



N°d'ordre :

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed**  
**Faculté des sciences de la Terre et l'Univers**  
**Département de Géologie**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR**  
**L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN HYDROGEOLOGIE**

**THEME**

**Cartographie de la vulnérabilité des nappes  
d'eau souterraine à la pollution  
de la région de Mostaganem par application de la  
méthode des complexes hydrogéologiques (HCS)**

**Présenté et soutenu le 28 septembre 2022 par :**

**Mlle. AMARI Houria**  
**&**  
**Mme BELMOUMENE Fatiha**

**Devant le jury composé de :**

<b>Mr BAICHE Abdelkader</b>	<b>M.A.A.</b>	<b>Univ. Oran2</b>	<b>Président</b>
<b>Mr HASSANI Moulay Idriss</b>	<b>Professeur</b>	<b>Univ. Oran2</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mme DEKKICHE Hafida</b>	<b>M.A.A.</b>	<b>Univ. Oran2</b>	<b>Examinatrice</b>

**Année Universitaire : 2021/2022**

## Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le très méricordieux, le tout miséricordieux qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour arriver à ce stade

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les enseignants qui ont consacré leurs temps à nous aider, conseiller et former durant notre cursus universitaire, en particulier nos enseignants d'hydrogéologie qu'ils trouvent icil'expression de notre profonde gratitude

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur **Mr Hassani M.I.** qui nous a fait confiance et a bien voulu nous encadrer. Nous le remercions de nous avoir proposé ce sujet et de nous avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiquesqui nous ont permis de concrétiser ce travail.

Nous remercions également **Mr Baiche A.** pour ses encouragements et pour avoir bien voulu présider le jury de soutenance de ce mémoire.

Nous remercions pleinement **Mme Dekkiche H.** qui a accepté de nous apporter de l'aide pour la réalisation de ce mémoire et pour avoir acceptée de participer à ce jury.

Enfin, nous remercions toutes celles ou ceux qui nous ont soutenu(e)s de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Surtout, notre chère amie Ikram et les membres de notre promotion du master "Hydrogéologie".

## **Dédicaces**

*Avec toute fierté, avec toute sincérité, et avec le respect, je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chères parents que le Dieu les protège, qui m'ont leur support durant toutes ces années d'étude ;*

*Ma mère pour son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis, ses précieux conseils, son assistance et sa présence dans ma vie ;*

*Mon père pour sa confiance et son sacrifice et de m'avoir me donné le courage de réussite ;*

*Mes Frères Abdelaziz et El Hadj ;*

*Mes chères sœurs Hayat, Fatima, Nadjet et leurs enfants à qui je souhaite que la réussite inchallah ;*

*Mes meilleures amies : Asma, Amira, Nabila, Fatiha et Ikram pour les bons moments que nous avons passé ensemble. Je tiens à leur exprimer mes profonds vœux de réussite et de bonheur ;*

*Mon binôme Fatiha Belmoumene pour sa contribution à la réussite de ce travail.*

*A la fin, je veux dédier ma réussite à tous les membres des familles Amari et Merhoul*

**Houria**

## ***Dédicaces***

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A ma très chère mère, qui m'a toujours donné l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi. Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect pour elle ;*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien et surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien ne vienne entraver le déroulement de mes études ;*

*A mon cher mari, ton amour ne m'a procuré que confiance et stabilité. Tu étais toujours à mes côtés, je te remercie de ne m'avoir jamais déçu ;*

*À mon très cher grand-père paternel décédé. Puisse Dieu vous avoir en sa sainte miséricorde et que ce travail soit une prière pour votre âme ;*

*A mes frères Saleh et Mohamed ;*

*À Mes sœurs Fatima, Houria et Roeya ;*

*A ma nièce Maria et mon neveu Moussa ;*

*A mes meilleures amies : Ikram, Asmaa, Amira, Nabila, Houria en souvenir des moments heureux passés ensemble. Avec mes vœux sincères de réussite, de bonheur et de prospérité.*

*A tous les membres de ma famille et à toute personne qui porte le nom*

***BELMOUMENE, MESSABIH et KHEDIM***

*Enfin, je remercie mon binôme Houria qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

***Fatiha***

## Résumé

L'étude de la vulnérabilité des aquifères, relativement à la préservation de la qualité de leur eau, est indispensable pour la prévention et leur protection contre les pollutions de surface. A cet effet, la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines aux divers types de pollution est l'approche la plus appropriée. Elle permet d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant.

L'approche cartographique se décline en l'application de plusieurs méthodes : méthode des complexes hydrogéologiques, méthodes à cotation numérique (ex. DRASTIC, GOD, etc.) ou méthodes analogiques (simulation). Dans ce mémoire, nous avons opté pour l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines relative au territoire correspondant à la coupure de carte géologique de Mostaganem. Le choix s'est porté sur la méthode (Albinet & Margat, 1970). Relativement aux autres méthodes de cartographie de la vulnérabilité, la présente, basée sur les complexes hydrogéologiques, permet d'obtenir des résultats appréciables sur un territoire étendu sans pour autant disposer de nombreuses données hydrogéologiques trop souvent non disponibles, mal acquises ou estimées de façon erronée.

***Mot clés : cartographie, vulnérabilité, eaux souterraines, méthode HCS, Plateau de Mostaganem.***

## **Abstract**

The study of the vulnerability of aquifers, relative to the preservation of the quality of their water, is essential for the prevention and their protection against surface pollution. For this purpose, mapping the vulnerability of groundwater to various types of pollution is the most appropriate approach. It makes it possible to identify areas at high risk of contamination, regardless of the type of pollutant.

The cartographic approach comes in the application of several methods: method of hydrogeological complexes, methods with numerical rating (eg Drastic or God) or analog methods (simulation). In this dissertation, we have opted for the study of the vulnerability of groundwater relating to the territory corresponding to the cut of the geological map of Mostaganem. The choice fell on the method proposed by Albinet M. & Margat J., 1970. Relative to the other vulnerability mapping methods, the present one, based on hydrogeological complexes, makes it possible to obtain appreciable results over an extended territory without as much to have many hydrogeological data too often not available, badly acquired or estimated in an erroneous way.

***Keywords:*** *mapping, vulnerability, groundwater, HCS method, Mostaganem.*

## *Table de matières*

*Remerciements*

*Dédicaces*

*Table de matières*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des abréviations*

*Introduction générale* .....01

### **CHAPITRE I : Contexte physique du Plateau de Mostaganem**

I-Caractéristiques géographiques.....03

I-1.Cadre géographique .....03

I-2.Morphologie de plateau de Mostaganem.....03

    A\_ La frange littorale.....04

    B\_ Le plateau .....04

I-3. Hydrographie .....05

I-4. Contexte topographique.....05

I-5.Pédologie.....06

I-6. Couvert végétal.....07

II-Hydroclimatologie.....08

    II-1. Généralité .....08

    II-2. Etude des températures .....08

    II-3.Précipitations moyennes mensuelles de la station de Mostaganem (1989- 2008).09

    II-4Précipitation saisonnière .....10

    II-5. Vent.....11

    II-6. Relation précipitation-température.....11

III-Contexte géologique .....13

III-1. Géologie régionale .....	13
III-2. Géologie de la région de Mostaganem .....	13
III-2.1. Introduction.....	13
III-2.2. Litho stratigraphie.....	14
A_ Les formations allochtones .....	14
➤ Le diapirisme .....	15
➤ Les nappes de charriages .....	15
B_ Les formations autochtones.....	15
➤ Le Miocène : .....	15
- Le Miocène ( le miocène laguno-continental).....	15
- Le Miocène marin .....	15
➤ Le Pliocène.....	16
-Le Pliocène marin .....	16
✓ Le plaisancien .....	16
✓ L' Astien.....	16
- Le Pliocène continentale .....	16
C- Le Quaternaire .....	16
➤ Le Calabrien .....	16
III-2-3. Etude structurale .....	17
<b>A-</b> Partie centrale .....	17
<b>B-</b> Les bordures .....	18
➤ La bordure méridionale .....	18
✓ Les déformations souples .....	18
✓ Les déformations cassantes .....	19
➤ La bordure orientale (Bel Hacer) .....	19
➤ La bordure septentrionale .....	19
➤ La bordure occidentale .....	19
✓ Déformation du Miocène post-nappe .....	20
✓ Déformation du Plio-Quaternaires .....	20
✓ Les plis .....	20
✓ Les failles .....	20
IV-Hydrogéologie.....	21
IV-1. Introduction .....	21



IV-2. Piézométrie de la nappe du Plateau de Mostaganem .....	21
IV-3. Epaisseur des formations aquifères .....	25
IV-4. Influence du substratum.....	25
IV-5. Les paramètres hydrodynamiques.....	25
IV-6. Les ressources exploitables .....	26

## **CHAPITRE II : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines**

I- Introduction.....	31
II- Notions générales sur la vulnérabilité des eaux souterraines .....	31
II- Types de vulnérabilité .....	32
II-1. La vulnérabilité intrinsèque .....	32
II-2. La vulnérabilité spécifique .....	32
III- Facteurs de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	32
III-1 Cas de la vulnérabilité intrinsèque.....	32
III-1-1 Facteurs relatifs au sol .....	32
- Ruissellement-infiltration.....	32
-Couverture pédologique .....	32
III-1-2 Facteurs relatifs à la zone non saturée (ZNS).....	32
- Profondeur de la nappe libre.....	32
- Amplitude de battement de nappe.....	33
- Perméabilité verticale de la ZNS.....	33
- Structure de la ZNS.....	33
III-1-3 Facteurs relatifs à la zone saturée .....	33
- Type de nappe (libre ou captive).....	33
- Paramètres hydrodynamiques.....	33
- Piézométrie .....	33
-Type de système hydrogéologique .....	33

- Relations nappe/cours d'eau.....	33
-Epaisseur de l'aquifère.....	33
-Présence ou non d'un horizon moins perméable .....	33
III-1-4 Facteurs communs au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée .....	33
- Recharge.....	34
-Fracturation.....	34
III-2 Cas de la vulnérabilité spécifique :.....	34
- le comportement du polluant potentiel.....	34
- les capacités dispersives et épuratoires des sols.....	34
- les intrusions marines.....	34
- la nature du réseau hydrographique.....	34
- la typologie de l'occupation du sol.....	35
les zones sensibles.....	35
IV- Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères .....	35
IV-1. Généralités .....	35
IV- 2 Principe des méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	36
Les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques .....	36
Les méthodes de cartographie à index.....	37
IV.3. Exemples de méthodes de cartographie de la vulnérabilité.....	37
- La méthode des complexes hydrogéologiques d'Albinet &Margat(1970)..	37
- La méthode Drastic.....	38
- La méthode Epik... ..	38
- La Méthode Riske.....	38
Conclusion .....	39

## **CHAPITRE III : Application de la méthode cartographique : Albinet & Margat (1970)**

I-Introduction .....	41
II. Choix de la méthode .....	41
III-Utilisation des SIG et réalisation de la carte de vulnérabilité .....	42
IV-Mise en application de la méthode .....	42
V-Les classes de vulnérabilité présentées par la carte .....	44
<i>Conclusion générale</i> .....	45
<i>Références bibliographiques</i> .....	46

## Liste des figures

- **Figure 1** : Localisation du territoire de la wilaya de Mostaganem.
- **Figure 2** : Planimétrie du Plateau de Mostaganem.
- **Figure 3** : Vue de l'Oued Chélif à quelques kilomètres en amont de son embouchure
- **Figure 4** : Occupation des sols dans la région de Mostaganem
- **Figure 5** : Courbe des températures mensuelles à la station de Mostaganem (période 1989-2008).
- **Figure 6** : Précipitations moyennes mensuelles lors de la période (station Mostaganem 1989-2008).
- **Figure 7** : Précipitations saisonnières à Mostaganem (1989-2008)
- **Figure 8** : Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (station de Mostaganem 1989-2008).
- **Figure 9** : Courbe pluviométrique relative à la station de Mostaganem (période 1989-2008).
- **Figure 10** : Carte géologique de Mostaganem à l'échelle 1/ 50 000 (SGA, 1913).
- **Figure 11** : Carte géologique du Plateau de Mostaganem (CGG, 1959).
- **Figure 12** : Log litho stratigraphique synthétique de la région de Mostaganem (? , in Bouzerara& Saibi, 20XX).
- **Figure 13** : Carte structurale du plateau de Mostaganem (A. Baiche, 1990).
- **Figure 14** : Carte hydrogéologique du plateau de Mostaganem (DEMRH, 1974)
- **Figure 15** : Carte hydrogéologique de la nappe du plateau de Mostaganem d'après J. Gauchez, 1969.
- **Figure 16** : Carte hydrogéologique de la nappe du Plateau de Mostaganem d'après A. Baiche, 2010.
- **Figure 17** : Carte piézométrique de la région de Mostaganem d'après les données de forages (A. Baiche, 1990).
  - **Figure 18** : Evolution piézométrique de quelques forages du Plateau de Mostaganem suivis par l'ANRH de 1998 à 2004 (ANRH/Sogreah, 2009).
- **Figure 19** : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de Mostaganem par application de la méthode de Albinet & Margat (1970).

## Liste des tableaux

- **Tableau N° 01** : Moyennes des températures à la station de Mostaganem (période 1989- 2008).
- **Tableau N° 02** : Variation des précipitations mensuelles lors de la période (1989 – 2008).
- **Tableau N°03** : Précipitation saisonnière à la station de Mostaganem
- **Tableau N°04** : Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s) - Station de Mostaganem, période (1989 - 2008).
- **Tableau N° 05** : Valeurs des précipitations et des températures au niveau de la station de Mostaganem.
- **Tableau N°06** : Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques du Plateau de Mostaganem (Bneder, 2007).
- **Tableau N°07** : Principaux paramètres hydrodynamiques des grès calabrien du Plateau de Mostaganem (d'après J. Gauchez, 1981).
- **Tableau N°08** : Bilan de la nappe du plateau de Mostaganem (ANRH/Sogreah, 2009).
- **Tableau N°09** : Estimation des prélèvements par affectation des eaux souterraines du Plateau de Mostaganem (ANRH/Sogreah, 2009).
- **Tableau N° 10** : Principales méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Civita, 1993).

## Liste des abréviations

- **HCS** : hydrogeologic complex and setting assessment
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- **DEMRH** : Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique.
- **ZS** : zone saturée
- **ZNS** : zone non saturée
- **EPA** : Agence de l'Environnement américaine
- **SIG** : Systèmes d'Information Géographiques

## Introduction générale

L'eau est le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toutes formes de vie et rien ne peut la remplacer. Sans eau aucun organisme ne peut vivre. En termes de ressources naturelles, dans de nombreuses régions du monde, les eaux souterraines sont essentielles pour la fourniture des eaux à usage domestique et agricole.

Parallèlement au problème de la rareté accrue de la ressource en eau naturelle renouvelable, les fortes concentrations urbaines et le développement intensif de l'irrigation dans la majorité des pays du globe, ont accru la problématique de disponibilité de la ressource par l'accentuation des pollutions affectant en particulier les ressources en eau souterraine. A cet effet, l'approche préventive de cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines permet d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type de polluant. Elle devrait en principe conditionner les plans d'occupation des sols ou, du moins, permettre de cibler les zones où des mesures rigoureuses de protection doivent être adoptées.

