physiques :

Ces contraintes peuvent intervenir sur tous les secteurs : implantation d'équipement, réalisation d'infrastructures, développement agricole ou industriel, extension des agglomérations....etc.

Les principales contraintes physiques sont :

- La région du grande Erg oriental fortement ensablée ou les dunes de sable se déplacent et peuvent atteindre **100 m** de hauteurs.
- La zone des Chotts et des dépressions où les terres sont à très forte salinité et limitent la pratique agricole.
- La remontée des eaux de la nappe phréatique et ses répercussions négatives sur le bâti existant, sur les différents réseaux et même sur les palmiers qui dépérissent par asphyxie due à l'excès d'eau.

I-3-2- Les contraintes climatiques :

La configuration du paysage urbain définis par deux contraintes (les dunes de sable et les palmeraies) qui développent un micro- climat agréable autour d'un bâti ramassé et compact.

Parmi les plus importantes contraintes, on peut citer :

- La faiblesse des précipitations (**80 mm / an**).
- La fréquence pendant presque toute l'année des vents violents.
- Le CHIHILI (ou sirocco) provoque des dégâts très importants (dessèchement, déshydratation).

Les vents de sable freinent considérablement l'activité socio économique et envahissent les cultures.

- Les fortes températures estivales accélèrent le processus d'évaporation (plus de **2600 mm / an**) dépassant ainsi les quantités de précipitations reçues en une année, ce qui cause un important déficit en eau.

I-3-3- Autre contraintes :

- L'éloignement des sources d'approvisionnement en matériaux de construction et de produits de large consommation.
- L'inexistence d'entreprises performantes notamment dans les secteurs des routes et de la construction.

I-4- La logique d'adaptation aux conditions naturelles :

I-4-1-La topographie :

La ville d'el Oued est née sur un site naturel, et entre deux situations coexistantes mais contradictoires d'une part, il s'agit des grandes dunes de sables en mouvements par les effets des vents (relief instable), d'autre part, les palmeraies paysage agricole important (richesse, fierté et peut être raison d'être des habitants).

I-4-2- Le matériel rocheux :

Localisé sur un site naturel qui offre une diversité de matériaux locaux de construction. La forme spontanée de la ville d'El Oued dans la région du Souf répondait à une logique de conception physique reproduite de celle de l'époque traditionnelle qui s'adapte aux conditions naturelles de la région, et est constaté dans les matériaux de construction et leur mode de fabrication (leurs rôles est définis dans le climat), par leur couleurs, leur texture, et leur compositions chimiques).

II- Avantages et inconvénients dans les situations géographiques et régionales de la ville :

Aujourd'hui l'armature urbaine de la wilaya s'articule autour du seul pôle principale d'El Oued à partir du quel tissent plusieurs liaisons et relations économiques et spatiales.

On note un déséquilibre dans l'armature urbaine qui nécessite selon le PDAU2005 phase III (plan directeur d'aménagement et d'urbanisme) une réorganisation du territoire de la wilaya qui doit se baser principalement sur la création de pôles d'équilibre et de développement de nouveaux centres urbains assez éloignés du chef lieu de la wilaya (carte n°15).

II-1- Avantage de la vision P.D.A.U 2005 :

El Oued. Joue un rôle important dans plusieurs domaines :

- Dans le domaine de la culture, la plus dominante est celle des palmiers, malgré les problèmes de la montée de la nappe phréatique qui a causé la disparition des milliers de palmiers.
- Dans le domaine du commerce, le marché journalier rayonne au-delà des limites de wilaya.
- Une extension remarquable de la ville (une vaste extension du centre universitaire, des petites unités de l'industrie - mine et carrière (E.N.D.U.M.G) pour exploiter et minimise les dunes de sables,...
- Réalisation des réseaux d'assainissement (El Oued, Bayada et Kuinine), et d'autres propositions dans les communes isolées.

II-2- Inconvénient de la vision P.D.A.U 2005:

Les études notent que les principales contraintes sont d'ordre physique et climatique :

- Relief dunaire et de dépression limitant la pratique agricole.
- Faiblesse des précipitations.
- La remontée de la nappe phréatique surtout au fond des ghouts posant des problèmes sérieux à la survie des palmeraies d'autant plus que ces eaux sont mélangées d'eau usées, le drainage est quasi - impossible du fait de l'inexistence d'exutoire naturel dans lequel ces eaux peuvent déverser.
- L'ensablement continu des ghouts.
- La conduite traditionnelle de l'agriculture (système des ghouts) constituant un problème limitant la phoéniculture.

Carte n°: 13

P D A U 2005-PHASE 03- DE LA COMMUNE D'EL OUED



LEGENDE

-  LIMITE DE LA COMMUNE
-  HABITAT EXISTANT
-  EQUIPEMENTS EXISTANT
-  LIGNE ELECTRIQUE DE HAUTE TENSION
-  LIGNE ELECTRIQUE DE MOYENNE TENSION
-  CLOTURE
-  DUNE DE SABLE
-  PALMES EXISTANT
-  ESPACES VERTS EXISTANT
-  MUR DE SOUTÈNEMENT POUR LES CONSTRUCTIONS
-  DECHARGE PUBLIC
-  SENS D'EXTENSION AU FUTUR
-  HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU COURT TERME
-  HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU COURT TERME
-  EQUIPEMENTS PROPOSES AU COURT TERME
-  TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU COURT TERME
-  HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU MOYEN TERME
-  HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU MOYEN TERME
-  EQUIPEMENTS PROPOSES AU MOYEN TERME
-  TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU MOYEN TERME
-  PLACETTE PUBLIC PROPOSEE
-  ESPACES VERTS PROPOSES
-  TERRAINS AGRICOLES
-  ZONE D'ACTIVITE

ECHELLE: 1/500

SOURCE: URBA*BATNA -ANTENNE DE BISKRA

- La qualité chimique des eaux (forte teneur en fluor).
- La haute température des eaux du C.I et la réalisation du système de refroidissement.

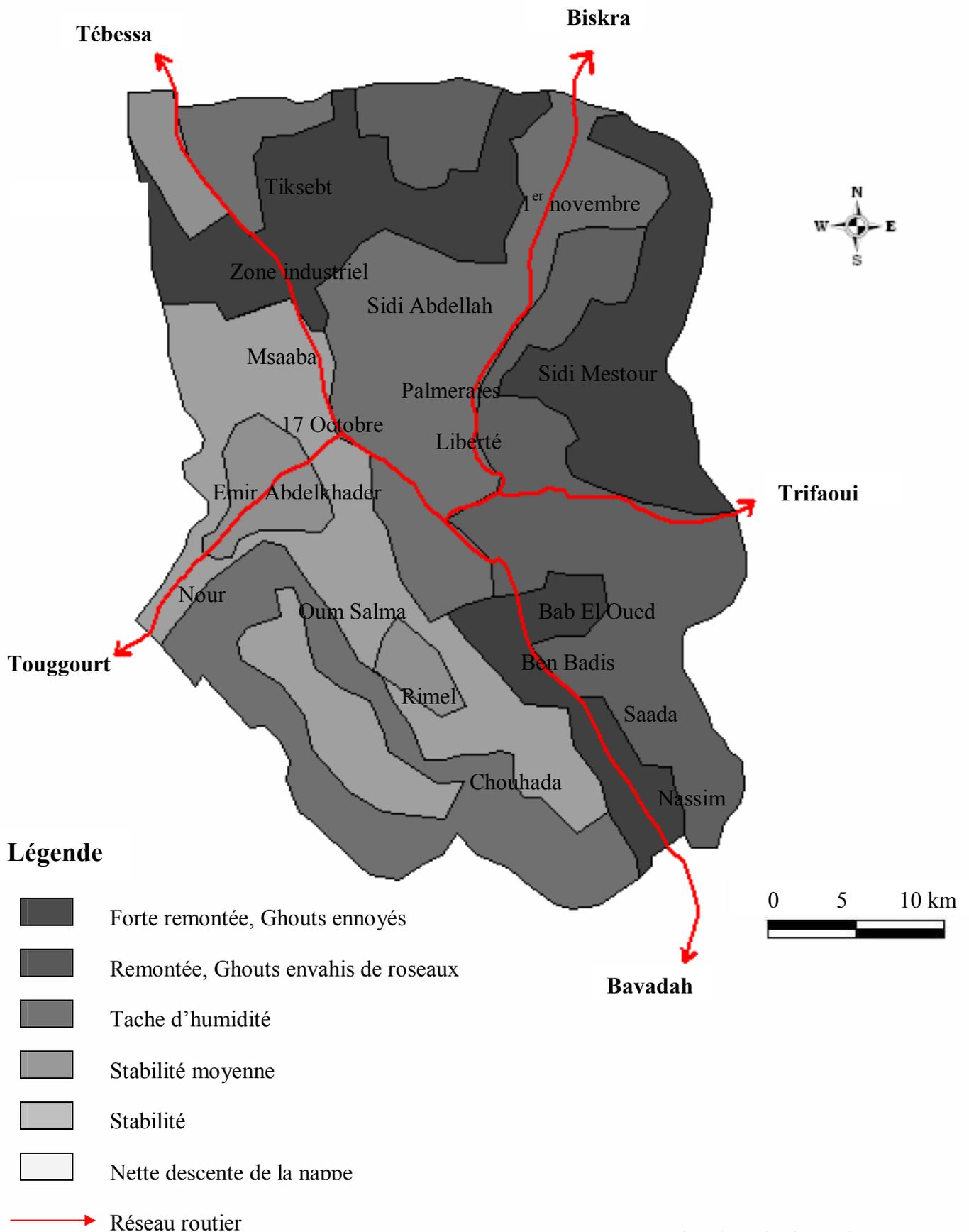
III - Impact de l'évolution urbaine sur la remontée de la nappe phréatique :

A travers la superposition de la carte du comportement de la nappe phréatique et le PDAU de la ville d'El Oued, on a déterminé une 3^{ème} carte.

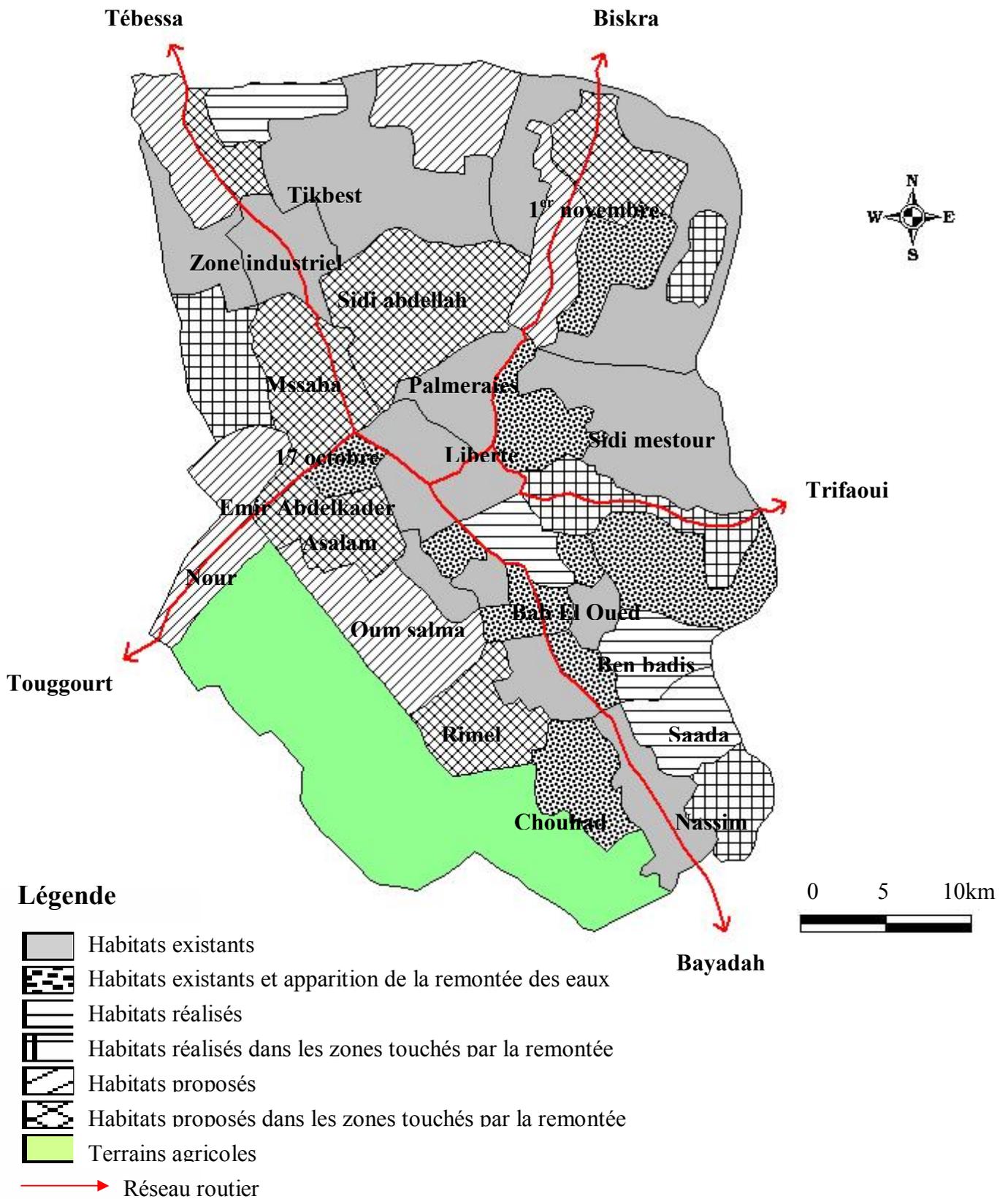
C'est celle de l'impact de l'évolution urbaine sur la remontée de la nappe phréatique. Elle nous renseigne sur l'impact de l'augmentation du niveau d'habitat dans des différentes directions vulnérables à notre phénomène étudié, surtout l'habitat proposé dans les zones touchées par la remontée et particulièrement l'extension du tissu urbain vers le Nord où on trouve les zones très basses (Sidi Mes tour, Mssaba, Tiksebt...).

Il est étonnant de découvrir des propositions d'aménagement et de développement dans les zones vulnérables, et qui sont capables d'être un aléa ou un risque environnemental dans le futur le plus proche, avec l'absence d'un système d'assainissement fiables et la mauvaise gestion des rejets urbains dans la région, précisément avec l'accroissement remarquable de la population et leur extension anarchique dans l'espace.

Comportement de la nappe phréatique dans la ville d'El Oued



Impact de l'évolution urbaine sur la remontée de la nappe phréatique



Source : superposition des cartes : comportement de la nappe phréatique ; PDAU d'El Oued.

Aujourd'hui, El Oued est une ville au Sahara, mais architecturalement parlant, elle est bien peu une ville saharienne. Il y a là un malaise urbain profond. Les Soufis se sont moins bien réapproprié l'urbanisme de leur villes que les agriculteurs le sort de leur ghouts.

Alors que la ville n'avait que **10.000** habitants, elle utilisait pour assiette la longue Sahane bordant à l'ouest le couloir des ghouts. C'est-à-dire un terrain sensiblement plat, sableux, sous tendu par un encroûtement résistant, donc un assise favorable à la construction. Les rues en sable ne posaient pas problème.

A travers cette extension apparaît l'impact socio- spatial de la remontée de la nappe : elle touche principalement les quartiers pauvres (Chott, Sidi Mes tour).

Alors que les catégories aisées tendent à s'installer dans la partie ouest, plus élevé.

Mais il est un cas inverse ou la ville, pour pouvoir continuer à vivre, a dû faire appel à du sable qui lui manquait. C'est celui des ghouts ennoyés en territoire urbain, devenus source de pollution et de moustiques.

L'analyse des trois types de tissus urbains observée dans les trois type de quartier (traditionnel, informel, et planifié) de la ville d'El Oued, confirme nos hypothèses et nos objectifs du départ : la reproduction de quelque éléments de l'espace traditionnel dans l'espace informel, par une logique d'adaptation aux conditions et aux environnements politiques

Deuxième chapitre

Réseau d'assainissement et d'AEP

Avant les années **70**, les habitants du Souf vivaient en équilibre avec leur nappe phréatique. Ils y puisaient l'eau domestique et évacuaient les eaux usées vers le sous-sol sableux par l'intermédiaire de puits perdus. L'auto-épuration naturelle une fois accomplie, les eaux rejoignent la nappe et le système est ainsi fermé faute de débouché sur la mer ou de drain conséquent. L'équilibre est assuré par le fait que le volume d'eau consommé ne dépasse pas le volume d'eau débité.

L'urbanisation, l'accroissement de la démographie et la mutation sociale vers un mode de vie moderne ont suscité des nouveaux besoins hydriques. La nappe libre ne suffit plus à elle seule.

S'agissant du transfert inter-nappes, il faut souligner que l'utilisation des eaux des nappes du C.I et du C.T contribue fortement à la remontée de la nappe superficielle. Ce transfert était facilité par la vétusté des équipements des anciens forages.

Il est à noter par ailleurs, que les études techniques réalisées dans le Souf ne mentionnent pas l'existence d'une interaction par des mouvements de sols : (failles, perméabilité...etc) entre les différentes nappes et principalement entre la nappe phréatique et celles sous-jacentes.

Sur un autre plan, la topographie de la région d'El Oued, est très vallonnée avec des zones basses et des dépressions, ainsi qu'une très forte perméabilité du sol (**90 %** de sable) facilite l'infiltration des eaux d'irrigation, de pluies et des fosses septiques vers la nappe phréatique. Cette situation est aggravée par le manque d'exutoire naturel proche de la région.

I- L'eau à El Oued disponibilité et contraintes :

Dans le domaine de l'alimentation en eau potable, la wilaya d'El Oued compte un total de **109** forage avec un débit total de **4966,6 l/s**.

La part du Chef lieu de Wilaya est de **575 l/s** soit **11,5 %** du débit total et **355 l/h/j**. suivi de loin par Guemar, Reguiba et Hassi Khalifa avec respectivement **440 l/s**, **360 l/s** et **320 l/s**.

Les communes qui souffrent sur le plan du nombre de forage et de volume d'eau produit à la source sont Robbah (**90 l/s**), Still (**40l/s**), Ogla (**87 l/s**), Mih Ouensa, Oum Tiour et Oued Alenda (**85 l/s**) et surtout Ben Guecha avec **09** litres par seconde.

Rapportée à la population de chaque entité administrative, cette classification basée sur le débit réel est complètement remise en cause. Avec ses **09** litres/s, Ben Guecha offre à sa population **429 l/h/j** et est mieux dotée que le chef lieu de wilaya qui n'arrive qu'à **355 l/h/j**. Merrara qui n'a qu'un faible débit relativement au autres (**100 l/s**) arrive à **1103 l/h/j**.

Reguiba et Sidi Amrane ont dépassé le cap des **1000 l/h/j**. Dans les autres agglomérations on révèle un dépôt de sel important et notamment à l'Est où l'eau est salée et saumâtre (dans certains puits la teneur en sel varie de **2 à 6 g/l**, chlorure de sodium et de magnésium), parfois eau de chotts. A l'intérieur des localités, l'eau est généralement saumâtre mais buvable.

Mais ce qui paraît le plus étonnant c'est le fait que la commune de Ourmès arrive à satisfaire les besoins de sa population en matière d'AEP avec seulement **03** forages, un débit de **105 l/s** mais **288.5 l/h/j**.

Le nombre de châteaux d'eau au niveau de toute la wilaya s'élève à **64** avec une capacité globale de **45.680 m³**. El Oued chef lieu compte à elle seule **7000 m³** soit **15.3 %** de la capacité totale (voir figure n°30).

L'analyse des données statistiques révèle que les villes qui viennent après El Oued du point de vue affectation sont respectivement El Mghaier avec **3500 m³**, Guemar et Magrane avec **2750 m³**. Hassani Abdelkrim avec **2500 m³**, Debila et Robbah avec **2250 m³**.

En analysant ces chiffres, on constate, à l'exception des communes de la Daïra de Taleb Larbi qui ont moins de **100 l/h/j** (selon le canevas n°=02 de la direction de l'hydraulique de la wilaya d'El Oued), que l'on dépasse dans tous les cas la norme ministérielle fixée à **150** litres par jour par habitant et que parfois, cette norme est largement dépassée dans plusieurs centres et c'est tout à fait normale en l'absence des compteurs d'eau.

I-1- Qualité des eaux :

a - Nappe phréatique :

Les eaux de la nappe phréatique montrent une grande homogénéité chimique et présentent un faciès (sulfate, chlorure, calcique et magnésien).

On constate pour l'ensemble des ions majeurs que les valeurs dépassent les normes de référence guides admises à l'échelle internationale pour l'alimentation en eau potable.

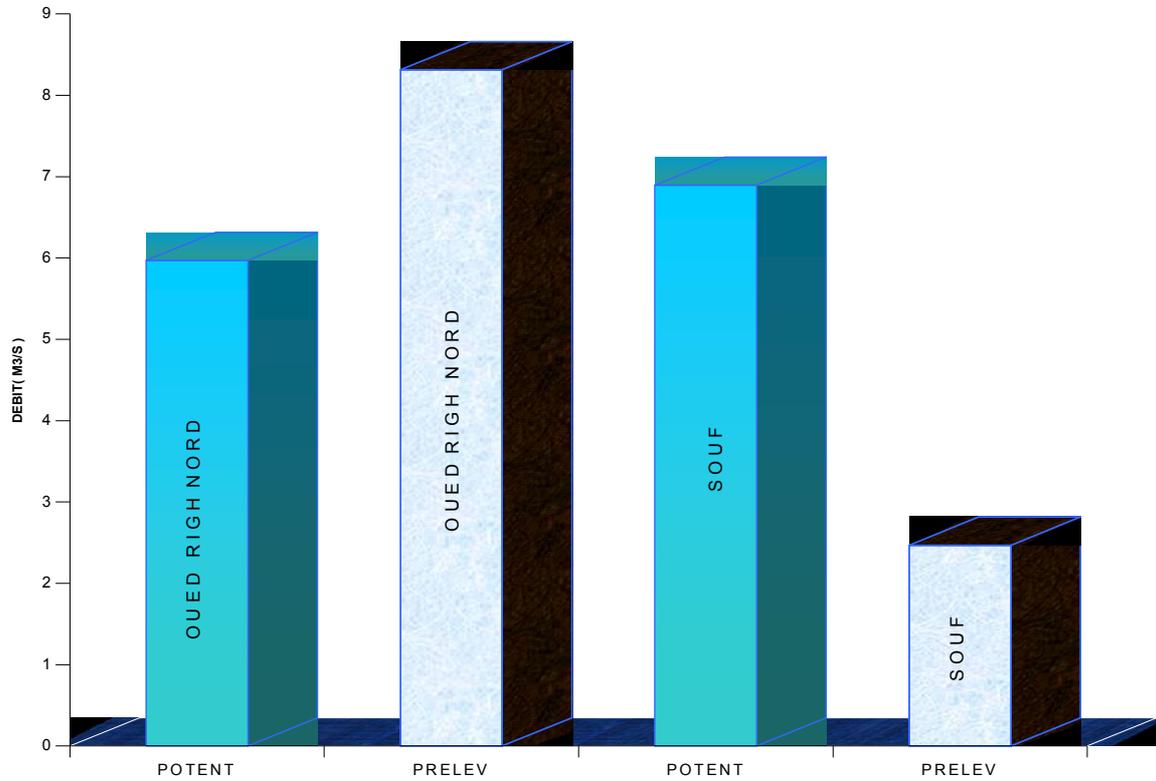
Ces teneurs significatives présentes dans les eaux de la nappe phréatique trouvent leur origine dans la dissolution et le lessivage des sels présents dans la matrice de l'aquifère tels que la calcite (CaCO₃), le gypse (CaSO₄ · 2H₂O) et l'halite (NaCl)... etc.

b- Complexe Terminal :

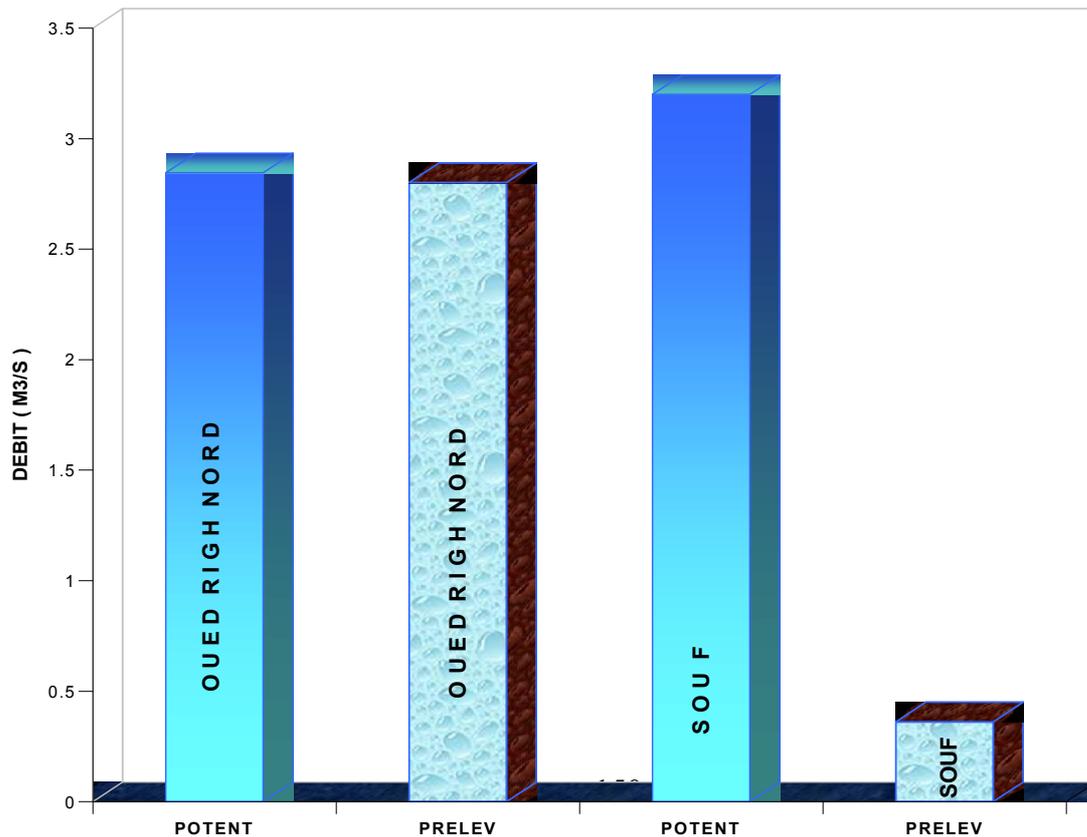
Dans la région d'El Oued, le faciès chimique dominant des eaux de la nappe du Complexe Terminal est sulfaté magnésien. Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec variant entre **1,6 à 2,7 g/l**. Notons que dans la vallée de l'Oued Rhig, les eaux de cette même nappe sont plus chargées, elles oscillent entre **3,5 et 4,5 g/l** de résidu sec.

Figure n°30

RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA D'EL OUED - NAPPE DU C.T.



RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA D'EL OUED
NAPPE DU C.I.



c- Nappe du Continental Intercalaire (Albienne) :

Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec variant entre **1,8 à 2,1 g/l**. Le faciès chimique dominant est de type sulfaté magnésien au Sud, tandis qu'au Nord, il est sulfaté sodique. La qualité chimique est généralement passable à médiocre.

d- la qualité chimique des eaux dans les ghouts agricoles :

En vue de suivre l'évolution de la salinité des eaux dans les ghouts agricoles, il a été entrepris sur une cinquantaine de sites représentatifs de l'ensemble de la vallée, des prélèvements d'échantillons d'eau pour analyse.

L'interprétation des données et l'élaboration de document sont en cours d'achèvement.

I-2- Réseau d'AEP :

Toutes les agglomérations situées dans l'air de l'étude sont desservies par un réseau d'eau potable. Le taux de raccordement moyen est élevé à **87 % (BG, 2001)**.

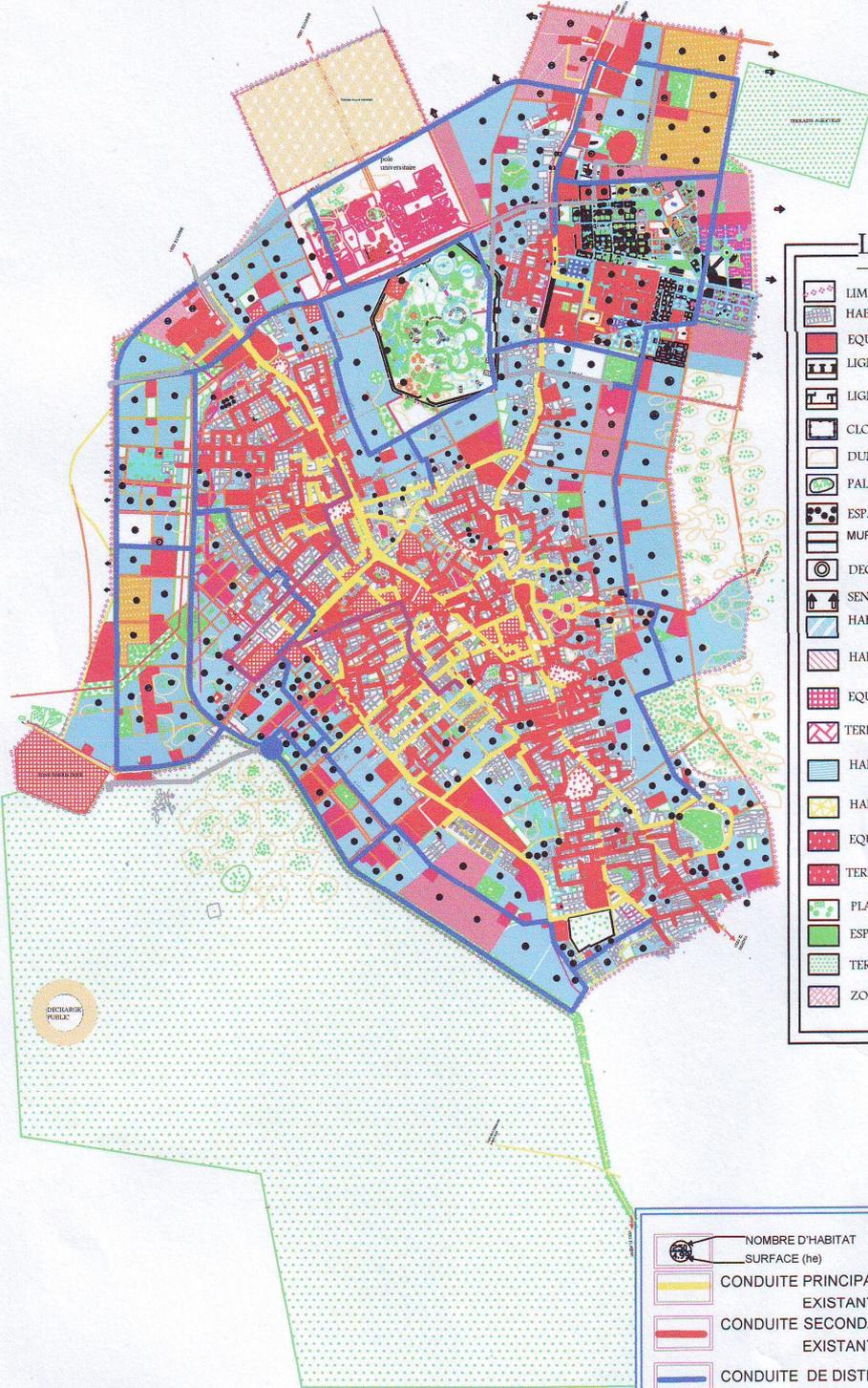
Le réseau d'AEP dans la ville d'El Oued (d'après le tracé sur PDAU **2005** phase **III**, **carte n°18**) couvre à environ **54 %** de la surface total de la structure urbaine, ou la qualité physique de canalisation est mauvaise à **75 %**.

L'alimentation en eau potable au niveau de la ville vient de :

- Un forage de l'Albien à travers la route de Togurt avec **220 l/s**, il a un canal de **300 mm** de diamètre qui alimente le réservoir de la cité de **400** logements avec **1000 m³**, et qui alimente lui-même la cité d'El Asnam.
- Le forage de l'Albien (Chohada), avec **222 l/s**, qui alimente le réservoir de la cité de **19** mars qui a une aptitude de **1500 m³** a travers un canal de **250 mm** de diamètre.
- Le réservoir du Chott (**1000 m³**), qui s'alimente du forage de **25 l/s**.
- Le réservoir de Sidi Mestour (**1000 m³**), qui s'alimente du forage de **35 l/s**.
- Le réservoir d'Elouedi (**500 m³**).

