

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

**Université Abdelhamid BenBadis
UMAB Mostaganem**

**Faculté des sciences de la Nature
et de la vie FSNV**



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعية والحياة

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par :

M^{elle} ALLAOUI Hadjira

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

THÈME

Etat et qualité des eaux phréatiques dans la wilaya de Mostaganem

Devant le jury

Président	Pr	LARID Mohamed	Université de Mostaganem
Encadreur	Pr	BENKHELIFA Mohammed	Université de Mostaganem
Examinatrice	Pr	NEMMICHE Saïd	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2019 – 2020

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr Benkhelifa Mohammed, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse à l'ingénieur d'état en Hydrogéologie Mr, Nassir Bedra pour m'aider et donner des information sur mon travail.

Enfin toute personne qui a participé de près ou de loin l'accomplissement de ce mémoire soit sincèrement remerciée et les enseignants qui ont participe à nos formations soient sincèrement remerciés.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

*Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et
surtout réussite.*

A mes chers parents ma mère et mon père

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements.*

A mes frères , Abd Elhakim , NasrEddin

A mes sœurs, Fatima, Khaira

A mes amies et mes camarades, le plus proche Sofiane.

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

ملخص

تنوعت الموارد المائية في ولاية مستغانم في السنوات الأخيرة. في الواقع ، بعد عدة سنوات من نقص المياه ، افتتحت الخدمات الهيدروليكية في عام 2004 ، لتزويد **Gargar** بأخذ العينات من جهة ، بالإضافة إلى الآبار لضخ المياه الجوفية. بعد ذلك بعامين ، في عام 2006 ، تم تشغيل سد كراميس. إذا كانت موارد المياه في **AEP** قطاع توزيع المياه الصالحة للشرب قد شهدت تطوراً هاماً ، فإن موارد المياه الجوفية للقطاع الزراعي متدهورة إلى حد ما. وبالفعل ، فقد وصل الانخفاض المتسارع في مستوى منسوب المياه الجوفية ، الذي تسارع بسبب انتشار المضاربات المربحة ، إلى نقطة حرجة في سوق البستنة وزراعة الأشجار. يمكننا الاستشهاد بمثال انخفاض منسوب المياه الجوفية الذي يبلغ 1 م العام الأول. في هذه الحالة ، يجب أخذ مشكلتين رئيسيتين في الاعتبار: استنفاد منسوب المياه الجوفية الناجم عن الاستغلال المفرط والتلوث بسبب تكثيف الزراعة والصناعة والأنشطة الأخرى. الهدف من هذا العمل هو إجراء تشخيص لنوعية المياه الجوفية في ولاية مستغانم. تظهر النتائج الرئيسية لهذا النهج أن المياه الجوفية شديدة التلوث بتركيزات عالية من العناصر مقارنة بالمعايير المقترحة من قبل منظمة الصحة العالمية.

Abstract

Water resources in the province of Mostaganem have diversified in recent years. Indeed, after several years of water shortages, water services were opened in 2004, food by taking a share of Gargar more drilling for pumping ground water. Two years later, in 2006, the dam Kramis was put into service.

If water resources for AEP has seen a substantial development, ground water resources for the agricultural sector are rather decaying. Indeed, the exponential decrease in the level of the water table, accelerated by the extension of speculative profit, has reached a critical point for gardening and arboriculture. One can cite the example of the lowering of the water table is 1 m.an⁻¹. In this case, two major problems must be considered: the depletion of groundwater caused by overfishing and pollution due to the intensification of agriculture, industry and other activities.

The objective of this work is to make a diagnosis of ground water quality in the province of Mostaganem. The main results of this approach show that the ground water is heavily contaminated with high concentrations of elements in relation to the health world organization.

Résumé

Les ressources en eau dans la wilaya de Mostaganem se sont diversifiées ces dernières années. En effet, après plusieurs années de pénurie d'eau, les services de l'hydraulique ont ouvert en 2004, l'alimentation par prélèvement d'une part du Gargar en plus des forages pour le pompage des eaux phréatiques. Deux années plus tard, en 2006, le barrage du Kramis a été mis en service.

Si les ressources en eaux pour l'AEP a vu un développement conséquent, les ressources en eaux phréatiques destinées au secteur agricole sont plutôt en voie de dégradation. En effet, la baisse exponentielle du niveau de la nappe phréatique, accélérée par l'extension de spéculations lucratives, est parvenue à un point critique pour le maraîchage et l'arboriculture. On peut citer l'exemple du rabattement de la nappe phréatique qui est de 1 m.an⁻¹. Dans ce cas de figure, deux problèmes majeurs doivent être pris en considération : l'épuisement des nappes provoqué par la surexploitation et la pollution due à l'intensification de l'agriculture, de l'industrie et des autres activités.