De nombreuses méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées à travers le monde depuis les années 1970. Globalement, leurs techniques d'évaluation se basent sur les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques, les méthodes à cotation numérique (systèmes matriciels, de classement, etc.), à l'exemple des méthodes Drastic ou God ainsi que les méthodes analogiques (simulation). La mise en œuvre de nombre reste toutefois délicate à cause des contraintes liées à la disponibilité ou à la qualité des données hydrodynamiques devant y être introduites (perméabilité, recharge nette, etc.).

Pour l'étude de la vulnérabilité de la région autour de la ville de Mostaganem (carte géologique de Mostaganem au 1/50 000), notre choix s'est porté sur l'approche des complexes hydrogéologiques à travers la méthode proposée par Albinet M. & Margat J. (1970). Cette méthode permet d'obtenir des résultats appréciables sur un territoire étendu sans pour autant disposer de nombreux paramètres hydrogéologiques, non disponibles ou souvent estimées de façon erronée.

Ce travail est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du contexte physique de la région de Mostaganem.
- Le second chapitre traite de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'étude.
- Le troisième chapitre est basé sur l'application de la méthode adoptée à la région d'étude.

# CHAPITRE I



## I- Caractéristiques géographiques :

### I-1. Cadre géographique :

Le Plateau de Mostaganem est situé sur un territoire de la wilaya de Mostaganem. Cette dernière est constituée de 32 communes réparties sur 10 dairats. Elle s'étend sur une superficie de 2.269 Km<sup>2</sup> et compte une population estimée au 31/12/2000 à 662.581 habitants, soit une densité de 737 118 habitants. L'agglomération de Mostaganem est située à quatre-vingts km à l'Est d'Oran. Elle se localise en bordure Ouest du Plateau de Mostaganem qui s'étend, sur près de 750 km<sup>2</sup>, du sud-ouest au nord-est du chef-lieu. Il est limité au Nord par l'Oued Chélif et sa vallée, au Sud par la Plaine des Bourdjias qui se prolonge par la dépression de la Macta, à l'Est par les djebels Ennaro et Belhacel et à l'Ouest par le bourrelet côtier qui l'isole de la mer méditerranée.

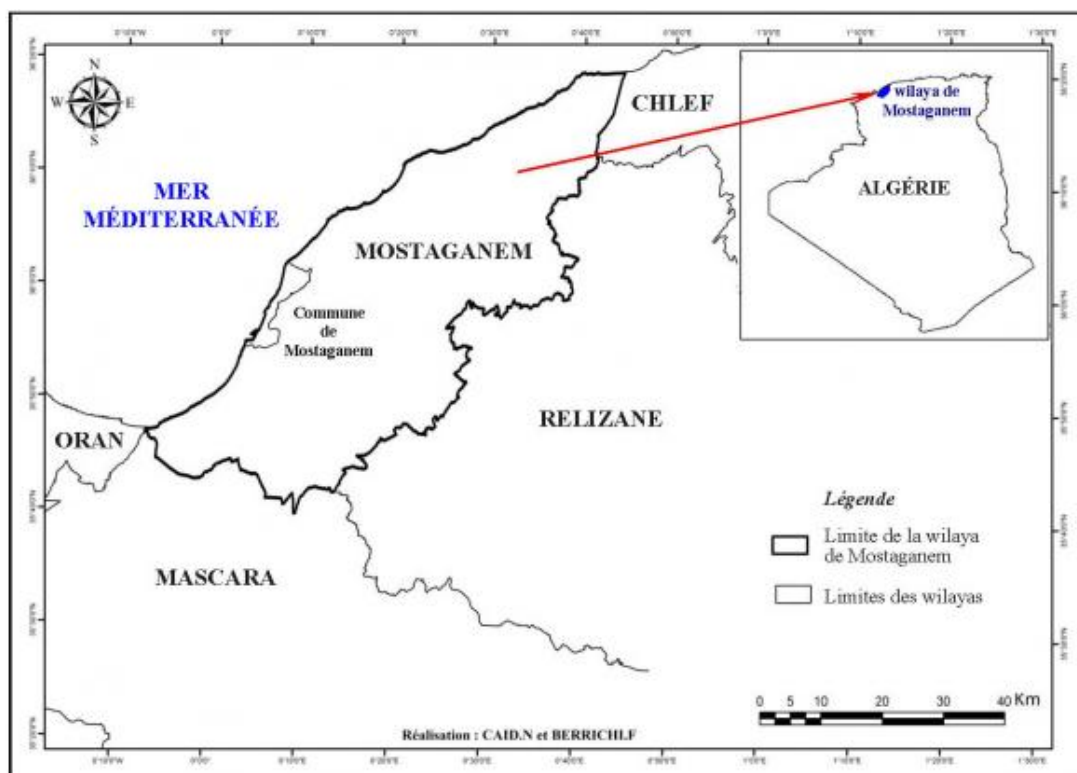


Figure 1 : Localisation du territoire de la wilaya de Mostaganem.

### I-2. Morphologie du Plateau de Mostaganem

Sur le plan morphologique, le plateau est composé de deux secteurs :

- Une frange littorale.
- Le plateau proprement dit.

**A- La frange littorale :**

La côte où dominent les dunes littorales et les formations gréseuses du Quaternaires dessine un arc qui peut être le résultat de l'action des vents dominants et de la houle sur les structures régionales.

**B- Le plateau :**

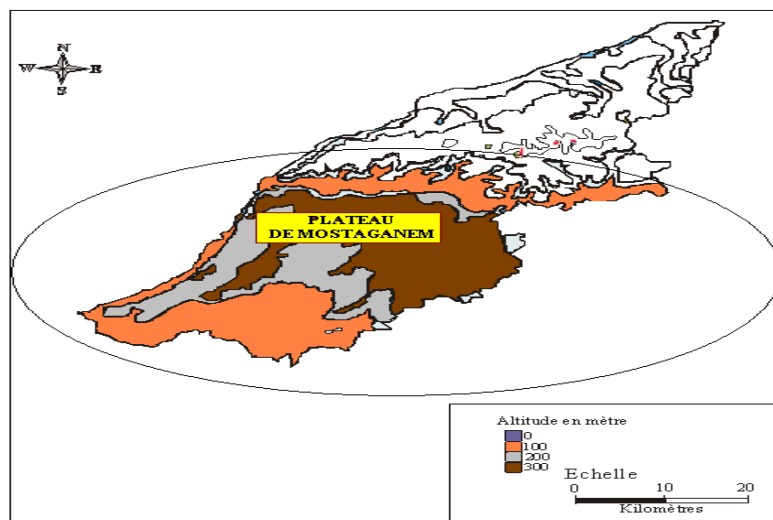
L'altitude du Plateau de Mostaganem est comprise entre 110 et 470 m, avec une altitude moyenne de l'ordre de 200 m. Elle décroît d'Est en Ouest.

Son aspect sub-tabulaire dans sa partie centrale fait que sa surface rétrécie en formant un biseau limité par l'Oued Tine, l'Oued Macta et la mer au Nord-ouest.

Sur la partie occidentale, de faibles ondulations séparées par des vallées en forme de fuseaux se distinguent :

- Vallée des jardins, au Centre.
- Dépression de Tounin-Sayada, au Nord.
- Vallée de Hassi Mamèche (Rivoli), au Sud.

Vers Tounin et Blad Touahria, les sables prennent de plus en plus d'importance donnant deux grandes crêtes alternantes avec des dépressions parfois marécageuses (Belhadri, Merzouka, Ennaro). Au-delà crête de Sidi Abdellah, s'étalent les reliefs boisés, des forêts d'Ennaro, de l'Akboube et de Bel Hael. Les reliefs s'accroissent vers l'Est (vallée de la soif).



**Figure 2 : Planimétrie du Plateau de Mostaganem.**

Le plateau se caractérise par le réseau hydrographique organisé limité seulement à deux petits oueds :

- **Oued Sefra**: qui prend naissance dans la région des sept puits dont la longueur de 7km.
- **Oued El Kheir**: affluent de Chélif ; il est alimenté par Ain El Sultane.

### **I-3. Hydrographie :**

Le développement du réseau hydrographique à l'échelle de la région étudiée est très restreint. Le seul oued d'importance est celui du Chélif qui limite la bordure Nord-est du plateau en amont immédiate de son embouchure. Le long de la cluse de cet oued s'étendent des terres très fertiles occupées par des cultures maraîchères.



**Figure 3 : Vue de l'Oued Chélif à quelques kilomètres en amont de son embouchure.**

Notons également à la proximité immédiate de la ville de Mostaganem, la présence d'un oued de moindre importance : l'Oued Ain Sefra. Il prend naissance dans la région des sept puits, qui traverse la ville de Mostaganem et se prolonge sur une longueur de 11 km environ. Cet oued est à écoulement temporaire. Il est fortement affecté par le rejet des eaux usées de la ville de Mostaganem.

### **I-4 . Contexte topographique :**

Le Plateau de Mostaganem occupe toute la partie Est et Sud de la ville de Mostaganem. Il est bien individualisé même si ces limites topographiques sont difficiles à tracer. Il est limité au Nord par l'Oued Chélif, à l'Ouest par la mer, au Sud par la plaine des Bordjias, à l'Est par le synclinal de Bouguirat. Il s'étale sur une superficie de près de 700 km<sup>2</sup>. Sa largeur est inégale. Elle est importante à Mostaganem ville puis se rétrécit au Nord et au Sud. Le plateau surplombe

régulièrement la mer et le bas Chélif par une falaise de 150 à 200 m au Nord et au Nord-ouest. Vers l'Ouest, il s'abaisse régulièrement sur la plaine d'El Habra et le golfe d'Arzew. Au Sud-est, il est bordé par une ligne de relief jalonnée par les forêts d'Enarro et de l'Akboub qui le séparent de la plaine de Relizane.

Le plateau ne présente un aspect tabulaire que dans sa région centrale. Ailleurs, sa surface ondulée présente une succession des dépressions larges, allongées en forme de fuseaux et des rides orientées NE-SW. Ces dépressions sont peu profondes, elles constituent les zones d'accumulation des éléments fins apportés par le vent ou l'eau. Elles délimitent des cuvettes à fond parfois marécageux.

Les dépressions sont d'Ouest en Est :

- ✓ La dépression de Hassi Mamèche et la vallée des jardins au Sud de la ville de Mostaganem.
- ✓ La dépression de Kheir-Eddine au Nord.
- ✓ La dépression de Hacheme Fouaha au Nord-est.
- ✓ La dépression d'Ouled Ben Bachir et enfin celle de Torche vers l'extrémité Est du plateau.

### **I-5. Pédologie:**

Une étude d'analyse du sol de la région a été réalisée par le Bneder en 1996. Elle a nécessité l'utilisation et le suivi d'une approche peu générale, laquelle a été vérifiée par rapport aux études antérieures (ANRH, 1970). La base de données utilisée dans le cadre de l'étude comprenait, les cartes topographiques aux 1/50 000, les photographies aériennes, la carte des pentes, la carte d'occupation du sol, la carte géomorphologique et les données d'analyses physico-chimiques des sols. La méthodologie a suivi les étapes suivantes : travaux préliminaires de bureau qui consistent à rassembler et à exploiter la documentation existante, travaux de terrain (prospection pédologique, implantation des profils), analyse des échantillons au laboratoire et interprétation sommaire des résultats. Elle a adopté la structure de classification française des sols qui détermine les classes et les sous classes, subdivisées en groupes de sols et sous-groupes. Les groupes de sols sont définis par les caractères morphologiques du profil, par contre les sous-groupes sont déterminés sur la base des processus secondaires, indiqués par certains éléments nouveaux du profil (tâches d'hydromorphie, halomorphie, élargissement de la structure, etc). En

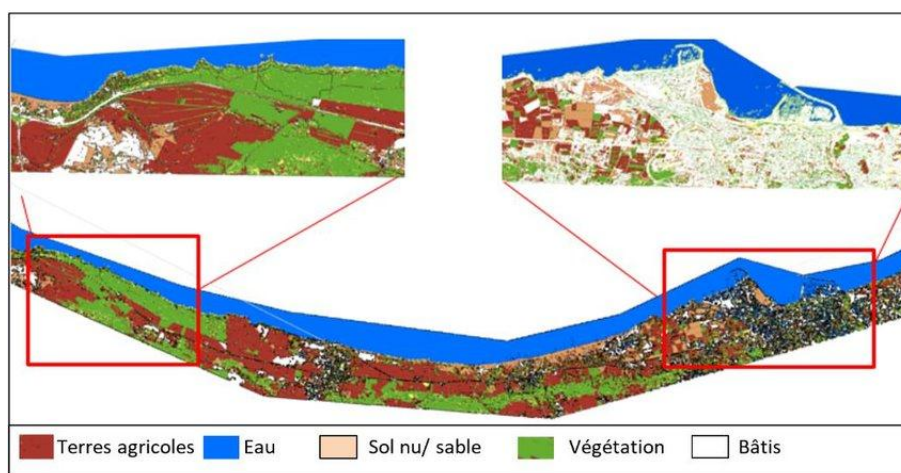
définitif, les différents types de sols inventoriés dans la zone d'étude comprennent les classes suivantes :

- Classe de sols peu évolués,
- Classe des sols calcimagnésiques,
- Classe des sols isohurmiques,
- Classe des sols sesquioxydes de fer,
- Classe des sols hydro morphes,
- Classe de sols halomorphes.

### **I-6. Couvert végétal :**

La forêt d'Ennaro et la forêt domaniale de l'Akboube sont composées de fougères, de conifères (pins d'Alep et pins martines) et de chênes lièges. Cette catégorie de végétation occupe essentiellement les reliefs, les dépressions et les collines où croissent tamaris, genêts, palmiers nains et autres espèces résineuses, formant haies et clôtures (palmiers, cactus et agaves). On y rencontre parmi tant d'autre, des arbres de la famille des pins, cyprès et épicéas. La couverture végétale du sol est très réduite et peu diversifiée. Sur les hauteurs poussent des herbes, les unes odoriférantes et médicinales : thym, serpolet, lavande, les autres sans spécificités connue, servant de pâturage au bétail (charbons, chiendent, moutardes, plantain, etc.).

Des espèces exotiques d'arbres avaient été introduites au dix-neuvième siècle, soit pour assainir le climat ex. Eucalyptus, soit pour embellir les villes tels : le Platane, la Saponaire, les acacias (dont le mimosa), le faux poivrier, le figuier d'Amazonie, etc.



**Figure 4: Occupation des sols dans la région de Mostaganem**

## II-Hydroclimatologie :

### II-1. Généralités :

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (les précipitations, les températures, les vents, l'humidité, etc.) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Il est déterminé par la situation géographique et par la circulation atmosphérique. Le climat est un facteur du milieu naturel qui détermine le potentiel végétal d'une région. Il influe sur le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols, son action est souvent défavorable dans la mesure où il peut être à l'origine de la dégradation du milieu.

Les précipitations constituent les principales entrées des systèmes hydrologiques tels les aquifères. Elles sont vitales pour les êtres humains dans la mesure où elles assurent la recharge des ressources en eau et favorisent le développement des activités humaines (agriculture, pêche, production d'énergie, etc.). Mais, elles peuvent également devenir dangereuses lors des forts épisodes orageux pouvant générer des inondations catastrophiques.

Pour notre étude, nous avons disposé des données climatologiques relatifs à la seule station de Mostaganem.

### II-2. Etude des températures :

Le tableau 1 présente le relevé des températures mensuelles recueillies à la station de Mostaganem lors de la période 1989 - 2008.