Carte n°17

TRACE DU RESEAU D' EAP -COMMUNE D'EL OUED-



LEGENDE

- LIMITE DE LA COMMUNE
- HABITAT EXISTANT
- EQUIPEMENTS EXISTANT
- LIGNE ELECTRIQUE DE HAUTE TENSION
- LIGNE ELECTRIQUE DE MOYENNE TENSION
- CLOTURE
- DUNE DE SABLE
- PALMES EXISTANT
- ESPACES VERTS EXISTANT
- MUR DE SOUTÈNEMENT POUR LES CONSTRUCTIONS
- DECHARGE PUBLIC
- SENS D'EXTENSION AU FUTUR
- HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU COURT TERME
- HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU COURT TERME
- EQUIPEMENTS PROPOSES AU COURT TERME
- TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU COURT TERME
- HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU MOYEN TERME
- HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU MOYEN TERME
- EQUIPEMENTS PROPOSES AU MOYEN TERME
- TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU MOYEN TERME
- FLACETTE PUBLIC PROPOSEE
- ESPACES VERTS PROPOSES
- TERRAINS AGRICOLES
- ZONE D'ACTIVITE

- NOMBRE D'HABITAT
- SURFACE (he)
- CONDUITE PRINCIPALE DE DISTRIBUTION D' AEP EXISTANTE
- CONDUITE SECONDAIRE DE DISTRIBUTION D' AEP EXISTANTE
- CONDUITE DE DISTRIBUTION D' AEP PROPOSEE
- CONDUITE D' ADDUCTION D' AEP EXISTANTE
- CONDUITE D' ADDUCTION D' AEP PROPOSEE
- RESERVOIR PROPOSE
- FORAGE PROPOSE

ECHELLE: 1/5000

SOURCE: URBA*BATNA -ANTENNE DE BISKRA

Et pour mieux appréhender le rôle et l'impact de ce réseau, il convient de déterminer les besoins journaliers et le débit spécifique du réseau d'AEP :

a- Calcul du besoin journalier :

$$Q_j = N.G$$

Ou :

Q_j : débit du besoin journalier,

N : nombre de population (**4000** individus),

G : consommation journalière (**180 l/s**).

Donc :

$$Q_j = \frac{4000.180}{86400}$$

$$Q_j = 8.333 \text{ l/s.}$$

b - Calcul du débit journalier maximal :

$$Q_j \text{ max} = Q_j. C_s$$

Ou :

C_s : coefficient de sécurité (**1.2**).

Donc :

$$Q_j \text{ max} = 9.9996 \text{ l/s.}$$

c - Calcul de débit de pointe :

$$Q_p = Q_j \text{ max. } K_p$$

Ou :

K_p : coefficient horaire (**2**).

Donc :

$$Q_p = 19.9992 \text{ l/s.}$$

d - Calcul de débit spécifique :

$$Q_s = \frac{Q_p}{L}$$

Ou :

L : longueur total du réseau (**13190m**).

Donc :

$$Q_s = 0.00152 \text{ l/s/m.}$$

D'après les résultats des calculs précédents on constate que les débits de consommation journalière en eau potable est trop élevés (l'approvisionnement en eau potable utilise **80 %** de ce volume se traduisant par une dotation de plus de **450 l/j/hab**), par apport au taux des réservoirs naturels, par conséquent le service de distribution d'eau potable connaît toutefois de nombreuses insuffisances :

- réseau vétuste,
- branchements illicites,
- absence de compteurs d'eau, et le contrôle des puits et des forages,
- utilisation de l'eau pour l'arrosage des jardins,

L'ensemble de ces insuffisances a généré pertes et gaspillages d'eau, aggravant l'alimentation de la nappe phréatique.

I-2-2- Descriptif des travaux projetés :

A travers les plannings intégrés au **PDAU 2005** phase **III**, et au cours du développement future de la population à court et moyen terme, des propositions relatives au réseau dans son aspect, distribution ou emmagasinement apparaissent à travers quelques communes :

Commune d'El Oued :

- Des canaux principaux (**200-300 mm** de diamètre), au niveau des grands axes urbains.
- **05** réservoirs d'eau (**1500 m³** pour chacun) au moyen terme, dans les différents points d'extension, pour créer un équilibre de distribution.
- Un canal de pompage d'eau pour les habitats isolés (voir **PDAU**).

Commune de Kouinine :

- Un réseau de distribution liée au réseau qui existe actuellement pour les besoins future au moyen terme.

Commune de Bayadha :

- Un réservoir (**1000 m³**), dans la cité du **05** juillet.
- Annuler **100 m** de canaux vétuste (**100 mm** de diamètre) dans la cité d'El Izdihar, et **50 m (200mm)** dans la cité du 1^{er} Novembre.

Pour les autres communes, il n'y a aucune proposition soulignée au niveau du **PDAU 2005**.

On remarque cependant l'absence d'une vision globale et intégrée en terme de gestion de la ressource tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

II- Réseau d'assainissement :

Les seules agglomérations pour lesquelles il existe un réseau d'assainissement des eaux usées sont Guemmar et El Oued :

- Pour Guemmar, le réseau qui concerne les quartiers nord de la ville a une longueur de **6 km** environ. En l'absence de station de pompage à l'aval, ce réseau n'a pas été mis en service.
- Pour El Oued, l'ossature du réseau (diamètres de **200 à 600 mm**) a une longueur de **23 km** environ. Selon les analyses effectuées en bout de réseau, une fraction de la population de seulement **10%** environ serait raccordée à ce réseau. Les eaux provenant de ce réseau sont rassemblées au niveau de la station de pompage **ST 10** d'où elles sont refoulées au Nord de la ville, ainsi que les eaux de drainage, pour être déversées dans des espaces inter dunaires, en bordure de la route vers Hassani Abdelkrim.

II-1-1-Le mode d'assainissement :

Il existe presque un seul mode d'assainissement dans la région du Souf :

II-1-1-1-Assainissement autonome :

Zone où la pose d'égouts n'est pas envisagée. Les habitants doivent épurer eux-mêmes leurs eaux usées en équipant leur maison d'un système d'épuration individuelle.

Le schéma Directeur prévoit que continueront à être assainis en autonomes toutes les habitations qui ne sont pas comptées ci-dessus, c'est à dire :

- les hameaux ou habitations éparses qui sont situés en périphérie des localités assainies en collectif, environ **132 000** habitants en **2030**.
- les « irréductibles » ou les « connections infaisables » des Chefs Lieux des localités assainies en collectif, environ **40 000** habitants en **2030**.
- les localités de Mihouensa, Nakhla, Ogla, Trifaoui, Oued Alenda, Ourmes, ainsi que les hameaux et habitations éparses qui sont situées dans leur périphérie : environ **62 000** habitants en **2030**.

L'amélioration progressive des systèmes d'assainissement individuels existants ainsi que les systèmes d'assainissements individuels à mettre en place lors de la construction de nouvelles habitations est prévue.

II-1-1-2- L'aptitude des sols à l'assainissement autonome :

Partout où la nappe est située à plus de **3 m** de profondeur, les sols sont aptes à l'assainissement autonome.

II-2- L'impact de l'assainissement sur la nappe phréatique :

En milieu urbain, le niveau de la nappe est très élevé du fait des pertes liées aux fuites et aux rejets des eaux usées directement dans les sols.

De manière générale, la mise en œuvre d'un réseau d'assainissement permettra de limiter le phénomène de remontée de la nappe dans les agglomérations qui y sont soumises (Débila, Hassani Abd El Krim, Zgoum, Hassi Khalifa, Magran et Hamadine, Reguiba, Sidi Aoun, Guemmar, Taghzout, Bayadha, El Oued, Kouinine) et qui représenteront une population totale de près de **475 000** habitants en **2030**.

Pour El Oued, où ce phénomène est particulièrement aigu, la présence d'un réseau de drainage en plus d'un réseau d'assainissement s'impose à plus d'un titre.

Le drainage s'effectuera par un ensemble de regards connectés à un réseau sous pression dont l'exutoire sera la station de refoulement **ST10**. Cette station existante par laquelle transitent actuellement les eaux de drainage et les eaux usées d'El Oued seront dans le futur uniquement dédiée aux eaux de drainage. Pour les eaux usées, elle sera remplacée par la nouvelle station de refoulement **SP-EU1**.

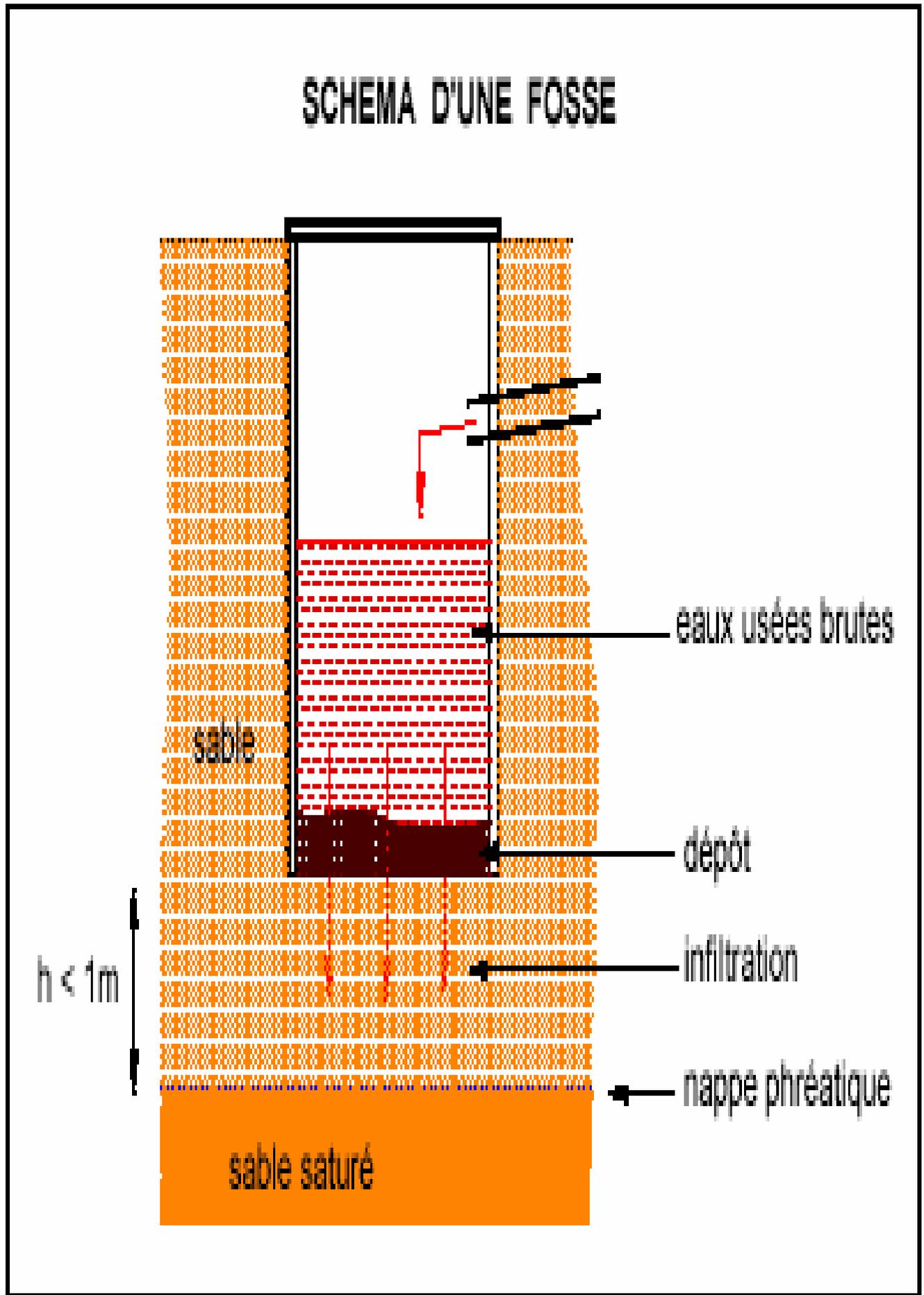
II-2-1- Impact des fosses septiques et le cycle de nitrification - dénitrification :

Dans la fosse septique, l'épuration met en jeu un phénomène physique de décantation qui permet de retenir les matières en suspension, et un phénomène biologique de fermentation des boues décantées selon des processus anaérobies qui conduisent à une minéralisation des boues. Le dépôt résiduel qui s'accumule dans la fosse, rend sa vidange périodique nécessaire tous les **2 à 4 ans**.

La fosse reçoit l'ensemble des eaux usées de l'habitation. Son volume minimal s'élève à **4 m³** pour une habitation de **6 personnes**, et à **1 m³** supplémentaire pour **2 personnes supplémentaires**. (Avec l'hypothèse que **2 personnes supplémentaires** correspondent à une pièce supplémentaire).

A l'heure actuelle, la pollution par fosse septique individuelle n'est pas mise en évidence, elle subirait une épuration par dénitrification naturelle. Seules les fortes concentrations amèneraient un pic de pollution. Le fond des fosses septiques pourrait être très proche de la nappe phréatique, ce qui empêcherait le processus de dénitrification (figure n°31).

Figure n° 31



Le cycle de nitrification - dénitrification est complexe. Il est réglé par l'activité de bactéries présentes dans le sol. Il se réalise naturellement lorsque les conditions sont favorables, de la même façon que dans une station d'épuration conçue pour l'élimination des nitrates selon le processus bien déterminé (figure n°32).

A El Oued, les sables dunaires, en contact permanent avec l'atmosphère sont bien oxygénés, si la nappe phréatique, n'est pas trop proche du sol, la nitrification peut s'effectuer. Les rejets s'infiltrent ensuite jusqu'à la nappe phréatique où, en phase d'anoxie, les bactéries utilisent l'oxygène des nitrates et rejettent l'azote gazeux qui retourne à l'atmosphère.

Tableau n°36 :

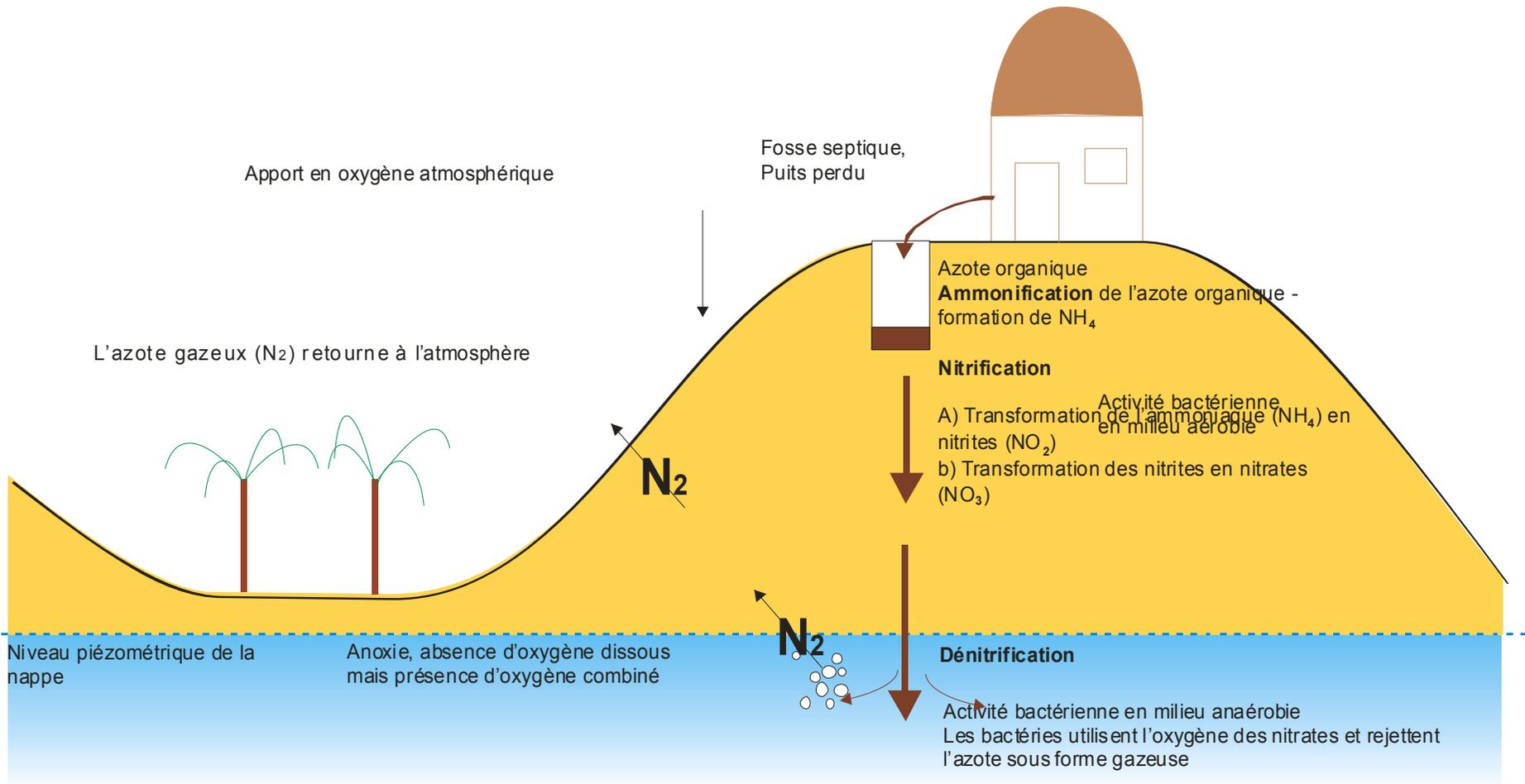
Nombre de fosses pour les communes de Oued Souf (BG-AGEP, 2001).

Commune	Nombre de fosses
Bayadha	3051
El Oglâ	470
El Oued	11665
Debila	2011
Guemar	2612
Hassi Abdelkrim	1784
Hassi Khalifa	2195
Kouinine	1016
Magrane	1941
Milhouansa	613
Nakhla	1155
Oued Alenda	513
Ourmes	404
Reguiba	2455
Robbah	2006
Sidi Aoun	845
Taghzout	849
Trifaoui	680
Total	36265

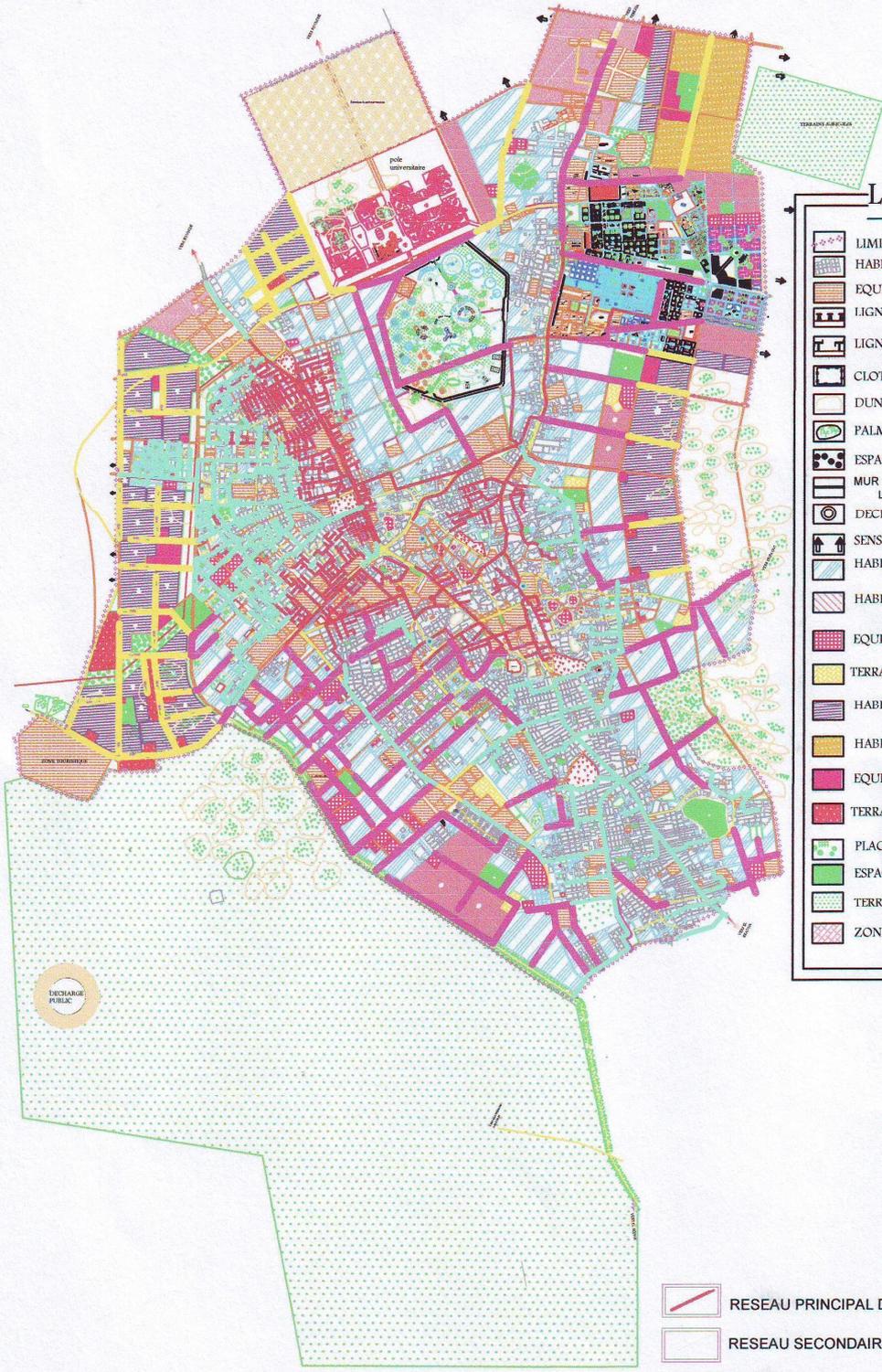
II-3- Réseaux de collecte et réseaux de transfert :

Les réseaux de collecte sont les réseaux qui desservent les abonnés, c'est à dire les réseaux qui sont situés dans les agglomérations. Ils sont repérés et étudiés indépendamment, par agglomération. Leur nomenclature est donnée dans la partie du rapport du PDAU phase III et dans les plans relatifs à l'agglomération concernée (voir carte n°19).

Cycle de dénitrification d'El Oued



TRACE DU RESEAU D' ASSAINISSEMENT -COMMUNE D'EL OUED-



LEGENDE

- LIMITE DE LA COMMUNE
- HABITAT EXISTANT
- EQUIPEMENTS EXISTANT
- LIGNE ELECTRIQUE DE HAUTE TENSION
- LIGNE ELECTRIQUE DE MOYENNE TENSION
- CLOTURE
- DUNE DE SABLE
- PALMES EXISTANT
- ESPACES VERTS EXISTANT
- MUR DE SOUTÈNEMENT POUR LES CONSTRUCTIONS
- DECHARGE PUBLIC
- SENS D'EXTENSION AU FUTUR
- HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU COURT TERME
- HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU COURT TERME
- EQUIPEMENTS PROPOSES AU COURT TERME
- TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU COURT TERME
- HABITAT INDIVIDUEL PROPOSE AU MOYEN TERME
- HABITAT SEMI COLLECTIF PROPOSE AU MOYEN TERME
- EQUIPEMENTS PROPOSES AU MOYEN TERME
- TERRAINS RESERVEES AUX EQUIPEMENT DU MOYEN TERME
- PLACETTE PUBLIC PROPOSEE
- ESPACES VERTS PROPOSES
- TERRAINS AGRICOLES
- ZONE D'ACTIVITE

ECHELLE: 1/5000

- RESEAU PRINCIPAL D'EAU EXISTANT
- RESEAU SECONDAIRE D'EAU EXISTANT
- CONDUITE D'EAU PROPOSEE AU COURT TERME
- CONDUITE D'EAU PROPOSEE AU MOYEN TERME
- COLLECTEUR PROPOSE
- STATION DE POMPAGE PROPOSEE
- DIAMETRE DES CONDUITES
- SENS D'ECOULEMENT

SOURCE: URBA-BATNA -ANTENNE DE BISKRA

Les réseaux de transfert sont les réseaux qui relient les agglomérations, les stations dépuratoires et le lieu de rejet. Ils sont de **2** types :

- les réseaux qui amènent les eaux brutes depuis l'exutoire des agglomérations jusqu'aux stations d'épuration.
- Les réseaux qui convoient les eaux traitées.

La situation des points, des réseaux et leur nomenclature est donnée par la figure (fig. n°33)

II-3-1-Fonctionnement et conception du réseau :

La carte ci-après (carte n°20), synthétise ces éléments. Elle comporte les limites **PDAU** des assainissements collectifs, celles de l'assainissement autonome, les sites de stations d'épuration, les tracés de canalisations de transfert des eaux brutes jusqu'aux stations, et ceux des collecteurs de transport des eaux traitées en bleu. Ainsi les rejets de près de **427000** habitants sont-ils attendus dans les stations d'épuration en **2030**.

Les zones assainies en collectif correspondent le plus souvent aux Chef-lieux des agglomérations concernées.

Dans le Schéma Directeur, comme suite à l'enquête assainissement, il a été considéré que **80%** de la population des zones visées par l'assainissement collectif se raccorderaient.

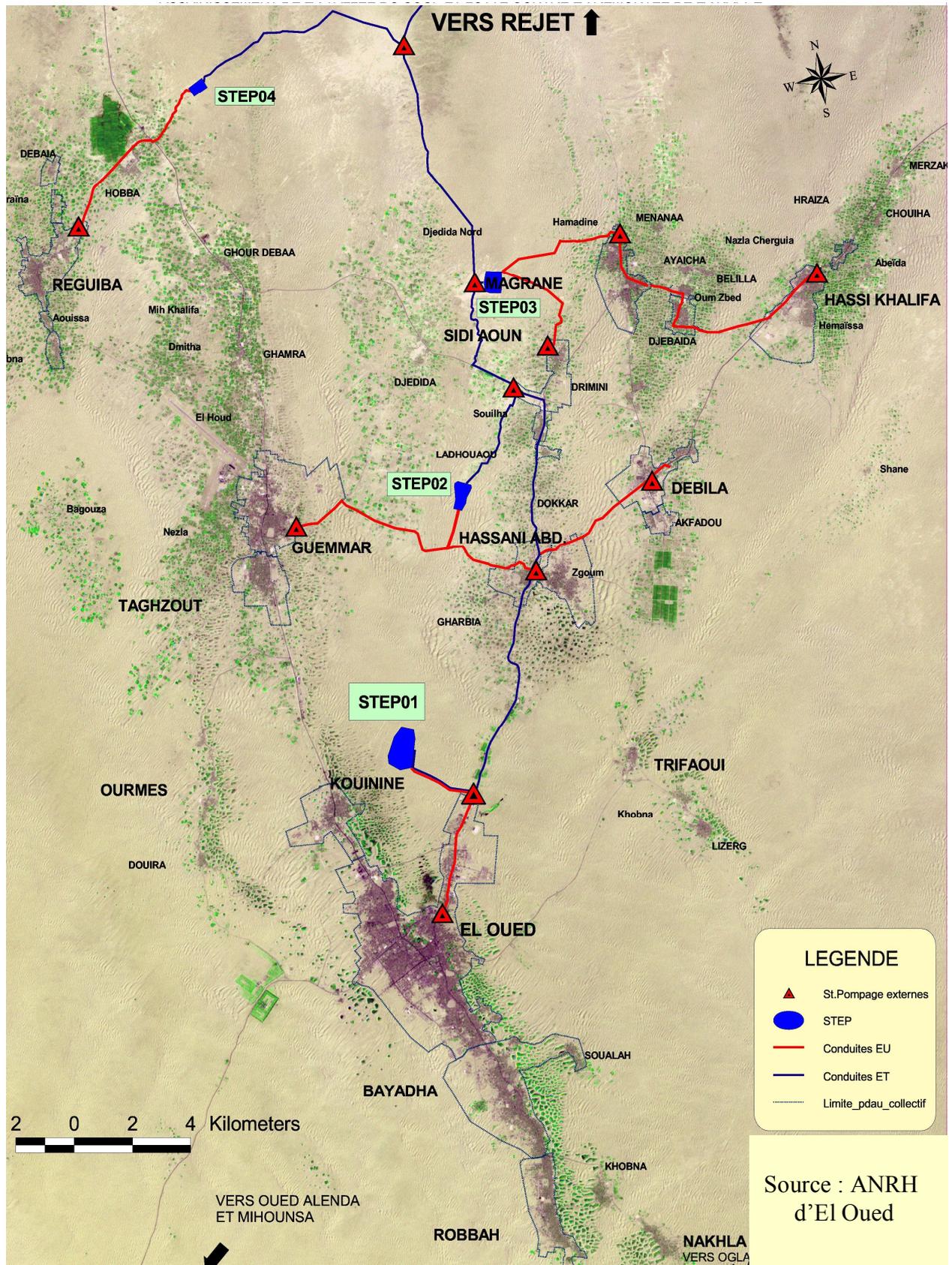
En termes de fonctionnement général, les eaux usées brutes issues de chaque agglomération assainie en collectif sont rassemblées au niveau d'un exutoire unique qui est une station de pompage. Cette station de pompage envoie les effluents bruts jusqu'à l'une des 4 stations d'épuration, qui les traite et les envoie ensuite, par l'intermédiaire d'une autre station de pompage, dans le collecteur de transfert des eaux traitées.

Les stations d'épuration sont by-passables, de manière à ce que l'évacuation des effluents puisse continuer si un incident les met hors d'état de fonctionner.

Le réseau de transfert des eaux usées possède une longueur de **51 km**, celui de transfert des eaux traitées une longueur de **53 km**. Les diamètres varient de **250 mm** jusqu'à **1000 mm**.

Figure n° 33

La situation des points, des réseaux et leur nomenclature d'El Oued



Le nombre de stations de pompage prévu au niveau de l'APD s'élève à **16**, y compris les stations exutoires des réseaux d'agglomération.

La possibilité de rejeter dans le milieu naturel est prévue comme dernière extrémité pour toutes les stations de pompage où cela est possible, afin de continuer à desservir les agglomérations si une panne majeure se produit.

- Un système de télé contrôle humain
- Les réseaux de collecte prévus (y compris réseau de desserte et refoulement) possèdent une longueur de **613 km** avec **39** stations de pompage, le tout étant réparti entre les différentes communes.
- un automatique est à prévoir :
 - avec rassemblement de l'information par commune ou groupe de communes ayant un même point de rejet (exemple : Guemmar/Taghzout) pour les réseaux de collecte,
 - avec rassemblement de l'information au niveau de El Oued ou d'une des stations d'épuration pour le réseau de transfert.

II-4-3- Dimensionnement des collecteurs :

En fonction des données ci-dessus, on calcule le débit moyen d'eaux usées généré par chaque bassin versant, en fonction de la population desservie, par assemblage des sous- bassins relatifs à chaque tronçon de collecteur structurant.

On en déduit les débits de pointe, au droit de chaque tronçon et pour l'ensemble du bassin versant concerné, en appliquant aux débits moyens le coefficient de pointe **C_p** fourni par la formule de Bourrier en fonction du débit moyen journalier **Q_{mj}** exprimé en l/ s.

Les paramètres pris en compte pour les calculs hydrauliques sont les suivants :

- Consommation d'eau potable : **240** litres par habitant et par jour,
- Le débit de pointe **Qp = 19.99 l/s**.
- Longueur total du réseau d'assainissement : **L = 6190 m**.
- L'intensité de précipitation : **I = 35 l/s**.
- La superficie : **A = 50 hectares**.

Coefficient de : **C = 80 %**.

a- Calcul du débit d'eau usée :

$$Q_{eu} = Q_p \cdot C_p$$

$$Q_{eu} = 15.93 \text{ l/s.}$$

b- Calcul du débit spécifique d'eau usée :

$$Q_s = \frac{Q_{eu}}{L}$$

$$Q_s = 0.00257 \text{ l/s/m.}$$

c- Calcul du débit des eaux pluviales :

$$Q_{ep} = C_p \cdot A \cdot I$$

$$Q_{ep} = 1400 \text{ l/s.}$$

d- Calcul du débit des eaux usées + pluviales :

$$Q_{eu} + Q_{ep} = 1415.93 \text{ l/s.}$$

D'après les résultats des calculs précédents on constate que la consommation d'eau de **240 l/h/j** correspond au niveau actuel du jour le plus chargé. Cette valeur est très élevée par rapport aux standards habituels, à cause du gaspillage dû d'une part aux fuites sur le réseau interne des abonnés, d'autre part à un usage sans retenue du fait que l'eau est facturée au forfait pour une large partie des abonnés, et non au mètre cube consommé. Aussi n'avons-nous pas augmenté cette consommation jusqu'en **2030**, en présumant que suite à une politique fortement incitative, la diminution du gaspillage compensera l'augmentation des besoins réels. Vu le niveau d'où l'on part, on aurait même pu imaginer une baisse de la consommation...

Le débit spécifique d'eau usée signifie qu'un quart de l'eau consommée ne rejoint pas le réseau d'assainissement. C'est celle utilisée notamment pour le lavage des sols et l'arrosage.

La valeur habituelle, plutôt de l'ordre de **80 à 85 %**, a été légèrement minorée pour tenir compte des conditions climatiques particulières de la région (chaleur et sécheresse).

Le taux de raccordement au réseau d'assainissement de **80 %** prend en compte d'une part le fait que certaines zones ne sont pas raccordables à un coût raisonnable et seront par conséquent équipées d'un système d'assainissement individuel, mais aussi d'autre part l'inévitable existence de citoyens "irréductibles" qui refuseront de se brancher sur le réseau.

II-4-4- Descriptif général des travaux à réaliser :

A travers PDAU 2005 phase III, on trouve qu'ils ont proposés :

a- Réseau de transfert :

104 km de canalisation, de diamètre variant entre **(250, 300, 400, 600, 800, 1000 mm)**, **16** stations de pompage.

b- Zone d'assainissement collectif :

Zone où l'habitat est suffisamment concentré pour qu'il soit possible de collecter les eaux usées par des égouts pour les acheminer vers une station d'épuration collective. Le raccordement à l'égout est obligatoire pour tout bâtiment situé dans cette zone.