L'objectif de ce travail est d'effectuer un diagnostic de qualité des eaux phréatiques dans la wilaya de Mostaganem. Les principaux résultats de cette approche montrent que les eaux phréatiques sont fortement contaminées par des concentrations importantes en éléments par rapport aux normes préconisées par l'OMS.

Liste des figures

Figure n°01 : Carte de localisation de la wilaya de Mostaganem

Figure n°02 : Carte géologique de la région de Mostaganem

Figure n°03 : Carte piézométrique de la région de Mostaganem

Figure n°04 : carte piézométrique de la région de Mostaganem (Juin 2010)

Figure n° 05 : Carte du toit du substratum conducteur

Figure n° 06 : Carte de différence entre le substratum (1990) et la piézométrie (2010)

Figure n° 07 : Situation géographique locale de la région d'étude.

Figure n°08 : Extrait de la carte piézométrique de la région de Saf Saf (Vallée de la soif) (Ms.Boudraf.L /Ghrissi.A ,2012)

Figure n° 09 : image présentée la situation du plateau de Mostaganem

Figure n°10 : Représentation Piper du faciès type chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique et Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien

Figure n° 11 : Représentation Schöeller Berkaloff du faciès type chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique et Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien

Figure n°12 : streptocoques fécaux / 100 ml

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Consommation de la nappe de Calabrienne

Tableau n°2 : Température moyennes mensuelles (ONM Mostaganem, 2000-2011).

Tableau n°3 : Précipitations annuelles de Mostaganem (2000-2011)

Tableau n°4 : précipitations moyennes mensuelles (2000-2011).

Tableau n°5 : précipitations moyennes saisonnières (2000-2011).

Tableau n°6 : Stations pluviométriques du secteur de Mostaganem

Tableau n°7 : Moyennes annuelles sur chaque station pluviométrique. Comparaison avec la carte pluviométrique ANRH sur 1922-1960 et 1969-1989

Tableau n°8 : caractéristique physique moyen de l'eau en meq

Tableau n°9 : caractéristiques physico-chimique (Mg /l)

Tableau n°10 : caractéristique physico-chimique (Mg /l)

Tableau n°11 : caractéristique bactériologique

Sommaire

Remerciements.....	2
Dédicaces	3
Liste des figures	4
Liste des tableaux.....	5
Sommaire	6
Première Partie : Synthèse Bibliographique	10
Introduction	11
Chapitre I – Formes de dégradation des ressources en eau.....	12
Eaux souterraines	13
Types de nappes.....	13
Nappes libres	13
Nappes captives	13
Eaux de surface	14
Qualité des eaux souterraines et superficielles	14
Description des principaux types d'eau.....	14
Eaux bicarbonatées	14
Eaux chlorurées sodiques	14
Eaux sulfatées.....	14
Vulnérabilité des nappes	15
Pollution d'une nappe captive par une nappe libre	15
Pollution des eaux souterraines	15
Pollution des eaux souterraines par les nitrates.....	15
Pollution des eaux souterraines par les pesticides.....	16
Pollution des eaux souterraines par les éléments métalliques.....	16
Pollution des cours d'eau	16
Relation sol-eau souterraine.....	17
Chapitre II – Eaux phréatiques dans la Wilaya Mostaganem	18
Présentation générale de la Wilaya.....	19
Situation géographique	19

Organisation de la wilaya	20
Démographie et santé	20
Situation économique	21
Ressources en eaux phréatiques de Mostaganem	21
Limites continuité et homogénéité	21
Epaisseur de la nappe.....	24
Principales aquifères dans la wilaya de Mostaganem	25
Plateau de Mostaganem.....	25
Plateau des Chouachi et Achaacha	25
Synclinal de Bouguirat et la vallée de la soif	26
Plaine des bordjias	26
Règlementation de l'exploitation des ressources en eau	27
Situation des ressources phréatiques à Mostaganem.....	29
Vallée de la soif	29
Cadre géographique et géomorphologique.....	29
Situation géographique générale	29
Cadre structural.....	30
Cadre climatologique.....	30
Températures	31
Précipitations	31
Régimes pluviométriques	31
Plateau de Mostaganem	35
Cadre géologique.....	35
Formations allochtones.....	35
Formations Autochtones	35
Géologie du milieu	36
Plaine de Borjias	37
Cadre géologique.....	37
Cadre structural.....	38
Cadre Hydrogéologique.....	39
Nappe libre des niveaux détritiques du quaternaire.....	39