**Tableau n° 01 : Moyennes des températures à la station de Mostaganem (période 1989-2008).**

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	MOY
<b>T min</b>	17,68	14,37	9,62	7,48	5,61	6,34	7,8	9,56	13,24	16,73	19,43	20,32	12,34
<b>T Max</b>	28,47	24,85	19,66	17,05	16,16	17,04	19,14	20,85	23,78	28,09	31,34	32,12	23,21
<b>(M+m)/2</b>	23,07	19,61	14,64	12,26	10,88	11,69	13,47	15,2	18,51	22,41	25,38	26,22	17,77

**M**: Moyennes des températures maximales (C°)

**m** : Moyennes des températures minimales (C°)

**(M+m)/2** : Températures moyennes (C°)

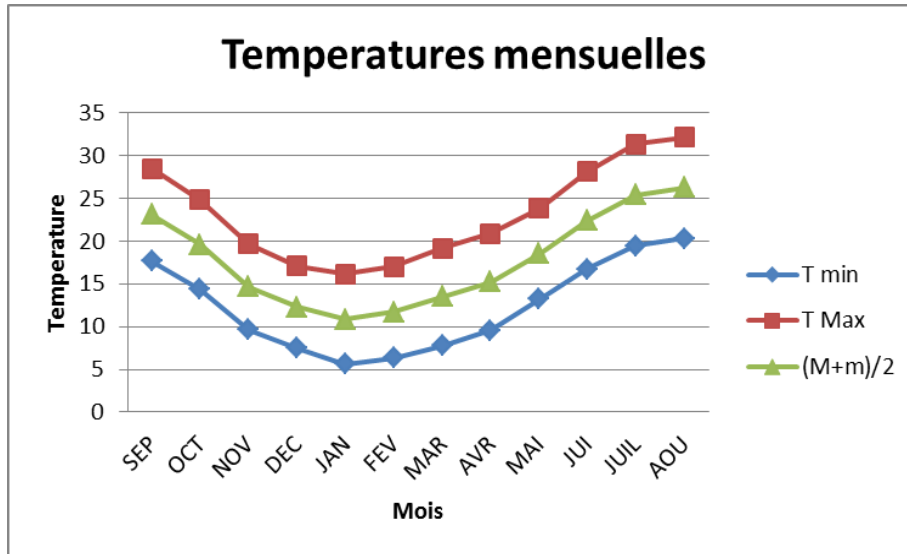


Figure 5: Courbe des températures mensuelles à la station de Mostaganem (période 1989-2008).

D'une manière générale le minimum apparaît en Janvier 5.61C° alors que le maximum apparaît en Août 32.12C°.

### II-3. Etude des précipitations

Pour caractériser les conditions climatiques de la région, nous présentons la répartition des précipitations à l'échelle mensuelle de la période 1989 – 2008 (Tableau 2).

Tableau n°02 : Variations des précipitations mensuelles lors de la période (1989 – 2008).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy.
P (mm)	25.57	32.72	71.43	56.73	46.65	48.91	39.03	37.18	25.56	4.72	2.04	3.60	394.14

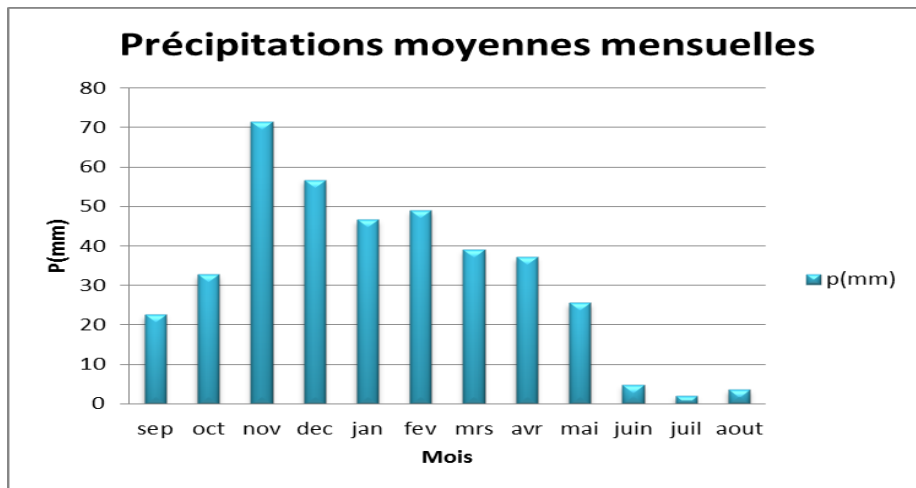


Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles lors de la période (station Mostaganem1989 – 2008).

La période excédentaire commence le mois de septembre et s’étend jusqu’au mois de mai avec un maxima au mois de novembre (70 mm). La période fortement déficitaire débute le mois de juin et s’étend jusqu’au mois d’aout. Le module pluviométrique est de 394 mm.

II-4. Précipitations saisonnières :

Tableau n°03 : Précipitations saisonnières à la station de Mostaganem.

Station	AUT	HIV	PRI	ETE	Indices saisonniers
Mostaganem	32.91	38.63	25.82	2.62	H.A.P.E

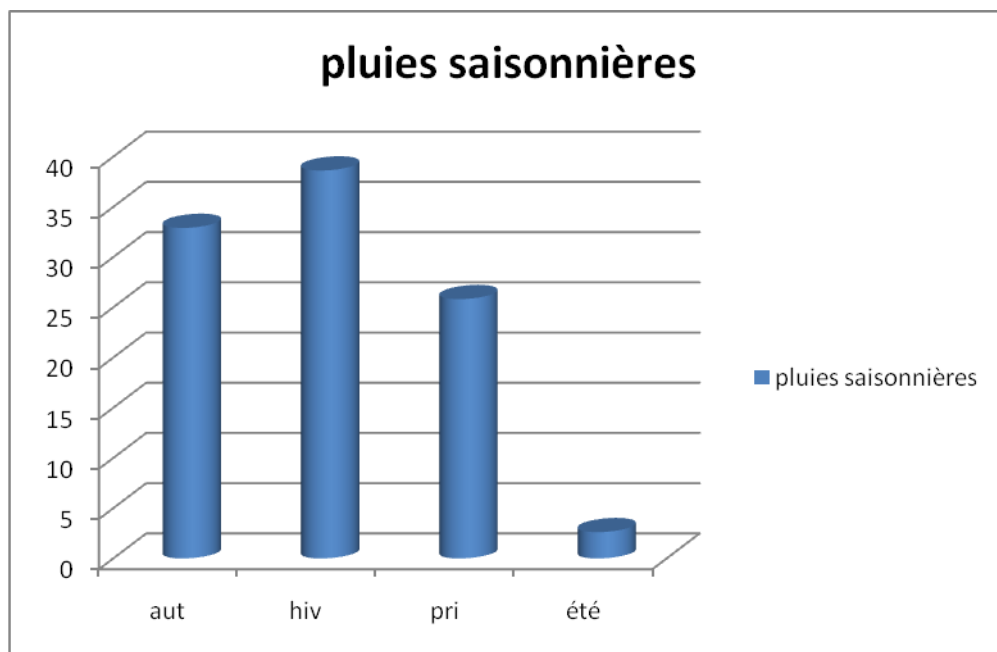


Figure7: Précipitations saisonnières – station de Mostaganem (1989-2008).



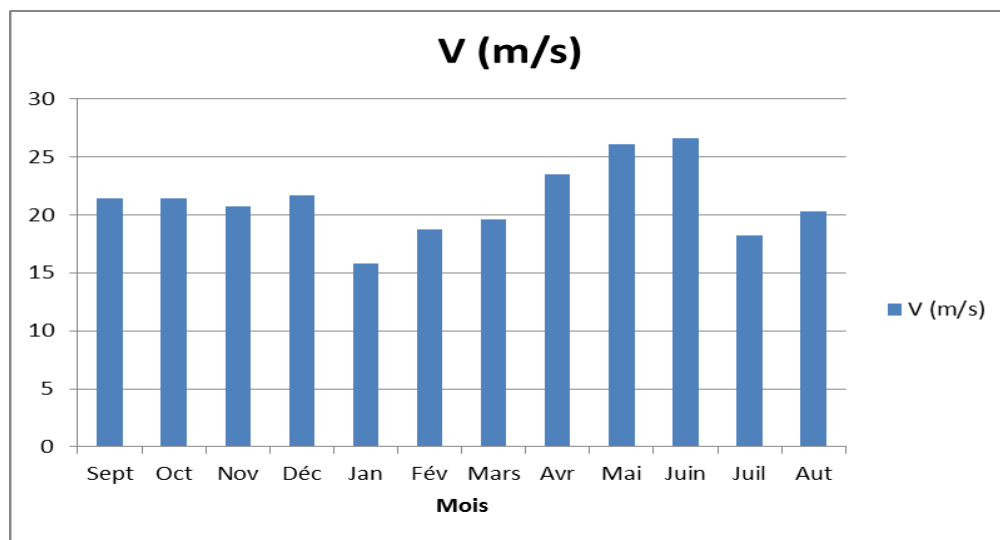
A Mostaganem la saison d’hiver est trop pluvieuse. Elle est diminuée pendant l’automne et le printemps avec des valeurs pochettées, et pendant l’été marquant une saison sèche.

**II-5. Le vent :**

Nous présentons en tableau 4, les vitesses de vent enregistrées au niveau de la station de Mostaganem.

**Tableau N°04 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s) - Station de Mostaganem,période (1989 - 2008).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aut	Moy
V (m/s)	21,4	21,4	20,7	21,7	15,8	18,7	19,6	23,5	26,1	26,6	18,2	20,3	21,16



**Figure 8: Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (station de Mostaganem 1989-2008).**

D’après le tableau et l’histogramme, les valeurs de la vitesse du vent varient entre 15,2 m/s au mois de janvier et 26,6 m/s pour le mois de juin.

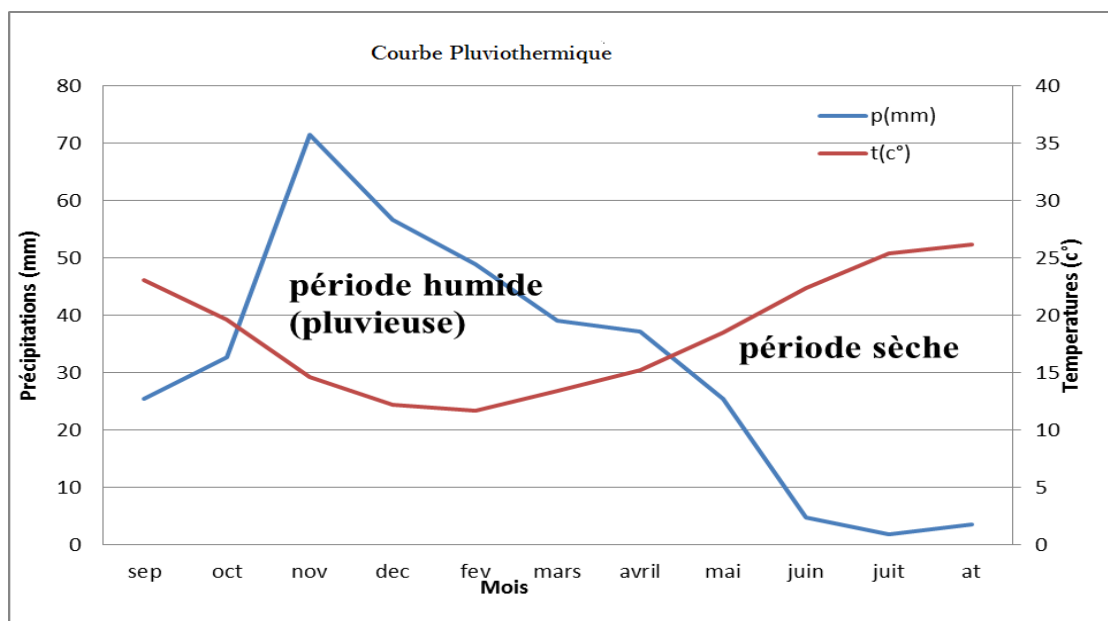
**II-6. Étude de la relation température - précipitation :**

Un certain nombre de méthodes soit graphiques soit par calcul permet de déterminer le climat d’une région et ses différents régimes. Nous avons opté pour la méthode pluviothermique pour en dégager quelques caractéristiques. La méthode est basée sur le suivi de la courbe

pluiothermique suivant les moyennes des températures et précipitations intermensuelles. La courbe est dressée en portant sur l'abscisse les mois de l'année et sur les ordonnées les pluies et les températures avec une échelle différente :  $P = 2T$ . (Tableau5 & Figure 9)

**Tableau N°05 : Valeurs des précipitations et des températures au niveau de la station de Mostaganem.**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aut
P (mm)	25.57	32.72	71.43	56.73	46.65	48.91	39.09	37.18	25.56	4.76	1.94	3.60
T (C °)	23,07	19,61	14,64	12,26	10,88	11,69	13,47	15,2	18,51	22,41	25,38	26,22



**Figure 9: Courbe pluiothermique relative à la station de Mostaganem (période 1989-2008).**

Si la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, cela correspond aux mois humides qui s'étendraient dans notre cas de novembre jusqu'au mois de mai. La période est considérée comme excédentaire.

Si la courbe des précipitations passe au-dessous de celle des températures, cela correspond aux mois secs qui s'étendent dans notre cas du mois de Mai jusqu'à Octobre. La période est considérée déficitaire.

**III- Contexte géologique****III-1. Géologie régionale :**

L'Algérie est composée de trois domaines principaux :

- Un domaine tellien (Tell septentrional)
- Un domaine présaharien (domaine des Hautes Plaines et Atlas Saharien)
- Un domaine saharien (plateforme saharienne).

Notre région d'étude fait partie du domaine tellien occidental

**III-2. Géologie de la région de Mostaganem :****III-2.1. Introduction :**

La carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines que nous proposons d'établir concerne le territoire autour de l'agglomération de Mostaganem. L'approche qui sera mise en œuvre nécessite l'utilisation de carte à l'échelle de 1/ 50 000. La seule carte géologique publiée à cette échelle dont nous avons pu disposer en document exploitable est celle figurant à la figure 10 (SGA, 1913).

Nous avons pu également disposer de cartes géologiques plus récentes (ANRH, 2009, etc.) mais elles sont aux échelles du 1 /200 000 et autres qui restent non pertinentes pour la réalisation de la carte de vulnérabilité.