- Commune d'El Oued :

Nous donnons ici la situation d'El Oued à titre d'exemple. Le reste des communes sera intégré à l'annexe

- Réseau à réhabiliter : **23 km** de réseau existant dont **3.664 m** (ayant donné lieu à profil)
- Réseau gravitaire : **14.60 km** de réseau structurant (principal et secondaire) et **53.3 Km** réseau de desserte.
- Refoulement : **4** stations, non compris la station de transfert ST10 (SPE-U01), stations de débit compris entre **9 et 424l/s**.

Tableau n° 37 :

La longueur et le diamètre de canalisation proposés à El Oued :

Diammètre (mm)	200	250	250	250	300	315	400	500	600
Type de canalisation	A.C	A.C	B.C	PVC	A.C	PVC	B.C	C.A.O	C.A.O
La longueur (m)	2072	10174	2504	4284	5595	1729	2862	3835	1053

II-4-5- Stations de pompage :

Les nouvelles stations de pompage seront équipées de groupes électro-pompes immergés spécifiquement conçus pour des eaux usées essentiellement domestiques.

Les stations seront systématiquement équipées d'un groupe électro-pompe de secours, inclus dans les permutations à chaque démarrage.

Le débit de dimensionnement de la station est le débit de pointe des effluents à l'horizon **2030** arrivant dans la bêche d'aspiration.

Sur les stations de pompage importantes, le projet prévoit que pour le débit de pointe, **2** pompes se trouvent simultanément en fonctionnement (**3** pompes au total).

Cependant, le diagnostic assainissement a aussi montré que les installations d'assainissement autonome pourraient être améliorées dans nombre de cas, et notamment dans le cas où le pré-traitement (fosse septique,..) fonctionne mal ou est inexistant (puits perdu sans fosse septique,...), ce qui permettrait de réduire la fréquence de vidanges (cas de colmatage) ou de moins solliciter le pouvoir épurateur du sol.

III-La zone de rejet :

La commune d'EL Oued dispose d'un réseau de collecte et de drainage, ces eaux sont acheminées au nord de la ville et évacuées sans traitement dans des dépressions que nous appellerons zone de rejet, cette zone qui couvre une superficie de **3.7 ha** en **2001** et qui s'étend progressivement dans les dépressions, est constituée d'une série de mares colonisée à **80%** par des roseaux.

Ces eaux qui en apparence semblent stagnés (saturation du sol) et affleurement de la nappe à cet endroit, s'infiltrant en grande partie pour rejoindre la nappe et s'évaporent pour une faible partie.

Il est intéressant de souligner certains aspects de ce dispositif basé sur une infiltration percolation naturelle :

- La zone reçoit en permanence des eaux brutes diluées par des eaux de drainage.
- Les roseaux jouent probablement un rôle épurateur et limitent le colmatage de la surface.
- La zone est insalubre (odeurs, moustique...) mais la nuisance provient essentiellement de la décharge située sur le même site.
- Des traces de contamination bactérienne ont été détectées sur les puits situés aux alentours.
- Des périmètres agricoles sont implantés à proximité et bénéficient d'une réalimentation indirecte de la nappe phréatique (forage à environ **30m**).

Ce système, qui se résume à un simple épandage d'eaux brutes dans le milieu naturel, constitue un système d'épuration rustique grâce au phénomène mécanique de filtration sur le sol en place constitué de sable. Les performances épuratoires sont toute fois limitées car le massif filtrant est en permanence inondée et fonctionne en phase anoxique.

La nappe affleurant au niveau des mares, les risques de contamination existent. Ce système est à proscrire dans l'état et terme l'augmentation des volumes d'eaux usées collectées accentuera la vulnérabilité.

Cette zone de rejet (voir carte n°20) présente des similitudes avec des procédés d'épuration reconnus dont le fonctionnement repose sur un principe de filtration et d'épuration biologique dans le sol néanmoins, ces filières sont réalisées dans des conditions bien spécifiques (dimensionnement hauteur de massif filtrant aérobie, alimentation séquentielle, phase de repos), citons à titre d'exemple :

- Les lits d'infiltrations plantées de roseaux ou roselières.
- Le procédé d'infiltration percolation en traitement secondaire et tertiaire.
- L'épandage contrôlé.

Globalement, il n'existe pas dans la vallée du Souf de système d'épuration efficace et contrôlé.

Même si les systèmes actuels qui bénéficient du pouvoir bio filtrant du sable limitent les impacts négatifs sur l'environnement, à terme ces dispositifs présentent avec l'accroissement de la population des risques de contamination de la nappe.

L'impact actuel sur les eaux souterraines ne peut que s'aggraver si les conditions de fonctionnements du système global de l'assainissement restent inchangées ; en effet, les charges polluantes liées au rejet d'eau usées vont augmenter en même temps que le développement démographique de l'agglomération.

III-1- Etude de la zone du rejet :

La zone du rejet a été étudiée grâce à **06** sondages et **10** puits situés dans un rayon d'un kilomètre du point de rejet :

- 6 sondages, exécutés à la tarière, équipés en piézomètres, **R11, R12, R13, R14.1, R14.2, R15,**
- Un essai de pompage d'une durée de 50 heures, dans un puits amélioré (Cf. ci-dessus Essai 1)
- 10 puits existants **G083, G084, G085, G104, G106, H090.**

IV- Relation entre l'évolution de la population, les débits d'eaux usées et la consommation en eau :

En avril des mesures de débit ont été réalisées au niveau du rejet, entre les lagunes deux et trois (mesure **A**) et entre les lagunes trois et quatre (mesure **B -AGEP 2003.**).

- Entre les lagunes **2** et **3**, **28,8 m³/h** ont été mesuré le matin et **48,6 m³/h** le soir.
- Entre les lagunes **3** et **4**, **15,1 m³/h** ont été mesurée le matin et **22,7 m³/h** le soir.

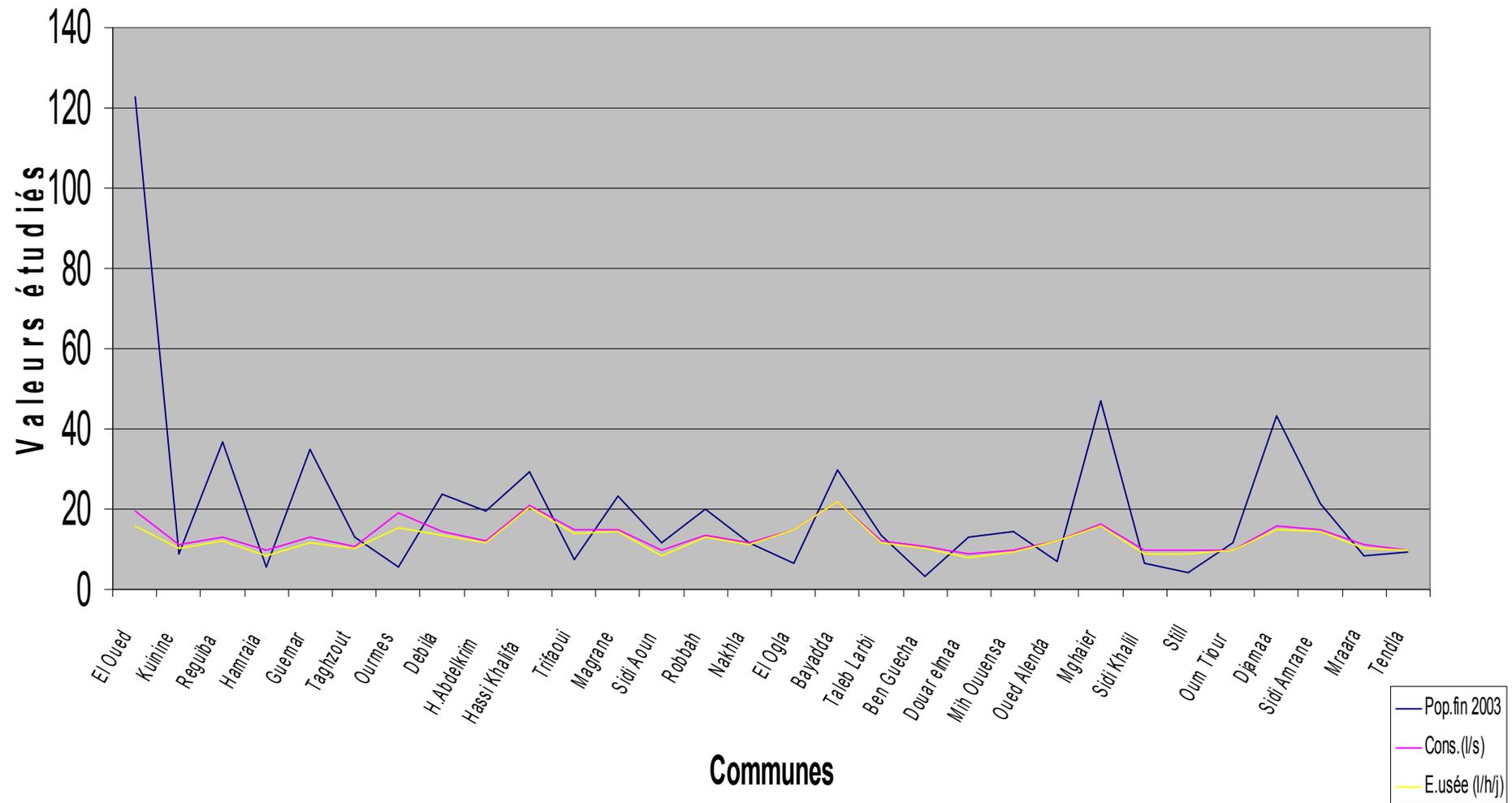
Ces observations serviront pour établir une relation détaillée entre les paramètres qui aident à l'évolution du niveau des rejets par le calcul du coefficient de corrélation et prévoir l'impact de ces derniers sur la zone de rejet.

Tableau n° 38 :

Estimation des débits d'eaux usées et la consommation en eau potable : (ENHPO-AGEP, 2003) :

Communes	Q. exploités (l/s)	Q .eau usée (l/h/j)
El Oued	19.50	15.93
Kuinine	10.96	10.02
Reguiba	13.90	12.92
Hamraia	9.85	8.28
Guemar	12.82	12.60
Taghzout	10.75	10.02
Ourmes	19.11	15.24
Debila	14.20	13.60
H.Abdelkrim	12.03	11.84
Hassi Khalifa	21.0	20.56
Trifaoui	14.92	14.05
Magrane	14.95	14.26
Sidi Aoun	9.89	8.56
Robbah	13.50	12.94
Nakhla	11.45	11.06
El Oglia	15.10	14.96
Bayadda	22.02	21.94
Taleb Larbi	12.20	11.84
Ben Guecha	10.50	10.10
Douar elmaa	8.95	7.92
Mih Ouenza	9.85	9.14
Oued Alenda	12.20	11.88
Mghaier	16.45	15.94
Sidi Khalil	9.65	8.78
Still	9.57	8.65
Oum Tiour	9.87	9.71
Djamaa	15.87	15.05
Sidi Amrane	10.76	10.53
Mraara	10.98	10.12
Tendla	9.97	9.68

Relation entre l'évolution de la population, la consommation en eau et les rejets d'eaux usées



IV-1-Calcul du coefficient de corrélation (CR) :

Le coefficient de corrélation (CR) des 03 paramètres (population, les débits de consommation en eau potable et les débits d'eaux usées), est calculé par la relation suivante :

$$CR = \frac{\sum (x - \bar{x}_k)(y - \bar{y}_k)(Z - \bar{Z}_k)}{\sqrt{(\sum x - \bar{x})^2 (\sum y - \bar{y}_k)^2 (\sum Z - \bar{Z}_k)^2}}$$

Ou :

X : Nombre de population.

\bar{X} : La moyenne des populations.

Y : Les débits de consommation journalière en eau.

\bar{Y} : La moyenne des débits de consommation journalière en eau.

Z : Les débits d'eau usée.

\bar{Z} : La moyenne des débits d'eau usée.

D'après le tableau et le graphe (fig n°34), on peut affirmer que :

L'augmentation des rejets est liée aux quantités d'eau consommées. Cette évolution semble bien parallèle.

En revanche, si on veut lier cette augmentation à l'évolution démographique, on s'aperçoit que le parallélisme n'est pas parfait malgré un rythme général assez linéaire.

En conséquent, la relation entre l'évolution de la population, la consommation en eau et les débits d'eaux usées est absolument cohérente (une grande homogénéisation entre les données), qui s'ajuste à une fonction linéaire $Y = ax + b$, avec un coefficient de corrélation

CR = 0.872. Donc l'impact sur la zone de rejet est relativement progressive, une progressive qui il faudra surveiller de près.

Troisième chapitre

Les rejets urbains

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée. Actuellement, les eaux souterraines de la région étudiée reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, souvent toxiques. Ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elle continue à être déversée dans la nature sans traitement préalable. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable.

La gestion de l'environnement et du développement durable dans notre région doit porter en priorité sur la protection des ressources et plus particulièrement l'eau.

La connaissance de l'état de l'environnement est nécessaire pour mieux agir, de façon intégrée, sur l'ensemble des aspects de l'environnement.

Connaître la situation initiale des différents secteurs permet de mieux mesurer l'impact. L'impact des différentes activités n'est pas mesurable actuellement même si quelques données existent, mais nécessitent surtout un suivi dans le temps et dans l'espace.

C'est pourquoi il était nécessaire de créer une base de données pour chaque points d'eaux et aussi pour chaque commune de la région du Souf (nom, altitude, superficie km², population **2003**, nombre de forage, débit exploité m³/j et débit des eaux usées m³/j).

Cette base de donnée constituera un outil indispensable pour assurer le suivi de l'impact et aussi une **aide à la décision** en intégrant les **systèmes d'informations géographiques (SIG)** pour une meilleure gestion intégrée de l'environnement de l'ensemble de la région de Oued Souf. Les **S.I.G** permettent d'effectuer une analyse spatiale dans le but d'avoir des cartes de synthèse afin d'identifier la qualité des eaux souterraines du Souf sur support numérique.

I - Les rejets urbains :

Les pollutions dites diffuses proviennent d'épandages de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes.

Les pollutions ponctuelles, par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique.

Elles sont qualifiées quelques fois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviations d' un dépôt solide, quelquefois la retombée de polluants, émis dans l'atmosphère, sur le sol à proximité des points d'émission. A El Oued les rejets urbains jouent un rôle essentiel dans la remontée de la nappe, mais surtout dans la contamination de celle-ci.

I-1- La nature des rejets urbains :

La croissance permanente des quantités de déchets produits et leur mauvaise gestion, a accentué les problèmes environnementaux et sanitaires.

Il existe différents types de rejets, notamment :

I-1-1- Les rejets urbains solides :

Le développement des besoins des habitants, leur régime alimentaire et les nombreuses mutations sociales et économiques dont à l'origine d'une production croissante des déchets ménagers solide leur gestion est l'une de préoccupation majeur de la gestion urbaine.

a- Les déchets ménagers :

Ils sont produits par l'activité des particuliers et leur traitement incombe aux collectivités locales (plastiques, verres, papiers, les matières alimentaires,...).

Actuellement, il existe 17 décharges publiques anarchiques au niveau de la ville d'El Oued, qui ne dispose pas d'équipement de traitement et de gestion rationnelle des déchets. D'après le journal quotidien **El Khabar** (édition 09-03-2008, voir l'annexe), la ville souffre de mal problèmes surtout sur le plan de la santé publique, en raison des quantités grandissantes des déchets non traités et déversé dans, surtout que les quantités produites annuellement augmente d'une manière très rapide d'une année à l'autre (voir tableau).

b- Les déchets industriels :

Non toxiques, ils résultent de l'activité artisanale, commerciale ou industrielle, et peuvent être traités dans les mêmes installations que les déchets ménagers (des déchets sauvages).

Selon l'inventaire des activités industrielles fourni par l'inspection de l'environnement de la wilaya d'El Oued, il n'y aurait pas de problèmes majeurs de pollution industrielle. Néanmoins certaines activités et certains déchets ou substances doivent être surveillés comme :

- Les déchets et carcasses issues des activités d'abattages.
- Les déchets des matières de construction.
- Les PCB (polychlorobiphényle ou askarels).
- Les matières actives utilisées pour la production d'insecticides.
- Les CFC (Chlorofluorocarbones).

Le secteur industriel se caractérise par une activité de transformation.



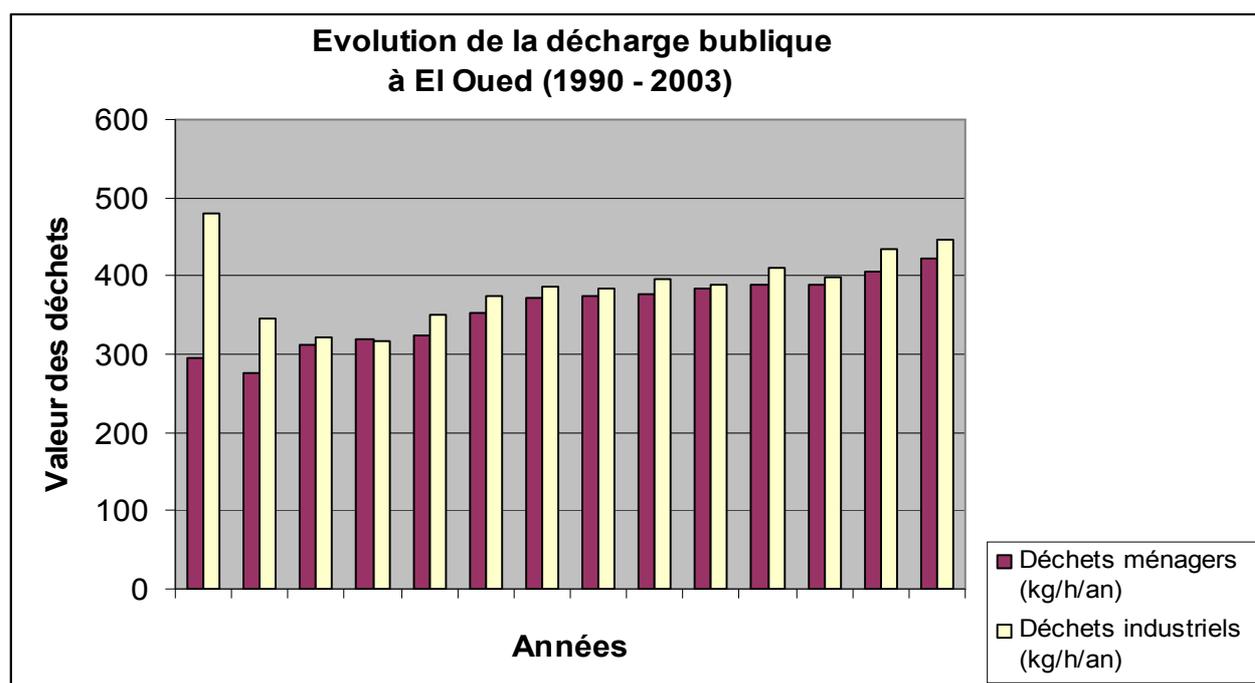
Photo montre l'état actuel de la décharge publique à El Oued (visite du terrain).

Tableau n°39 : Source : direction de l'environnement d'El Oued.

Les rejets urbains solides d'El Oued (1990-2003),

Années	Les rejets urbains solides	
	Déchets ménagers (kg/h/an)	Déchets industriels (kg/h/an)
1990	295	480
1991	277	345
1992	312	320.45
1993	320	316.02
1994	325	350
1995	354	374.25
1996	372	387
1997	375	384
1998	377	395.67
1999	385	389.45
2000	389	410.36
2001	390	398.53
2002	405	435.35
2003	423	445.25

Figure n° 35 :



D'après le tableau et le graphe, on constate que :

L'augmentation irrégulière des déchets s'explique par la croissance de la population totale, ainsi que par l'augmentation du volume de déchets produit par chaque habitant.

Chaque habitant de l'agglomération d'El Oued génère au moyen près de **1.3 kg** de déchets ménagers par jour. Cela présente environ **375 kg** par an.

Dès **1990** le Souf connaît une période vaste de construction et d'industrialisation, qui explique l'augmentation des déchets industriels pendant les dernières années.

I-1-2- Les rejets urbains liquides :

Dans la plupart des cas, la pollution de l'eau d'une nappe par une substance indésirable provoque de simples nuisances : l'eau est rendue impropre pour certaines utilisations (eau potable, eau agricole, eau industrielle), sans qu'il y ait un réel danger pour la santé. C'est par exemple, la plupart du temps, le cas des pollutions par hydrocarbures ; le seuil de détection à l'odeur et au goût est si faible que l'eau est impropre à la consommation bien avant que des doses préjudiciables ne soient ingérées.

Dans le souci d'exploiter et de préserver la qualité des eaux des différentes nappes notamment celles destinées à l'alimentation en eau potable, il a été jugé nécessaire de mettre en place un réseau de surveillance constitué de **108** points de mesures (forages profonds et puits traditionnels).

Les résultats d'analyses bactériologiques, de Nitrates et de Fluor des échantillons d'eau prélevés ont permis de constater que :

- Les nappes profondes du complexe terminal et du continental intercalaire ne présentent aucun risque de pollution.
- Quant à la nappe phréatique, elle se caractérise dans certaines zones par des teneurs relativement élevées en Nitrates et en Fluor, soit respectivement plus de **100** et **5 mg/l**, teneurs supérieures par rapport aux normes admises, qui sont de **50 mg/l** pour les Nitrates et **2 mg/l** pour le Fluor.

En générale, les rejets liquides au niveau du notre région d'étude sont les eaux usées ménagères et industrielles.

I-1-2-1- Caractérisation des eaux usées :

Les eaux usées de la vallée du Souf sont essentiellement de type domestique, la zone n'étant le siège que d'une modeste activité industrielle. Il convient toutefois de garder en mémoire une triple particularité :

- Les eaux sont fortement sulfatées en raison de la qualité de l'eau distribuée ;
- La contrainte du dégazage en H₂S est significative et oblige à limiter autant que possible le confinement des eaux et donc la durée des refoulements c'est à dire les refoulements sur de trop grandes longueurs.
- Elle conduit aussi à utiliser des ciments CRS (ou HTS) pour réaliser les ouvrages en béton.

En raison de la nature des eaux rejetées, les eaux usées sont également fortement minéralisées (la valeur globale de la salinité peut atteindre **6 g/l**), enfin en région saharienne il n'est pas étonnant de préciser que dans certains quartiers les eaux véhiculent du sable en quantité, obligeant à une grande vigilance sur les vitesses d'auto - curage dans les collecteurs.

a- Qualité des eaux usées :

Les eaux usées sont d'origine domestique et possèdent les caractéristiques suivantes :
Tableau n°40 :

Caractéristiques des eaux usées :

<i>Stations</i>	Concentrations diurnes		
	Valeurs standard		Moyenne des mesures
	Min-mg/l	Max – mg/l	mg/l
MES	225	450	334
DBO5	250	500	353
DCO	600	1000	594
NTK	50	110	20
Pt	15	30	18

Notons que la teneur en MES est relativement faible compte tenu de la géologie locale : cela s'explique par le fait que le réseau est séparatif, et que le sable qui arrive à pénétrer dans le réseau d'assainissement se trouve piégé au niveau des regards.

La température des eaux est relativement élevée. Au mois de janvier, la température des eaux est de l'ordre de **26 °C** au niveau des rejets actuels. Pour le mois le plus chaud, la température maximale des eaux à l'aval des rejets et à plus de **1 m** sous la surface est estimée à **35°C**.

b- Volumes d'eaux usées :

Les volumes des débits rejetés ont été évalués à partir des mesures effectuées sur les rejets existants. Une valeur de rejet unitaire de **180l/hab./jour** a ainsi été adoptée. Les volumes rejetés sont donnés ci-dessous en **m³/j** et par commune concernée par l'assainissement collectif. Au total ce sont près de **77 000 m³/j** qui seront ainsi rejetés en **2030**.

Tableau n°41 :

Volumes journaliers d'eau usée par communes :

Eaux usées, Volumes moyens journaliers rejetés par communes		
Localités	2010	2030
	m³/j	m³/j
Robbah	3 202	4 399
Kouinine	1 510	2 244
El Oued	21 091	31 340
Bayadha	4 624	6 352
Debila	1 973	2 933
Hassani Abd El Krim	2 797	4 156
Taghzout	2 044	3 037
Guemmar	3 062	4 207
Hassi Khalifa	3 190	4 739
Magrane	4 715	6 477
Sidi Aoun	1 307	1 796
Reguiba	3729	5121
Total	53. 244	76. 801

Source : direction de l'environnement d'El Oued

A l'intérieur des agglomérations et à l'exutoire des agglomérations, les débits de dimensionnement sont identiques à ceux de l'APS ; il s'agit des débits de pointe calculés en fonction du débit moyen, lui-même évalué en fonction de la population de l'aire desservie par le réseau au point considéré, en prenant en compte l'effet de lissage des stations de pompage.

Dans le réseau de transfert, le débit de dimensionnement de la canalisation des eaux traitées prend en compte le rejet des eaux de drainage d'El Oued et a été évalué de la manière suivante :

Le débit maximum de drainage à l'exutoire d'El Oued a été pris égal à **300 l/s**, ce débit devra pouvoir être évacué jusqu'en **2015** ; au-delà les eaux de drainage seront réutilisées, dans ces conditions, le débit de dimensionnement du réseau de transfert, est le maximum des deux valeurs suivantes :

- Le débit des eaux usées évalué à l'horizon **2015** plus le débit de drainage de **300 l/s** ;
- Le débit d'eaux usées à l'horizon **2030**.

Les valeurs suivantes ont été obtenues en utilisant ce raisonnement :

II- L'impact des rejets sur l'environnement :

L'analyse de la réalité montre donc qu'en l'occurrence, la nature seulement n'est pas en cause. Il nous faut donc reprendre l'investigation, et essayer d'aller plus loin dans la compréhension du phénomène. Pour cela, il convient d'enquêter du côté urbain, puis du côté rural

II-1- les menaces sur la ville :

Depuis une décennie, dans le Souf, les pouvoirs publics s'alarment, la population s'inquiète. L'évolution apparaît liée de façon manifeste au comportement de la nappe phréatique. Mais le phénomène, ancien, n'explique en rien le changement de comportement depuis une décennie. Ces essais d'explication ont en commun un point, celui de faire appel à des causes physiques ; les hommes seraient victimes d'une évolution irréversible de la nature et n'auraient donc aucune responsabilité dans la situation présente. Mauvaise conscience d'une population, qui sent bien qu'elle use et abuse d'une ressource qui lui était rationnée autrefois, et qui cherche à se disculper ?

La « maladie » semble être née de la ville, gangrenant progressivement la campagne. Mais elle se retourne aujourd'hui contre la ville, car l'intensité maximum de la remontée a lieu sur le site même d'El Oued. Dans le secteur bas de la ville, secteur de Chott, connu pour constituer un point de remontée capillaire des eaux proches et salées, les constructions ont été menacées, puis se sont trouvées inondées avant la mise en place de la station de pompage et de refoulement (1981). Lors des hivers 2001-2002, et 2002-2003 (voir photo en mars 2003), c'est le quartier Sidi Mestour qui a vu le sol de certaines maisons inondés, et les fondations de nombreuses constructions menacées.



La photo exprime l'inondation des constructions (quartier Sidi Mestour en mars 2003)

Dernièrement (06 Mai 2008) et après une visite de terrain, on a pris des photos dans le même repère de la photo précédente (cartier Sidi Mestour en mars 2003). Ce qu'on peut dire à travers cette photo qu'il y a une grande différence entre la période mars 2003 et mai 2008, ou on remarque que les anciens constructions sont détruites complètement et les zones touchés par la remontée de la nappe phréatique sont remblayé par les dunes de sable.



La photo exprime la destruction du bâti ancien et le remblaiement des zones inondées (Quartier Sidi Mestour en 06 Mai 2008, visite de terrain).

Par ailleurs, cette nappe phréatique « urbaine » est polluée par tous les rejets urbains. Les ghouts ennoyés qui cernent la ville présentent une eau noirâtre et nauséabonde, qui incite la population à en faire autant de décharges sauvages. Et le cycle de pollution s'accroît...

Cette présence nouvelle d'eau affleurante et stagnante a provoqué la prolifération des moustiques. La tradition rapporte que les ancêtres des Soufis actuels, partis de leur Yémen natal, étaient arrivés dans l'Oued Righ, mais qu'ils y furent découragés par les moustiques, les fièvres, et le paludisme, et préférèrent revenir en arrière se fixer dans le Grand Erg, plus austère mais salubre.

Aujourd'hui, chaque été connaît une infestation de ces insectes, qui rend les nuits insupportables pour une population habituée à passer les nuits d'été sur les terrasses ou près des palmiers. Certaines maladies se multiplient : **maladies cutanées, leishmanioses, paludisme, typhoïde**,...etc. Des poissons ont été introduits par la municipalité dans les ghouts inondés, pour détruire les larves de ces moustiques, mais la pollution les a éliminés.

Ces plans d'eau, inattendus dans le Soufi et non contrôlés, tenant les enfants comme terrain de jeu, mais sont responsables de la mort par noyade d'une trentaine d'enfants au cours des dernières décennies.

Un nouveau biotope, inattendu, est apparu, avec **roseaux, moustiques, aigrettes, poules d'eau, sangliers**. Mais les habitants le paient cher. Et les vieux Soufis veulent bien être enterrés dans la terre, mais pas dans l'eau... (Voir reportage du journal quotidien El Watan – édition **25-11-2007-**) (Annexe).

Enfin -dernière conséquence -, cette évolution met à mal l'attrait touristique d'El Oued et de sa région : l'écrin de verdure original environnant la ville aux mille coupoles, décrit par Isabelle Eberhardt, a disparu. Il vaut mieux aujourd'hui cacher aux touristes potentiels ces ghouts-poubelles qui ceinturent la ville....



La photo exprime les ghouts- poubelle dans la ville d'El Oued (06-05-2008, visite de terrain)

Face à ces menaces sur la ville, les pouvoirs publics ont réagi, en essayant de parer au plus pressé. D'une part ils ont mis en place une grosse station de pompage, qui récupère au quartier Chott une partie des eaux usées de la ville, et la réexpédie par une conduite de **4km** dans une zone d'épandage au nord. D'autre part, ils ont entrepris un programme de remblaiement des ghouts urbains, au cas par cas d'abord, suivant un programme systématique à partir de **2002**. Ainsi à El Oued, ce sont **68** ghouts qui sont concernés. Mais le remblaiement au bulldozer coûte très cher, et les problèmes fonciers (du terrain du ghout) ne sont pas résolus.

Zgoum, autre vieux centre urbain, a connu une évolution similaire à celle d'El Oued, avec inondation des ghouts proches du Chott, et leur remblaiement par la municipalité.

Les hommes seraient victimes d'une évolution irréversible de la nature, et ils n'auraient donc aucune responsabilité dans l'évolution en cours.



Les photos expriment le problème de la remontée dans la ville d'El Oued.

Ne faut-il pas voir là la mauvaise conscience des habitants du Souf, qui sentaient bien qu'ils usaient et abusaient largement d'une richesse en eau qui leur était rationnée étroitement autrefois, et qui recherchaient des explications les disculpant? L'inconscient collectif, marqué par des siècles de pénurie d'eau, se refuse à se découvrir responsable d'un gaspillage et d'une crise de l'eau.



Photo exprimant la destruction du bâti à cause de la remontée et l'humidité de la couche extérieure.



Photo exprimant l'inondation des zones très basses dans la ville d'El Oued.

Il faut comprendre le comportement de cette société face à cet événement. Même si la ressource est locale, l'appel aux eaux profondes représente un apport exogène, par l'initiateur (l'Etat), le cadre (des programmes nationaux), et les moyens mis en œuvre (les forages). Il a donc échappé à la société locale, qui comme toute société saharienne était traditionnellement fondée sur l'économie de l'eau, mais n'a pu faire ici le lent cheminement de l'apprentissage à un autre type de rapport à l'eau. La société a été dépassée et s'en est remise à l'Etat.

II-1- Impact de la remontée sur l'agriculture :

L'agriculture intensive et « moderne » est l'un des secteurs économiques qui peut avoir une incidence importante sur la dégradation de l'environnement en général et la qualité des eaux des nappes en particulier.

Plus qu'ailleurs, dans les oasis, systèmes fermés par excellence, la gestion de l'eau doit être appréhendée dans sa globalité. Irriguer, drainer, pomper, évacuer; l'un doit faire écho à l'autre or, la tendance est trop souvent d'oublier les contraintes de drainage et d'évacuation des eaux usées.

Profiter d'une eau que les échanges modernes rendent plus "faciles" en laissant le soin à la nature de boucler le cycle ne peut conduire qu'à une infamie, à des oasis malades de trop d'eau. Les oasis ont toujours été symboles de gestion d'une eau rare et précieuse en milieu aride. Ingéniosité des techniques et complexité des structures sociales en font foi.

Depuis longtemps, les Sahariens ont appris à gérer la pénurie. Or, les techniques modernes ont bouleversé bien des données hydrauliques en milieu aride. Au point que le problème, en de nombreuses oasis, est aujourd'hui - paradoxalement - celui d'un excès d'eau ou plutôt d'une mauvaise maîtrise d'une eau devenue plus abondante. Nous voudrions présenter ici les données du problème et analyser quelques exemples.