Nappe captive des grés du Calabrien	40
Nappe captive des grés de l’Astien	40
Deuxième partie – Etude expérimentale	41
Chapitre III – Nappe du plateau de Mostaganem	42
Présentation du plateau de Mostaganem.....	43
Situation géographique du plateau de Mostaganem	43
Cadre Géologique	44
Cartes géologiques disponibles	44
Présentation de la géologie du système aquifère.....	44
Stratigraphie	44
Tectonique	45
Cadre Hydrogéologique.....	45
Horizons aquifères	45
Aquifère principale	46
Alimentation de la nappe	46
Climat	46
Recharge pluviométrique.....	47
Pluviométrie	47
Température et évapotranspiration.....	48
Ruissellement	48
Chapitre IV -Diagnostic physico-chimique et bactériologique de la nappe du plateau	50
Mesure des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques	51
Caractéristiques physiques.....	51
Caractéristiques chimiques	51
Caractéristiques bactériologiques	52
Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques..	52
Paramètres physico-chimiques	52
Eaux des forages	52
Forage Kaouara et EURL Groupe Lazreg: (Plaine Bordjias)	52
Forage Ennaro et EannaroF14.....	54

Forage Guenainia.....	55
Eaux des sources.....	55
Source Ain Soltane	55
Sources gala Sidi Abdelkader (Achaacha), Souce de sidi Lakhdar ben Khlouf (Sidi Lakhdar), Source Moilins Bigour et Sidi Yakoub (Mostaganem).....	56
pH de l'eau.....	56
Conductivité électrique.....	57
Température.....	57
Paramètres bactériologiques	57
Conclusion.....	59
Références bibliographiques	61

Première Partie :

Synthèse

Bibliographique

Introduction

L'eau est une ressource naturelle autour de laquelle se maintient et se développe la vie.

C'est une matière principale et indispensable dans la vie quotidienne. Elle est utilisée essentiellement à des fins domestiques, dans l'industrie et dans l'agriculture. L'eau d'un puits doit être de bonne qualité et conforme aux normes algériennes ainsi qu'aux normes de l'organisation mondiale de la santé.

Pour la qualité organoleptique, elle doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Ce sont les paramètres de confort.

Du point de vue physico-chimique, elle ne doit pas contenir d'élément chimique indésirable (fer [Fe], manganèse [Mn]) ou toxiques (plomb [Pb], mercure [Hg]...) qui entraîneraient des risques sanitaires à court, moyen et long terme.

De même, bactériologique, elle ne doit pas contenir de germes pathogènes (bactéries, virus, parasites,..) qui provoqueraient des maladies chez le consommateur. C'est la qualité la plus importante de la potabilité d'une eau.

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie.

D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson.

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies

Liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la L'alimentation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes

Nocifs pour la santé.

L'objectif principal de ce travail se concentre sur l'évaluation de l'état et la qualité des eaux phréatiques de la wilaya de Mostaganem

Chapitre I – Formes de dégradation des ressources en eau

Eaux souterraines

La plus grande partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface des sols avant d'atteindre les lacs et les cours d'eau. Les sols sont toutefois rarement imperméables et une grande partie des eaux de pluie s'y infiltre. Une partie des eaux d'infiltration est absorbée par les couches superficielles du sol (eaux interstitielles) où elle alimentera les plantes

Une autre partie gagne des couches plus profondes et s'arrête sur l'une imperméable au-dessus de laquelle elle s'étend pour constituer la nappe phréatique alimentant les sources. Des couches de sable et de graviers que ces eaux rencontrent sur leur chemin en retiennent les bactéries.

Les eaux souterraines, lorsqu'elles ne sont pas captives (elles constituent alors les nappes phréatiques), circulent par gravité à travers les couches géologiques et réapparaissent en surface sous la forme de sources. Elles constituent d'importantes réserves souterraines dont le niveau est parfois assez élevé pour compenser la baisse saisonnière (étiage) des cours d'eau de surface. Les eaux d'infiltration traversent plusieurs couches géologiques où elles s'enrichissent des matières qu'elles dissolvent grâce aux agents chimiques qu'elles contiennent. La nappe phréatique est donc riche en éléments. Sa teneur en oxygène, dans la mesure où l'eau reste isolée de l'atmosphère, est cependant relativement faible. Les matières dissoutes n'entrent donc en combinaison avec cet élément qu'à leur arrivée à l'air libre.