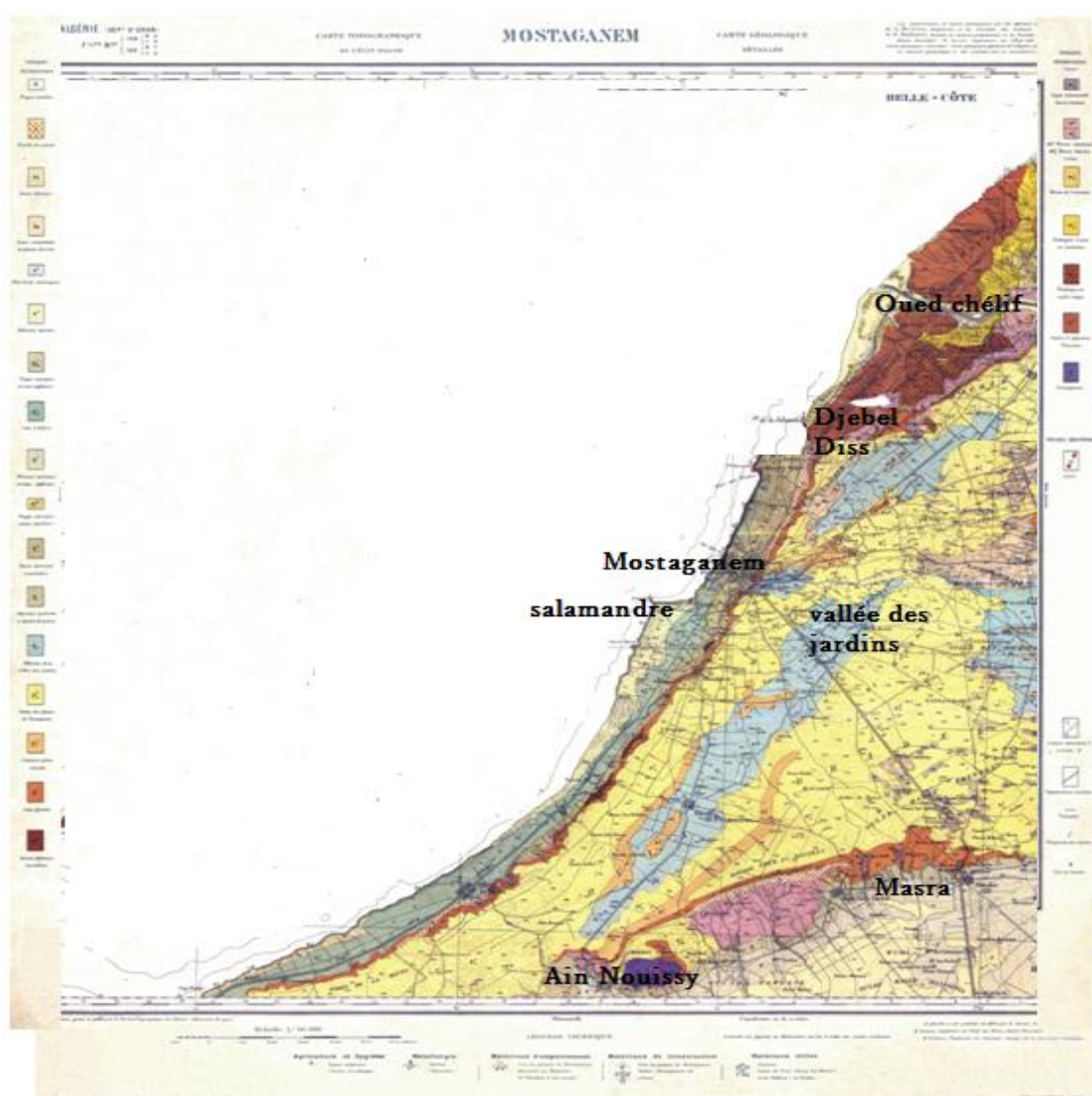


Figure 10 : Carte géologique de Mostaganem à l'échelle 1/ 50 000 (SGA, 1913).

La carte exploitée couvre essentiellement la partie occidentale du Plateau de Mostaganem.

### III-2.2. Lithostratigraphie :

Du point de vue stratigraphique au niveau du Plateau de Mostaganem et de ses zones limitrophes, deux catégories de formations géologiques sont identifiées (J. Delteil 1974, J. Gauchez 1981) (figure 11) :

- des formations allochtones anté-Miocène,
- des formations autochtones du Miocène et du post-Miocène.

**A- Les formations allochtones :** Ce sont les terrains les plus anciens. Ces types de formations allochtones se définissent par diapirisme et en nappes de charriage :

- **Le diapyrisme** : se manifeste à l'Est de Ain Nouissy ou affleure un diapirisme de gypse renfermant des roches volcaniques, de marnes vertes ou roses de la pyrite de la dolomie du chlorure de sodium et du sulfate de magnésium.
- **Les nappes de charriage** : Au Nord de Mostaganem (Kharrouba & Djebel Diss) apparait tout un ensemble de terrains appartenant aux nappes : le flysh violacé, le flysh vert, gypse du trias, marnes et marno calcaire et grès.

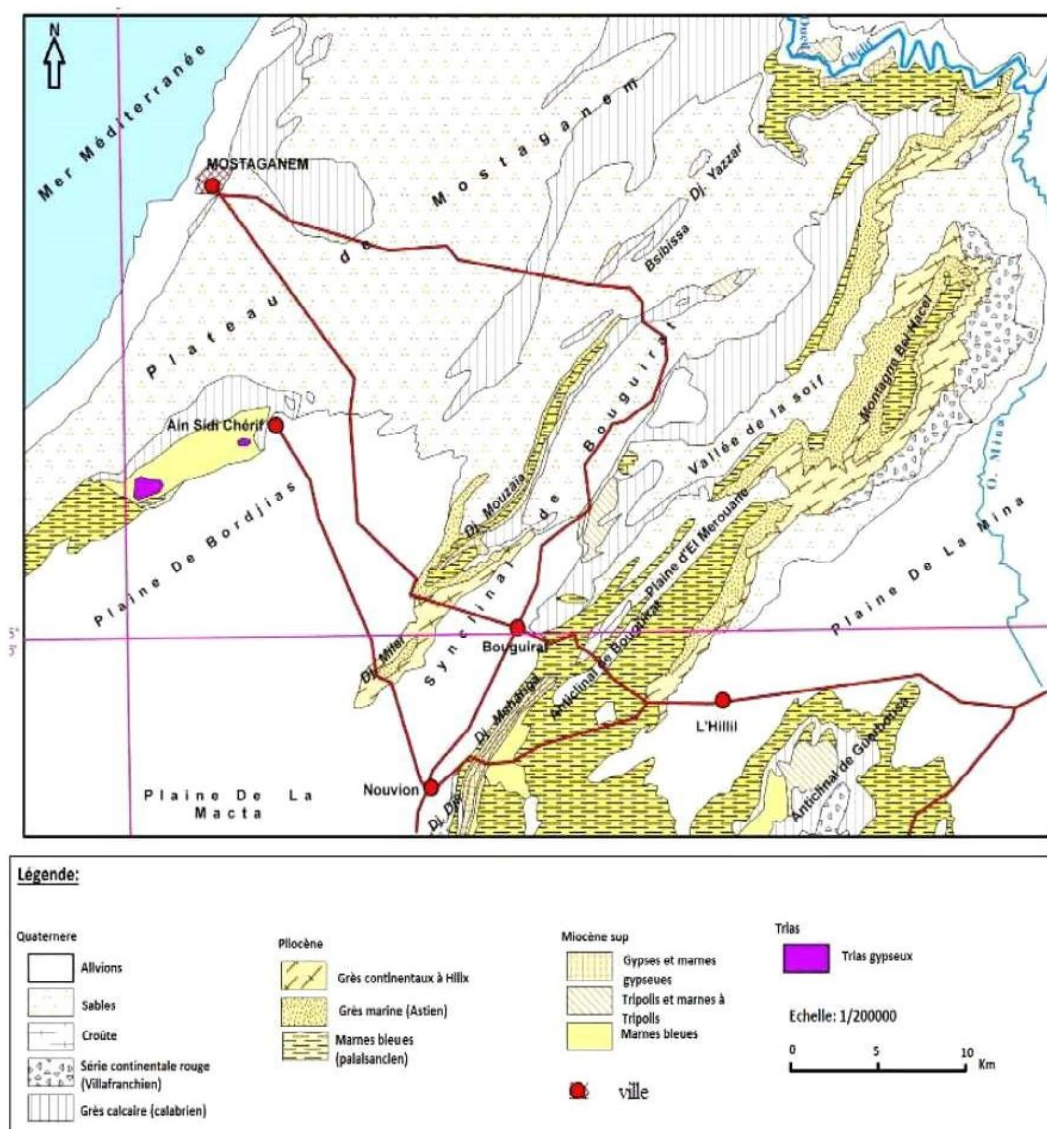


Figure 11 : Carte géologique du plateau de Mostaganem (J. Gauchez, 1981).

**B- Les formations autochtones** : Ce sont les terrains post-nappe.

Plusieurs niveaux caractérisent la série litho-stratigraphique (figure 12) :

➤ **Le Miocène**

- **Le Miocène laguno-continental** : Ce sont des marnes rouges riches en galets et sables, grès quartzeux, conglomérats avec passage latéral à des marnes brunes graveleuses à gypses. La microfaune indique un âge Miocène inférieur.

- **Le Miocène marin** : C'est une série marno-gréseuse bleue qui s'altère en jaune (Miocène moyen). Au-dessus, on trouve des marnes bleues à cristaux de gypse fer de lance. Cet ensemble est recouvert au nord du plateau par une série de sénérîtes liée au volcanisme régional. Ailleurs, il est surmonté par un banc de gypse qui constitue une limite approximative avec le pliocène.

➤ **Le Pliocène :**

- **Le Pliocène Marin** : Il est caractérisé par les étages suivants :

- ✓ **Le Plaisancien** : Ce sont des marnes bleues à petits filons de gypses saccharoïdes passant progressivement vers le haut à des marnes sableuses et sables argileux.
- ✓ **L'Astien** : C'est une série de couleur jaune foncé formée par des grès à ciment calcaire. L'épaisseur maximale est de 100 m. L'extension de ces grès sous le quaternaire est mal connue.

- **Le Pliocène continental** : Il affleure dans la partie Nord-Est de la carte. Le comblement régulier du bassin a conduit à une phase continentale à sédimentation marneuse terminée par des niveaux détritiques de grès blanchâtres.

**C- Le Quaternaire** : Ce sont les formations qui constituent la nappe aquifère du plateau de Mostaganem et qui sont représentées par des terrains plus ou moins perméables.

- **Le calabrien** : Il débute dans la région de Mostaganem par un niveau de micro poudingue formé par des galets des grès à ciment calcaire et se poursuit par des grès jaunâtres grossiers et vacuolaires passant à des lumachelles.
- Le reste du quaternaire est continental. Il est constitué de grès dunaires jaunâtres à stratification entrecroisées et de limons sableux résultant de la désagrégation des formations du calabrien. Ces séries de recouvrement sont localement masquées par de sols rouges et une croûte gréso-calcaire blanchâtre.

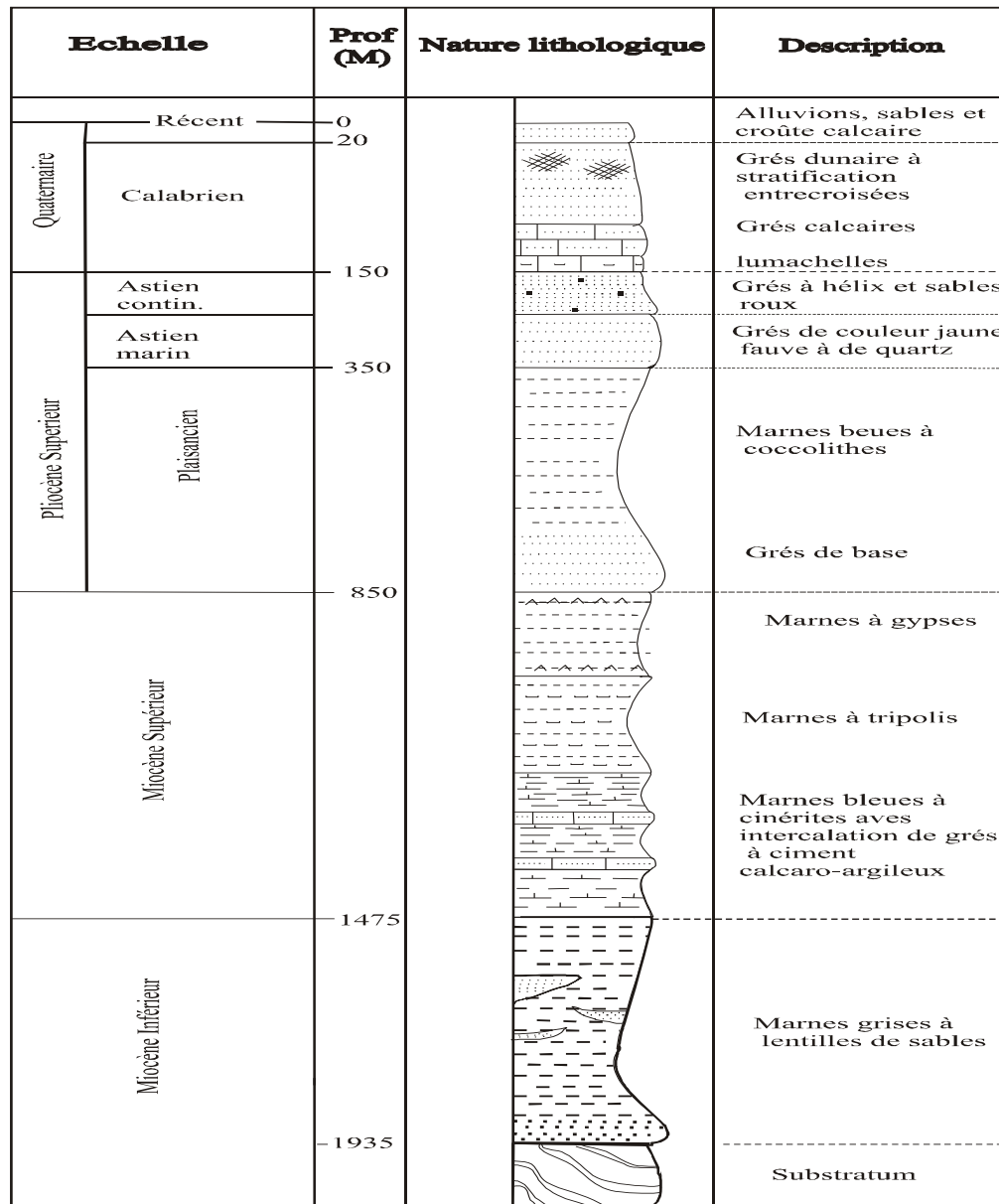


Figure 12: Log litho stratigraphique synthétique de la région de Mostaganem (in Bouzerara& Saïbi, 20XX).

III-2.3. Etude structurale :

A- Partie centrale :

Le plateau de Mostaganem appartient au domaine alpin, il a été aplani par une série de transgressions marines dont celles du Pliocène et du Quaternaire ancien qui y ont laissé des dépôts gréseux et sableux, puis des déformations en compression, d'âge Quaternaire, ont donné une série de plis NE-SW affectés par des failles E-W qui sont : (G. Thomas, 1985)

1. Le petit synclinal de Mazagan,

2. L'anticlinal de Sidi Ben Haoua,
3. Le synclinal de Hassi-Mameche et celui de la vallée des jardins qui déterminent une morphologie actuelle (séries des dépressions).