II-1-1- Situation des ghouts établie au 13/05/1998 :

Tableau n°42 :

Etat de situation des Ghouts de oued Souf (ENHPO-AGEP, 1998)

Commune	Inondé	Humide	Sec	Total	% Ghouts inondés
Bayadha	249	4	12	265	94 %
Kouinine	186	160	66	412	45 %
H.Abdelkrim	171	340	375	886	19 %
El Oued	164	40	7	211	78 %
Robbah	77	27	59	163	47 %
Nakhla	29	82	13	124	23 %
Ourmes	13	160	133	406	3 %
Debila	11	334	296	641	2 %
Ogla	6	66	58	130	5 %
O. Allenda	4	52	244	300	1 %
Mihouansa	3	22	863	888	
Magrane	1	556	375	932	0 %
Taghzout	1	17	393	411	0 %
Sidi Aoun	0	76	486	562	
Hassi khalifa	0	0	1997	1997	
Trifaoui	0	21	476	497	
Reguiba	0	143	594	737	
Guemar					
Total	915	2100	6547	9562	10 %

Les communes les plus touchées par la remontée des eaux dans les ghouts sont : El Oued, Bayadha, Robbah et Kouinine.

Près de **100 000** palmiers environ ont dépéri. L'évaluation de l'impact économique devrait être faite pour mieux illustrer la non prise en compte du développement durable dans les procédures d'aménagement et de gestion des ressources.

Une carte a été dressée par M. Côte sur l'état des ghouts en **2001**(voir carte n° 22) et (figure n°36), vu d'avion qui exprime l'état des ghouts en **2 situations (1980-1995)**.

Le fait le plus important depuis quinze ans environ est la montée progressive et apparemment inexorable de la nappe, amorcée par les grandes pluies de **1969**. L'eau, qui était à **2** ou **3** mètres sous le plancher des ghouts, n'a plus été qu'à **1**mètre, puis a affleuré en hiver et a fini par envoyer en permanence le fond du ghout. Les répercussions sur la palmeraie sont directes : dépérissement des palmiers, puis mort et abandon du ghout. Le phénomène est apparu aux portes immédiates de la ville d'El Oued, puis l'auréole a grandi, au point de toucher aujourd'hui la moitié sud du Souf, de Kouinine à Nakhla.

Schématiquement, l'on peut dire que **500** à **600** ghouts sont envoyés et que **60 000** palmiers sont morts. La situation est d'autant plus spectaculaire qu'elle touche la partie sud du Souf, celle des grands ghouts profonds développés au milieu des hautes dunes, où il n'existe pas d'activités de remplacement.

La photo montre l'état actuel des palmerais d'El Oued :

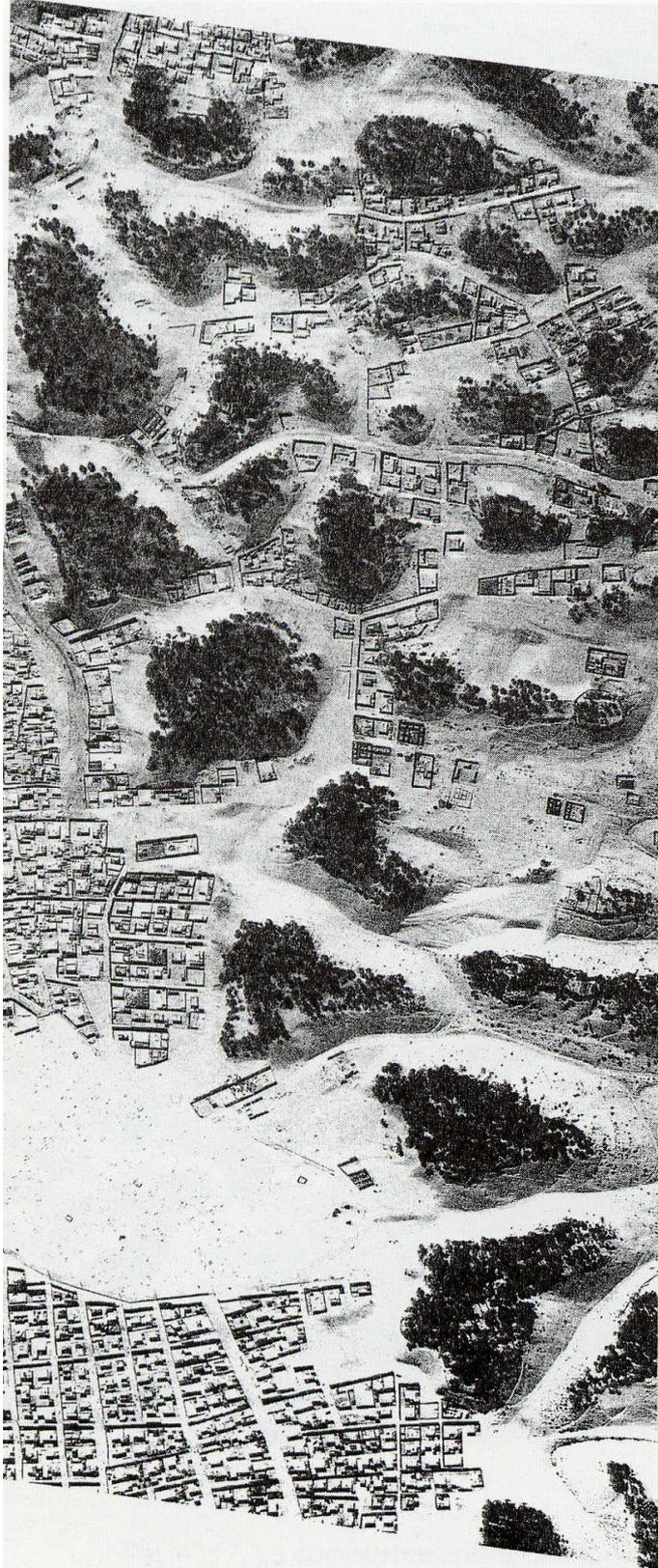


Ainsi, en une décennie, l'on a assisté à la mort d'un paysage agraire qui avait été élaboré par des générations de Soufis, au prix d'un travail énorme, et qui faisait la beauté de cet espace saharien. Or la "maladie", née de la ville en gagnant progressivement la campagne, se retourne aujourd'hui contre la ville.

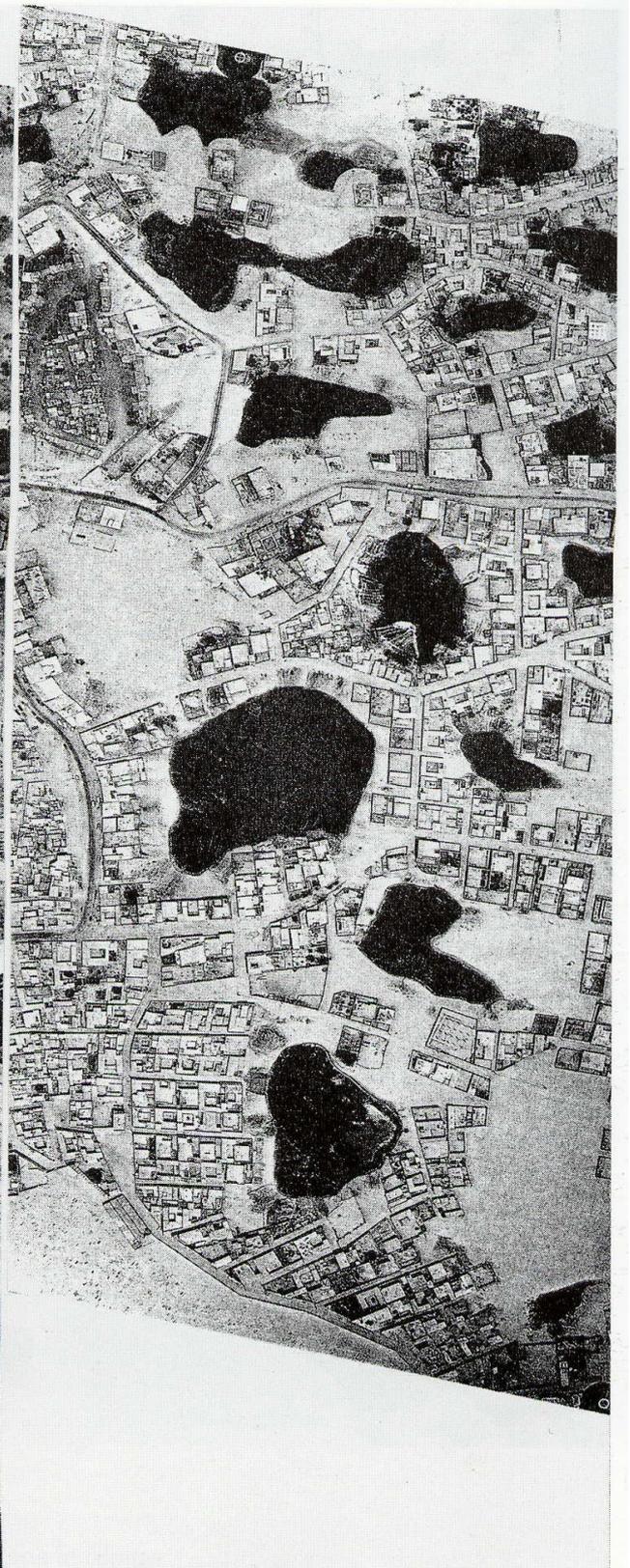
Figure n° 36

Comparaison de l'états des ghouts (vu d'avion)

Situation 1980(la mort des ghouts)

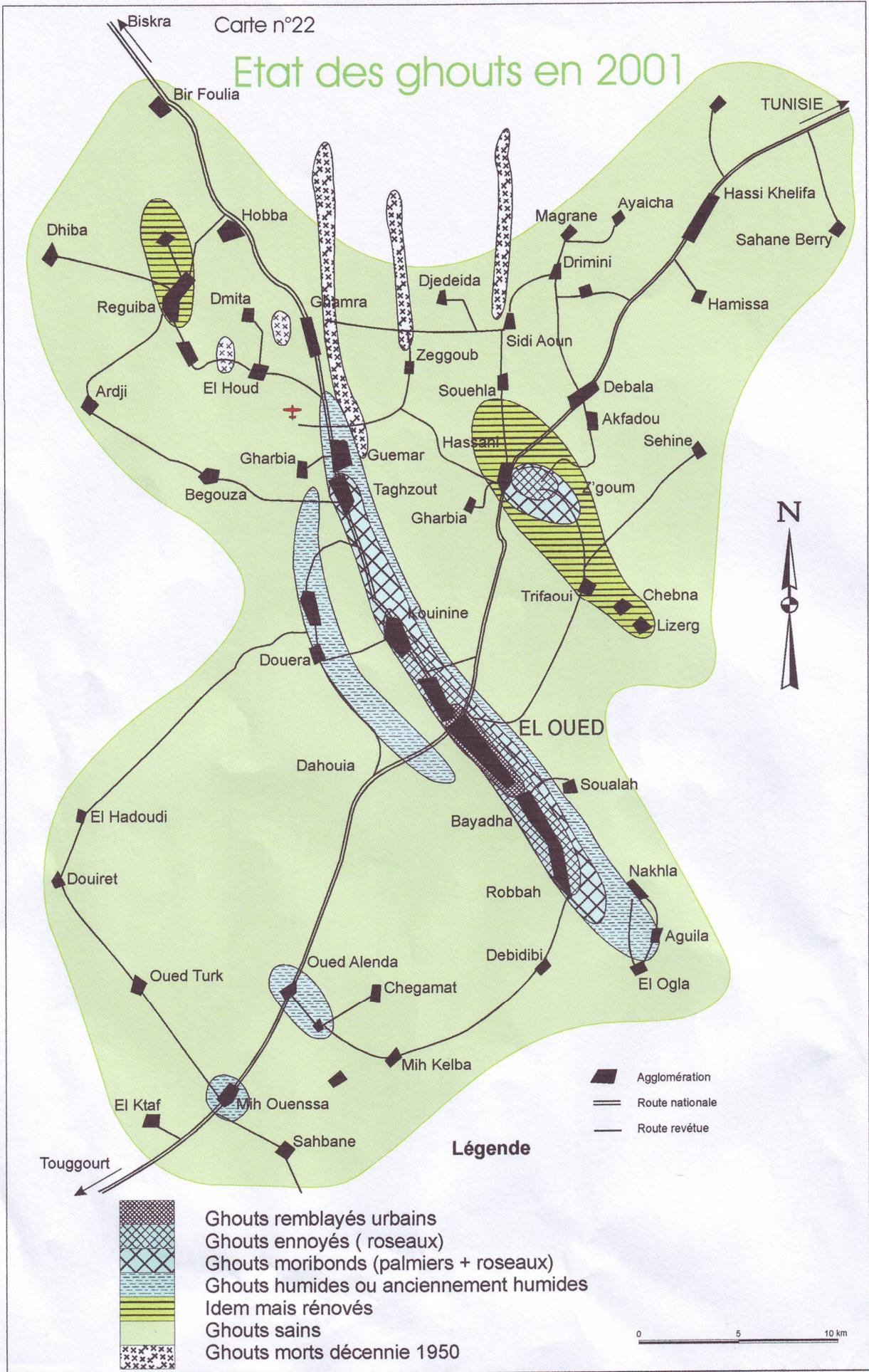


situation 1995(palmiers vivants)



Source: livre (Si le Souf m'était conté). M.côte

Etat des ghouts en 2001



- Légende**
- Agglomération
 - Route nationale
 - Route revêtue

- Ghouts remblayés urbains
- Ghouts ennoyés (roseaux)
- Ghouts moribonds (palmiers + roseaux)
- Ghouts humides ou anciennement humides
- Idem mais rénovés
- Ghouts sains
- Ghouts morts décennie 1950

D'après M. Côte

II-1-2-Bilan des cultures et superficies agricoles (1999 / 2000) :

Calcul fait sur la base du bilan annuel des services de l'agriculture (1999)

Tableau n°43 :

**Répartition des terres utilisées par l'Agriculture à El Oued
(ENHPO, 2000)**

Surface	Territoire		% des surfaces agricoles de la zone d'étude par rapport aux surfaces agricoles de l'ensemble de la wilaya
	Wilaya	Zone d'étude	
Surface agricole totale (SAT) ha	1591958	347374	22 %
Surface agricole utile (SAU)	40874	17677	43 %

Tableau n° 44 :

**Bilan des cultures et superficies agricoles d'El Oued
(ENHPO, 2000)**

Cultures	Superficie (ha) dans la zone d'étude	Production (T)	Superficie totale Wilaya	Part superficie en zone d'étude par rapport total wilaya %
Cultures industrielles	1782	25432	1789	99 %
Céréales	0	0		0
Légumes secs	0	0		
Cultures maraîchères	3378	37328	5177	65 %
Cultures fruitières	9875	2389	26612	37 %
Fourrages	402	6893	1293	31 %
Total	13655	46610		

Les cultures industrielles sont totalement concentrées dans la zone d'étude (99 %) suivies des cultures maraîchères (65 %).

Cette concentration d'une culture intensive non contrôlée entraîne les risques de contamination de la nappe phréatique par utilisations excessives d'engrais et des produits phytosanitaires.

II-1-3-Répartition des superficies irriguées 1999-2000 :

Tableau n°45 :

Superficie des cultures irriguées de oued Souf (ENHPO, 2000)

Commune	Superficie des cultures irriguées Ha
Beyadha	46
Robbah	175
Sidi Aoun	1270
Nakhla	274
Magrane	989
Hassi Khalifa	1501
Trifaoui	866
Reguiba	1727
Mihouansa	772
Ourmes	530
Oued Allenda	576
El Oued	430
Taghzout	1323
Hassi Abdelkrim	973
Guemar	2547
Debila	1132
Ogla	210
Kouinine	261.5
Total zone d'étude	15603
Total wilaya	31405
Part des cultures irriguées dans la zone d'étude par rapport à l'ensemble de la wilaya %	50 %

Nous constatons que **50 %** de la superficie des cultures irriguées de la wilaya sont concentrés dans notre zone d'étude. Ce pourcentage représente un indicateur direct de la relation qui lie les activités agricoles et son impact négatif sur l'environnement.

II-1-4-Bilan d'Irrigation :

Tableau n°46 : **Bilan d'irrigation d'El Oued (ENHPO-AGEP, 2000)**

Année	Ressource CI		Ressource CT		Débit s CI + CT (l/s)	Nappe phréatique		Total débit pour l'irrigatio n (l/s)	Volume annuel* (m ³ /an)
	Nombre de forages	Débit (l/s)	Nombre de forages	Débit (l/s)		Nombre de puits	Débit (l/s)		
1997/1998	1	200	58	1931	2131	8612	1147 2	13603	17874342 0
1998/1999	1	200	23	2225	2425	8632	1187 0	14295	18783630 0
1999/2000	0	0	35	1080	1115	10261	1358 0	14695	19309230 0

Source : bilan services de l'agriculture 1999 /2000.

- Volume calculé à raison de **10/h/j** d'irrigation ;
- Dose d'irrigation (**1999/2000**) : **12375 m³/an**.

II-2-Indicateurs environnementaux pour l'activité agricole :

Les indicateurs portent sur : les superficies irriguées, les doses d'irrigation, les doses d'engrais chimiques utilisées et les pesticides utilisés.

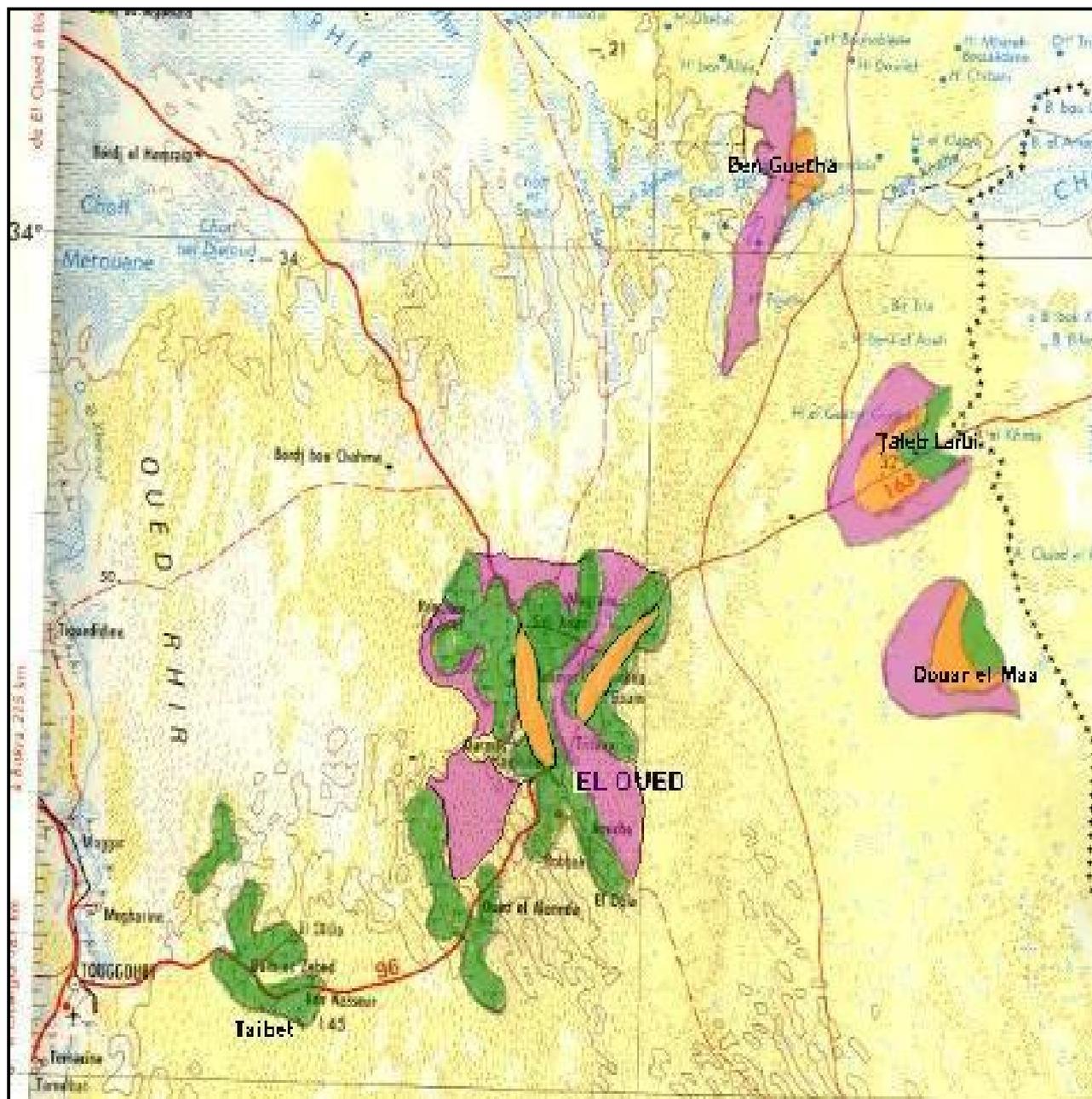
Les différents dosages optimaux devraient être fixés par les services concernés en concertation avec les agriculteurs.

Les effets négatifs exercés par les activités agricoles sur l'environnement notamment sur l'eau et l'état de l'environnement d'une manière générale pourraient être exprimés par les indicateurs suivants :

- Indicateur d'extension : superficies irriguées.
- Indicateur d'irrigation : dose d'irrigation m³/ha.
- Indicateur d'état : nombre de ghouts inondés.
- Indicateur d'état : Quantités de phytosanitaires utilisés.
- Indicateur d'état : dosage d'utilisation d'engrais.

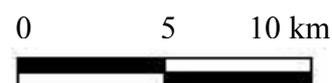
Les produits phytosanitaires utilisés sont des polluants organiques, pouvant être des substances persistantes et susceptibles de bioaccumulation d'où l'intérêt de les surveiller et de contrôler. L'utilisation de certaines d'entre elles doit être régies par une réglementation nationale, rigoureuse. (Voir carte n° 21).

Possibilité d'extension et mise en valeur



Légende

-  **Phœniciculture**
-  Zone de mise en valeur
-  Zone d'extension (Sols irrigables)



A travers la mise en oeuvre de ces aquifères, l'homme se retrouve aujourd'hui en position d'apprenti- sorcier. Il n'est pas question de tourner le dos à ces ressources profondes dont géologie et paléo -climatologie ont doté le Sahara. Mais il est nécessaire de poser dans toutes leurs dimensions les problèmes afférents, à l'amont celui de la mobilisation de cette ressource, à l'aval celui de la gestion des eaux après utilisation. Dans l'un et l'autre cas, c'est toute la question de la durabilité du développement qui est en cause. Désormais l'équation ne peut plus ne pas être posée.

III- Approche du phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique par le modèle numérique de terrain :

Selon les phénomènes étudiés, les méthodes de généralisation ou d'intégration dans l'espace des valeurs échantillonnées à des surfaces continues sont variées et plus ou moins complexes. Ce processus est appelé **l'interpolation**.

Cette application a pour but de représentée l'état actuel de notre région d'étude en visualisant deux couches d'informations : la topographie et la profondeur de l'eau, afin de connaître les zones de remontée. La plupart des informations disponibles sont stockées sur la base de points. Ces points irréguliers sont transformés en points réguliers (raster) puis en isolignes.

On cherche à représenter des surfaces continues, pour généraliser les valeurs ponctuelles. Il faut pour cela calculer des valeurs théoriques pour tous les secteurs non échantillonnées. Ces valeurs seront interpolées afin de pouvoir les estimer en tout point de la surface étudiée.

III-1-Création d'un modèle numérique de terrain (MNT) :

L'un des objectifs de l'interpolation est de produire des modèles de terrain lesquels sont souvent dérivés de matrice d'altitude obtenues après la phase de digitalisation avec création d'une base de donnée (altitude) et ce à partir de la carte topographique au **1/100 000^e** qui couvre toute notre région d'étude:

- Carte topographique d'El Oued.

L'étape première est la digitalisation des courbes de niveaux ainsi que les points cotés, et ce après le calage de la carte.

La deuxième étape est la création d'une base de données qui est la dénomination de chaque nouveau paramètre, ici c'est l'altitude en mètres, où chaque point côté ou courbe de niveau aura sa propre valeur en altitude. Le résultat est une carte altimétrique de toute la région du Souf.

L'interpolation des altitudes par la méthode MNT, nous montre les zones hautes qui sont généralement situées au Sud et les zones basses qui se trouvent au Nord de la région du Souf.

III-1-1- Superposition des couches d'informations :

III-1-1-1- Altimétrie et les zones agricoles :

La superposition de deux couches d'informations, l'altimétrie (les altitudes) et les zones d'exploitation agricole, nous renseigne sur l'impact des nitrates sur la nappe phréatique et les zones vulnérables.

Cette carte nous montre que l'altimétrie de Oued Souf à un pendage vers le Nord, où se trouvent les basses régions. La superposition de l'agriculture sur l'altimétrie nous renseigne sur les zones à risques de contamination par les nitrates, surtout les zones où le niveau d'eau est proche de la surface du sol, c'est le cas de : El Arfsi, El Oued, Hassi Khalifa, Ez Zeggoub, Magrane, Reguiba et kouinine.

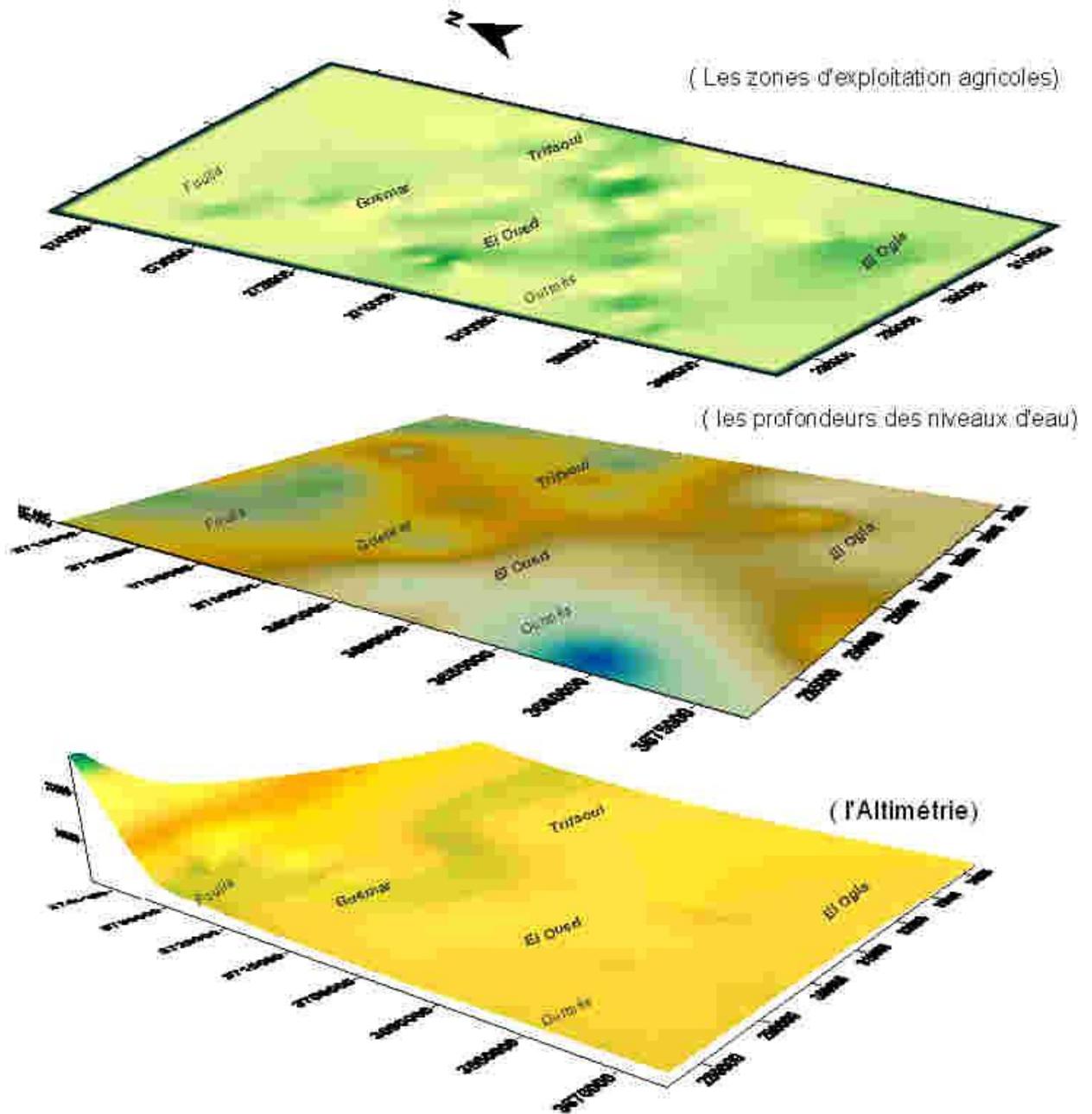
III-1-1-2- Altimétrie et les profondeurs des niveaux d'eau d'après la campagne avril 2002 :

La superposition de l'altimétrie et les profondeurs de l'eau nous donne l'image actuelle du phénomène de remontée des eaux dans la vallée du Souf. D'après cette carte, on peut voir cette remontée au nord d'El Oued, Taghzout et Ourmes, Bougouza, Est de Trifaoui, Ez Zeggoub, Foulia et Magrane.

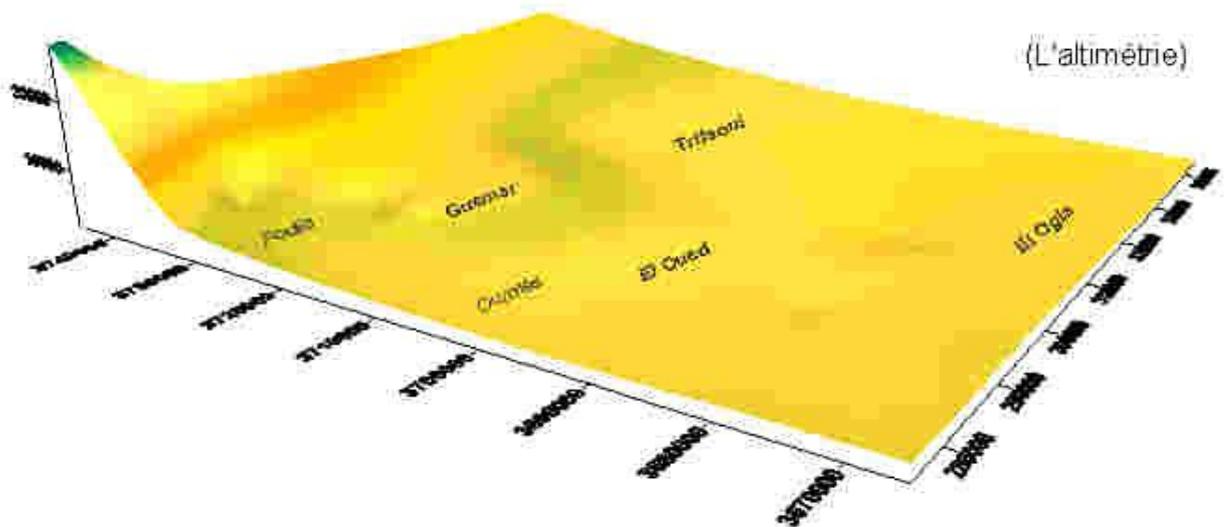
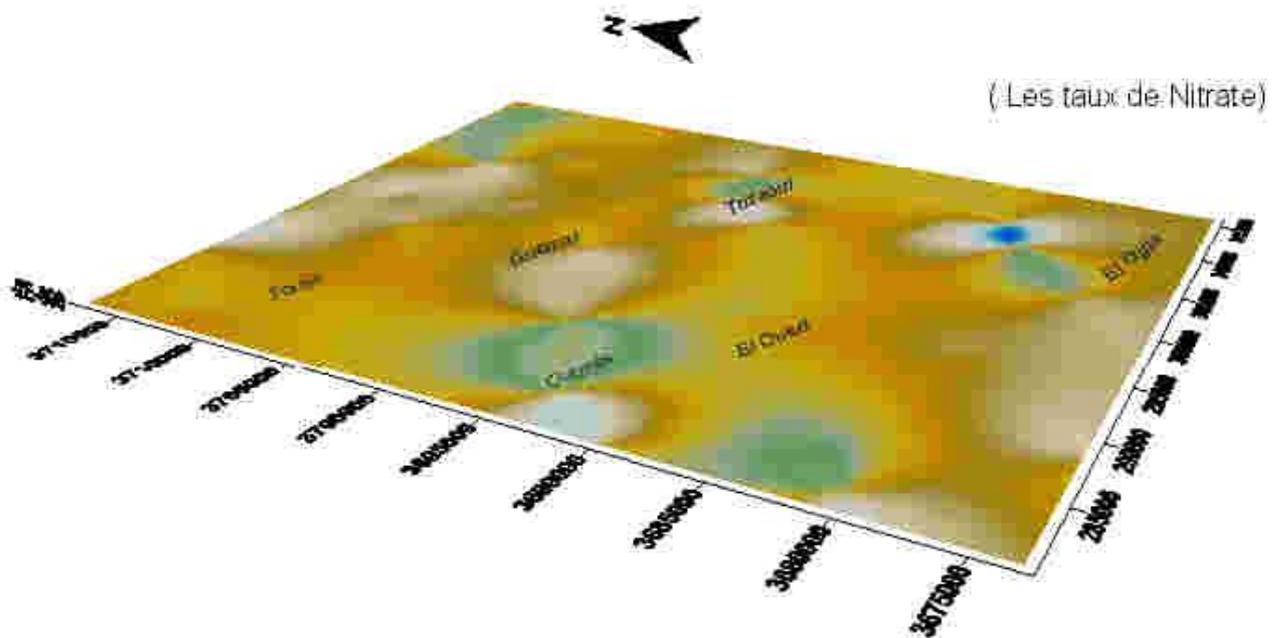
D'après les données des services agricole de la wilaya d'El Oued, les cultures industrielles occupent presque la totalité de la superficie de la wilaya et que **50 %** des superficies des cultures irriguées se concentrent dans la zone d'étude.