Types de nappes

On distingue (02) deux types de nappes :

- Les nappes libres.
- Les nappes captives.

Nappes libres

Sont celles qui correspondent à une circulation dans des terrains perméables où elles ne subissent aucune contrainte et à l'intérieur desquelles elles peuvent prendre la forme qui leur est caractéristique. C'est le cas des premières nappes qui sont rencontrées en creusant le sol, nappes ordinairement peu abondantes. Elles sont suspectes du point de vue potabilité. Elles sont appelées nappes phréatiques.

Nappes captives

Prisonnières entre deux couches de terrain imperméable et leur alimentation ne s'effectue que par les affleurements du terrain perméable à l'intérieur duquel elle se trouvent incluses.

Eaux de surface

Ce sont des eaux, qui peuvent être véhiculées par les cours d'eau, contenues dans les lacs ou maintenues derrière des barrages et réservoirs. Ces eaux comprennent à la fois l'eau de ruissellement de surface du bassin versant ainsi que l'apport lointain d'eaux de déversement des sources

- Un accroissement des rejets d'eau usée
- Une multiplication des décharges sans étude d'implantation préalable
- Un développement hydro-agricole du plateau de Mostaganem avec une utilisation abusive des engrais azotés.

Qualité des eaux souterraines et superficielles

Les eaux, au contact des roches qui les entourent, prennent une minéralisation naturelle spécifique. Suivant la géologie, on parle de types d'eau ou faciès

- Bicarbonaté calcique, HCO_3^- , Ca^{2+} : le plus fréquent
- Chloruré sodique, Cl^- , Na^+ : influence du sol (origine marine ou terrains salés du trias)
- Sulfaté magnésien, SO_4^{2-} , Mg^{2+} : certains terrains amènent des faciès sulfatés (gypse) et magnésien (dolomies)

Description des principaux types d'eau

Eaux bicarbonatées

Les eaux bicarbonatées sont riches en gaz carbonique libre et généralement pauvres en SO_4^{2-} . Elles renferment une forte proportion de bicarbonates. Ce type est fréquent dans les régions de volcanisme tertiaire et quaternaire, ce qui explique l'abondance du CO_2 . Nous pouvons distinguer suivant les proportions relatives en Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} , les eaux bicarbonatées sodiques ou bicarbonatées calciques.

Eaux chlorurées sodiques

Ce sont, en général, des eaux à forte concentration de sels dissous. Les chlorures prédominent. Elles sont riches en Na^+ et Cl^- . La teneur en carbonates par contre est normale avec absence de carbonates alcalins.

Eaux sulfatées

Les eaux sulfatées sont caractérisées par leur forte teneur en ions SO_4^{2-} . Elles sont généralement riches en cations Na^+ et K^+ . Elles se répartissent suivant les proportions relatives de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} en eaux sulfatées calciques ou sulfatées sodiques.

On trouve également dans les eaux souterraines des éléments dissous indésirables caractéristiques des milieux réducteurs (fer, ammoniacale) qui s'éliminent assez facilement par aération.

En générale, la minéralisation augmente naturellement avec la profondeur. En revanche, les variations « horizontales » de la minéralisation au sein d'une nappe sont souvent le témoin d'une pollution.

En eau de surface, la conductivité est généralement inférieure à $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, et la minéralisation de type bicarbonaté calcique. Les rejets domestiques ou industriels entraînent généralement une hausse de la conductivité et par conséquent, une perturbation du milieu et une limite à l'utilisation comme source d'eau potable (saveur, désordres digestifs).

Vulnérabilité des nappes

La vulnérabilité des nappes dépend d'une part des possibilités de transit de la pollution de la surface du sol vers la nappe (dans la zone dite non saturée) et d'autre part de la propagation dans la nappe elle-même

L'ordre de la vulnérabilité est en fonction du type de sol. A titre d'exemples :

- alluvions sableuses : de l'ordre de 1 m/h.
- craies fissurées : de l'ordre de 1m/j.
- Argiles et limons : de l'ordre de 1m/an.

Pollution d'une nappe captive par une nappe libre

C'est le cas d'une nappe captive de niveau piézométrique donnée protégée d'une autre nappe libre polluée par un écran semi-perméable d'épaisseur donnée.