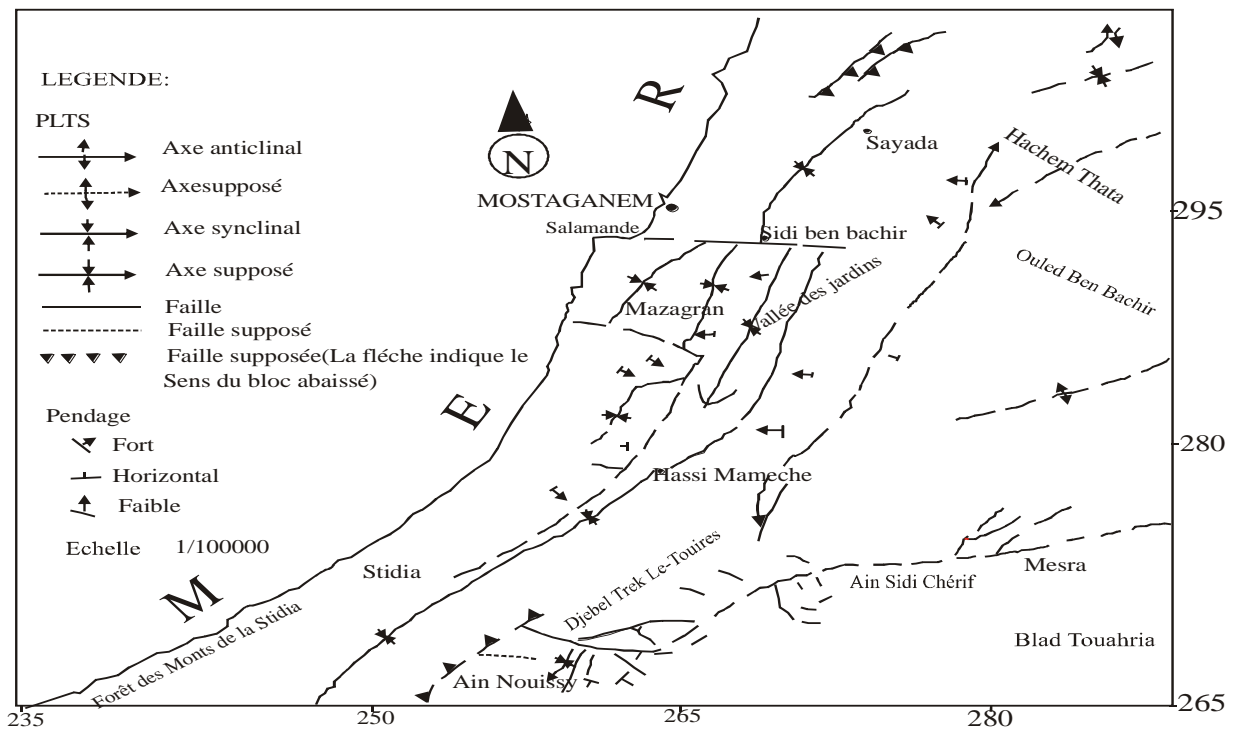


Figure 13 : Carte structurale du plateau de Mostaganem (A.Baiche, 1990)

1. **Les bordures :** Quatre types des borduresse distinguent :

➤ **La bordure méridionale :**

Sur cette bordure, nous remarquons des déformations souples et des déformations cassantes.

✓ **Les déformations souples :** Le trait le plus marquant apparaît au niveau du Djebel Trek El Touires, vaste bombement anticlinal dissymétrique faisant affleurer les marnes bleues du Miocène supérieur surmontées par les déformations du Pliocène. Il semble que ce bombement soit en partie d'origine "diapirique" associée au pointement "triasique" d'Aïn Nouïssy. Sa structure est ellipsoïde et est flanquée à sa partie Sud-est par un lambeau de grès et de quartzites que M. Dalloni a attribué au Crétacé inférieur (présence d'Apticus). D'après Perrodon, ce "diapir" aurait surgi le long de la flexure méridionale. L'extrémité méridionale de cet anticlinal s'ennoie rapidement, vers l'Est, elle est prolongée par une flexure qui s'infléchit progressivement selon une direction E-W.



✓ **Les déformations cassantes** : Cet anticlinal est limité à sa partie Ouest par une faille (N30°E), il est affecté par une multitude de petites failles de différentes directions, mais la direction privilégiée (SW-NE) est toujours conservée.

➤ **La bordure orientale (Bel Hacel) :**

Sur cette bordure, existe d'importantes déformations souples accompagnées d'accidents. Ces structures sont orientées en moyenne SW-NE et qui séparent le plateau de Mostaganem et la plaine de Rélizane.

On peut noter :

- Un premier axe anticlinal jalonné par le Djebel Milar, par Djebel Mouzaia et celui de la forêt d'Ennaro, et Djebel Djazzar.
- Un deuxième axe anticlinal se situe dans le prolongement de Bouguirate et il est constitué par l'anticlinal de l'Akboube.
- Un troisième axe anticlinal est déterminé par le Djebel Bel Hacel.

Toutes ces structures sont dissymétriques avec un des pendages du flanc plus marqué que l'autre, ces plis touchent le Pliocène et en particulier le Pliocène supérieur.

➤ **La bordure septentrionale :**

Elle apparaît au niveau de la cluse de Chéelif. Au sud de ce secteur, le massif du Dahra s'ennoie sous les formations du Miocène supérieur du plateau de Mostaganem. Le Djebel Diss constitue un éperon où réapparaît du Miocène continental.

➤ **La bordure occidentale :**

Cette bordure est constituée par des falaises qui se développent depuis l'embouchure de la Macta jusqu'au Djebel Diss. Cette ligne de falaise montre une double structuration : la direction SW-NE correspond au flanc oriental des synclinaux en échelon de Hassi Mameche, la vallée des jardins, et la direction E-W mise en évidence par l'âge de substratum du Pliocène Supérieur. En effet dans la partie médiane entre Mostaganem et Ouréah apparaissent les marnes bleues du Plaisancien, et de part et d'autre vers le nord (jusqu'au Djebel Diss), que vers le Sud-Ouest (jusqu'au l'embouchure de la Macta) le substratum est constitué par les marnes bleues du Miocène. On est donc en présence d'une vaste dépression synclinale orientée E-W.

Après la mise en place des nappes telliennes, deux types de déformations caractérisent le Tell occidental :

- les déformations du Miocène post-nappe,
- les déformations du Plio-Quaternaires.

✓ **Déformation du Miocène post-nappe :**

Les phases Miocène post-nappes sont peut-être marquées par la mise en place des recouvrements récents (Pliocène, Quaternaire). C'est donc essentiellement les phases Plio-Quaternaires qui peuvent être appréhendées. Les formations gréso-sableuses limachelliques apportées jadis au "Calabrien" (Laffite, 1950) sont en fait d'âge plus ancien. Pliocène supérieur (G. Thomas, 1977). Les niveaux sont discordants sur le Miocène supérieur et les Marnes du Pliocène inférieur. Cette discordance est visible au voisinage de la Stidia, elle est liée à un phénomène de compression. L'ensemble des formations du Miocène Supérieur et des marnes bleues du Pliocène inférieur sont déformées en anticlinaux et synclinaux affectés de failles inverses.

✓ **Déformation du Plio-Quaternaires :**

Ces déformations apparaissent principalement à la périphérie du plateau de Mostaganem où l'on observe des plis d'orientation générale SW-NE et des failles E-W.

✓ **-Les plis :**

- Anticlinal de Stidia-Mostaganem.
- Synclinal de Hassi Mameche, vallée des jardins, puis celui de Mostaganem-Sayada.
- Anticlinal d'Ain Sidi Chérif
- Anticlinal de l'Akboube.
- Anticlinal de Bel Hael.

✓ **Les failles :**

Ce sont des failles de décrochements dextres orientées sensiblement E-W qui appartiennent à la série des accidents qui affectent l'ensemble de l'Oranais. Les accidents les plus importants se situent au Sud et Nord du plateau. Mais L. Glangeaud (1932) a mis en évidence deux structures (N10°E et N50°W) qu'il appela "transversales".

La structure N10°E est la plus caractéristique, tandis que celle du N50°W semble d'être d'origine plus ancienne (J. Delteil, 1975).

L'ensemble de ces déformations doit être situé dans ce Quaternaire puisque les plis englobent le Pliocène supérieur, et que les failles constituent un système de relais vis à vis de ces plis. A. Perrodon (1957) suggère sur la base des travaux géophysiques, la présence d'une faille inverse à la partie orientale du plateau qui s'aligne dans le prolongement du diapir d'Ain Nouissy.

IV-HYDROGEOLOGIE :

IV-1. Introduction :

Le plateau de Mostaganem fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques dont les plus importantes ont été réalisées par J. Gauchez (1970, 1981), DEMRH (1948) (figure 14), A. Baiche (1990, 2010) et ANRH/Sogreah (2009). De nombreuses autres études hydrogéologiques ont traité plus ou moins partiellement la région du Plateau de Mostaganem.

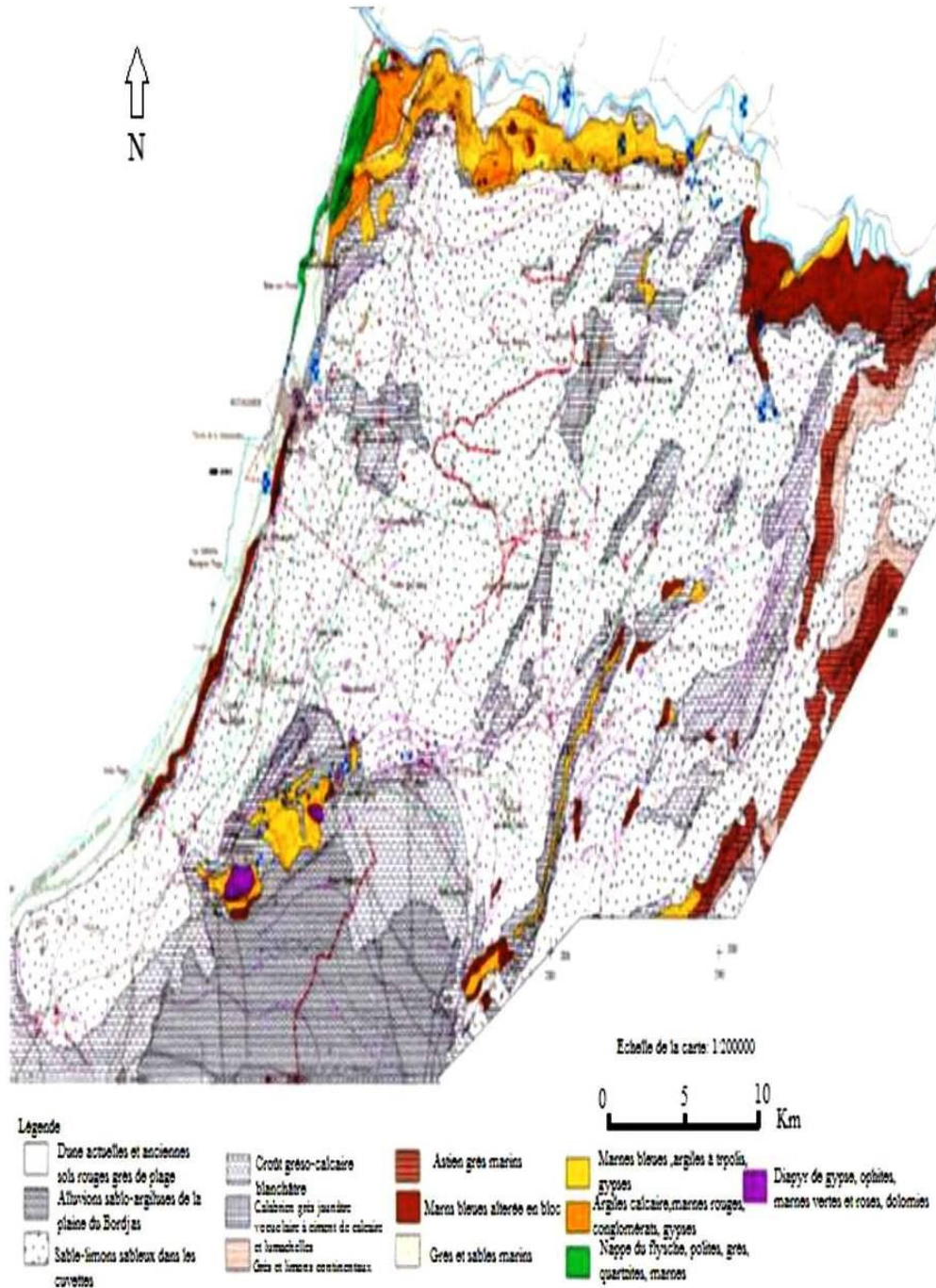


Figure 14 : Carte hydrogéologique du plateau de Mostaganem (DEMRH, 1974).

D'un point de vue général, la nappe principale s'étendant sous le plateau, est d'une épaisseur comprise entre 40 m et 100 m. Elle est constituée par les grès très perméables du Calabrien. Les grès et les dunes supérieures, moins perméables, peuvent constituer une nappe de moindre importance, en relation avec le Calabrien. Les formations du Miocène et du Pliocène inférieur, à dominance marneuse, formant le substratum, sont imperméables (ANRH/Sogreah, 2009).

#### **IV-2. Piézométrie de la nappe du Plateau de Mostaganem :**

L'essentiel de la recharge de la nappe du Calabrien s'effectue par infiltration directe au niveau des affleurements, mais il y a également des apports par percolation à partir des couches supérieures, et probablement par drainance ascendante, à partir des grès, de sables argileux, et des micro-poudingues sous-jacents.

Une étude piézométrique a permis de lever une carte en courbes isopièzes de la surface de des nappes du Plateau de Mostaganem et de ses zones limitrophes (A. Baiche, 2010). La carte areprésenté des bassins hydrogéologiques proches de ceux précédemment établie par J. Gauchez (1969) (Fig.15 & 16).

Trois sous-systèmes se distinguent sur la carte piézométrique :

- un nappe au nord du Djebel Trek El Touires (nappe du Plateau de Mostaganem SS),
- une nappe au sud du Djebel Trek El Touires,
- une nappe du littoral.

La superposition des deux cartes hydrogéologiques du Plateau de Mostaganem dévoile des fluctuations de l'aquifère des bassins hydrogéologiques de la nappe. Cette dernière présente des secteurs où le niveau moyen piézométrique de la nappe est remonté par des secteurs stables et des secteurs où le niveau piézométrique accuse une diminution considérable entre les deux périodes. L'augmentation du niveau piézométrique est de l'ordre de 0 à 8 m, voire de 11 m en certains endroits : bassin de l'Oued Séfra, les bordures N-E du bassin de Mazagran et du bassin Ouréah à Stidia ainsi qu'une partie du bassin d'Ain Sidi Chérif–Mesra.

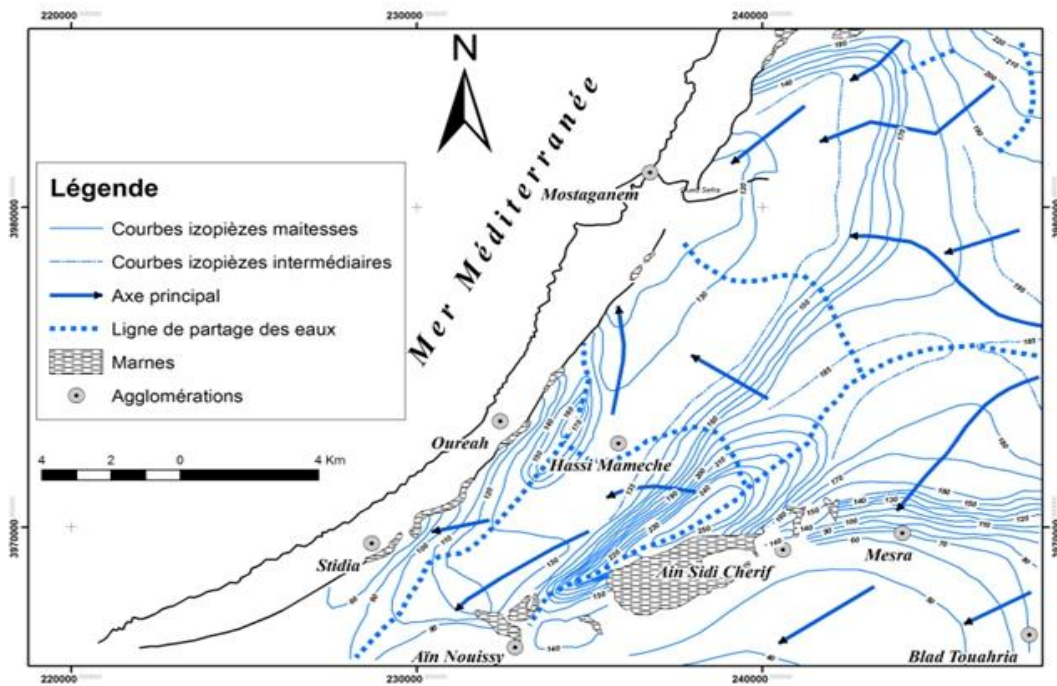


Figure 15 : Carte hydrogéologique de la nappe du plateau de Mostaganem d'après J. Gauchez (1969).