Ces deux paramètres impliquent le risque de contamination de la nappe phréatique par infiltration des eaux d'irrigation chargées surtout en nitrates provenant d'engrais chimiques. **100 000** palmiers environ ont dépéri. La région d'étude manque d'un réseau d'assainissement réel puisque on dénombre **36265 fosses** qui contribuent directement à l'alimentation de la nappe et surtout à sa pollution. (Voir figure n°37, 38).

Superposition des couches d'informations de la région d'étude.



Superposition des couche d'information de la région d'étude



D'après la carte obtenue par l'interpolation MNT, l'altimétrie de la région d'étude présente un pendage vers le nord, ce qui explique l'écoulement des eaux souterraines du Sud vers le Nord. La superposition des couches d'informations : altimétrie, PDAU 2005 d'El Oued, l'agriculture et la profondeur de l'eau, nous a servi à connaître l'ampleur de la remontée des eaux de la nappe phréatique et de localiser les zones touchées par ce problème, surtout les alentours de la ville d'El Oued, Trifaoui, Ourmes et Foulia (voir carte n°23).

A travers et après tous les résultats obtenus par l'analyse du **PDAU 2005** phase **III** d'El Oued, les variations des niveaux piézométriques, les variations du taux des éléments chimiques, les zones agricoles et la carte des aléas (par **MNT**), on a essayé de synthétiser un résultat global de notre phénomène, c'est la vulnérabilité du système aquifère et les zones touchées par celle-ci.

Pour cet objectif qui est la base de notre recherche, on a réalisé la carte de vulnérabilité à l'aide de superposition de plusieurs couches, la piézométrie, le taux de nitrate, carte des aléas (voir carte n°24).

A travers la carte réalisé on va Classifier des terrains suivant la vulnérabilité des aquifères :

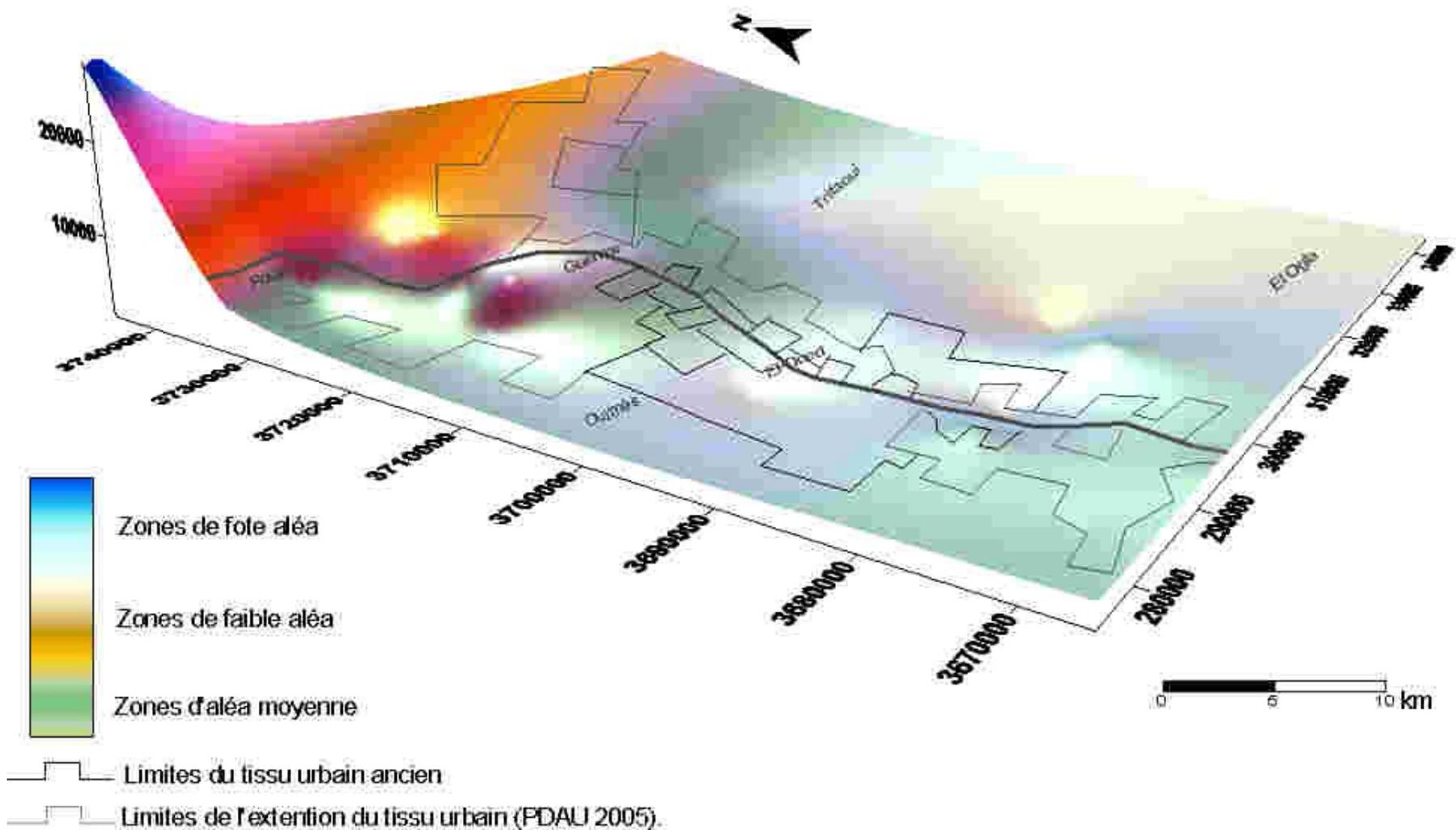
Pour parvenir à une classification préalable, il faut tenir compte des considérations suivantes :

- Introduction de la pollution surtout selon un trajet vertical.
- Propagation de la pollution en fonction de l'écoulement.
- Persistance plus ou moins prolongée après interruption de la cause génératrice de la pollution.

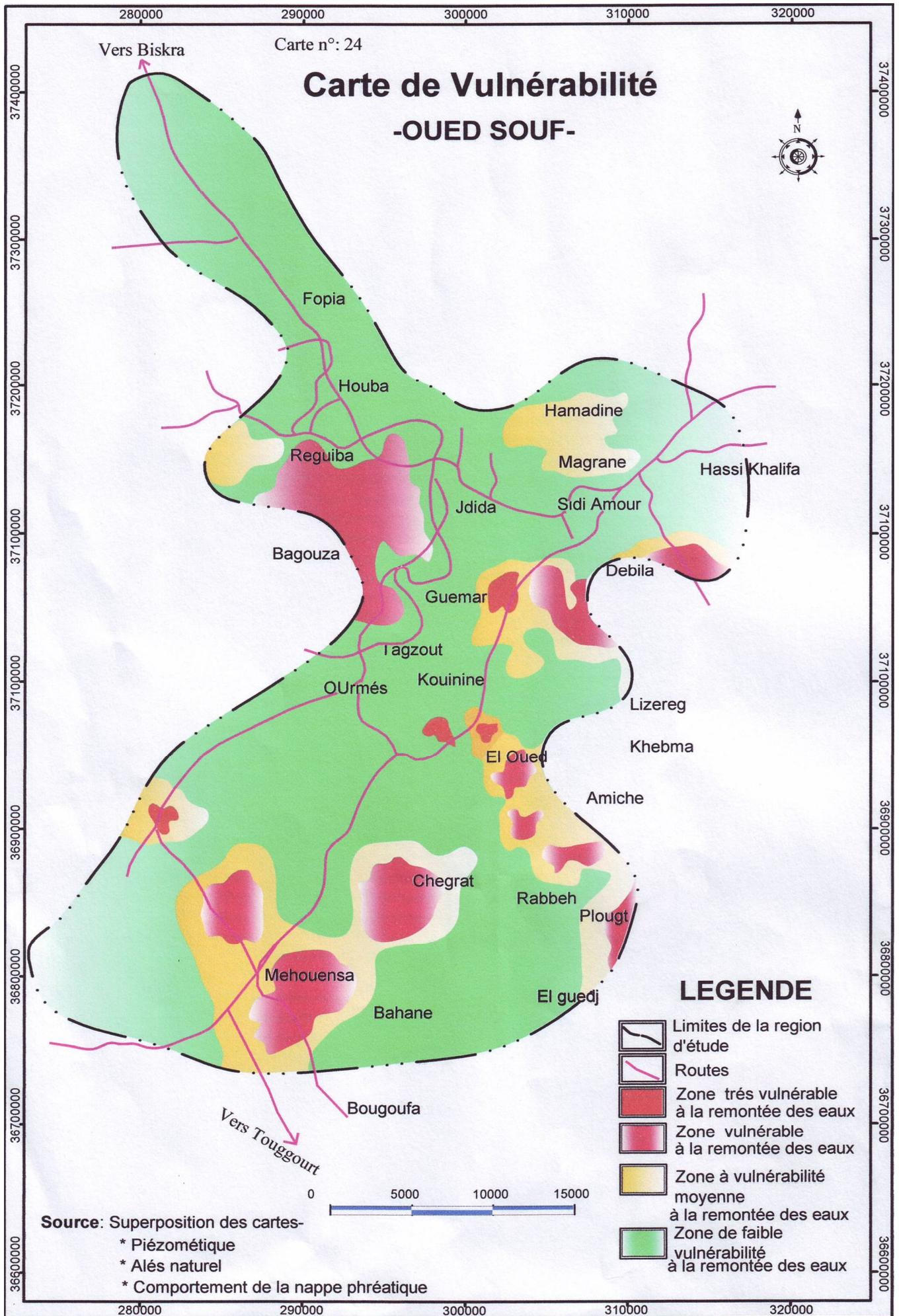
Dans notre région d'étude nous avons deux formations géologiques constituées par des sables, des alluvions, des regs et terrasses. Ces formations possèdent une perméabilité assez importante.

Sur la carte de vulnérabilité, la couleur verte correspond aux terrains dans lesquels la pollution se propage lentement, la couleur jaune correspond aux terrains de moyenne sensibilité à la pollution et la couleur rouge correspond aux terrains très sensibles à la pollution.

Carte des aléas par un modèle numérique de terrain (MNT)



Réalisée à travers la superposition des couches d'informations (fig.37-38)





Troisième partie

Solutions préconisés

Introduction

Depuis les années **1994 – 1995**, les autorités débattent de la crise hydraulique du Souf. De problèmes régionaux (géré par la wilaya), c'est devenu un problème national, pris en main par les autorités supérieures du pays, et suscitant l'intérêt de chercheurs de tout azimut.

Des compagnies de mesures piézométriques ont été menées, des bureaux d'études, algérien, alsaciens, russes, suisses, se sont vu confier des études d'aménagement. Mais cette région aride est devenue malade de trop d'eau ! Émanant de ces aquifères profonds, dont la ressource est peu ou pas renouvelable.

A travers cette base on a essayé de trouver une solution adéquate pour limiter un peu la remontée de la nappe phréatique. La question de la ressource en eau est principalement celle de l'eau douce et son utilisation pour l'homme.

Premier chapitre

Solutions environnementales

L'aménagement et la solution de ce phénomène reste le rêve de l'environnement du Souf ?

L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie.

En milieu urbain, le niveau de la nappe est très élevé du fait des pertes liées aux fuites et aux rejets des eaux usées directement dans le sol.

Il est sûr que toute solution passe d'abord par des actions à caractère curatif, qui est l'assainissement de la ville d'El Oued, c'est-à-dire la réalisation d'un réseau d'égouts, drainant les eaux usées de toute la ville, par un point bas situé du côté de Chott.

Parallèlement, devra être drainé le trop-plein d'eau (provenant des fuites de l'AEP) des terrains d'assiette de la ville. Egouts + trop-plein représentent au total un gros volume.

Ensuite par des actions préventifs purement les formes d'une gestion rationnelle de l'utilisation de la ressource, évitant une surconsommation. Par ailleurs une gestion et une production de l'espace urbain conforme aux aptitudes du milieu. Ce qui doit nous amener aux mesures suivantes :

I- Contrôle du développement de la ville :

I-1- Sur le plan quantitatif :

La ville d'El Oued a connu un développement linéaire le long des axes principaux où elle concentre les différentes réactions dynamiques spatiales, qui sont l'un des éléments principaux de l'armature du tissu urbain de la ville.

Pour arriver à une armature spatiale cohérente il sera nécessaire d'envisager une vision prospective du développement urbain étalé et échancier dans le temps :

1- Une urbanisation à court terme, qui s'attache à :

- Fixer et gérer les poches vides au niveau du tissu urbain qui feront ultérieurement l'objet d'une planification réfléchie.

- Privilégier la direction Nord de la ville pour l'extension, ou les espaces sont disponibles.

b- Une urbanisation à moyen terme :

Cette urbanisation sera sous forme d'un redéploiement à savoir la création d'une ville nouvelle sur des secteurs non vulnérables et la délocalisation de certains quartiers informels et insolubles.

c- développement à long terme :

Les actions prenant la forme d'un transfert des quartiers liés aux ghouts inondés, vers des espaces urbains nouveaux dotés d'un système d'assainissement, la zone Nord pourra constituer une zone d'extension favorable.

I-2- Sur le plan qualitatif :

I-2-1- mode d'urbanisation :

On a noté également des essais remarquables pour concilier l'architecture traditionnelle et les besoins modernes, les gens du Souf veulent des logements spacieux, modernes et ne craignant pas l'humidité du sous-sol.

Les Soufis ont essayé un temps de conserver le style local en l'imposant aux nouvelles constructions, mais sans guère de succès. Ces fausses coupoles sur dalle, n'avaient pas de rôle bioclimatique attendu. Pour cette raison, faut-il envisager des villes nouvelles avec des matériaux de constructions modernes, en optant pour une taille optimale de la ville d'El Oued.

Le fonctionnement de tout espace passe par la connaissance des mouvements et des airs d'influence à différents niveaux.

Les espaces administratifs et fonctionnels du point de vue limites marquent le degré de leur incohérence. Cet axe vise à corriger le dysfonctionnement de l'espace Soufi. Il est possible de prendre tout l'espace de la wilaya d'El Oued.

Il vise aussi la recherche d'un urbanisme, non pas comme celui appliqué au Nord, mais plutôt saharien, qui sera plus adapté au contexte Soufi, avec tout ce que cette notion de contextualité implique.

II- La solution biologique :

Des plantations forestières de grande envergure pourraient absorber le trop-plein d'eau. Un arbre adulte consomme de **200 à 500** litres par jour, soit approximativement ce qu'un citoyen évacue chaque jour. L'arbre constitue une pompe à eau naturelle. A la densité de **1000** arbres/hectare, des plantations répétées dans les secteurs menacés et là où le problème foncier ne se pose pas seraient efficaces. L'eucalyptus est une pompe magistrale, et réussit bien dans les rues d'El Oued, le tamaris consomme moins, mais résiste bien au sel, l'Acacia cyanophylla, le laurier-rose, pourraient être associés.

Solution la plus simple et la moins coûteuse, mais qui, pour ne pas avoir été mise en chantier dès le début de la crise, apparaît comme un peu dépassée aujourd'hui par l'ampleur de celle-ci.

La plantation des espèces d'arbres résistantes et arbustes résistants au climat aride à forte évapo- transpiration pour ralentir le phénomène au moins ; il est recommandé de planter autour des zones envahies par l'eau les arbres et arbustes suivants :

- l'Eucalyptus dite aussi pompeur d'eau dont on distingue deux espèces
 - tamarix Africana,
 - l'Acacia cyanophylla (très abondante en Algérie),
 - le casuarina.

Cette méthode est utilisée principalement dans le Nord de l'Algérie. Elle permet de lutter contre les eaux stagnantes (marécages). Elle est surtout proposée par MARGAI (Hydrogéologue français).

L'évacuation des eaux collectées vers une zone de rejet préalablement étudié (Chott Melghir ou Merouan) par le biais d'une conduite dont le tracé fera l'objet d'une étude topographique, ou encore vers le canal principal de l'Oued Righ servant actuellement à évacuer les eaux de drainage des palmeraies de la vallée. Une station d'épuration est impérative et ce dans tous les cas.

Observation régulière des fluctuations de la nappe étudiée par la mise en place de limnigraphes sur les piézomètres et puits faisant partie du réseau de surveillance. Cette observation peut permettre de vérifier l'efficacité des recommandations après leur mise en application.

Pour conclure, l'évacuation des eaux de la nappe phréatique vers les chotts n'est pas une solution suffisante.

Pour remédier aux problèmes, les recommandations énumérées plus haut doivent être mise en application afin d'écarter le danger qui guette la région du Souf. Notons par ailleurs que d'autres régions sahariennes sont confrontées au même phénomène et qu'il y a lieu d'appliquer les mêmes recommandations.

- Gestion rationnelle de la ressource en eau,
- Entretien des canaux de drainage,
- Arrêt immédiat de toute réalisation de forages dans les deux nappes,
- Optimisation et gestion cohérente de la ressource en eau,
- Etude de possibilités de la réutilisation des eaux drainées par le canal principal d'Oued Righ pour l'irrigation.

III- La solution agronomique :

Le ⁽¹⁾ Souf est complexe, puisqu'il y a à la fois excédent d'eau et déficit, suivant les secteurs. La solution peut être trouvée dans cette dualité. Un transfert (sur courte distance) des eaux excédentaires (du sud) vers les secteurs déficitaires (du nord) permettrait de retrouver la vielle complémentarité ville- campagne.

Cela implique bien sur une épuration préalable (par lagunage ?) des eaux usées. Solution intéressante économiquement, puisqu'elle résout à la fois les problèmes de la ville et ceux de l'agriculture.

Le point délicat reste les modalités de mise à disposition de l'agriculture de cette eau, qui pourrait se faire soit sous forme de recharge de la nappe par injection en quelques points, soit par fourniture directe aux exploitations par système de réseaux.

III-1- Gestion de la pollution d'origine agricole :

- Développement de l'agriculture biologique par l'activation du développement de micro-organismes du sol : humus enrichi par l'apport du fumier et de compost (déchets ménagers transformés), ce sont des micro-organismes qui mettent les éléments nutritifs en solution. Ce type d'agriculture nouvelle va diminuer l'utilisation des engrais ammonitrates qui produisent l'azote (origine des nitrates) et les engrais phosphopotassiques.
- Informer, sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation des engrais et pesticides.
- Introduction de nouvelles techniques d'irrigation (goutte à goutte) pour éviter les pertes d'eau.

(1) : Cote M. : c'est le Soufi m'était conté

IV- La gestion des déchets :

La direction de l'environnement et de la Protection des eaux est opposée à la fausse solution que constitue l'incinération des ordures ménagères et des déchets industriels banals, en raison de l'impact sur l'atmosphère et des perturbations climatiques ou physiques qu'elle induit pour l'avenir surtout au niveau de la nappe phréatique. La plus grande part (**60%**) de ces déchets (emballages inutiles, sur- publicité, absence de tri sélectif) peut être éliminée à l'amont des installations dites "d'élimination" :

- Par une loi (à faire voter) limitant enfin les emballages à l'indispensable,
 - Par un tri sélectif, un intéressement des consommateurs, et un recyclage réel,
- Mise en place de schéma d'élimination des déchets prévoyants la création des décharges intercommunales aménagées et gérées selon les règles d'exploitation.

V- Gestion de la nappe phréatique :

V-1- Gestion de la pollution de la nappe phréatique :

La composition et la qualité des eaux souterraines sont à l'origine liées à la nature géologique de la région. Malheureusement celle-ci est dénaturée par les activités agricoles et industrielles dans la ville. Les eaux usées domestiques et industrielles souvent déversées directement dans les oueds, participent fortement au changement de la qualité des eaux souterraines d'une agglomération.

Après la mobilisation de ces eaux et avant la distribution au consommateur elles doivent avoir une bonne qualité et doivent répondre aux normes de l'O.M.S.

Par conséquent, on doit apporter une attention particulière au problème de la dégradation de la qualité des eaux souterraines si on veut alimenter la ville en eau potable de bonne qualité, améliorer la qualité de vie des citoyens et éradiquer les maladies hydriques.

Pour toutes ces raisons les systèmes d'informations géographiques permettent de créer, de manipuler et d'analyser, des bases de données temporelles et physiques liées à la géographie et à l'activité de la zone à étudier, pour gérer et exploiter plusieurs problèmes de la ville.

Renforcer la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux de la nappe phréatique pour les paramètres prioritaires comme les nitrates et la bactériologie.

V-2- Gestion de la remontée de la nappe phréatique :

- Augmentation du nombre de points d'eau dans le réseau de surveillance pour le contrôle du niveau de la nappe.
- Sensibilisation et information du public sur la nécessité de se raccorder au futur réseau de d'assainissement et la protection de l'environnement.
- Contrôle des débits d'exploitations des forages et des puits destinés à l'AEP et l'irrigation.
- La réutilisation des eaux de remontée pour l'irrigation (la mise en valeur des terres).

De manière générale, la mise en œuvre d'un réseau d'assainissement permettra de limiter le problème de la remontée de la nappe dans les agglomérations qui y sont soumises (Débila, Hassani Abd Elkrim, hassi khalifa, Magrane, Reguiba, Sidi Aoun, Ghemar, Taghzout, Bayada, El Oued, Kuinine).

L'évolution qualitative et quantitative des formations géologiques et des eaux souterraines nous donne la possibilité d'améliorer la qualité de ses eaux, et d'avoir des informations quantitatives dans une période de temps très courte qui va accélérer les travaux de recherche des eaux souterraines, en plus de la méthodologie actuellement appliqué il faut compléter les travaux géophysiques par les méthodes suivantes :

- Un ensemble de méthodes qui permettent l'évaluation quantitative de formation géologique, les méthodes nucléaires et acoustiques.
- Un ensemble de méthodes pour l'évaluation qualitative et quantitative des eaux souterraines. C'est la diagraphie du fluide qui nous permet de tracer rapidement les propriétés physiques des fluides dans le trou de forage. La diagraphie du fluide, nous permettre aussi de tracer les paramètres hydrodynamiques (propriété hydraulique).

- En plus de ses méthodes il faut un superviseur de terrain qui va vérifier et contrôler les mesures géophysiques.

Dans le cadre de la réalisation du projet d'assainissement, nous ne pensons pas qu'il soit judicieux de proposer le remplacement pur et simple des systèmes autonomes existants.

En effet, nous ne connaissons pas d'exemple où la collectivité s'est chargée de remplacer directement ou de financer directement le remplacement de systèmes d'épuration autonome, en une seule opération, à l'échelle d'une agglomération.

Ceci est lié d'une part au fait que remplacer systématiquement tous les systèmes coûterait plus cher que de mettre en œuvre un réseau d'assainissement collectif, et d'autre part qu'il est généralement considéré que l'assainissement autonome est du ressort direct des usagers, même s'il est souhaitable de le gérer à l'échelle de l'agglomération ou d'un ensemble d'agglomérations. Afin d'uniformiser les performances, de diminuer les coûts de vidange des fosses et de maîtriser les lieux de rejet des résidus de vidange de fosse.

Dans ces conditions, à terme, nous proposons de fixer les objectifs suivants pour l'assainissement autonome :

- adoption d'un système d'assainissement autonome adapté à la vallée du Souf,
- équipement de toute nouvelle construction qui n'est pas reliée au réseau collectif, avec un tel système,
- inspection et mise aux normes progressive des installations existantes,
- mise en place d'un système de suivi (éventuellement de réalisation) des vidanges.

Pour atteindre ces objectifs, les démarches suivantes sont nécessaires :

VI- Le système d'assainissement préconisé :

Il s'agit du système dont les principales caractéristiques ont été données pour le bureau d'étude
Le système est constitué :

- soit d'une fosse étanche (forme quelconque) qui est vidangée périodiquement. Ce système peut être utilisé quand il n'y a aucune autre solution.
- Soit d'un système d'infiltration de type puits, précédé d'un pré-traitement.

VI-1-Les dimensions préconisées sont les suivantes :

V-1-1- Fosse étanche :

Avec un rejet maximal de **180 l/hab/jour**, et une vidange tous les **2** mois, le volume de la fosse pour une habitation de **6** personnes serait de **65 m³**, soit une fosse parallélépipédique de **4m** sur **5m** pour **3 m** de profondeur.

La fosse doit être étanche, réalisée en béton armé CRS, munie d'enduits d'étanchéité, calculée pour résister à vide à la poussée de la nappe si celle-ci est sub-affleurante (épaisseur de béton de **0.25 m** à **0.3m** pour une nappe située à **1 m** sous la surface du sol, avec les dimensions ci-dessus).

Elle doit être proprement fondée, sur un béton de propreté de **0.15 cm** d'épaisseur minimum.

Notons qu'elle peut aussi être construite en PVC, avec ancrage sur une dalle de fond en cas de présence de la nappe.

VI-2- Système avec Fosse septique et puits d'infiltration :

Théoriquement, plus la fosse septique comporte de compartiments, plus elle est efficace. En pratique, et dans le cas d'El Oued, les règles de conception suivante peuvent être retenues :

- hauteur minimale d'eau **1 m**,
- largeur **1 m - 1.5 m**,
- premier compartiment avec connexion siphonide sur le deuxième compartiment de profondeur minimale **0.5 m** par rapport à la surface de l'eau, posée à une distance min de **0.5 mètres** de l'arrivée des effluents dans la fosse,
- sortie de la fosse réalisée par un tuyau muni d'un coude (**10cm à 20 cm** vertical), dont l'extrémité horizontale est calée à **1 à 5 cm** sous le radier de la canalisation d'arrivée (le coude plongeant permet d'éviter l'entraînement des graisses ou autres flottants qui auraient passé la cloison siphonide),
- tuyau d'aération (diamètre min. **100mm**) avec extracteur d'air, connecté sur la fosse,
- présence d'un tampon pour visite et vidange (idéalement **2 tampons** : **1** au-dessus du premier compartiment, l'autre près de la sortie (aval) de la fosse.

La fosse est construite en matériau étanche et résistant à la corrosion (exemple PVC, PE, ou béton CRS + enduits d'étanchéité).

VI-2-1-Le puits d'infiltration :

Les effluents y sont infiltrés à travers les parois d'un puits creusé dans le sable.

Le puits doit être constitué d'une excavation garnie de bas en haut par une couche de cailloux, une couche de gravier et une couche de sable dunaire. Les parois situées au-dessus du tuyau d'amenée des effluents (pente supérieure à **0.005m/m**) doivent être maçonnées ou busées pour assurer une stabilité à l'ouvrage. La partie qui se trouve en-dessous est construite en maçonnerie de briques massives à joints ouverts, ou en buses perforées sur toute la surface (petits trous pour éviter les intrusions de sable).

Entre les parois du puits et le terrain est implanté un filtre qui peut être constitué :

- d'un géotextile imputrescible anticontaminant,
- ou bien constitué d'une couche de cailloux de diamètre **5mm à 5cm**, intimement mélangés, sur une épaisseur de **20 cm** environ.

Le puits possède une couverture étanche munie d'un tampon d'accès (soulever par un homme) permettant de faire les opérations d'inspection et de nettoyage.

La profondeur du puits dans la couche perméable est de **2 à 4 m** ; son diamètre de **0.9m à 1.5 m**.

Implantation de l'ouvrage : idéalement à plus de **10 m** des constructions.

VI-3- Equipement des nouvelles constructions :

La quantité de nouvelles constructions à équiper entre **1998 et 2030**, est donnée par les études de population, en faisant l'hypothèse d'une occupation moyenne de **6 personnes** par habitation, et en ne tenant pas compte des habitations assainies en collectif.

Tableau n° :47

Perspective de la quantité de nouvelle construction à équiper (1998 - 2030)

	98 autonome	2030 autonome	Accroissement annuel
Population	157 200	234 000	2 400
habitations	26 200	39 000	400

Source : ONA, Août 2004

Le seul moyen d'imposer la construction d'un système d'assainissement conforme, est de contrôler ce qui est prévu au niveau du permis de construire.

VII- Inspection et mise à la norme des installations existantes :

L'objectif qu'en 2030, aucune installation ne soit plus conforme, pour un nombre total d'installations existantes de 30 000, il serait nécessaire d'en traiter 1000 par an.

VII-1- Mise en place d'un système de suivi des vidanges :

Ce système aurait pour but d'éviter les vidanges sauvages, et les risques de pollution.

Notons qu'avec près de 39 000 fosses septiques en 2030, une vidange tous les 3 ans en moyenne, le nombre de vidange annuel serait de près de 13 000, soit un volume annuel de l'ordre de 50 000 m³ de matières de vidange (ce qui correspondrait à un débit moyen de 2 l/s).

Actuellement, les matières de vidange sont déversées dans des décharges plus ou moins contrôlées.

Il s'agirait :

- de répertorier les sociétés susceptibles de vidange, (autorisation spéciale de la Wilaya par exemple)
- de créer des points de vidange contrôlée,
- de faire tenir un registre des vidanges par les sociétés en question (émargement des particuliers demandant la vidange, avec éventuellement émargement du service de contrôle).

VII-2- Modélisation :

Etablissement d'un modèle mathématique à base de la géostatistique pour une bonne gestion des ressources hydriques.

VIII- Solutions proposées en Assainissement par l'ONA à court terme :

A- Mode d'assainissement :

- 12 communes en assainissement collectif et 6 communes en assainissements autonomes améliorés.
- Regroupement des 12 communes en 4 sous regroupement des 12 communes en 4 sous- ensembles.
- 600 km de réseaux et de collecteur.
- 53 stations de pompages (relevage / 53 stations de pompages (relevage / refoulement).

B- Solutions proposées pour l'épuration :

- Quatre stations d'épurations pour les quatre sous- ensembles
- Filière d'épuration : lagunage aéré.
- Pour les localités éloignées non raccordées au réseau collectif : assainissement autonome.

En tenant compte du contexte géographique et de la problématique de la remontée de la nappe par l'élimination des nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées et de Préserver la qualité des eaux de la nappe phréatique.

Un environnement idéal (physique et urbain), reste toujours le rêve introuvable parmi les milliers rêves de l'espace, des palmeraies et bien sur des habitants.

Deuxième chapitre

Solutions techniques

La technique reste toujours la base de tout système d'aménagement, et la gestion par des paramètres techniques fut depuis des années l'élément manquant dans le problème du Soufi. .

I- La solution mécanique :

Elle consiste, à partir de la collecte de toutes les eaux, usées et de surplus, en une évacuation par une conduite sur longue distance vers les grands Chotts au nord (à **45 km** au nord d'El Oued existe des bras de sebkha à la cote **15 m**, le cartier Chott d'El Oued étant à la cote **75 m**).

Cette solution impliquera des stations de relevage, la pente naturelle étant trop faible pour l'évacuation par gravité (**1/1000** dans le Souf, **1/2000** ou **1/3000** dans la zone des sebkhas). Elle impliquera également que soit étudiée de près les impacts sur les grands Chotts.

Dans le cadre du programme de la biosphère mondiale, et de la convention de Ramsar, ces grand Chotts Merouane et Melrhir ont été classés (zones humides protégées). Le déversement des eaux polluées ne va-t-il pas les bouleverser ?

Courant **2004**, une décision a été prise par les autorités, en une solution combinée.

Les eaux usées des **12** communes les plus directement concernées seront collectées par un réseau d'égout, les eaux de drainage en surplus dans le sol le seront par les pompages.

- le contrôle sévère du débit d'exploitation des forages destinés à l'AEP et l'irrigation.
- L'installation des compteurs sur des branchements particuliers ainsi que la sensibilisation des citoyens et révision des tarifs de l'eau à la hausse,
- L'introduction des nouvelles techniques d'irrigation ne (goutte à goutte aspersion, capillarité etc.),
- La fermeture impérative des vieux forages et particulièrement Ceux non utilisés,
- La fermeture systématique des forages pétroliers reconvertis en puits d'eau
- La mise en place d'une méthodologie de gestion des ressources en eau.

- Mener des campagnes de vulgarisation et de sensibilisation des citoyens sur les conséquences qu'entraîne le gaspillage de l'eau.

-

I-1- Panier dégrilleur :

Chaque station est équipée d'un panier dégrilleur de maille 5 cm max. et de dimensions adaptées à la canalisation d'arrivée. Il n'a pas été prévu de dégrilleur automatique car les stations de grande taille qui pourraient éventuellement en nécessiter un, se trouvent à l'aval d'autres stations de pompage où les eaux sont déjà dégrillées.

I-2- Aération :

Afin de limiter la production de H₂S, l'eau sera oxygénée dans la bêche des stations de refoulement qui sont situées à l'exutoire d'une agglomération (et donc sont connectées sur le réseau de transfert).

Cet oxygène est fourni par injection d'air sur pressé (fines bulles).

Sur les stations ainsi équipées, la mise en place d'un agitateur ne sera pas nécessaire.

II- Installation des micros- stations d'épuration :

On a signalé dans notre étude que le système d'assainissement dans la région d'El Oued est celui du fosse- sceptique (voir figure n°=1), donc l'absence d'un réseau d'assainissement et puis une station d'épuration. Cette raison qu'il semblait judicieux d'envisager des micros- stations d'épuration au niveau de chaque quartier concerné par la remontée de la nappe.

Le but est de stimuler in situ la biodégradation des polluants piégés dans la fosse- sceptique.