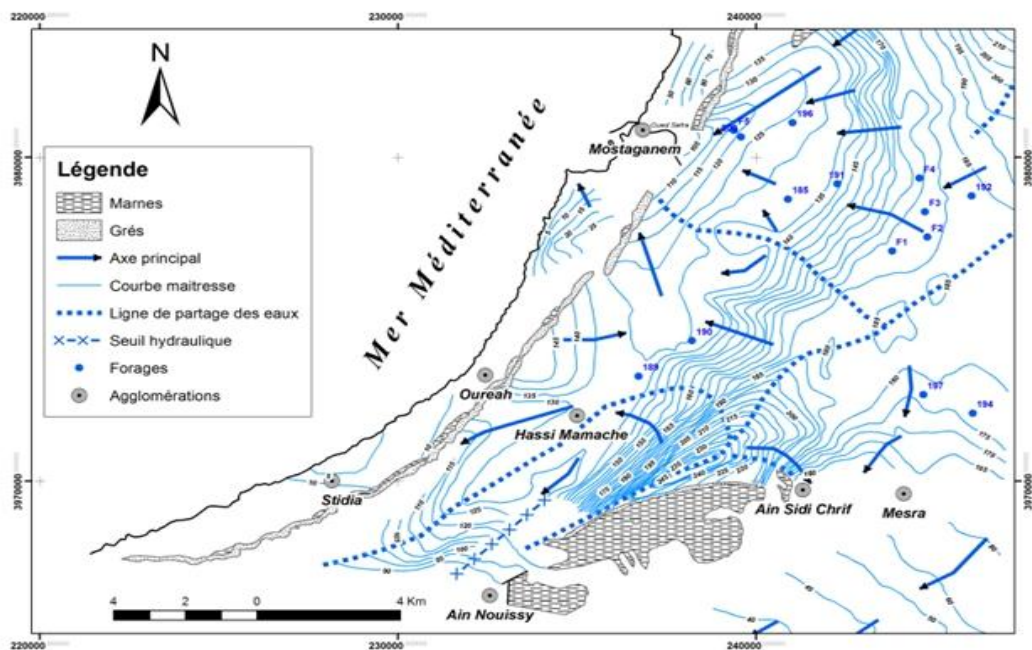


Figure 16 : Carte hydrogéologique de la nappe du Plateau de Mostaganem d'après A. Baïche (2010).

En 2007, une étude a été établie par le Bneder visant, entre autres, l'estimation du potentiel hydrogéologique au niveau du plateau de Mostaganem. A cet effet, un inventaire détaillé des points d'eau suivi d'une étude piézométrique a été réalisé. Cette étude confirme les zones d'alimentation de la nappe constituées par les différents djebels ou bombements affectant le plateau, ainsi que par la bordure Nord-ouest. Dans ces zones, le gradient hydraulique est élevé et

les axes d'écoulement ont des directions divergentes. Dans le bassin d'Oued Sefra, ces axes correspondant à peu près au réseau de drainage superficiel. Les axes principaux de l'écoulement ont des directions divergentes et la direction NE-SW reste la direction privilégiée, correspondant à la direction des structures principales du plateau. Les valeurs du gradient hydraulique varient entre  $60.10^{-3}$  à  $1.5.10^{-3}$ . Au centre du plateau, une zone à faibles gradients hydrauliques serait favorable à l'implantation des ouvrages d'exploitation. Le gradient est par contre élevé dans les zones d'alimentation du plateau (collines) (Bneder, 2007).

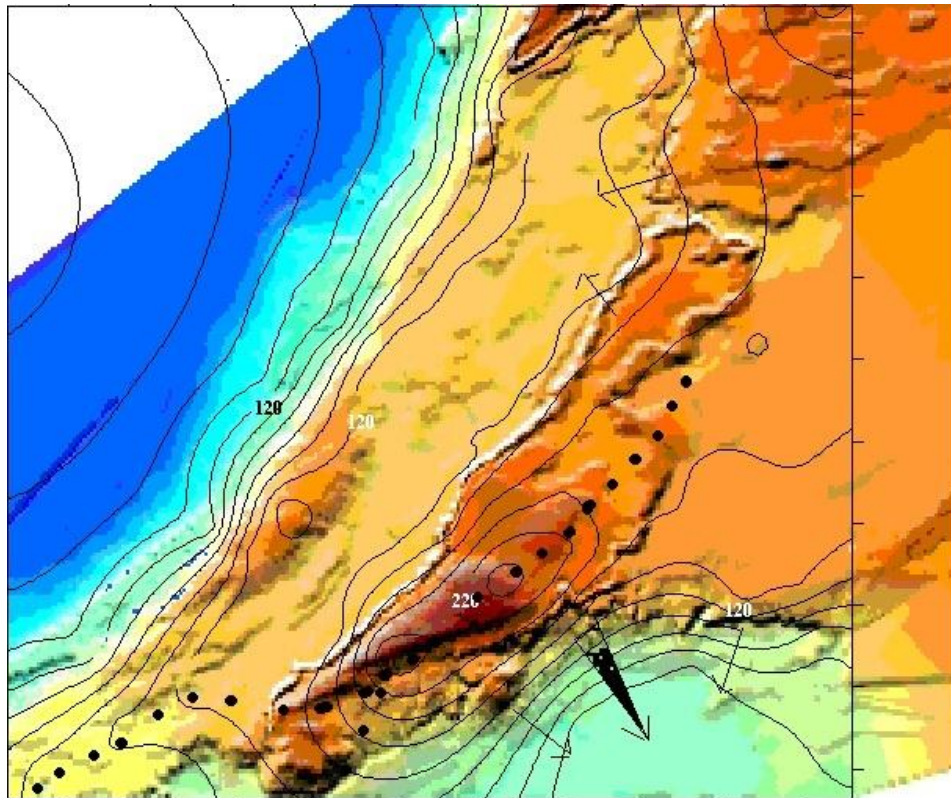


Figure 17 : Carte piézométrique de la région de Mostaganem, d'après les données de forages (A. Baiche, 1990).

L'étude réalisée par le Bneder (2007) a synthétisé les caractéristiques hydrogéologiques des principales formations lithologiques du Plateau de Mostaganem (Tableau 06). NB : ce tableau renseigne également sur le degré de vulnérabilité à pollution de l'eau souterraine des formations présentes.

Tableau N°06 : Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques du Plateau de Mostaganem (Bneder, 2007).

Etage	Lithologie	Hydrogéologie	Degré de perméabilité	Transmissivité m <sup>2</sup> /s	Vulnérabilité à la pollution
Quaternaire	<u>Formation continentale</u> Grés dunaires, limons, sableux, croûte. <u>Formation marine</u> Grés jaunâtres à ciment calcaire et lumachelles. Appartenant au sous étages Calabrien. Localement ses grés s'intercalent avec des couches sableuses et argilo-sableuses.	Renferme la nappe libre du plateau	Perméabilité très élevée	De 10 <sup>-2</sup> à 10 <sup>-3</sup>	Très vulnérable à la pollution
Pliocène	<u>Formation marine</u> Grés marins appartenant aux sous étage Astien. Marnes bleues aux sous étages Plaisancien	Forme avec marne du miocène, le mur du substratum de la nappe du plateau	Faible		
Miocène	<u>Formation marine</u> Marnes bleues, argiles à tripolis, gypse, formation laguno-continentales	Forme le substratum de la nappe du plateau	Faible		
Crétacé	Petites grés quartzites et marne	Pas de nappe	Moyen à faible		Sel contenant le gypse Constitue la source de contamination de la nappe du plateau aux environs de Nouissy par le sel contenant le gypse.
Trias	Gypse, dolomie, marne				

### IV-3. Epaisseur des formations aquifères :

Le plus important aquifère de toute la région de Mostaganem, se localise au niveau de la formation des grés du Calabrien. Cette formation présente des épaisseurs variables pouvant atteindre une puissance de 100 à 120m dans les dépressions topographiques, alors sur le bombement du socle, la formations n'a pas plus de 20 à 30 m. Les autres niveaux ont également des puissances variables et peuvent parfois disparaître : cas de grés et sables argileux ainsi des sables argileux rougeâtres. De façon générale, la puissance de la nappe diminue d'Est en Ouest.

#### IV-4. Influence du substratum :

Une étude géophysique réalisée sur le Plateau de Mostaganem (C.G.G, 1969) a montré l'existence dans la partie nord du plateau des zones à basse résistance transversale, phénomène qui peut être mis en relation avec une remontée du substratum Mio-Pliocène. Cet effet est visible entre Hassi Mameche et Stidia, ainsi qu'à l'Est de Mazagran. Le fait que le substratum soit en position haute a entraîné une réduction de la nappe. A l'inverse, dans les zones à fortes résistances transversales le substratum est en position basse (- 60 m) et l'aquifère pourrait présenter une épaisseur maximale. La direction NE-SW est dans tous les cas apparente et paraît liée à la structure du substratum commandée par son évolution morphologique.

#### IV-5. Les paramètres hydrodynamiques

La répartition des transmissivités, telle que rapportée par la carte hydrogéologique du Plateau de Mostaganem, montre que les zones productrices à fort débit sont concentrées autour de la ville de Mostaganem, au centre et l'Est du plateau. Les résultats des essais de débit effectués par J. Gauchez (1981) sont présentés au tableau 7

**Tableau N°07 : Principaux paramètres hydrodynamiques des grès calabrien du Plateau de Mostaganem (D'après J. Gauchez, 1981).**

Aquifère	Superficie (km <sup>2</sup> )	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité (m/s)	Coeff. Emmagasinement %
Grès Calabrien	700	3,5 10 <sup>-3</sup> à 1,9 10 <sup>-2</sup>	1,4 à 3,6 10 <sup>-4</sup>	1 à 2

#### IV-6. Les ressources exploitables

L'exutoire de la nappe est constitué par les sources, dont celle d'Ain Soltane. Il semble également que la plaine des Bordjias, qui est en continuité hydraulique avec la Plateau, constitue une partie de l'exutoire de la nappe du plateau.

Un bilan de la nappe du Plateau de Mostaganem résultant du calage d'un modèle mathématique réalisé par l'ANRH/Sogreah en 2009 a montré que la recharge s'effectue uniquement par les pluies. Cette recharge a été estimée à 50.4 Hm<sup>3</sup>/an.



Tableau N°08 : Bilan de la nappe du plateau de Mostaganem (ANRH/Sogreah, 2009).

Entrées en Hm3/an		Sortie en Hm3/an	
Recharge par les pluies	50.4	Cotes de débordement	13.4
		Prélèvements	17.8
		Potentiel imposé	19.2
<b>Total</b>	<b>50.4</b>		<b>50.4</b>

Les prélèvements estimés, et ayant servi à l'établissement du modèle mathématique, sont présentés au tableau 9.

Tableau N°09 : Estimation des prélèvements par affectation des eaux souterraines du Plateau de Mostaganem (ANRH/Sogreah, 2009).

Affectation	Prélèvements (m <sup>3</sup> /an)	Période d'estimation
AEP	13 000 000	2004
Industrie	411 696	1996
Irrigation	30 000 000	2006
<b>Total</b>	<b>43 411 696</b>	

Compte tenu de l'incertitude liée à la fluctuation et à l'accroissement des prélèvements ainsi qu'à l'impact du changement climatique, il peut être considéré que la nappe de Mostaganem a atteint ses limites d'exploitation depuis de nombreuses années. Ceci est attesté par l'observation d'une baisse généralisée des niveaux piézométriques. Entre les années 1998 et 2005, la baisse généralisée des niveaux piézométriques avait déjà été attestée par l'observation des courbes de rabattements des forages traités dans le cadre du modèle ANRH/Sogreah (2009). Cette baisse variait, selon les régions du plateau, entre 10 et 15 m (figure 18).

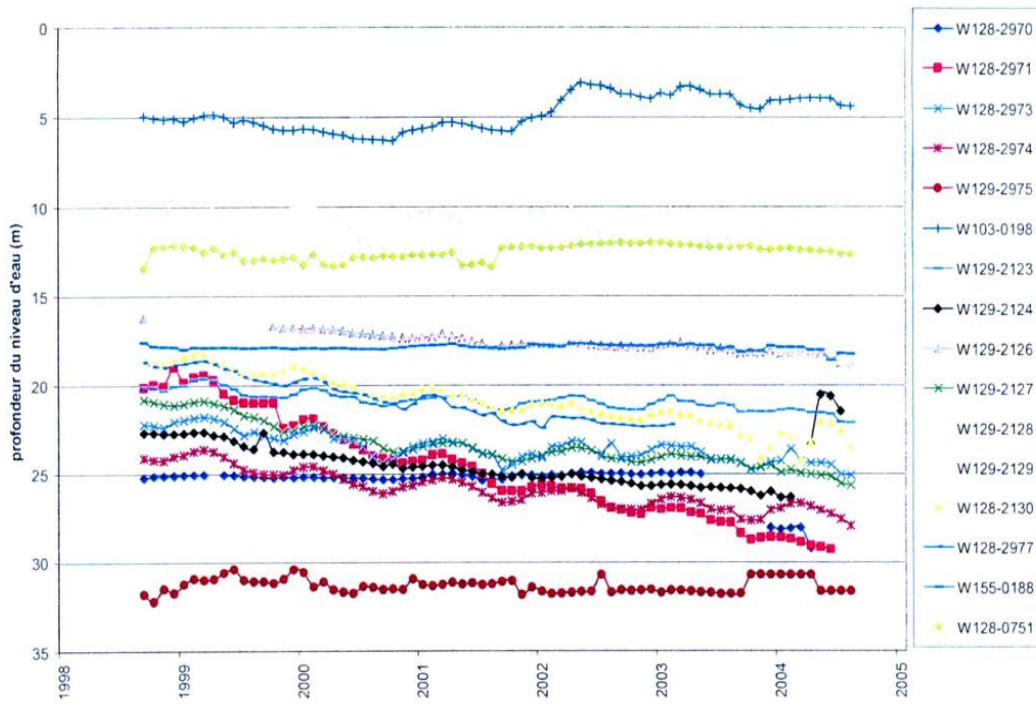


Figure 18 : Evolution piézométrique de quelques forages du Plateau de Mostaganem suivis par l'ANRH de 1998 à 2004 (ANRH/Sogreah, 2009).

# CHAPITRE II

## **I. Introduction**

Les eaux souterraines représentent une composante essentielle de la ressource en eau. Ceci est encore plus particulier les zones semi-arides. Devant la croissance de la population mondiale et depuis le début de la révolution industrielle les ressources naturelles se sont trouvées de plus en plus menacées par les activités humaines. L'augmentation des rejets domestiques et industriels et l'usage de plus en plus important d'engrais chimiques dans les terres agricoles a fortement exposé les eaux souterraines à ces effets anthropiques. De cela a découlé la notion de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Cette notion intègre les différents facteurs physiques qui déterminent dans les conditions naturelles la sensibilité des eaux souterraines à la pollution à partir de la surface du sol.

## **II- Notions générales sur la vulnérabilité des eaux souterraines :**

Le concept de "vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution" a été introduit par J. Margat à la fin des années soixante (Margat J., 1968). Cette notion de vulnérabilité peut être définie comme une propriété relative, non mesurable et adimensionnelle, basée sur la supposition que l'environnement physique (complexe sol-roche-eau souterraine) peut assurer un certain degré de protection aux eaux souterraines à l'égard de contaminants pénétrant dans le sous-sol (M.I. Hassani, 2015).

En fait, certaines eaux souterraines ne sont pas à l'abri de pollutions éventuelles, malgré l'idée de pureté naturelle qui leur est communément attachée. De fait, dans de nombreux cas, les possibilités sont grandes qu'un contaminant puisse percoler plus ou moins aisément, dans des conditions naturelles, de la surface jusqu'à un réservoir d'eau sous-jacent (transfert vertical).

Ainsi, certains types de sol, notamment les sols minces et hautement perméables, peuvent favoriser l'infiltration directe de polluants vers les aquifères en nappe libre. Par ailleurs, ces derniers sont plus vulnérables que les aquifères en nappe captive parce qu'ils ne sont pas protégés par des formations sus jacentes imperméables. Par ailleurs, au sein même des formations perméables, leur degré de vulnérabilité dépendra de leur nature lithologique. Ainsi, les aquifères à perméabilité de fissure (ex. calcaires, etc.), à faible capacité de filtration, sont généralement beaucoup plus vulnérables que les formations à perméabilité d'interstices (sable, grès, etc).

Cette variété de conditions naturelles rend les eaux souterraines inégalement exposées aux pollutions de surface d'où divers degrés de vulnérabilité à identifier et à cartographier. Les premiers travaux sur la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines (J. Margat, 1968,

Albinet & Margat, 1970) visaient à montrer les variations spatiales de la protection naturelle des aquifères et de là à identifier les zones où des mesures de protection devaient être envisagées. Par la suite, de très nombreuses méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ont été développées dans le monde.

## **II- Types de vulnérabilité :**

La notion générale de vulnérabilité a été complétée par la distinction entre la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique :

**II-1. La vulnérabilité intrinsèque :** est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.

**II-2. La vulnérabilité spécifique :** est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

## **III- Facteurs de la vulnérabilité des eaux souterraines**

### **III-1 Cas de la vulnérabilité intrinsèque**

La détermination de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines d'une région donnée se réalise par l'analyse du contexte géologique et hydrogéologique de la région en question. Cette analyse doit cibler l'évaluation de facteurs majeurs caractérisant les principales nappes en présence. Ce sont les facteurs relatifs au sol, les facteurs relatifs à la zone non saturée (ZNS), les facteurs relatifs à la zone saturée (ZS) ainsi que les facteurs communs au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée.

#### **III-1-1 Facteurs relatifs au sol**

- **Ruissellement-infiltration** : le ruissellement et l'infiltration efficace sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles.

- **Couverture pédologique** : la nature, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur) et la perméabilité verticale des sols régulent la nature et la quantité d'échanges entre la surface et la zone non saturée.

**III-1-2 Facteurs relatifs à la zone non saturée (ZNS)**

- **Profondeur de la nappe libre** (ou épaisseur de la zone non saturée) : l'épaisseur de la ZNS conditionne de temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant) et donc sa possible dégradation en cours de transfert.
- **Amplitude de battement de nappe** : l'amplitude de battement de la nappe, dans la mesure où elle est significative, conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe (sol + ZNS). De ce fait, elle peut devenir un critère de vulnérabilité.
- **Perméabilité verticale de la ZNS** : elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.
- **Structure de la ZNS** : les variations de faciès, l'épaisseur des discontinuités de faciès et leur position dans le profil vertical, la texture, la teneur en matières organiques et en argile des formations, sont autant de facteurs qui conditionnent la migration de fluides vers la nappe.

**III-1-3 Facteurs relatifs à la zone saturée**

- **Type de nappe (libre ou captive)** : l'absence de la couche imperméable entre la surface et le toit d'une nappe libre lui confère un caractère plus vulnérable qu'une nappe captive protégée par des formations imperméables.
- **Paramètres hydrodynamiques** des formations aquifères : transmissivité (T), perméabilité (k), coefficient d'emmagasinement (S), gradient hydraulique (i), ces paramètres déterminent la vitesse de migration des polluants dans la nappe et les temps de résidence dans la zone saturée.
- **Piézométrie** : mesure de la profondeur de la surface des nappes, elle rend compte de la géométrie de la nappe.
- **Type de système hydrogéologique** : la vulnérabilité d'un système hydrogéologique peut être appréhendée à partir de la connaissance de sa réactivité aux impulsions pluviométriques. Un système au caractère transmissif fort se caractérise par des temps de transfert rapides des eaux depuis la surface vers la zone saturée et par de faibles temps de séjour ; il s'agit par exemple des systèmes carbonatés fortement karstifiés. Un système au caractère inertiel ou capacitif fort se caractérise par des vitesses de transfert lentes et des temps de séjour longs.

- **Relations nappe/cours d'eau** : les relations entre les eaux superficielles et les eaux souterraines peuvent être de deux types, drainage ou alimentation et conditionnent la possibilité de contamination des eaux souterraines à partir des eaux superficielles.
- **Epaisseur de l'aquifère** (quantité de réserve) : les quantités d'eau stockée dans l'aquifère déterminent les conditions de dilution d'un polluant ayant atteint la nappe.
- **Présence ou non d'un horizon moins perméable** : cet horizon détermine le caractère libre ou captif de la nappe.

### III-1-4 Facteurs communs au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée

- **Fracturation** (directions et densité) : des discontinuités verticales telles que les failles peuvent, dans certaines conditions, jouer le rôle de drain et augmenter très sensiblement les vitesses d'infiltration depuis la surface vers la nappe.
- **Recharge** : il s'agit de la quantité d'eau atteignant la zone saturée sur une période donnée (recharge annuelle nette). Elle dépend de l'infiltration efficace et de sa répartition dans l'espace et dans le temps, donc du climat (précipitations), mais également de la topographie et de la nature des formations. Elle peut être appréhendée à partir de la représentation de ces différents éléments constitutifs. Elle constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines.

### III-2 Cas de la vulnérabilité spécifique :

En sus des facteurs pris en compte pour l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque, la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants doit prendre en compte des facteurs supplémentaires tenant compte des interactions particulières du ou de ces polluants avec le milieu ambiant. Ce sont :

- **le comportement du polluant potentiel** : selon leur nature, les polluants se comportent dans le milieu de manière spécifique. Ce comportement dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques du composé lui-même. Les principaux phénomènes susceptibles d'intervenir sont : géochimiques (réactions acides-bases, d'oxydo-réduction, de désorption, etc.), biochimiques (biodégradation, synthèse cellulaire, etc.), physiques (diffusion, évaporation, filtration, etc.), ou biophysiques (transport de germes, etc.).
- **les capacités dispersives et épuratoires des sols** : face à un polluant donné, les sols ont des propriétés épuratoires plus ou moins développées et spécifiques de ce polluant.

- **les intrusions marines** : dans le cas de la présence d'un biseau salé en équilibre avec une nappe d'eau souterraine, la salinisation de la nappe liée à une surexploitation constitue une pollution potentielle.

- **la nature du réseau hydrographique** : dans le cas où il alimente les eaux souterraines et selon son extension, sa vulnérabilité et la qualité de ses eaux ; le réseau hydrographique peut être vecteur de contamination vers les eaux souterraines.

- **la typologie de l'occupation du sol** : l'occupation du sol conditionne les volumes et la nature des polluants potentiels. Elle peut être de type naturel (forêt) ou agricole (cultures, élevage) ou urbain (habitat, tissu industriel, etc.).

- **les zones sensibles** : sur certains sites, de par l'activité à risque qui y est pratiquée, la vulnérabilité de la nappe est augmentée significativement. Ce sont les surfaces agricoles, les décharges, les rejets des établissements classés, les voies de circulation, etc.

#### **IV- Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères.**

##### **IV-1. Généralités :**

De nombreuses méthodes ont été développées à travers le monde pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines : méthode des complexes hydrogéologiques d'Albinet & Margat, 1970, DRASTIC (Aller et al. 1985), GOD (Foster, 1987 Hirata, 1991), EVARISK (Banton et al. 1997), EPIK, etc. (Tableau 10). La diversité de ces méthodes est liée au fait que les objectifs visés sont variés : réglementation, activités humaines, polluants, disponibilité des données, etc.





nappes par les cours d'eau, etc. La première de ces méthodes a été celle développée par Albinet M. et Margat J, 1970. Les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques sont bien indiquées pour produire des cartes thématiques à une moyenne à grande échelle.

- **Les méthodes de cartographie à index** : ce groupe de systèmes paramétriques se décline en trois méthodes :
  - o (1) méthodes à système matriciel,
  - o (2) méthodes à système de classement et
  - o (3) méthodes d'indexation et de pondération des facteurs.

La procédure commune de ces méthodes se base sur la construction d'un système de paramètres basé sur le choix de facteurs (paramètres) considérés comme représentatifs pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines. Chacun a une plage naturelle définie, subdivisée en intervalles discrets. A chaque intervalle est être attribuée une valeur (index) qui reflète le degré relatif de sensibilité à la contamination. En méthodes de d'indexation, un système de pondération peut être introduit pour traduire l'importance relative des critères les uns par rapport aux autres.

En raison de la masse très importante des données nécessaire, notamment dans le cas de nappes d'extension régionale, l'application de l'ensemble des ces méthodes ne peut être possible sans l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les documents produits peuvent être directement utilisables par les décideurs.

#### **IV.3. Exemples de méthodes de cartographie de la vulnérabilité**

Nous présentons ici quelques méthodes de cartographie de la vulnérabilité parmi les plus connues.

- **La méthode des complexes hydrogéologiques Albinet M. & Margat J. (1970)**

Cette méthode a été la première à avoir été proposée pour cartographier la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine.

De manière générale, les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques couramment utilisées établissent une classification cartographique des terrains dotés de caractères hydrogéologiques communs. Ces méthodes conviennent pour les grandes surfaces avec des caractéristiques hydrogéologiques, hydrostructurales et morphologiques variables. Elles sont également bien indiquées pour produire des cartes thématiques à une moyenne à grande échelle. L'évaluation de la vulnérabilité est donnée uniquement en termes qualitatifs.

Dans le cas particulier de la méthode d' Albinet M. & Margat J. (1970), les principes de bases ayant été considérés ont été :

(i) L'introduction de la pollution, c'est-à-dire le transit, selon un trajet surtout vertical, de corps polluants entraînés par les eaux d'infiltration, ou de fluides polluants depuis la surface du sol jusqu'à une nappe souterraine, à travers le sol et des roches non saturées d'eau, ceci ne s'appliquant qu'aux nappes libres,

(ii) La propagation de la pollution, c'est-à-dire l'écoulement de l'eau ainsi polluée, entraînée par le mouvement naturel de la nappe atteinte ; elle peut être plus ou moins rapide, selon les caractéristiques de la roche aquifère et la pente hydraulique ; elle peut s'étendre à une distance plus ou moins grande selon l'étendue et les conditions de drainage de la nappe.

(iii) La persistance plus ou moins prolongée, après l'interruption de la cause initiale de la pollution, de la zone contaminée, qui est liée au renouvellement naturel de l'eau du réservoir aquifère.

La méthode a défini six (06) classes de terrain dotées chacune de caractères communs, selon les principes définis plus haut. Ils se basent principalement sur la nature géologique du sous-sol, sur la profondeur de la surface libre des nappes par rapport au sol et sur les modalités de drainage (ou parfois d'alimentation) des nappes par les cours d'eau, la densité du réseau hydrographique permanent commandant généralement l'extension des écoulements souterrains. Ces classes seront décrites lors de la mise en application de la méthode en Chapitre III.

### - La méthode DRASTIC

La méthode **DRASTIC** a été conçue dans les années 1980 par la National Water Well Association suite à une demande de l'EPA (Agence de l'Environnement américaine). L'objectif était de réaliser une méthode d'estimation de la vulnérabilité applicable aux conditions hydrogéologiques. L'acronyme de la méthode est constitué par l'abréviation des sept paramètres. Cette méthode multicritère à index avec système de pondération tiens compte de sept paramètres, dont les abréviations constituent l'acronyme **DRASTIC** : la profondeur de la nappe (**D**epth), la **R**echarge nette (**R**), la nature lithologique de l'**A**quifère, le type de **S**ol (**S**), la **T**opographie (**T**), l'**I**mpact de la zone saturée (**I**) et la **C**onductivité hydraulique (**C**).

### **La méthode GOD**

Cette une méthode de cartographie à index par système de classement. Elle a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée. Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (**G**roundwater occurrence) ;
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (**O**verallaquifer class) ;
- Profondeur de la nappe (**D**epth to groundwater table).

### **La méthode EPIK :**

C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensus-stricto (Doerfliger, 1996 ; Doerfliger et Zwahlen, 1997). Elle a été développée dans le but de délimiter les périmètres de protection des captages, conformément à la législation suisse, à partir d'une base cohérente et rigoureuse. Un des avantages de cette méthode est de traduire la sensibilité des eaux souterraines vis-à-vis de tout type de contaminant.

La méthode est systématique puisqu'elle propose une analyse détaillée du bassin d'alimentation de la source karstique découpé en un maillage régulier. Elle est basée sur quatre critères :

- **E**pikarst ;
- **P**rotective Cover (couverture protectrice : sol) ;
- **I**nfiltration Conditions (conditions d'infiltration) ;
- **K**arst network development (développement du réseau karstique).

### **La Méthode RISKE**

Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des cinq critères pris en compte : **R**oche aquifère, **I**nfiltration, **S**ol, **K**arstification, **E**pikarst (Petelet-Giraud *et al.* 2000).

La combinaison des cinq cartes correspondant à la transcription des cinq critères RISKE permet de calculer l'indice global de vulnérabilité (**Ig**) en chaque maille de la zone d'étude. Le choix de la taille de la maille se fait généralement en fonction du pas du Modèle Numérique de Terrain (50 x 50 m par exemple) ou de la densité de l'information disponible. A chaque maille correspond une valeur de l'indice de chacun des critères. La compilation des cinq cartes élémentaires se fait en introduisant un facteur de pondération entre les critères traduisant

l'importance relative qui leur est attribuée. Cette étape est largement facilitée par l'utilisation d'un Système d'Information Géographique.

Le calcul de l'indice global de vulnérabilité **Ig** se fait selon la formule :

$$\mathbf{I_g = \alpha R_i + \beta I_j + \delta S_k + \gamma K_l + \varepsilon E_m}$$

$\alpha, \beta, \delta, \gamma, \varepsilon$  : poids des critères RISKE

$i, j, k, l, m$  : indices des critères RISKE

### **V - Conclusion :**

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est devenue impérative afin d'assurer la protection des ressources en eau souterraines et de servir d'outil d'orientation de la planification et d'aménagement des territoires. Elle apparaît ainsi utile et nécessaire pour l'identification des zones sensibles à des pollutions potentielles et pour servir d'outil orientant vers la protection des ressources en eau souterraines en général, et des zones de captage d'eau potable, en particulier.