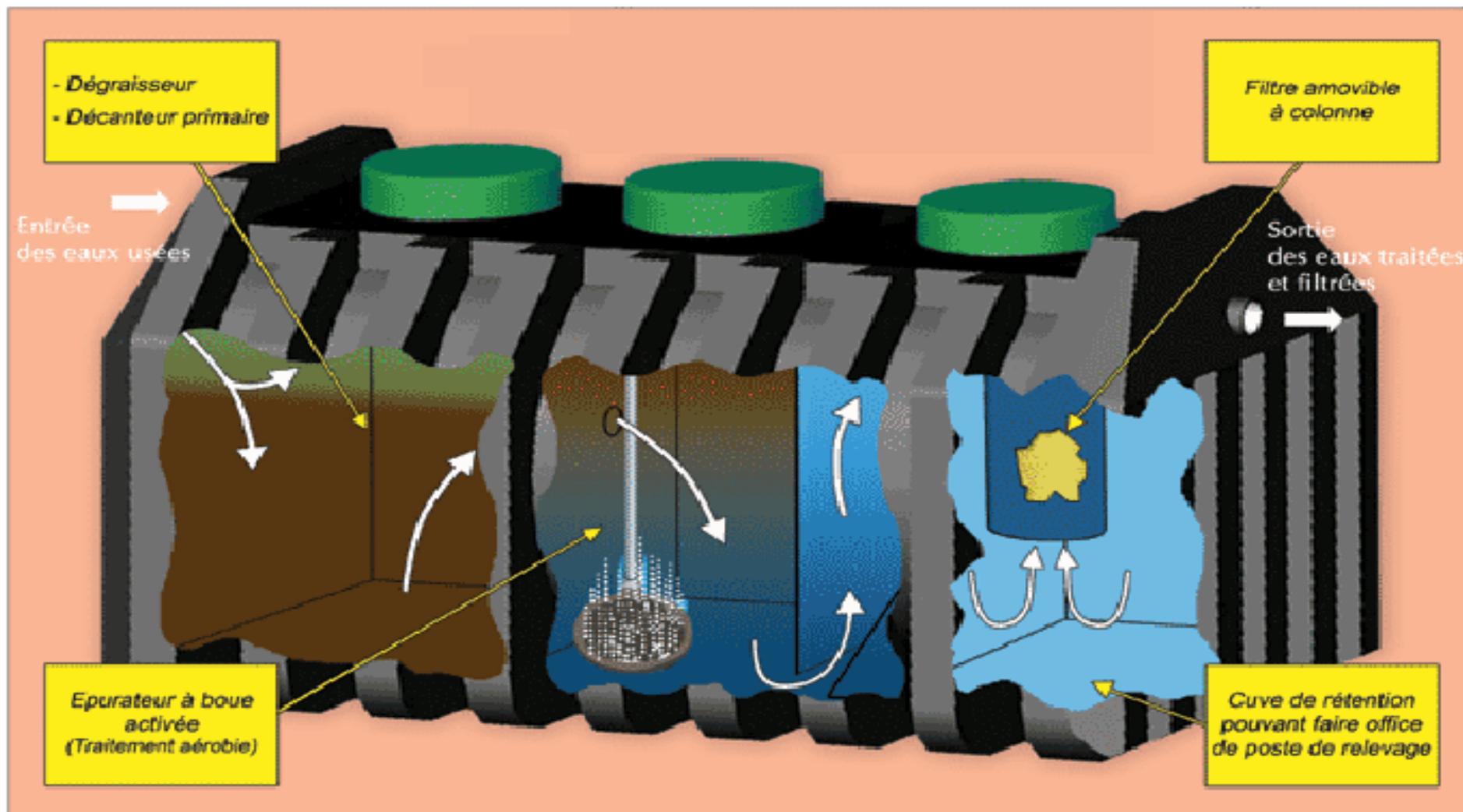
II-1- Avantages de la MICRO-STATION d'épuration :

(Voir figure n°39) :

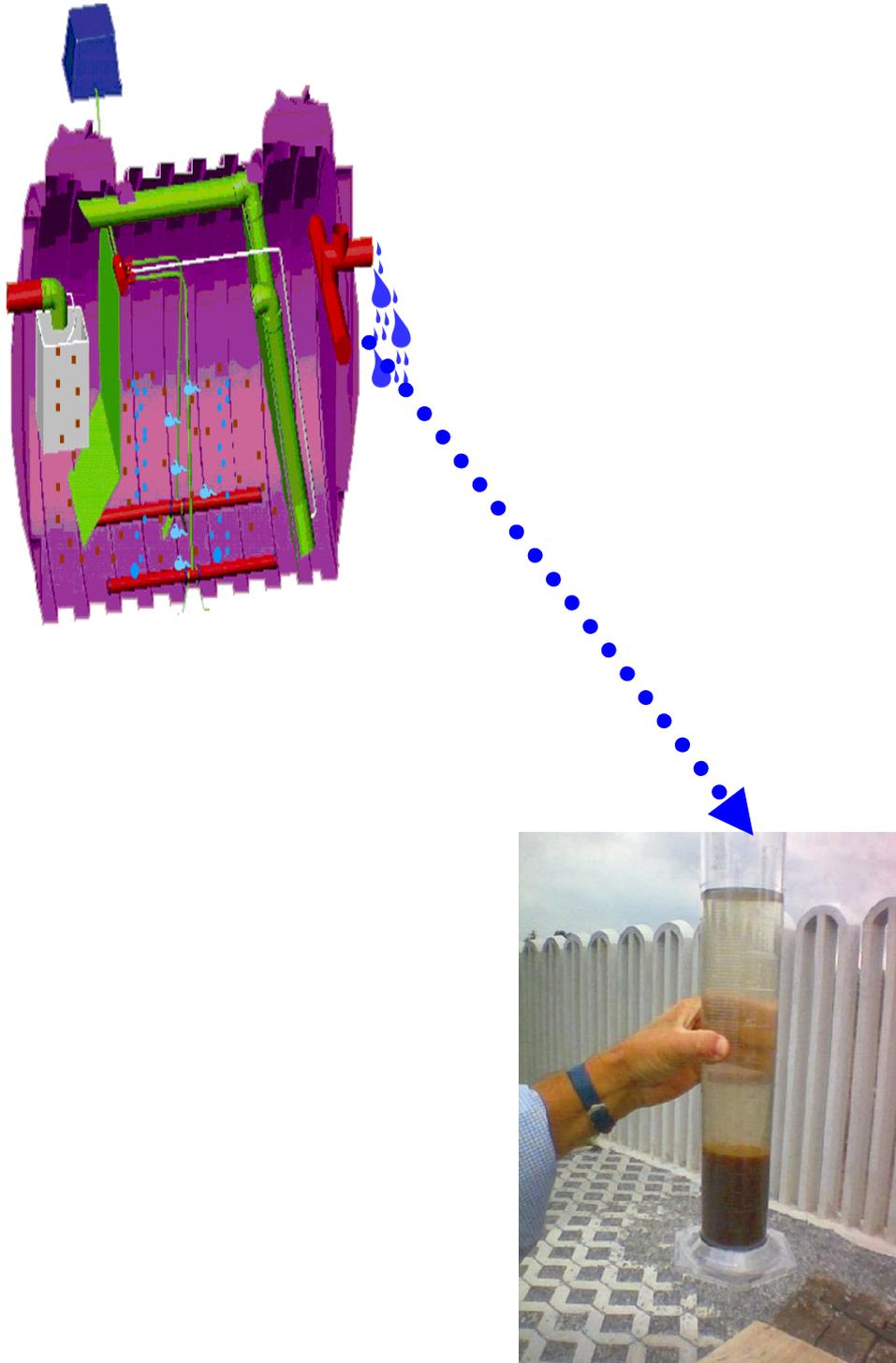
- **Ecologique** : maîtrise totale de la pollution des rejets, recyclage de l'eau dépolluée.
- **Economique** : pas de filtre à sable, technologie simple n'utilise pas de pompe, ni d'électronique, cuve grande capacité pour un meilleur traitement, possibilité de récupérer l'eau de sortie
- **Sécuritaire** : pas de connections électrique sur la micro-station
- **Sans odeur** : l'installation et l'eau résiduelle ne dégagent aucune odeur
- **Efficace** : dépollution à **98%**
- Faible consommation électrique du surpression
- Encombrement réduit, monobloc.
 - Facile à installer : régulation automatique.

Figure n °39

Schéma de la micro- station d'épuration



La pollution diluée dans les eaux a été réduite à 98%.



Les solutions techniques sont les meilleures solutions qui manquent dans les régions Sahariennes, et précisément dans le Souf.

Ne pas tourner le dos toujours, et surtout pour ce qui concerne ce problème crucial qui gêne l'équilibre de l'espace.

Conclusion générale

Le Souf est une petite région située dans le Sahara algérien, au nord-est du Grand Erg Oriental. Il est limité au nord par la zone des chotts, au sud par l'extension de l'Erg Oriental, à l'est par la frontière tunisienne et à l'ouest par la vallée de Oued Rhig.

Isolé au milieu de cet immense demi-cercle, nous trouvons le Souf groupé autour de sa capitale El Oued. Il s'étend sur une superficie approximative de **350 000** hectares, elle comprend **18** communes qui représentent une population totale de **367 802** habitants.

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux. Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone de la bordure située au Nord-Est du bassin.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique. Allant du Crétacé jusqu'au Quaternaire, elle est constituée d'une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série forme trois grands ensembles perméables correspondant à trois grands systèmes aquifères indépendants :

- La formation du Continental Intercalaire (CI) est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement **2000 m**. il est exploitée par deux forages artésiens.
- Les formations du Complexe Terminal (CT) sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. Il est compris entre **100** et **600 m** et sa puissance moyenne est de l'ordre de **300 m**, elle est exploitée par **129** forages dont certains sont artésiens.
- La nappe phréatique comprend les dépôts sableux fins de type éolien, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Elle est limitée par un substratum argileux imperméable. Elle est exploitée par **1040** puits.

D'après l'étude hydroclimatologique notre région présente un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver plutôt doux. Oued Souf est caractérisée aussi par l'irrégularité et la faiblesse de ses précipitations et l'augmentation de température.

L'étude géophysique a montré que les terrains rencontrés dans la zone d'étude sont constitués essentiellement de sable, de sable argileux et d'argile. En effet, les sables formant la première couche s'identifient aisément par les fortes résistivités (**50 à 400m**).

Les paramètres hydrodynamiques de la nappe phréatique sont Les transmissivités qui varient entre $7.04 \cdot 10^{-3}$ et $1.02 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. La perméabilité varie de **2 à 6 m/j**, est de $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ et le coefficient d'emmagasinement qui vaut **S=0.2**.

La piézométrie de la région d'étude est traduite par l'établissement de cartes. Le sens d'écoulement révèle une direction (Nord) vers l'exutoire naturel qui correspond aux chotts.

Au cours des **50** dernières années, le Souf s'est urbanisé. Il compte aujourd'hui environ **75** localités de **30.000** habitants.

Dans le Souf, la qualité de l'architecture va de paire avec celle de l'agriculture. A travers cette extension apparaît l'impact socio- spatial de la remontée de la nappe, elle touche principalement les quartiers pauvres (Chott, Sidi Mes tour).

La qualité des eaux de la nappe phréatique de Oued Souf est en général de type Sulfaté calcique, magnésien et sodique. En plus, se sont des eaux très dures, ce qui rend leur potabilité très médiocre voire même déconseillée pour la consommation en AEP.

En matière d'assainissement, seule la ville d'El Oued est dotée d'un réseau linéaire.

La mise en conformité des installations d'épuration autonome actuelles et futures, ne contribuera pas significativement à la lutte contre la remontée de la nappe qui est l'objectif principal de cette étude.

Les études d'impacts sur l'environnement d'après les données des services de l'agriculture de la wilaya ont montré que les cultures industrielles occupent presque la totalité de la superficie de la wilaya et environ **50 %** des superficies des cultures irriguées se concentrent dans la zone d'étude. Ces deux paramètres impliquent une convergence sur le risque de contamination de la nappe phréatique. Certains maladies se multiplient : **maladies cutanées, leishmanioses, paludisme, typhoïde,...**etc.

Mais la société actuelle a suffisamment fait preuve d'esprit d'adaptation et d'innovation au cours de l'histoire pour pouvoir y faire face. Forte de sa structure interne, et appuyée sur ses assises externes, elle doit pouvoir s'inscrire dans la durabilité, et un environnement idéal reste toujours le rêve de l'espace.

Liste des cartes

N° Carte	Titres des cartes
Carte n° 01	Carte de situation géographique de la zone d'étude.
Carte n°02	Carte de situation d'après latitude et longitude.
Carte n°03	Carte de situation topographique de la région d'El Oued.
Carte n°04	Le découpage communal de la région du Souf.
Carte n°05	Carte géologique régional de la région d'El Oued.
Carte n°06	Carte géologique locale de la région d'El Oued.
Carte n°07	Carte lithologique de la région de Oued Souf.
Carte n°08	Carte de valeur du coefficient de perméabilité de la nappe libre (mars 2002).
Carte n°09	Carte piézométrique de la nappe libre d'El Oued (mars 1998).
Carte n° 10	Carte piézométrique de la nappe libre d'El Oued (2003).
Carte n°11	Carte de valeurs des nitrates de la nappe libre d'El Oued (1998).
Carte n°12	Carte de valeurs des nitrates de la nappe libre d'El Oued (2003).
Carte n°13	Carte de valeurs des résidus secs d'El Oued (1998).
Carte n°14	Carte de valeurs des résidus secs d'El Oued (2003).
Carte n°15	PDAU2005 phase III, de la ville d'El Oued.
Carte n°16	Comportement de la nappe phréatique de la ville d'El Oued.
Carte n°17	Impact de l'évolution urbain sur la vulnérabilité de la nappe phréatique d'El Oued.
Carte n°18	Tracé du réseau d'AEP de la ville d'El Oued.
Carte n°19	Tracé du réseau d'assainissement de la ville d'El Oued.
Carte n°20	Carte de situation de la zone de rejet.
Carte n°21	Carte de possibilité d'extension et mise en valeur
Carte n°22	Carte d'état des ghouts d'El Oued en 2002.
Carte n°23	Carte des aléas par un MNT.
Carte n°24	Carte de vulnérabilité de la région d'étude.

Liste des figures

N° figure	Les titres
Figure n° 01	Coupe hydrogéologique de la région du Souf
Figure n° 02	Coupe géologique (N° 01) de la région du Souf
Figure n° 03	Coupe géologique (N° 02) de la région du Souf
Figure n° 04	Coupe géologique (N° 03) de la région du Souf
Figure n° 05	Coupe géologique (N° 04) de la région du Souf
Figure n° 06	Variations des précipitations moyennes mensuelles (1913-1938)
Figure n° 07	Variations des précipitations moyennes mensuelles (1967-2005)
Figure n° 08	Ajustement à une loi log normale des précipitations moyennes annuelles (1967-2005)
Figure n°09	Ajustement à une loi normale des précipitations moyennes annuelles (1967-2005)
Figure n° 10	Variations des températures moyennes mensuelles (1913-1938)
Figure n° 11	Variations des températures moyennes mensuelles (1967-2005)
Figure n° 12	Courbe Ombro- thermique d'El Oued (1967-2005)
Figure n° 13	Variation d'humidité relative moyenne mensuelle (1967-2005)
Figure n° 14	Variation de la durée relative moyenne mensuelle d'ensoleillement en heures Station d'El Oued
Figure n° 15	Variation d'évaporation moyenne mensuelle (67-2005) d'El Oued
Figure n° 16	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara
Figure n° 17	Histogramme des variations des niveaux piézométrique du C.T. du Souf
Figure n° 18	Récapitulatif des résultats d'inventaire 2004
Figure n° 19	Tracé de la loi normale des charges hydrauliques (mars 98)
Figure n° 20	Tracé de la loi normal des charges hydrauliques (avril 2003)
Figure n° 21	Histogramme des différences du niveau piézométrique de la nappe phréatique
Figure n° 22	Tracé de la loi normal des Nitrates (mars 98).

Figure n°23	Tracé de la loi normal des Nitrates (avril 2003).
Figure n° 24	Histogramme des différences du taux de Nitrate de la nappe phréatique.
Figure n° 25	Tracé de la loi Normale des Résidus secs (Oued Souf, mars 1998).
Figure n° 26	Histogramme des fréquences des Résidus secs (oued Souf, mars 1998).
Figure n° 27	Tracé de la loi Log - normale des résidus secs (mars 2003).
Figure n° 28	Courbe de l'évolution de la population d'El Oued (1987-2003).
Figure n° 29	Evolution du taux d'habitat de la période (1987-2003).
Figure n° 30	Ressource en eau dans la wilaya d'El Oued - nappe du C.T et C.I-
Figure n° 31	Schéma d'une Fosse sceptique.
Figure n° 32	Cycle de dénitrification d'El Oued.
Figure n° 33	La situation des points, des réseaux et leur nomenclature d'El Oued
Figure n° 34	Relation entre l'évolution de la population, la consommation en eau et les rejets des eaux usées.
Figure n°35	Evolution de la décharge publique d'El Oued (1990-2003).
Figure n° 36	Comparaison de l'état des ghouts (vu d'avion).
Figure n° 37	Superposition des couches d'informations de la région d'étude.
Figure n° 38	Superposition des couches d'informations de la région d'étude.
Figure n° 39	Schéma de la Micro- station d'épuration.

Liste des tableaux

N° Tableau	Titres des tableaux
Tableau n°01	Inventaire des unités industrielles du Souf
Tableau n° 02	Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien
Tableau n°03	Les précipitations moyennes mensuelles (1913-1938)
Tableau n° 04	Les précipitations moyennes mensuelles (1967-2005)
Tableau n° 05	Caractéristique des précipitations en 2005
Tableau n° 06	Ajustement à une loi log-normale(Galton)
Tableau n°07	Ajustement à une loi- normale (Gauss)
Tableau n° 08	Les températures moyennes mensuelles (1913 à 1938)
Tableau n° 09	Les températures moyennes mensuelles (1967- 2005)
Tableau n° 10	les moyennes mensuelles d’humidité (1967- 2005)
Tableau n° 11	La vitesse des vents (1967-2005)
Tableau n° 12	Durée moyenne d’insolation (heures) à la station d’El Oued (1992-2001)
Tableau n° 13	Les moyennes annuelles d’évaporation
Tableau n° 14	Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1913 - 1938)
Tableau n° 15	Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1967 - 2005)
Tableau n° 16	La colonne stratigraphique du forage 15
Tableau n° 17	La comparaison et le recouplement des résultats des forages
Tableau n° 18	La colonne stratigraphique du forage 15
Tableau n° 19	La colonne stratigraphique du forage 76
Tableau n° 20	les formations du forage P44
Tableau n° 21	Piézométrie de la région du Souf
Tableau n° 22	Tableau récapitulatif (nappe du Complexe Terminal)
Tableau n° 23	Tableau récapitulatif (nappe du Continental Intercalaire)
Tableau n° 24	Les simulations ont donné les résultats suivants
Tableau n° 25	Inventaire du Région de Taibet
Tableau n° 26	Inventaire du Région de Oued- Souf Sud
Tableau n° 27	Inventaire du Région de Oued Righ Nord
Tableau n° 28	Inventaire du Région des Frontières
Tableau n° 29	Les débits d’exploitation prévisionnels nappe du C.I.
Tableau n° 30	Les débits d’exploitation prévisionnels nappe du C.T.

Tableau n° 31	Débits soutire (situation actuelle des prélèvements), nappe du C.I
Tableau n° 32	Débits soutire (situation actuelle des prélèvements), nappe du C.T
Tableau n° 33	Variation des valeurs du gradient hydraulique
Tableau n° 34	Estimation de la population
Tableau n° 35	Evolution de l'habitat du Souf en 1987- 2003
Tableau n° 36	Nombre de fosses pour les communes de Oued Souf La longueur et le diamètre de canalisation proposés à El Oued
Tableau n° 37	Nombre de fosses pour les communes de Oued Souf
Tableau n° 38	La longueur et le diamètre de canalisation proposés à El Oued
Tableau n° 39	Les rejets urbains solides d'El Oued (1990-2003)
Tableau n° 40	Caractéristiques des eaux usées
Tableau n° 41	Volumes journaliers d'eau usée par communes
Tableau n°42	Etat de situation des Ghouts de oued Sou
Tableau n° 43	Répartition des terres utilisées par l'Agriculture à El Oued
Tableau n° 44	Bilan des cultures et superficies agricoles d'El Oued
Tableau n°45	Superficie des cultures irriguées de oued Souf
Tableau n°46	Bilan d'irrigation d'El Oued
Tableau n° 47	Perspective de la quantité de nouvelle construction à équiper (1998 - 2030)

Bibliographie



- AGEP-BG** : Troisième campagne de mesures hydrogéologiques Mission II, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, Août 2002.
- AGEP-BG** : Mesure des débits et des heures de fonctionnement des forages, Mission II, Août 2002.
- AGEP-BG** : Mesure des coefficients de perméabilité des sols, Mission II, Septembre 2002.
- AGEP-ENHPO** : Etude d'impact sur l'environnement : Mission III A, Collecte et analyse des données (Juin 2001).
- Alföldi T.** : Introduction aux images numériques et aux techniques d'Analyse numérique, devisions des applications, Mars 1987.
- ANAT** : Etude de prospective territoriale de la wilaya d'El Oued phase I et phase II (résumé 2004).
- André Roger Voisin** : Le Souf monographie (lu et révisé par Ali Abid), Algérie 2004.
- ANRH** : Direction régionale sud- Ouargla, Note de synthèse des deux campagnes 2002-2003, Piézométrie et hydrochimie, Décembre 2003.
- ANRH** : Direction régionale sud- Ouargla, Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'el Oued Mai 2005.
- Berbrugger** : Revu Africaine (tome II), paris 1994.
- Bernard C.; Trébuchon T.; Guazull L.; Freycon V.** : Le géoréférencement ou comment maîtriser l'intégration de données multi- sources dans un SIG,CIRAD, Aout 1997.
- CASTANY G.** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Paris, Dunod 1982.
- CHAUMONT M.** : Cours d'hydroclimatologie, faculté des sciences, Université d'Alger 1969.

Ci. Bataillon : Le Souf, Etude de géographie humaine, IRS, Alger 1955.

CORNET André et Nicolas GOUZKOV : Données sur l'hydrogéologie Algérienne, les eaux du crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien (nappe dite Albienne), Alger 1952.

DIEULIN A., G. de MARSILY et B. BEAUDOIN : Sur le transfert d'éléments en solution dans un aquifère alluvionnaire structuré. Sur l'existence d'un effet de parcours dans le transfert d'éléments en solution en milieu poreux, extraits des comptes rendus des séances de l'académie des sciences, 1980-1981.

DLEP : Données sur l'extension de la ville d'El Oued en 2003.

DROESBEKE J. J. : Eléments de statistiques, éditions de l'université de Bruxelles, 1989.

DUBIEF J. : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara, Institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie, service des études scientifiques, Clair bois, Birmandreis, Alger, 1953.

DUBIEF J. : La pluviométrie du Sahara central TIRSTV, 1954.

El Khabar : Journal quotidien Algérien, édition du 09- 03- 2008, page 09.

El Watan : Le quotidien Algérien indépendant, édition du 27- 11- 2007, page 11.

E.N.H.P.O : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Entreprise nationale des projets hydrauliques de l'ouest, Août 2004.

ESCOFIER B. et Jérôme PAGES : Analyses factorielles simples et multiples, objectifs, méthodes et interprétation, Dunod, paris 1990.

Farhi A., Mazouz S., Alkama. D., Saouli A.Z. : Séminaire international, Espace oasisien et le développement durable, Biskra le 14 - 15 - 16 novembre 2000.

- Gaboriau B. ; Fauvet N. ; Reycon F. ; Viarouge N.** : La digitalisation, Décembre 1990.
- Guillaume M.** : Le sol fait le climat, édition : Vie et action, 1987.
- HPO** : Etude d'assainissement des eaux usées et d'irrigation, 2003.
- Lasserre M.** : Aperçu météorologique, les territoires du Sud, Alger 1990.
- Lhote H.** : le Sahara, désert mystérieux. Bourrellier, Paris 1946.
- Margat J.** : Dictionnaire Français d'Hydrogéologie Octobre 1996, et Glossaire International d'Hydrogéologie, : " qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité, conducteur d'eau", 1978.
- Côte M.** : Si le Souf m'était conté, Comment se fait et se défait un paysage, Constantine 2006.
- Moulati Abdelaziz** : Traitement et interprétation des données des diagraphies dans la région du Souf, thèse d'ingénieur en hydrogéologie, , université de Constantine 1999.
- Nezli Imeddine** : Etude de la remontée des eaux dans la région du Souf, thèse de magistère en hydrogéologie, université de Constantine 1993.
- ONA** : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Avant projet détaillé (réseaux de transfert et de collecte), Août 2004.
- ONA** : Le phénomène de remontée des eaux dans la vallée de Oued souf, (problématique et solutions préconisées)
- ONM** : Données hydroclimatiques, station : Guemmar (1967-2005).
- Pierre Dagnelie** : Statistique théorique et appliquée, inférence statistique à une et à deux dimension (tome I et II), Paris 1980.
- Saibi Hakim** : Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée du Souf, thèse de magistère en hydrogéologie, université d'Alger 2003.
- SAPORTA G.** : Probabilités analyse des données et statistiques, édition Technip, paris1990.
- Schoeller H.** : L'hydrographie - Ressource en eau Exposition Cité des Sciences Paris 1962.

SELTZER P. (1946) : Le Climat de l'Algérie, trav. inst. météo. Physique du Globe de l'Algérie.

UNESCO : Coupe hydrogéologique du Sahara septentrionale.

URBA Batna : POS N° 15 de la commune d'El Oued, phase III (règlement 2003).

URBA Batna, unité URBA Biskra : Carte topographique 1 / 100 000° d'El Oued.

URBA Batna, unité URBA Biskra : Révision du PDAU 2005, phase III de la commune d'El Oued.

URBA Batna, unité URBA Biskra : Tracé du réseau d'AEP de la ville d'El Oued, 2005.

URBA Batna, unité URBA Biskra : Tracé du réseau d'assainissement de la ville d'El Oued, 2005.



Les sites d'internet :

- 1- www.gs2i.fr/fineprint/pdffactory.htm.
- 2- <http://www.u-picardie.fr/2beaucham/htm>
- 3- <http://www.inra.fr/dpenu/germoc38.htm>
- 4- www.qs2i.fr/fineprint/pdffactory.htm
- 5- [www.info.tecti.info / RESSOURCE/7855mth](http://www.info.tecti.info/RESSOURCE/7855mth).
- 6- [www.fao.org /agl /sw /wpnr /y-nf/z.-](http://www.fao.org/agl/sw/wpnr/y-nf/z.-)
- 7- www.livres-chapitre.com
- 8- [www.lavoisier. Fr/925202.460 .html](http://www.lavoisier.fr/925202.460.html)
- 9- http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/eau
- 10- <http://www.cite-sciences.fr/lexique/definition1.php?lang=fr&id>
- 11- <http://www.cite-sciences.fr/lexique/definition1.php?lang=fr&>.

Table des matières

Introduction générale

Problématique

Première partie : Environnement physique et caractéristique des aquifères

Introduction

1^{er} chapitre : Présentation générale de la région d'étude

I - Situation de l'air d'étude :.....	P 01
I-1- Situation géographique :.....	1
I-1-1- Situation d'après latitude et longitude :.....	2
I-1-2- Situation topographique :.....	1
I-1-3- Situation administratif :.....	1
I-2- Situation bioclimatique :	3
II - Historique et causes de la remontée des eaux :.....	4
III- Présentation de la ville d'El Oued :.....	8
III-1-Aspect socio - économique :.....	9
III-2- Comment s'est constitué spatialement le Souf :.....	10
III-3- Le développement de la ville et les déséquilibres associés :.....	13
III-3-1- La ville en 1960 (le traditionnel) :.....	13
III-3-2- Développement urbain spontané 1980 (l'auto construit informel) :.....	14
III-3-3- Extension de la ville en 1987 :.....	14
III-3-4- Développement actuelle :.....	1

2^{ème} chapitre : Les composantes du milieu physique

I- Les caractéristiques morphologiques :.....	16
I-1- Morphologie naturelle :.....	16
I-1-1-Relief :.....	16
I -1-1-1- Une région sableuse :.....	17
I-1-1-2- Une forme de plateaux rocheux :.....	17
I-1-1-3- Une zone de dépression :.....	17
I-1-1- 4- Une zone haute :.....	18
I-1-1-5- Une zone moyenne :.....	18
I -1-1-6- Une zone basse :.....	18
I-2 - Morphologie des Ghouts:.....	18

I-2-1- Les Ghouts profond en terrains sablonneux :	19
I-2-2- Les Ghouts évasés en zone éolienne :	19
I-2-3- Les Ghouts verticaux en terrains compacts :	20
II- Les caractéristiques géologiques :	21
II -1- Cadre géologique régional et paléogéographique :	21
II-2- Cadre géologique local :	22
II-2-1- Stratigraphie et ses caractéristiques lithologiques :	23
II-2-1-1- Secondaire :	23
II-2-1-2- Tertiaire :	24
II-2-1-3- Quaternaire :	25
II-3- Tectonique :	25
II-4- Interprétation des coupes :	26
III -Les données du climat :	28
III-1 - la pluviométrie :	28
III-1-1- Etude des précipitations :	28
III-1-2- Interprétation des courbes de précipitations :	30
III-1-3- Analyse statistique :	31
III-1-3-1- La distribution log normale (GALTON) :	31
III-1-3-2- La distribution de GAUSS ou loi normale :	33
III-1-3-3- Test de validation :	34
III-2- La température :	34
III-2-1- Interprétation des courbes de températures :	36
III-2-2- Indice d'aridité :	37
III-3- L'humidité :	37
III-4- Les vents :	38
III-5- Insolation :	39
III-6- Evaporation:	40

III-6-1- Bilan hydrique:.....	40
a - Evapotranspiration:.....	40
b - L'évaporation potentielle (ETP):.....	41
b-1-Formule de Thornthwaite:.....	41
c - l'évaporation réelle (E.T.R):.....	44
c-1-Formule de turc:.....	44
c-2-Formule de wundt :.....	45
c-3-Formule de coutagne :.....	45
d - les réserves facilement utilisables (R.F.U.) :.....	46
e - le facteur de précipitation d'Emberger :.....	46
3^{ème} chapitre : Les données hydrogéologiques	
I- Les données géophysiques :.....	49
I-1--Aspects théoriques de la méthode :.....	50
II- Objectif de l'étude :.....	53
III - Présentation et analyse des résultats :.....	53
III-1-Echelle des résistivités :.....	53
III-2-Corrélation des résultats géophysiques :.....	58
III-3- Les coupes géoélectriques :.....	58
III- 4- Commentaire des données du substratum argileux :.....	59
IV- Cadre hydrogéologique :.....	60
IV-1-Présentation des nappes aquifères de la région du Souf :.....	60
a- La nappe phréatique :(nappe libre) :.....	60
b- Nappe du complexe terminal :.....	61
c - Nappe du Continent Intercalaire (C.I) :.....	61
IV-2- Coupe hydrogéologique :.....	62
V- Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe phréatique :.....	62
V-1- Conductivité hydraulique : (coefficient de perméabilité) (K) :.....	62
a- la détermination de la perméabilité au laboratoire :.....	62
b- L'interprétation de la carte de perméabilité de la nappe libre (Mars 2002) :.....	63
V-2- Transmissivité (T) :.....	64
V-3- Coefficient d'emménagement (S) :.....	64
VI -La piézométrie du système aquifère :.....	64
VI-1-Analyse des résultats obtenus du réseau de surveillance :.....	65

VI-1-1-Variation des niveaux piézométriques de la nappe C.T :.....	65
VI-1-1-2- Commentaire des résultats :.....	65
VI-2- Récapitulatif des résultats d'inventaire 2004 :.....	66
VI-2-1-Inventaire par superficies, volumes soutirés et forage en service par zone agricole :.....	68
VI-2-2-Interprétation des tableaux :.....	69
VI-3- Les débits d'exploitation prévisionnels :.....	69
VI-3-1- Interprétation des tableaux :	70
VII- Application de l'analyse statistique et quelques approches géostatistique aux paramètres hydrodynamiques et physico-chimiques de Oued Souf :.....	71
VII-1-Analyse des données des charges hydrauliques :.....	71
a -Analyse de la variance :.....	71
b- Analyse statistique descriptive des données :.....	72
VII-2-Application aux charges hydrauliques :.....	72
VII-2-1-campagne mars 1998 :.....	72
VII-3- Campagne avril 2003 :.....	73
VII-3-1- Analyse statistique élémentaire :.....	74
VII-4- Interprétation des cartes piézométrique :.....	75
VII-4- 1-Cartes piézométriques de Oued Souf 1998 - 2003 :.....	75
VII-5- Évolution du niveau piezometrique de mars 1998 à avril 2003 :.....	76
VII-5-1-Interprétation des résultats :.....	76
VII-6- Application aux nitrates :.....	77
VII-6-1-campagne mars 1998 :.....	77
VII-6-2- Campagne avril 2003 :.....	78
VII-6-2-1-Analyse statistique élémentaire :.....	78
VII-6-3- Interprétation de la carte de teneurs en Nitrates (mars 2003) :.....	78
VII-6-4- Variation du taux de nitrates entre mars 1998 et avril 2003 :.....	79
VII-7- Application aux résidus secs (RS) :.....	79.
VII-7-1-Campagne mars 1998 :.....	79
VII-7-1-1-Analyse statistique élémentaire :.....	79
VII-7-2-Campagne mars 2003 :.....	80
VII-7-2-1- Analyse statistique élémentaire :.....	80
VII-7-3- Interprétation des cartes des résidus secs :.....	81
VII-7-3-1- Interprétation de la carte des résidus secs (campagne mars 1998) :.....	81
VII-7-3-2- Interprétation de la carte des résidus secs (2002) :.....	81