# CHAPITRE III

## **I- Introduction & choix de la méthode**

Une des difficultés de l'évaluation de la vulnérabilité réside dans la quantité d'information nécessaire à une bonne évaluation (V. Murat, 2000). En Algérie, ces dernières années, l'application des méthodes cartographiques d'évaluation de la vulnérabilité s'est répandue, essentiellement par utilisation des méthodes à cotation numérique (Drastic, etc.), car paraissant faciles à appliquer. Néanmoins, leur mise en œuvre reste délicate à cause des contraintes liées à la qualité des données physiques introduites, souvent mal estimées (perméabilité, recharge nette, etc.). A cet effet, les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques, ne semblent pas avoir été souvent mise en œuvre bien que leur simplicité d'usage contourne la nécessité de disposer des nombreuses données physiques, mesurables tout en aboutissant à des résultats appréciables. C'est la raison qui nous a orientées vers l'application à la région de Mostaganem de l'une des premières d'entre elles : Albinet M. et Margat J., 1970. Cette méthode consiste en une classification des terrains rencontrés en surface suivant les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans ces terrains. Elle se base uniquement sur les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques naturelles (critères invariables dans le temps).

## **II - Utilisation des SIG pour la mise en œuvre de la méthode**

Parmi les technologies qui permettent de mieux étudier la Terre et ses ressources naturelles, telles que les ressources en eau, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) y jouent un rôle prépondérant. Ces dernières décennies, elles sont devenues parmi les meilleures techniques utilisées pour l'inventaire, la planification, la gestion et le développement des ressources naturelles grâce à leurs capacités de cartographie numérique et de suivi des phénomènes naturels. Les données géographiques multi-sources peuvent être combinées entre elles et stockées dans une base de données relationnelle multi-logicielle qui va permettre leur manipulation et leur mise à jour. Les SIG fournissent un outil incontournable pour le traitement combiné de données cartographiques que d'autres moyens ne permettent pas d'étudier aisément (superposition de couches d'informations). Ces outils sont devenus incontournables en cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.

Le choix de logiciels utilisables pour la réalisation de cartes de vulnérabilité est large. Pour la réalisation de la carte de vulnérabilité des eaux souterraines de la région de Mostaganem, nous avons eu recours au logiciel ArcGIS. Cet outil nous a permis de faciliter la mise en œuvre cartographique relativement à la méthode appliquée.

L'échelle de cartographie utilisée est celle du 1/50.000 avec la légende type proposée par Albinet & Margat, 1970 pour cette échelle. Nous avons mis dans la carte l'essentiel des renseignements supplémentaires adaptés et proposées pour cette échelle.

Les étapes suivies lors de la réalisation de la carte de vulnérabilité ont été :

- La collecte des données (la carte géologique de Mostaganem à l'échelle de 1/50 000),
- Géoréférencement de la carte (définir le système de coordonnées et géoréférencement par quatre points d'appui),
- Digitalisation des couches géologiques,
- Remplissage de la table attributaire,
- Classification des couches géologiques en classes de vulnérabilités,
- Définition des symboles pour les différentes classes,
- Mise en page de la carte,
- Exportation de la carte au format image.

### **III- Etablissement de la carte de vulnérabilité**

Selon la nature des formations hydrogéologiques présentes de la région, les classes de vulnérabilité sont présentées telles que définies par les concepteurs de la méthode (voir figure 19). Les couleurs et figurés correspondant à chaque classe ou sous-classe sont respectés. Des renseignements complémentaires (captages d'eau, cimetières, dépôt d'essence, etc.) sont également représentés dans la carte.

Les classes de vulnérabilité de la méthode sont brièvement décrites puis affectées aux formations hydrogéologiques de la zone d'étude (*Mostaganem*).

#### **Classe 1 : Domaine des alluvions.**

A travers la méthode, ce domaine a été volontairement séparé des cinq autres en raison de son importance et de ses conditions particulières. Les nappes peu profondes, sont en effet en communication souvent étroite avec les cours d'eau de surface, principaux récepteurs et



conducteurs des produits polluants. De plus et de façon générale, les alluvions drainent en partie les eaux des nappes adjacentes. Trois cas sont envisagés :

- Nappe alluviale libre sans aucune protection : l'aquifère principal de la zone d'étude est constitué par des sables et les alluvions récentes du plateau,
- Nappe alluviale libre protégée en surface par une couche peu perméable : contenue au sein des alluvions de la Vallée des Jardins et alluvions anciens de la région de Mesra et d'Ouled Ben Bachir,
- Nappe alluviale directement alimentée par un cours d'eau de surface : ce type de nappe se localise dans les alluvions récentes constituant le lit de l'Oued Chélif. La nappe des sables littoraux de Mostaganem qui s'étend de la Salamandre à Ouréa, alimentée par les petits oueds dévalant dévalants du plateau est également comprise dans cette classe.

**Classe 2 : Terrains dans lesquels la pollution se propage très rapidement (calcaires, dolomies : domaine karstique).**

Ce cas se présente dans les régions où les karsts sont très développés, c'est-à-dire celles où la circulation des eaux de surface se caractérise par des écoulements temporaires avec de nombreuses pertes et résurgences.

*(Non représentés dans la zone d'étude)*

**Classe 3 : Terrains dans lesquels la pollution se propage rapidement (craie, calcaires, dolomies, basaltes).**

Cette classe est constituée par des terrains aquifères fissurés mais peu karstifiés, où la densité de fissuration de même que les dimensions des fissures sont généralement moins importantes que dans le cas précédent, et où la fissuration peut coexister avec une certaine porosité.

*Classe représentée par la carapace grésocalcaire s'étendant essentiellement au Nord et au Sud-ouest de la Vallée des Jardins.*

**Classe 4 : Terrains dans lesquels la pollution se propage plus lentement (sables, grès) :**

L'écoulement de l'eau dans ces terrains, essentiellement perméables par porosité, est lent (quelques centimètres à quelques mètres par jour) et l'eau est en général bien filtrée (filtration des corps non dissous), la première nappe rencontrée est généralement à faible profondeur.

*Cette classe correspondrait aux grès d'âge pliocène située dans la zone des Hachem et les dunes (anciennes et récentes) déposées en surface du Plateau de Mostaganem.*

**Classe 5 : Terrains dans lesquels la pollution se propage de façon très variable.**

Il s'agit de domaines composites soit à alternances rapides en affleurements de terrains sédimentaires perméables et peu perméables (calcaires, marnes, sables, argiles, grès, schistes, etc.) soit de terrains peu homogènes à perméabilités très diverses (complexes sablo-argileux, molasses, moraines). La perméabilité moyenne de l'ensemble est généralement faible.

*Représentée par les formations situées dans le secteur de l'embouchure de l'Oued Chélif : poudingues et argiles rouges constituant l'ossature du Djebel Diss.*

**Classe 6 : Terrains dans lesquels la pollution n'affecte pratiquement que les eaux de surface.**

Ce sont des terrains peu perméables ou "imperméables" ne comportant pas de nappe d'eau souterraine et où le ruissellement est important.

*Classe représentée essentiellement par les terrains marneux ou argileux situés autour de la zone embouchure de l'Oued Cheliff, entre les djebels Diss, Aizeur et Zegmoun ainsi que ceux affleurants au Sud-ouest d'Ain Sidi Cherif.*

*Correspondent également à cette classe, les formations gypsifères et autres terrains éruptifs de la zone du diapyr d'Ain Nouissy, situés au sud de la carte.*

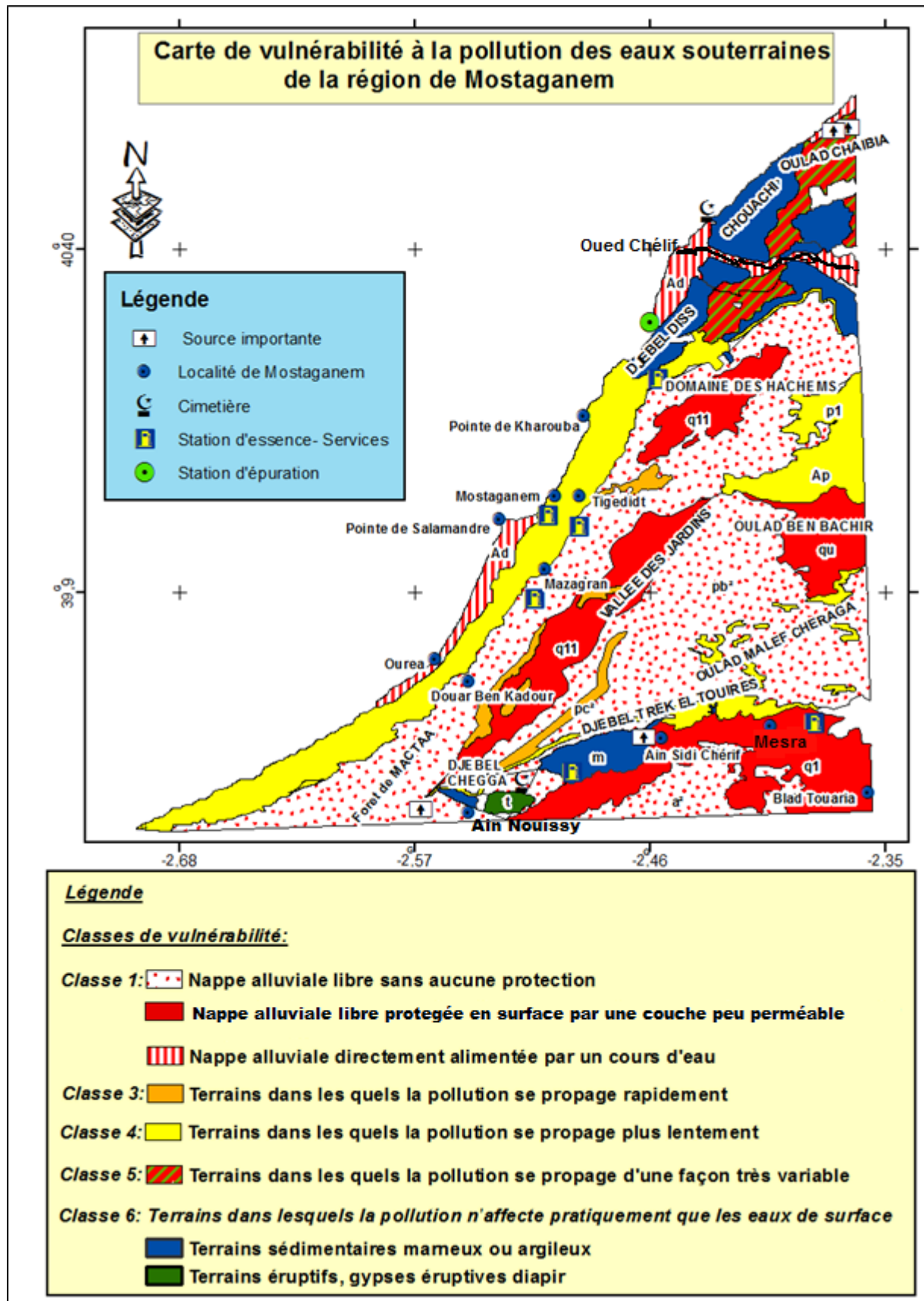


Figure 19 : la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de Mostaganem par application de la méthode d'Albinet M. & Margat J. (1070).

### **Conclusion générale :**

Toute approche préventive de préservation de la qualité des ressources en eau souterraine dans une région donnée doit se baser, en amont, par l'établissement d'une cartographie de vulnérabilité de ces eaux à la pollution. Cela permet d'identifier les zones à haut risque de contamination. A cet effet, cette approche a été appliquée la région située autour de la ville de Mostaganem.

Le document servant de base à cette étude de a été la carte géologique de Mostaganem au 1/50 00. En termes de choix de la méthode cartographique à appliquer, face aux nombreuses méthodes disponibles et en fonction des contraintes liées à la disponibilité ou à la qualité des données hydrodynamiques, le choix s'est porté sur l'approche des complexes hydrogéologique. La méthode choisie a été celle proposée par Albinet M. & Margat J. (1970). Les caractéristiques hydrogéologiques, hydro-structurales et morphologiques variables qui caractérisent le territoire étudié et les circonstances de l'étude (délais), ont également contribué au choix de cette méthode.

Le premier chapitre de l'étude a été consacré à l'étude du contexte physique de la région de Mostaganem : morphologie, climatologie, géologie et hydrogéologie, etc. Ce chapitre a permis de rendre compte de la faible disponibilité généralisé des ressources en eau souterraines dans la zone étudiée et sa forte exposition aux effets anthropiques : surexploitation et effets accrues de la pollution.

Le second chapitre a passé en revue les notions fondamentales relatives à l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines et aux différentes approches cartographiques disponibles pour caractériser cette vulnérabilité.

Le troisième chapitre a été consacré la mise en application de la méthode sélectionnée, faisant intervenir l'outil SIG. Cinq classes de vulnérabilité définies par la méthode ont été identifiées et représentées sur carte.

Le présent travail, arrivé à sa fin, constitue un préalable à la connaissance de la vulnérabilité à la pollution des ressources en eau souterraine de la région de Mostaganem. La carte présentée peut être affinée afin de servir d'outil pouvant orienter les plans d'occupation des sols ou, du moins, permettre de cibler les zones et de définir des mesures rigoureuses de protection à adopter : définition des périmètres de protection des captages d'eau potable, formulation d'avis sur des implantations de décharges publiques, dépôts de déchets ou de matériaux nocifs et autres établissements générateurs de pollution, etc.

## Référence bibliographique

- **A N R H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- **Aberkane Mohamed** : Estimation de la recharge naturelle d'une nappe d'eaux souterraines: cas de la nappe du plateau de Mostaganem (Algérie)
- **Albinet M. et Margat J. 1970.** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. *Bull. BRGM, Vol. 2, 3, 4, pp. 13–22, Paris.*
- **Allaoui Hadjira** : Etat et qualité des eaux phréatiques dans la wilaya de Mostaganem
- **BAICHE A. (1993)** : Hydrogéologie de la région de Mostaganem, Mem magister, Univ, Oran.
- **BOUZID Abderrezak** : Cartographie de la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution de la région d'Ouled Mimoun (W. Tlemcen) par application de la méthode des complexes hydrogéologiques (HCS).
- Carte Hydrogéologique du plateau de Mostaganem au 1/100 000- DEMRH (1978).
- Etude hydrogéologique de la nappe de Mostaganem-Modèle mathématique – S.E.S Lerolle
- **Gauchez J. (1981)** Etude Hydrogéologique de la région de Mostaganem (Algérie) thèse-Université Claude Bernard-UER des Sciences de la nature - Lyon.
- **Hassani M.I., 2015.** Vulnérabilité et protection qualitative des eaux souterraines. Doc. Lab. Georen, n°4, Université Oran 2, 41 p.
- **Margat J., 1968.** Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution (Groundwater vulnerability to contamination) (in French). Base de la cartographie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Orléans, France.
- Modélisation de la nappe du plateau de Mostaganem-ANRH/SOGREAH - (2009)
- **O N M** : Office Nationales De La Météorologie.
- **Radjah Farida** : apport de SIG dans l'établissement de la carte de vulnérabilité générale de la région de Mostaganem. mémoire d'ingénieur.