2^{ème} partie : Les enjeux socio-économiques

Introduction :

1^{er} chapitre : Evaluation de l'espace urbain et ses dysfonctionnements

I-Présentation générale de l'espace urbain :	84
I-1-Demographie :	84
I-2- L'évaluation de l'espace urbain :	85
I-2-1- Le quartier : un micro espace :	85
A - Période 1890 - 1960 :	86
B - Période 1960 -1980 :	86
C- Période 1980 - 2003 :	87
I-3- Problèmes structurels liés au développement de la région d'étude :	90
I-3-1- Les contraintes physiques :	90
I-3-2- Les contraintes climatiques :	90
I-3-3- Autre contraintes :	91
I-4- La logique d'adaptation aux conditions naturelles :	91
I-4-1-La topographie :	91
I-4-2- Le matériel rocheux :	91
II- Avantages et inconvénients dans les situations géographiques et régionales de la ville :	92
II-1- Avantage de la vision P.D.A.U 2005 :	92
II-2- Inconvénient de la vision P.D.A.U 2005:	92
III - Impact de l'évolution urbaine sur la remontée de la nappe phréatique :	93
2^{ème} chapitre : Réseau d'assainissement et d'AEP	
I- L'eau à El Oued disponibilité et contraintes :	95
I-1- Qualité des eaux :	96
a - Nappe phréatique :	96
b- Complexe Terminal :	96
c- Nappe du Continental Intercalaire (Albienne) :	97
d- la qualité chimique des eaux dans les ghouts agricoles :	97
I-2- Réseau d'AEP :	97
a- Calcul du besoin journalier :	98
b - Calcul du débit journalier maximal :	98
c - Calcul de débit de pointe :	99
d - Calcul de débit spécifique :	99
I-2-2- Descriptif des travaux projetés :	99

II- Réseau d'assainissement :	100
II-1-1-Le mode d'assainissement :	100
II-1-1-1-Assainissement autonome :	100
II-1-1-2- L'aptitude des sols à l'assainissement autonome :	101
II-2- L'impact de l'assainissement sur la nappe phréatique :	101
II-3- Réseaux de collecte et réseaux de transfert :	102
II-3-1-Fonctionnement et conception du réseau :	103
II-4-3- Dimensionnement des collecteurs :	104
a- Calcul du débit d'eau usée :	105
b- Calcul du débit spécifique d'eau usée :	105
c- Calcul du débit des eaux pluviales :	105
d- Calcul du débit des eaux usées + pluviales :	105
II-4-4- Descriptif général des travaux à réaliser :	106
II-4-5- Stations de pompage :	107
III-La zone de rejet :	107
III-1- Etude de la zone du rejet :	109
IV- Relation entre l'évolution de la population, les débits d'eaux usées et la consommation en eau :	109
IV-1-Calcul du coefficient de corrélation (CR) :	110

3ème chapitre : Les rejets urbains

I - Les rejets urbains :	112
I-1- La nature des rejets urbains :	113
I-1-1- Les rejets urbains solides :	113
a- Les déchets ménagers :	113
b- Les déchets industriels banals :	114
I-1-2- Les rejets urbains liquides :	116
I-1-2-1- Caractérisation des eaux usées :	117
a- Qualité des eaux usées :	117

b- Volumes d'eaux usées :.....	118
II- L'impact des rejets sur l'environnement:.....	119
II-1- les menaces sur la ville :.....	119
II-2- Impact de la remontée sur l'agriculture :.....	124
II-2-1- Situation des ghouts établie au 13/05/1998 :.....	125
II-2-2-Bilan des cultures et superficies agricoles (1999 / 2000) :.....	127
II-2-3-Répartition des superficies irriguées 1999-2000 :.....	128
II-2-4-Bilan d'Irrigation :.....	129
II-3-Indicateurs environnementaux pour l'activité agricole :.....	129
III- Approche du phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique par le modèle numérique	
de terrain :.....	130
III-1-Création d'un modèle numérique de terrain (MNT) :.....	130
III-1-1- Superposition des couches d'informations :.....	131
III-1-1-1- Altimétrie et les zones agricoles :.....	131
III-1-1- Superposition des couches d'informations :.....	131
III-1-1-1- Altimétrie et les zones agricoles :	131
III-1-1-2- Altimétrie et les profondeurs des niveaux d'eau d'après la campagne avril 2002 :	131

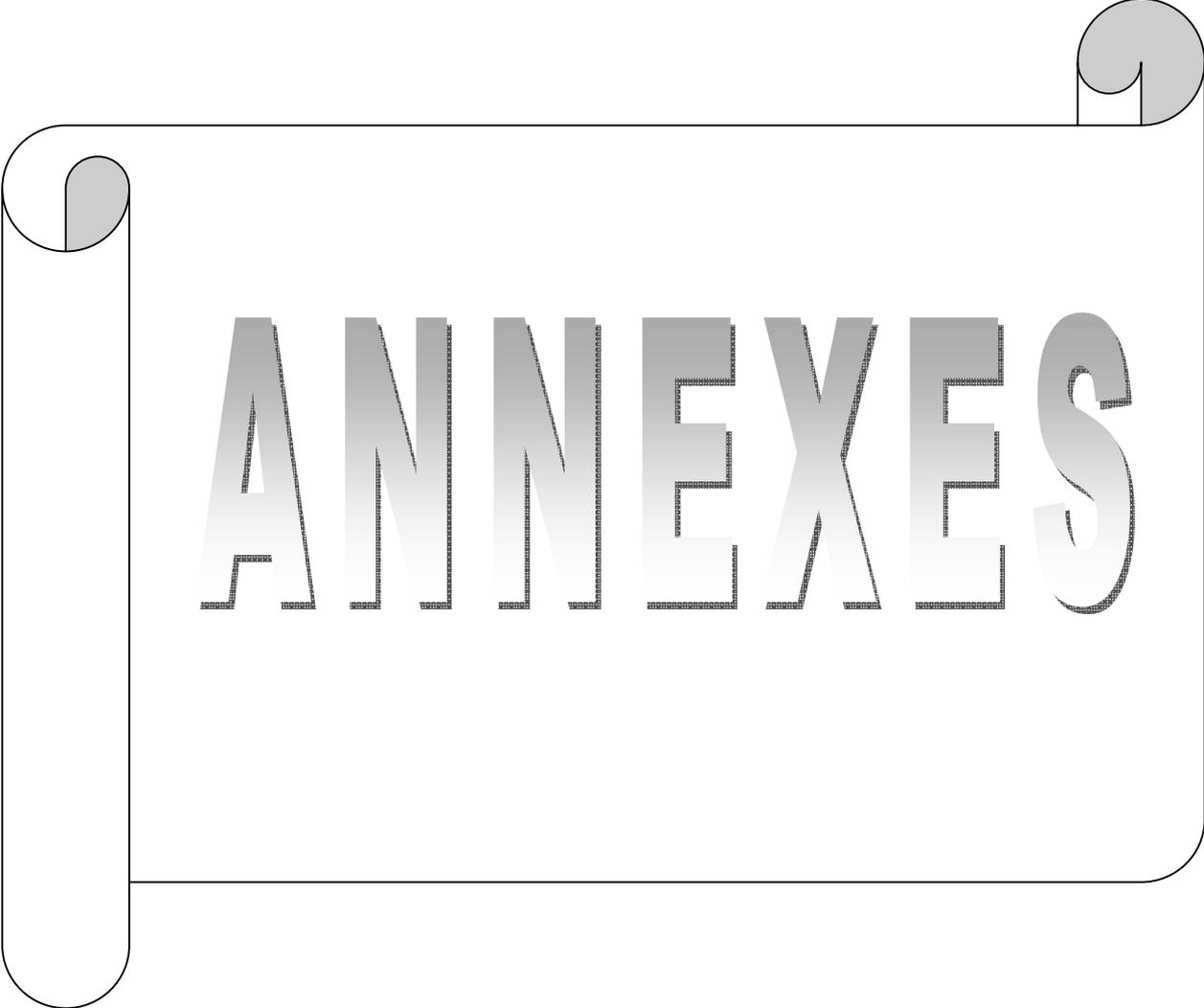
3^{ème} partie : Solutions préconisés

Introduction

1^{er} chapitre : Solutions environnementales

I- Contrôle du développement de la ville :.....	133
I-1- Sur le plan quantitatif :	134
I-2- Sur le plan qualitatif :.....	134

I-2-1- mode d'urbanisation :	134
II- La solution biologique :	135
III- La solution agronomique :	137
III-1- Gestion de la pollution d'origine agricole :	137
IV- La gestion des déchets :	138
V- Gestion de la nappe phréatique :	138
V-1- Gestion de la pollution de la nappe phréatique :	138
V-2- Gestion de la remontée de la nappe phréatique :	139
VI- Le système d'assainissement préconisé :	141
VI-1- Les dimensions préconisées:	141
V-1-1- Fosse étanche :	141
VI-2- Système avec Fosse septique et puits d'infiltration :	142
VI-2-1- Le puits d'infiltration :	142
VI-3- Equipement des nouvelles constructions :	143
VII- Inspection et mise à la norme des installations existantes :	144
VII-1- Mise en place d'un système de suivi des vidanges :	144
VII-2- Modélisation :	144
VIII- Solutions proposées en Assainissement par l'ONA à court terme :	145
A- Mode d'assainissement :	145
B- Solutions proposées pour l'épuration :	145
2^{ème} chapitre : Solutions techniques :	
I- La solution mécanique :	147
I-1- Panier dégrilleur :	148
I-2- Aération :	148
II- Installation des micros- stations d'épuration :	148
II-1- Avantages de la MICRO-STATION d'épuration :	149

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical line on the left side. The top and bottom edges are slightly curved, and there are small circular accents at the corners.

ANNEXES

Annexes des tableaux :

Tableau n°= 01

Coordonnées des individus et leurs noms (campagne mai 1998, Oued Souf)

Numérotation	Nom du Puits	Axe Factoriel 1	Axe Factoriel 2
1	H100	0.37	0.02
2	H102	-0.01	1.23
3	H103	0.46	-0.00094
4	H110	-0.41	1
5	H13	-0.32	0.97
6	H16	-0.01	-1.41
7	H2	0.62	-0.44
8	H24	-0.18	0.25
9	H32	0.79	1.55
10	H36	-0.20	-0.68
11	H40	-0.05	0.48
12	H41	-0.06	-1.57
13	H46	-0.56	1.48
14	H48	-0.54	0.20
15	H5	0.93	-0.19
16	H50	-0.21	0.46
17	H50 BIS	-0.02	1.17
18	H61	-0.17	0.30
19	H66	-0.64	0.97
20	H67	-0.18	0.09
21	H7	-0.03	1.24
22	H71	-0.81	-0.50
23	H74	-0.23	-0.81
24	H76	-0.69	-1.01
25	H78	-0.85	-1.83
26	H81	-0.45	0.39
27	H82	-0.34	-0.41
28	H83	-0.21	-0.73
29	H93	-0.45	1.36
30	H95	-0.34	-0.54
31	H96	0.22	-0.18
32	P18	-0.62	0.15
33	P19	-0.45	-1.28
34	P21	-0.43	0.04
35	P30	-0.43	-0.51
36	P31	0.71	0.34
37	P32	-0.60	1.11
38	P35	-0.11	-1.26
39	P36	5.558	-0.72
40	P39	1.318	1.69
41	P40	-0.08	0.11
42	P9	-0.18	-2.54

Tableau n°= 02

Coordonnées des individus et leurs noms (campagne mars2001, Oued Souf)

Numérotation	Nom du puits	Axe Factoriel 1	Axe Factoriel 2
1	H1	-0.65	0.58
2	H3	-0.17	1.58
3	H3 BIS	-0.75	0.21
4	H5	-1.02	0.25
5	H7	-0.96	-0.30
6	H9	-0.41	0.17
7	H10	0.08	0.24
8	H11	-0.77	0.33
9	H12	-0.75	2.32
10	H13	-1.16	2.83
11	H14	-0.10	0.33
12	H15	-1.20	0.20
13	H17	-1.18	3.71
14	H18	-0.13	-2.02
15	H18 BIS	-0.39	-0.37
16	H19	-1.02	0.007
17	H20	-0.44	2.43
18	H21	-0.64	-0.39
19	H24	-1.23	-0.84
20	H28	-0.24	-0.54
21	H29	0.61	-0.11
22	H30	0.23	0.08
23	H35	-0.47	-0.42
24	H36	-0.92	-1.05
25	H37	-0.13	-0.77
26	H38	-0.05	-0.78
27	H39	-0.27	-0.62
28	H42	2.71	-0.30
29	H43	-0.78	-0.59
30	H45	-0.81	-0.72
31	H50	-0.17	-0.35
32	H54	0.58	-0.26
33	H55	-0.17	-1.30
34	H57	-0.35	-0.11
35	H60	-0.65	-0.45
36	H61	-0.03	-0.35
37	H63	0.59	-0.008
38	H65	-0.57	-0.77
39	H66	0.05	-0.42
40	H68	1.52	-1.53
41	H71	-0.19	0.86
42	H74	-0.34	-0.43
43	H75	0.62	-0.29
44	H76	1.17	-0.49
45	H80	-0.39	0.19
46	H81	-0.58	0.20
47	H82	-0.64	-0.42

48	H83	-0.65	-0.41
G029	308330	3680619	895.110
49	H85	0.62	-0.24
50	H86	2.67	0.58
51	H88	-0.46	-0.66
52	H93	0.68	1.46
53	H95	0.90	0.28
54	H96	2.11	0.95
55	H99	2.37	0.36
56	H101	-0.18	-0.44
57	H101 BIS	2.42	0.13
58	H103	1.38	0.92
59	H104	0.96	0.95
60	H111	-0.81	-1.004
61	SP9	1.88	-0.48
62	SP14	-0.67	-0.94
63	SP29	-0.89	-1.29
64	GT 1	0.34	0.37

Tableau n°= 03

Les nouveaux points (campagne septembre 2002) :

N° point d'eau	X UTM	Y UTM	X Km	Y Km
G001	310468	3679894	897.283	301.899
G002	308788	3682814	895.434	304.690
G003	307984	3682178	894.659	304.011
G004	308329	3682333	895.015	304.180
G005	306429	3684821	892.951	306.562
G006	306789	3686188	893.232	307.929
G007	304518	3689385	890.778	310.005
G010	297600	3697130	883.401	318.292
G011	298026	3697163	883.837	318.371
G012	298808	3697410	884.602	318.648
G013	298452	3698708	884.164	319.925
G014	298475	3698245	884.208	319.464
G015	293534	3701305	879.111	322.223
G016	293111	3701949	878.647	322.852
G017	305535	3702760	890.989	324.389
G018	305391	3703484	890.804	325.122
G019	306540	3703492	891.938	325.198
G021	304824	3703550	890.234	325.160
G022	306358	3703850	891.744	325.530
G023	305065	3704247	890.439	325.847
G024	293997	3705520	879.307	326.453
G025	293673	3705814	878.961	326.716
G026	297337	3705958	882.613	327.106
G027	296491	3706530	881.740	327.627
G028	296380	3706537	881.611	327.682

G030	308676	3679649	895.512	301.519
-------------	--------	---------	---------	---------

G031	309958	3681600	896.671	303.569
G032	309311	3683531	895.921	305.450
G033	308644	3683997	895.232	305.853
G034	308355	3682409	895.037	304.273
G035	304938	3684541	891.490	306.195
G036	304819	3684479	891.363	306.128
G037	303666	3689185	889.935	310.755
G038	303712	3688314	890.048	309.866
G039	303290	3689515	889.535	311.047
G040	306223	3705464	891.497	327.153
G041	305654	3706701	890.856	328.329
G042	304387	3705778	889.655	327.356
G043	308687	3708519	893.771	330.327
G044	308399	3709610	893.416	331.423
G045	309858	3709907	894.873	331.790
G046	293438	3696539	879.176	319.236
G047	293399	3698327	879.150	319.235
G048	295656	3705477	880.957	326.517
G049	295133	3705503	880.442	326.497
G050	295075	3705087	880.406	326.095
G051	295538	3707112	880.739	328.142
G052	296252	3707430	881.447	328.509
G053	295318	3708213	880.464	329.210
G054	294956	3708973	880.047	329.964
G055	297918	3697871	883.680	319.074
G056	297570	3697925	883.318	319.090
G057	315037	3716349	899.656	338.521
G058	314103	3715428	898.767	337.559
G059	308023	3713950	892.803	335.713
G060	307953	3715363	892.643	337.124
G061	310021	3697963	895.746	319.898
G062	307805	3699023	893.484	320.823
G063	291346	3678940	878.253	299.784
G064	290826	3681357	877.590	302.162
G065	287087	3676690	874.153	297.283
G066	286411	3674936	873.575	295.473
G067	299448	3695024	885.367	326.305
G068	301895	3695684	887.792	317.111
G069	299690	3693244	885.721	314.562
G070	301419	3692778	887.468	314.201
G071	288714	3716791	873.358	337.378
G072	287889	3715392	872.613	335.932
G073	286912	3715464	871.632	335.956
G074	301400	3714132	886.179	335.508

Tableau n°= 04 :

Les nouveaux points (campagne avril 2003) :

N° point d'eau	X UTM	Y UTM	X Km	Y Km
G075	305162	3687041	891.570	308.694
G076	304562	3686871	890.983	308.486
G077	303607	3687084	890.020	308.632
G078	296640	3702257	882.141	323.359
G079	296806	3701317	882.358	322.443
G080	297569	3699309	883.237	320.474
G081	297997	3691880	884.124	313.081
G082	299367	3692865	885.427	314.150
G085	302610	3697346	888.395	318.830
G086	302309	3692785	888.371	314.268
G087	302060	3690800	888.244	312.259
G088	299153	3696069	885.016	317.339
G089	299643	3694196	885.631	315.514
G090	294969	3691399	881.123	312.439
G091	297481	3692167	883.597	313.338
G092	301197	3694475	887.168	315.884
G094	303183	3690524	889.365	312.057
G095	304137	3689207	890.398	310.805
G099	302166	3693171	888.202	314.631
G101	299737	3696031	885.611	317.332
G102	301973	3694063	887.959	315.515
G103	302898	3692985	888.932	314.475
G105	302868	3698565	888.579	320.039
G106	303098	3698195	888.825	319.710
G108	306526	3696821	892.337	318.526
G109	302559	3698128	888.287	319.596

Tableau n°= 05

Les valeurs mesurées du coefficient de perméabilité

X	Y	k (m/s)	K (m/j)	K (cm ³ /S)	N ech	k (m/s)
288273	3716948	2.5E-05	2.1	0.00248	H9	2.5E-05
282560	3712492	5E-05	4.3	0.00497	H12	5.0E-05
295080	3703502	5.8E-05	5	0.0058	H19	5.8E-05
295323	3710116	2.5E-05	2.1	0.00248	H26	2.5E-05
298652	3713213	3.4E-05	3	0.00343	H29	3.4E-05
297088	3700114	7.9E-05	6.8	0.00787	H40	7.9E-05
289713	3696469	3.7E-05	3.2	0.00373	H46	3.7E-05
283783	3693389	0.00013	11.1	0.01283	H47	1.3E-04
280401	3690081	8.1E-05	7	0.00807	H49	8.1E-05
281891	3680642	0.00018	15.7	0.01818	H55	1.8E-04
288742	3672720	5E-05	4.3	0.00497	H58	5.0E-05

294430	3680084	7.9E-05	6.8	0.00787	H67	7.9E-05
302951	3677072	0.0001	8.7	0.01004	H71	1.0E-04
309966	3682623	0.00011	9.7	0.01118	H77	1.1E-04
304144	3694023	4E-05	3.4	0.00399	H80	4.0E-05
306575	3696778	7E-05	6.1	0.00704	H81	7.0E-05
310440	3697154	2.5E-05	2.1	0.00248	H82	2.5E-05
310351	3702052	5.2E-05	4.5	0.00518	H85	5.2E-05
316317	3709460	3.3E-05	2.9	0.00331	H86	3.3E-05
305170	3711917	8.7E-05	7.5	0.00869	H99	8.7E-05
292681	3717728	6.6E-05	5.7	0.00662	P2	6.6E-05
287789	3708217	3.7E-05	3.2	0.00373	P4	3.7E-05
300809	3706803	6.4E-05	5.5	0.00642	P7	6.4E-05
307665	3708182	5E-05	4.3	0.00497	P9	5.0E-05
312548	3713694	3.1E-05	2.7	0.00311	P10	3.1E-05
312536	3705194	5E-05	4.3	0.00497	P12	5.0E-05
302118	3696933	5.4E-05	4.7	0.00538	P15	5.4E-05
306865	3686306	7.9E-05	6.8	0.00787	P19	7.9E-05
307443	3681308	4.7E-05	4	0.00466	P20	4.7E-05
303884	3701544	5.4E-05	4.7	0.00538	P32	5.4E-05
314723	3716127	5E-07	0	0.00005	H107	5.0E-07
293973	3689523	8.9E-05	7.7	0.0089	H114	8.9E-05
308356	3679548	7.8E-05	6.8	0.00785	H115	7.8E-05

Tableau n°=06

Liste des forages profonds situés dans la wilaya d'El Oued

N° de BIRH OU AUTRE	NOM DE FORAGE	LIEU	PROFOND	OBSERVATIONS
H12 - 85	SAHEN BERRY	HASSI KHALIFA	2100	FERME.
I 12 - 13	OUED TEH	DOUAR EL MA	1390	COULE.
H12 - 83	CHOUHADA DW102	EL OUED VILLE	1987	EXPLOITE
H12 - 71	CHOUHADA DW 101	EL OUED VILLE	1850	EXPLOITE
H12 - 37	BOUAROUA BAR 1	TALEB LARBI	2250	COULE + EXPLOI.
H11 - 541	CHOUCHA ALB. 03	DJAMAA	1818	EXPLOITE
H11 - 520	CHOUCHA ALB. 02	DJAMAA	1691	EXPLOITE
H11 - 408	CHOUCHA ALB. 01	DJAMAA	1755	BOUCHE
H10 - 42	M'RARA N°01	M'RARA	1560	EXPLOITE
H10 - 67	M'RARA N°02	M'RARA	1575	EXPLOITE
H10 - 66	M'RARA N°03	M'RARA	1600	EXPLOITE
-	M'RARA N°04	M'RARA	1800	EXPLOITE
-	M'RARA N°05	M'RARA	1800	EXPLOITE
H10 - 70	M'RARA	M'RARA	1600	BOUCHE
H11 - 515	DJAMAA ALB. N°01	DJAMAA	1820	BOUCHE
H11 - 516	DJAMAA ALB. N°02	DJAMAA	1815	BOUCHE
H11 - 571	DJAMAA ALB. N°03	DJAMAA	1839	EXPLOITE

I 02. SD 5	FORAGE « AGID »	SIDI AMRANE	1880	EN ATTENTE
FN02. SD10	FORAGE « AGID »	MAZER	1876	EN ATTENTE
CI 01. SD 7	FORAGE « AGID »	TIGDIDINE	1857	EN ATTENTE
CI 01. SM4	FORAGE « AGID »	MEGHAIER	2204	EN ATTENTE
CI 02. SM4	FORAGE « AGID »	MEGHAIER	2221	EN ATTENTE
CI 01. SM3	FORAGE « AGID »	DENDOUGA	2220	EN ATTENTE
CI 02. SM3	FORAGE « AGID »	MEGHAIER	2204	EN ATTENTE
CI 03. SM3	FORAGE « AGID »	MEGHAIER	2223,10	EN ATTENTE
	FORAGE « AGID »	MEGHAIER	-	EN COUR DE REAL

Tableau n°=07

Les charges hydrauliques

Analyses statistiques descriptives des charges hydrauliques (1998 – 2003)

	Campagne Mars 1998	Campagne Mars 2001	Campagne Sep. 2002	Campagne Avril 2003
Nombre Actifs	120	103	140	176
Moyenne	58.36133	58.31019	61.06471	61.27297
Médiane	57.96	55.01	59.245	64.55
Somme	7003.36	6005.95	8549.06	10784.04
Minimum	20.22	19.65	19.59	19.57
Maximum	89.95	90.02	89.79	89.82
1^{er} Quartile	44.765	44.53	50.715	50.895
3^{ème} Quartile	70.555	71.32	72.215	71.89
Quartile Etendue	25.79	26.79	21.5	20.995
Variance	289.3795	300.8391	236.2971	225.8189
Ec-Type	17.01116	17.34471	15.37196	15.02727
Asymétrie	0.059381	0.091368	-0.148356	-0.353814
Aplatiss.	-0.891504	-0.91104	-0.558948	-0.500094

Tableau n°=08

Les nitrates**Analyses statistiques descriptives des Nitrates (1998 – 2003)**

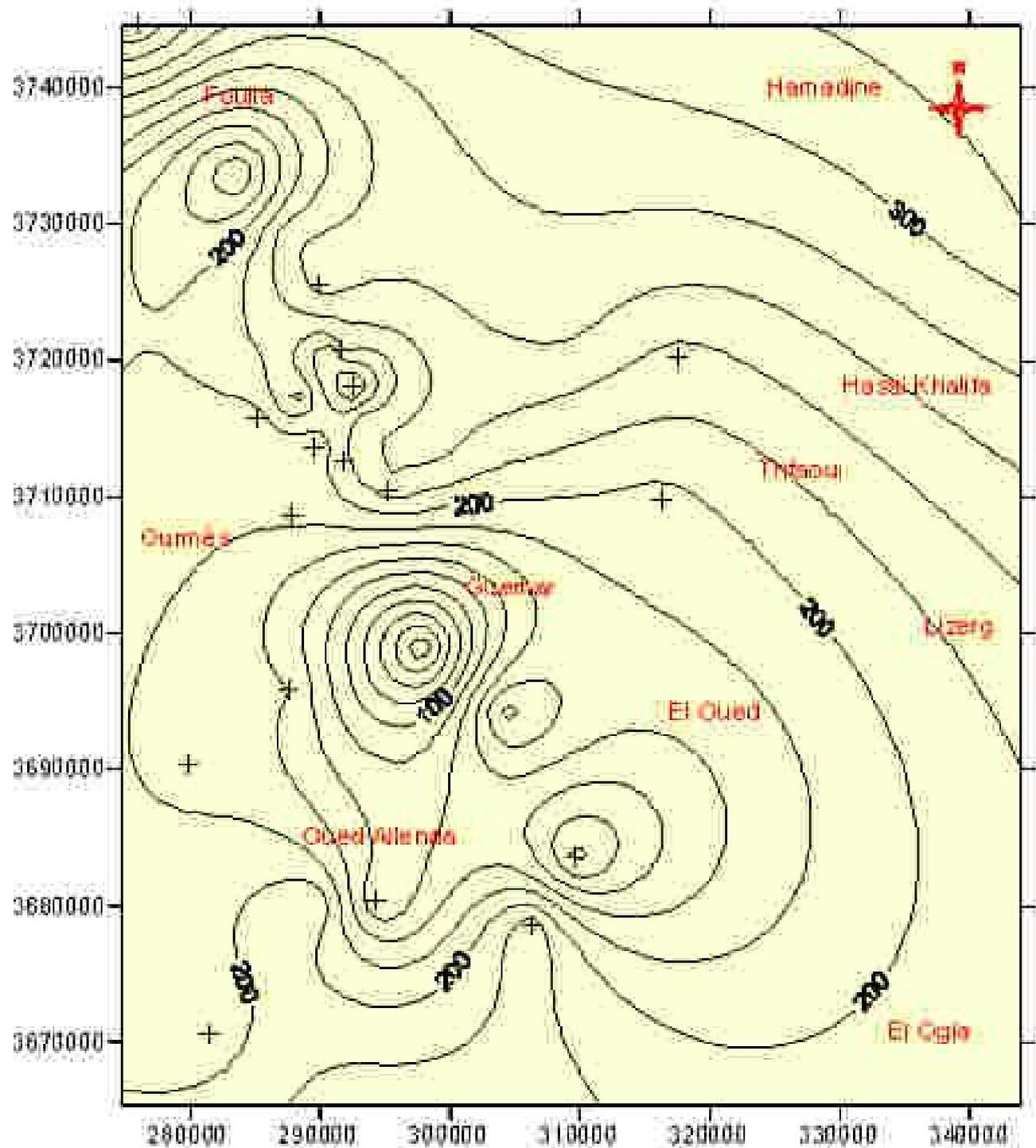
	Campagne Mars 1998	Campagne Mars 2000	Campagne Mars 2001	Campagne Sep. 2002	Campagne Avril 2003
Nombre Actifs	34	33	104	170	193
Moyenne	104.9412	87.39394	86.20192	88.66471	94.03109
Médiane	102.5	90	76.5	81.5	82
Somme	3568	2884	8965	15073	18148
Minimum	2	4	5	0	1
Maximum	265	244	239	250	250
1^{er} Quartile	80	50	57	52	51
3^{ème} Quartile	128	110	109	115	130
Variance	3293.815	2897.121	2116.590	3235.703	4041.322
Ec-Type	57.39176	53.82491	46.00641	56.88324	63.57139
Asymétrie	0.679651	0.738231	0.939151	0.747392	0.638568
Aplatiss.	1.098774	0.887325	1.068784	0.339761	-0.197241

Tableau n°=09

Les résidus secs**Analyses statistiques descriptives des résidus secs (1998 – 2003)**

	Campagne Mars 1998	Campagne Mars 2003
Nombre Actifs	60	97
Moyenne	4.946967	4.847773
Médiane	4.027	4.094
Somme	296.8180	470.2340
Minimum	1.24	1.702
Maximum	30.4940	30.896
1^{er} Quartile	3.4	3.22
3^{ème} Quartile	5.403	5.45
Quartile Etendue	2.003	2.23
Variance	14.46533	12.08133
Ec-Type	3.803331	3.475820
Asymétrie	5.363075	5.416470
Err-Type Asymétrie	0.308694	0.244975
Aplatiss.	35.25307	36.30051

Valeurs du calcium de la nappe libre d'El Oued (Mars 1998)

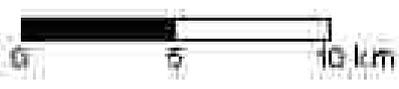
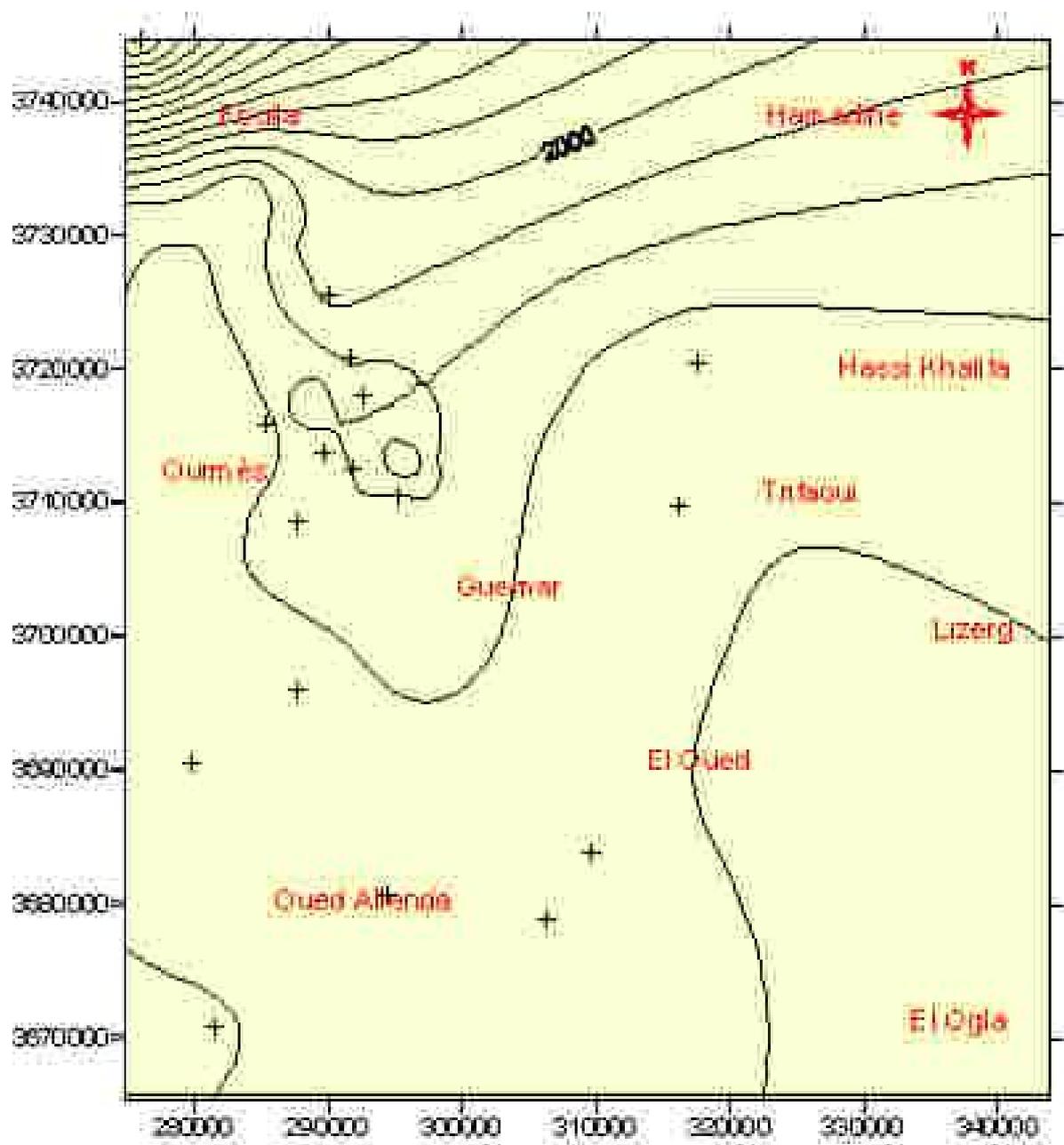


Légende

-  Courbe isovaleur du Calcium (mg/l)
-  Point de mesure du calcium

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Valeurs du Sodium de la nappe libre d'El Oued (Mars 1998)

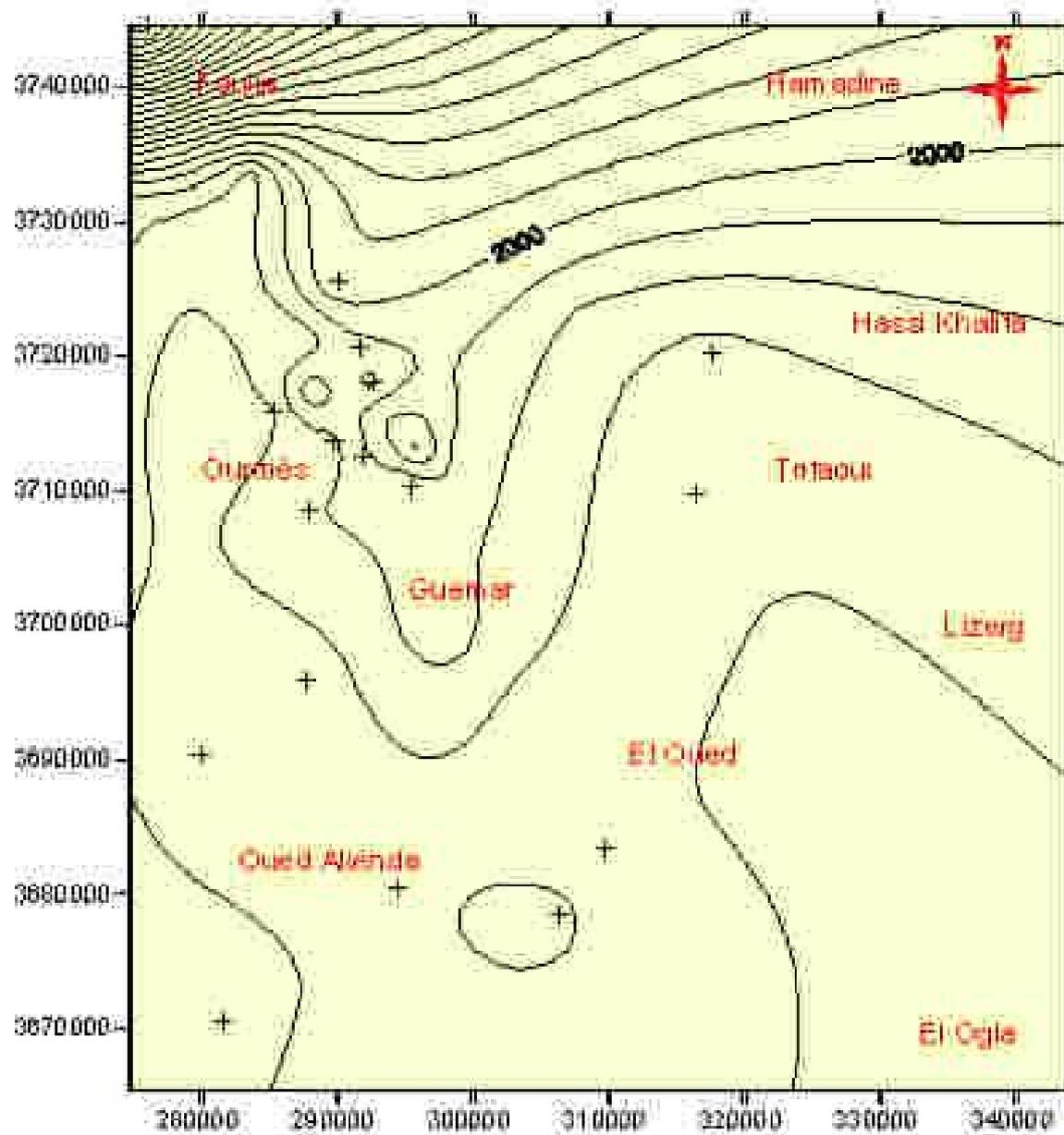


Legende

- Courbe isovaleur du Sodium (mg/l)
- Point de mesure du Sodium

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Valeurs du chlorure de la nappe libre d'El Oued (Mars 1998)

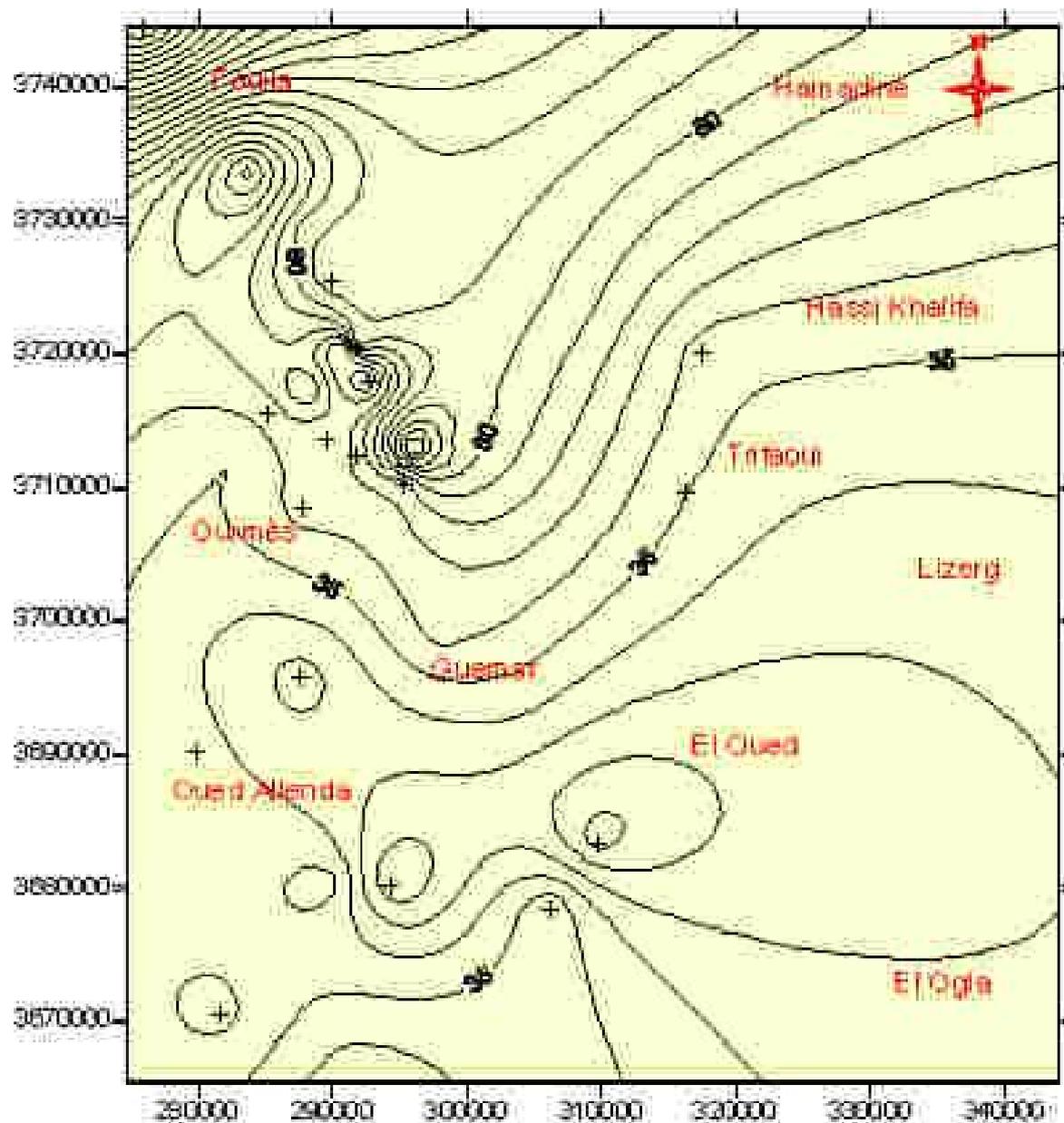


Légende

-  Courbe Isovaleur du Cl⁻ (mg/l)
-  Point de mesure du Cl⁻

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Carte de variation du Sulfate de la nappe libre d'El Oued (mars 1998)

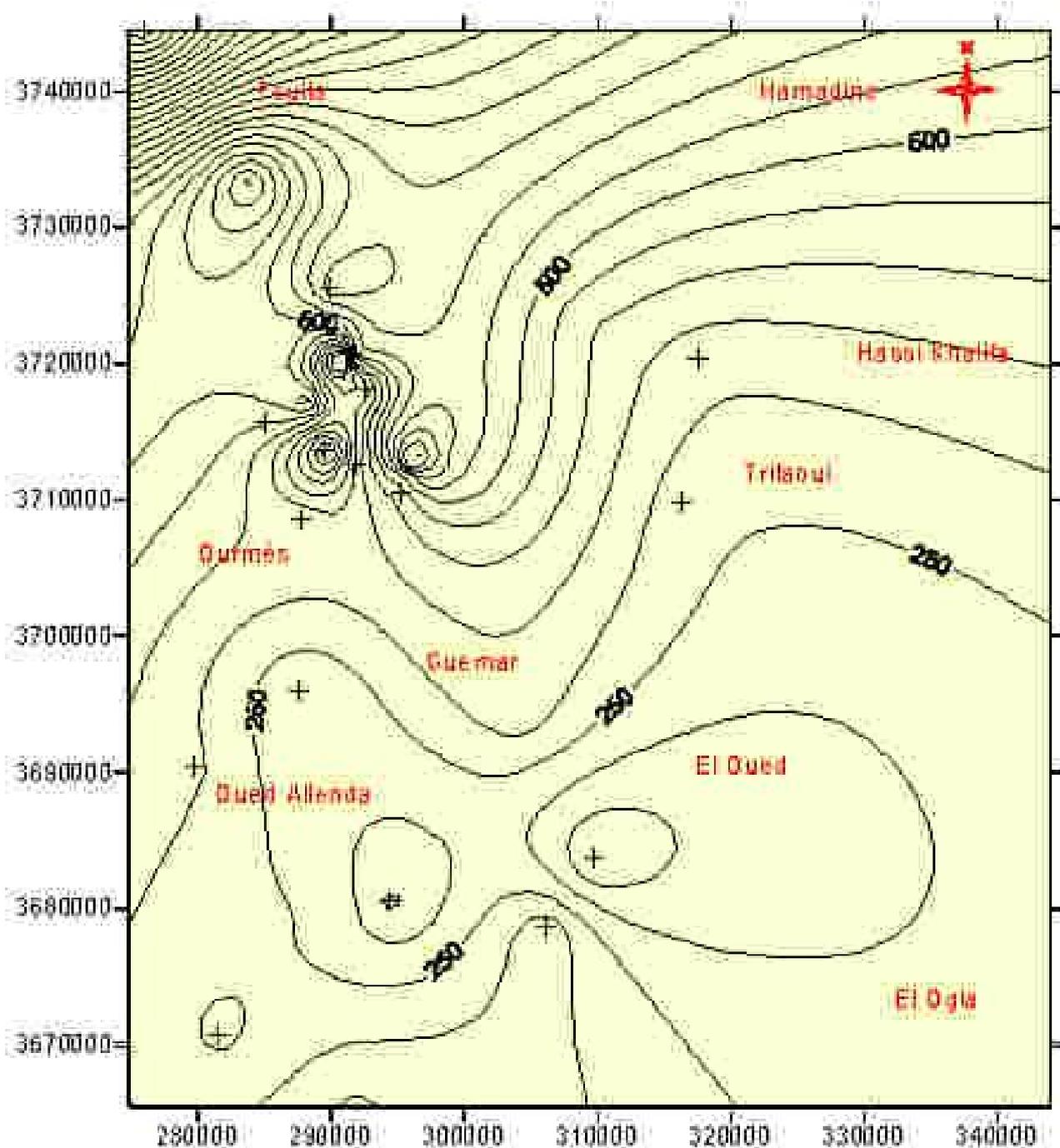


Légende

-  Courbe isovaleur du Sulfate (mg/l)
-  Point de mesure du Sulfate

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Carte de variation du Magnésium de la nappe libre d'El Oued (mars 1998)



Légende

-  Courbe Isovaleur du Magnésium (mg/l)
-  Point de mesure du Magnésium

Réalisée à travers des données de l'ANRH d'El Oued

Edition du 25 novembre 2007 > Reportage

La fièvre typhoïde en nette progression **El Oued malade de ses eaux**

El Oued. Hôpital Benaamor El Djilani. L'accès au service des maladies infectieuses est strictement interdit, nous fait savoir Karim Azirou, directeur de l'établissement.



C'est ici où sont gardés en observation les **22** cas qui subsistent depuis le déclenchement en octobre dernier de l'épidémie de fièvre typhoïde. L'épidémie FT ou A2, comme l'appellent les spécialistes, qui suit actuellement une courbe dégressive, avait atteint à ce moment-là un pic de **120** malades confirmés, obligeant Amar Tou, ministre de la Santé, de la Population et de la Réforme hospitalière, à faire le déplacement dans la ville pour voir de près l'état de prise en charge des malades et surtout dégager la responsabilité de son secteur et rassurer sur la maîtrise de la maladie. Ce que confirme d'ailleurs, le docteur Zeroual, l'unique infectiologue de la wilaya, responsable du service où sont accueillis les malades. Selon lui, la couverture médicale est satisfaisante, les capacités de l'hôpital sont suffisantes et l'état de santé des malades ne cesse de s'améliorer. Beaucoup ont d'ailleurs quitté l'hôpital. Le seul bémol mis à ce « tout va bien » est motivé par le manque d'un épidémiologue. Un manque qui se fait sérieusement sentir aujourd'hui, vu que la ville est exposée depuis quelques années à l'émergence cyclique d'un nombre d'épidémies. La fièvre typhoïde est une maladie estivale qui se manifeste en automne, période durant laquelle le germe rencontre les conditions idoines pour se développer. Le germe en question, la Salmonella typhi, se transmet dans 99% des cas par l'intermédiaire de l'eau, ce qui classe la FT parmi les maladies à transmission hydrique. Etonnant est le fait que l'épidémie arrive à se déclencher au même moment dans plusieurs communes. Reguiba, à 30 km au nord du chef-lieu de wilaya, a enregistré à elle seule 42 cas cette fois et vient ainsi en tête du classement. Nous avons tenté de nous rapprocher des responsables de la commune pour éclairer ce mystère, mais en vain. Hormis le secrétaire général qui s'épuisait dans son bureau pour démêler une bagarre qui s'était déclenchée devant le guichet de l'état civil, le maire, l'ensemble de ses adjoints ainsi que les membres du service d'hygiène, occupés, nous a-t-on dit, par la campagne électorale, étaient tous aux abonnés absents. Devant l'impossibilité manifeste de trouver un répondant à Reguiba, nous sommes partis du côté de Guemar où l'épidémie a fait **17** victimes en octobre. Au bureau du SG, Abdelhamid Lechlah, nous avons pu rencontrer les premiers responsables de la commune pour parler d'une autre fièvre que celle des élections qui domine là aussi toute l'activité. A l'unisson, nos interlocuteurs ont affirmé que la FT se déclenche dans les régions rurales éloignées de la commune en pointant du doigt le manque d'hygiène et de prévention chez la population. L'APC fait-elle le nécessaire pour remédier à ce déficit ? Suffisamment, ont-ils répondu, avant d'exhiber un avis datant du même jour, imprimé sur du papier de format A3 et destiné à être placardé sur les murs de la ville, appelant la population à observer une batterie de conseils et de mesures préventives pour éviter la typhoïde. Ce n'est pas pourtant l'avis de M. Tou.

La maladie des pauvres

Le ministre avait rendu les autorités locales, notamment les élus et les services de l'hydraulique, coupables de négligence dans le contrôle de l'eau potable, premier agent de la maladie, notamment la javellisation qui, selon lui, serait appliquée bien en deçà des normes. Il faut savoir que la wilaya importe des quantités importantes d'eau potable chez ses voisins et imposent des contrôles de qualité aux commerçants. Les citernes qui viennent de Biskra sont contrôlées au niveau de la commune de Still, alors que celles en provenance de Bir El Ater, à Tébessa, le sont à l'entrée de Sidi Khelifa. C'est une véritable douane de l'eau que les autorités ont mise en place, mais les risques persistent à cause des fraudeurs sans scrupules qui achètent l'eau en deuxième main, lui rajoutent celle de la nappe et la revendent. Le ministre a aussi nié l'existence de décès dus à la FT. Chose pour laquelle a insisté le Dr Zeroual pour dire que l'employé de Sonelgaz, que la presse locale avait compté parmi les victimes, est décédé des suites d'une autre pathologie qu'il a refusé de nous dévoiler, invoquant le secret professionnel. D'ailleurs, selon lui, la FT ne touche pas les personnes âgées qui arrivent à développer une immunité, au-delà de la quarantaine. En présence du directeur et du spécialiste, nous avons posé la question au sujet des nouvelles mesures de contrôle décrétées par M. Tou après sa visite éclair. La réponse fut négative, car ici comme au service de prévention de la direction de la santé, personne n'est au courant de ces mesures. Néanmoins, au service de prévention, on ne chôme guère, à en croire Saïd Adouka, chef de service. D'emblée, l'accent est mis sur

l'absence de culture de prévention chez le citoyen, ainsi que chez les responsables des collectivités locales. Depuis que la FT sévit à El Oued, le service fait une priorité de sa nouvelle mission qui consiste à alerter les autres services sur les fuites d'eau, les cross-connexions et les eaux non traitées. La sensibilisation est également placée en tête des priorités et ce ne sont pas les idées qui manquent. A Guemar, une troupe de théâtre amateur a été chargée de mettre en place une pièce dédiée au sujet et a déjà entamé sa tournée. Des émissions sur les ondes de la radio locale sont lancées, la direction des affaires religieuses est sollicitée pour introduire la question lors des prêches du vendredi, et la direction de l'éducation a été saisie elle aussi pour que le sujet de la fièvre typhoïde et les moyens de l'éviter soient abordés dans les classes. L'élan est enthousiasmant, mais hélas, rien n'indique que ces recommandations soient observées par tous. Le manque de coopération serait même le talon d'Achille de cette volonté, comme souligné à demi-mot par notre interlocuteur.

Des milliers de coupoles et de... fosses

La ville aux mille coupoles, racontée par Isabelle Eberhardt, dans ses fameux récits de voyage, n'est plus ce qu'elle était depuis que ses paysages façonnés des siècles durant ont cédé devant un modernisme brutal. La gestion du nouveau centre urbain, comme celle des autres communes de la wilaya, n'a pas suivi le rythme démographique soutenu et l'apparition de nouveaux maux, notamment celui de la remontée des eaux des nappes phréatiques. Ces facteurs ont vite fait de mettre à rude épreuve le système traditionnel d'assainissement basé sur les fosses septiques, dont le nombre dépasse aujourd'hui les 60 000, selon les chiffres officiels, répandues sur tout le territoire de la wilaya. Dans la ville d'El Oued, la remontée des eaux, polluées d'abord par les rejets urbains, a ennoyé les ghouts qui cernent la ville, dans des eaux noirâtres et nauséabondes, avant que la population ne vienne en faire des décharges sauvages. Depuis l'apparition, il y a trois décennies de ces phénomènes, le cycle de pollution ne cesse de s'accroître ayant pour principale conséquence la prolifération des maladies en été. La ville désertique est aujourd'hui ennoyée sous les eaux usées, avait écrit l'éminent géographe, Marc Cote, dans son ouvrage Si le Souf m'était conté. Pour parer au plus urgent, les autorités ont initié à partir de 2002 des mesures importantes, à l'image de la mise en place d'une station de pompage « qui récupère au quartier Chott une partie des eaux usées de la ville et la réexpédie par une conduite de 4 km dans une zone d'épandage au Nord. D'autre part, (elles) ont entrepris un programme de remblaiement des ghouts urbains au cas par cas à partir de 2002 », toujours selon Cote. Mais l'ampleur des risques dus au mélange des eaux usées avec l'eau des nappes, utilisée aussi pour les besoins des ménages, ont poussé le gouvernement à initier un projet d'envergure, confié à une société chinoise, pour l'installation d'un vaste réseau d'assainissement dans les communes. Le chantier qui rythme aujourd'hui le quotidien des Soufis et alimente leur espoir devra être réceptionné en 2009. M. Tou avait lié, pour sa part, l'extinction définitive de l'épidémie à la mise en service de ce réseau. Le fait curieux auquel s'est heurtée notre enquête est sans doute la multitude de thèses autour des causes potentielles de l'épidémie de fièvre typhoïde chez les différentes parties concernées de près ou de loin par la chose. En effet, et c'est là que le bât blesse, nul n'est en mesure aujourd'hui d'avancer sa thèse avec certitude en l'absence d'une étude spécialisée pour remonter l'origine de la contamination. La vox populi a naturellement meublé ce vide par le diagnostic formel et surréaliste qui reconnaît le legmi, jus de dattes local, comme origine de la maladie. De toute évidence, le phénomène est loin d'être maîtrisé et la faiblesse de certains maillons fragilise le système censé protéger la santé d'une population entière. Un malade admis à cause de cette fièvre coûte environ **12** millions de centimes au Trésor public. La multiplication de la somme par le nombre de cas de cette maladie des pauvres fait d'elle un ennemi redoutable qu'il est du devoir du pouvoir central de combattre par une stratégie efficace et durable.

Nouri Nesrouche



الأحد : 2008-03-09

تتواجد عبر مختلف أحياء مدينة الوادي مزابل فوضوية عديدة عمرت عشرات السنين، و ظلت تثير دوما قلق السكان لتسببها في انتشار أمراض كثيرة وتلويث البيئة، دون أن تضع لها السلطات المحلية برنامجا فعالا للقضاء عليها نهائيا.

وحسب رئيس بلدية الوادي، البالغ عدد سكانها نحو 140 ألف نسمة، فإن مدينة عاصمة الولاية تتوفر على نحو 17 مزبلة فوضوية كبيرة ظلت على الدوام مصدر قلق للسكان نظرا لما ينجر عنها من أمراض وتلويث للبيئة، وهي متواجدة قرب مرافق عمومية وفي الأحياء.

في ذات الوقت حذرت مصالح الوقاية الصحية من الأخطار المترتبة عن ذلك ومنها إصابة المنات من السكان بأمراض العيون، التي يتسبب فيها الغبار السام المتطاير في الفضاء وفي البيوت عند اشتداد العواصف الرملية، إضافة إلى أمراض الربو والحساسية.

كما حذرت الجمعية الولائية لحماية البيئة والمحافظة على المحيط في تقرير لها من انتشار المزابل العشوائية والرمي الفوضوي للقمامة وأكوام الحجارة المتبقية من إنجاز البناء والغبار الملوث ووجود تربة سامة سوداء عبر شوارع وأزقة الأحياء القديمة غير المعبدة، وكذا وجود العشرات من الإسطبلات الكبيرة لتربية المواشي. وقد أنجرت معظم هذه المزابل الفوضوية عن الغيطان التي كانت عائمة بالمياه القذرة لظاهرة صعود المياه، وبعد دفنها جزئيا أصبحت مكانا لرمي القمامة ومرتعا يوميا للأطفال للعب فيها أو لعبورها من حي لآخر خاصة وأنها تتوسط الأحياء.

و أكد رئيس بلدية الوادي بأن برنامجا عمليا بدأ تنفيذه شهر جانفي للقضاء على هذه المزابل الفوضوية المسببة للمدينة ولزوارها.

وأشار بهذا الصدد إلى تخصيص 17 شاحنة و 4 جرارات و3 جارفات من حظيرة البلدية مخصصة لهذه العملية، مع الإشارة إلى صعوبة وضع حل سريع لبؤر المزابل في الغيطان بسبب ملكيتها من طرف الخواص، مضيفا بأن هناك مخطط بلدي لإخراج الإسطبلات إلى ضواحي المدينة بعيدا عن السكان.

الوادي : خليفة قعيد

Source : archive du journal El Khabar sur web.

Méthode de réalisation d'MNT :

Selon les phénomènes étudiés, les méthodes de généralisation ou d'intégration dans l'espace des valeurs échantillonnées à des surfaces continues sont variées et plus ou moins complexes. Ce processus est appelé **l'interpolation**.

Les méthodes d'interpolations :

Les méthodes d'interpolations sont nombreuses et diversement complexes. On compte entre autres :

- L'interpolation globale, soulignant les grandes tendances au sein des données considérées et l'interpolation spatiale, pour laquelle chaque valeur interpolée utilise simplement les valeurs mesurées les plus proches et non l'ensemble.

- Régression spatiale-Surfaces de tendance :

Lorsqu'un phénomène s'étend sur une vaste surface, de manière apparemment régulière, une méthode d'interpolation consiste à appliquer une équation de régression polynomiale aux observations mesurées de manière à établir un lien mathématique entre les valeurs mesurées et leur localisation spatiale. Par la suite, en fonction de la position de tout point de la surface, l'équation de la régression donne la valeur théorique correspondante.

On applique alors une ligne ou une surface de régression dont la formule est de la forme :

$$Z(x) = b_0 + b_1x + \varepsilon$$

Pour une droite de régression.

$$Z(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon$$

Pour une fonction quadratique où ε est le résidu ou le bruit, qui doit être distribué normalement.

Bien souvent, on applique des fonctions de régression utilisant x et y dont les trois premières sont :

$$f(x, y) = b_0 : \text{Fonction plane horizontale.}$$

$$f(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y : \text{Fonction linéaire.}$$

$$f(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 : \text{Fonction quadratique.}$$

Ce sont des surfaces de tendance d'ordre 1 à n : surface plane = ordre 0, surface inclinée = ordre 1, surface quadratique = ordre 2, surface cubique = ordre 3, etc....

On voit que ce genre d'interpolation globale est relativement facile à établir mais qu'il est très mal adapté à des phénomènes un tant soit peu irréguliers. On prend en effet pour critère de base que les erreurs de régression sont indépendantes de la localisation, ce qui est rarement le cas.

L'un des apports majeurs d'une analyse de surface de tendance, les écarts au modèle étant le plus souvent spatialement dépendants, est de repérer les endroits de l'espace étudié montrant la déviation maximale par rapport à la tendance générale concrétisée par le modèle.

Les modèles numériques de terrain (M.N.T.) :

L'un des objectifs de l'interpolation est de produire des modèles de terrain, lesquels sont souvent dérivés de matrices d'altitude.

Matrices d'altitudes :

Conjuguent la rapidité de calcul des formats matriciels et les procédés de représentation 3 D (bloc-diagrammes). Ils permettent aussi des fonctions de recouvrement de la surface modélisée par une autre variable, souvent thématique.

La source majeure des MNT est la numérisation (par balayage et vectorisation) des courbes de niveau, à partir des cartes topographiques.

Création de la base de données :

A l'aide du logiciel MAPINFO nous avons créé un système d'information géographique pour la région du Souf, chaque puits est doté de ces propres informations à savoir les coordonnées Lambert, nom, profondeur du niveau d'eau, taux de nitrates, conductivité et son altitude.

Les communes aussi sont dotées d'une base de données : coordonnées Lambert, nom de la commune, superficie, nombre de population, débit d'exploitation, débit des eaux usées et nombre de forage.

La base de données des différents points d'eaux (puits traditionnels, piézomètres, etc. ...) est récente d'après la campagne hydrogéologique d'avril 2002.

Ce travail sera utile pour les différentes analyses thématiques et une aide de décision.

Création d'un modèle numérique de terrain (MNT) :

L'un des objectifs de l'interpolation est de produire des modèles de terrain lesquels sont souvent dérivés de matrice d'altitude obtenues après la phase de digitalisation avec création d'une base de donnée (altitude) et ce à partir de la carte topographique au 1/100 000^e qui couvre toute notre région d'étude:

- Carte topographique d'El Oued.

L'étape première est la digitalisation des courbes de niveaux ainsi que les points cotés, et ce après le calage de la carte.

La deuxième étape est la création d'une base de données ou « champ » qui est la dénomination de chaque nouveau paramètre, ici c'est l'altitude en mètres, où chaque point côté ou courbe de niveau aura sa propre valeur en altitude. Le résultat est une carte altimétrique de toute la région du Souf.

L'interpolation des altitudes par la méthode MNT (modèle numérique de terrain) nous montre les zones hautes qui sont généralement situées au Sud et les zones basses qui se trouvent au Nord de la région du Souf.

Superposition des couches d'informations :

Altimétrie et les zones agricoles :

La superposition de deux couches d'informations, l'altimétrie (les altitudes) et les zones d'exploitation agricole, nous renseigne sur l'impact des nitrates sur la nappe phréatique et les zones vulnérables.

Cette carte nous montre que l'altimétrie de oued Souf à un pendage vers le Nord, où se trouvent les basses régions. La superposition de l'agriculture sur l'altimétrie nous renseigne sur les zones à risques de contamination par les nitrates, surtout les zones où le niveau d'eau est proche de la surface du sol, c'est le cas de : El Arfsi, El Oued, Hassi Khalifa, Ez Zeggoub, Magrane, Reguiba et kouinine.

Altimétrie et les profondeurs des niveaux d'eau d'après la campagne avril 2002 :

La superposition de l'altimétrie et les profondeurs de l'eau nous donne l'image actuelle du phénomène de remontée des eaux dans la vallée du Souf. D'après cette carte, on peut voir cette remontée au nord d'El Oued, Taghzout et Ourmes, Bougouza, Est de Trifaoui, Ez Zeggoub, Foulia et Magrane.

Oued Souf?! Une histoire de désert, une problématique de Sahara.

Elle se trouve aujourd'hui devant une vie aussi intense, une population aussi importante et des problèmes aussi cruciaux :

- L'inondation des fonds de la ville et surtout les zones basses (Sidi Mestour, Chott, Nezla,...) par le problème de la remontée des eaux des nappes aquifères,
- Zones pleines d'eau usée insalubre (odeurs, moustiques...),
- L'inondation des ghouts avec conséquences socio- économiques et le risque de priver la région de ses repères, de son identité et de sa beauté
- La contamination de la nappe superficielle (teneur élevée en nitrate dans certaines zones)

A cause d'une :

- Sur exploitation en alimentation en eau potable,
- Un sol perméable,
- Infiltration des eaux usées et les fuites des eaux claires provenant des fosses septiques, des forages et des réseaux d'AEP.

- Le développement de périmètres irrigués et la concentration des cultures,

C'est pour cela qu'il faut :

- Un aménagement de la zone de rejet, et la gestion de la décharge publique.
- Un traitement des eaux brutes à l'aide de station d'épuration par lagunage aéré,
- Une mise en place d'une méthodologie de gestion rationnelle des ressources en eau, et la réalisation d'un réseau d'assainissement adéquat.

وادي سوف؟! إشكالية مطروحة في أعماق الصحراء.

اضطرت حاليا للوقوف أمام بيئة صعبة، نمو سكاني كبير، و عدة مشاكل وخيمة:

- مناطق منغمة بالمياه القذرة المستعملة (روائح كريهة، بعوض...)، وخاصة في المناطق المنخفضة (سيدي مستور، الشط...) بسبب ظاهرة صعود المياه،
- غيطان عائمة في المياه القذرة، مما أدى إلى مشاكل اجتماعية اقتصادية، و ضياع الجانب الجمالي للمدينة،
- تلوث الطبقة الجوفية السطحية (نسب عالية من النترات في بعض المناطق) بسبب : - استهلاك مفرط للمياه الجوفية،
- تربة نفوذة جدا، ترشح المياه المستعملة، مياه خنادق التصريف، و انعدام شبكات التصريف و التطهير،
- التطور الزراعي، و توسع المساحات المسقية،
- لهذا يجب: - تهيئة منطقة طرح المياه المستعملة، تسيير النفايات العمومية و إنشاء محطات تطهير المياه
- وضع نظام تسيير عقلاني لمصادر مياه الشرب، و انشاء شبكة منظمة لتصريف المياه المستعملة.

Oued Souf?! A corner of desert, a piece of the Sahara.

One is astonished to discover in this ground corner such a significant population, such an intense life, such crucial problems:

- Zones full with true unhealthy worn water ponds (odors, mosquitoes, harmful effects...),
- The flood of the ghouts with economic consequences and the risk to deprive the area of its personality, it's reference marks, its identity....
- Contamination of the surface tablecloth (high percentage of nitrate in certain zones).

Because of one:

- Equipment in very high drinking water supply,
- A permeable soil, and Infiltration of worn water and clear water coming respectively from the septic tanks, drillings, the networks of AEP.
- The development of perimeter irrigated and concentration of the industrial crops and market gardening.

It is for that is necessary to:

- Adjust to the zones of rejection, and to treat rough water by agglomeration using station of purification by language ventilated of 4,
- The installation of a methodology of stok management out of water the realisation of a network of adequate cleansing.