Pollution des eaux souterraines

Les eaux souterraines peuvent être contaminées par une pollution d'origines diverses dont l'acuité est susceptible de menacer la santé humaine et animale.

Pollution des eaux souterraines par les nitrates

De nos jours, l'attention des chimistes et hydrogéologues est attirée par le problème de pollution des eaux, surtout celle causée par les nitrates et leur action en toxicologie humaine, à savoir :

- L'apparition de méthémoglobine toxique qui peut provoquer l'hypertension chez les nourrissons.
- L'apparition de certains types de cancer du nasopharynx, de l'estomac, de l'œsophage etc.... chez les nourrissons

Selon les normes établies par l'O.M.S (**World Health Organisation**), le taux de nitrate ne doit pas excéder 100 mg/l pour une eau potable.

Toutes les formes d'azotes peuvent fournir des nitrates par oxydation micro biologique ou chimique. Dans le plateau de Mostaganem, la pollution des eaux souterraines peut avoir plusieurs origines :

* **Agricole** : Elle est due essentiellement à :

- L'épandage d'engrais azotés, du fumier et de résidus des récoltes.
- L'irrigation à partir des eaux usées.
- L'élevage (rejets de l'élevage ovin, bovin et avicole).

* **Urbaine** : Elle résulte essentiellement :

- Des rejets urbains drainés par les réseaux d'assainissement qui sont branchés directement dans le milieu naturel (oued et autres cours d'eau).
- Des fosses septiques.
- Des décharges publiques et autres dépôts d'ordures ménagères le long d'oued, ce qui est devenue très courant.

* **Industrielle** : Elle est surtout causée par l'infiltration des eaux des rejets des industries agroalimentaires, papeteries, textiles et autres.

Pollution des eaux souterraines par les pesticides

Certains pesticides se rencontrent à des doses critiques dans les eaux souterraines. C'est une pollution diffuse, à des doses très faibles (inférieures au $\mu\text{g/l}$). Ce problème est très préoccupant pour l'adduction en eau potable, même si l'on peut penser que certaines des limites législatives sont actuellement très strictes par rapport au risque sanitaire effectif, et que des études toxicologiques et épidémiologiques plus poussées permettront à l'avenir de moduler la norme actuelle de $0,1 \mu\text{g/l}$ suivant les substances identifiées.

Pollution des eaux souterraines par les éléments métalliques

Il s'agit généralement de pollution ponctuelle à caractère accidentel, de nature et d'origine diverses. Une cause fréquente est l'infiltration de résidus stockés (dans des décharges, des sites industriels...).

Le problème se pose alors du repérage et de l'identification des substances, en vue de la recherche de l'origine et des responsabilités.

La solution technique passe par l'utilisation de modèles hydrogéologiques qui renseignent sur l'origine de la pollution mais aussi sur les possibilités de solution (par pompage, réinfiltration ...).

Pollution des cours d'eau

La pollution des cours d'eau provient principalement des rejets domestiques et industriels, après leur passage ou non par une station d'épuration. En plus de ces pollutions chroniques, les pollutions accidentelles (accident routier, incendie d'usine)

sont à l'origine de déversements aux effets spectaculaires mais passagers Les rejets d'eau provenant des réseaux d'assainissement lors des épisodes pluvieux, parfois conjugués aux rejets des stations d'épuration perturbées par les surcharges hydrauliques ou les dilutions d'effluents, sont également à l'origine de pollutions parfois importantes. Cette pollution est dite par les eaux pluviales. Ses effets sont comparables à ceux d'une pollution accidentelle.

Les principaux facteurs de pollution des cours d'eau sont :

- matières organiques, dont la dégradation provoque la baisse du taux d'oxygène ;
- micros organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) limitant la baignade ;
- toxines (micro polluants) métaux lourds, substances chimiques ;
- sels nutritifs (composé azotés et phosphorés) qui conduisent à l'eutrophisation ;
- détergents entraînant des mousses en surface ;
- matières en suspension, causes de turbidité et d'abrasion (problème des sablières, colmatage des gravières) ;

C'est la pollution par les matières organiques qui est de loin la plus évidente et la plus étudiée actuellement. L'eutrophisation et la pollution par les toxiques, bien que leurs conséquences soient beaucoup moins évidentes, devraient lui succéder dans les préoccupations à venir.

Relation sol-eau souterraine

Dans les gisements, le calcaire est fréquemment associé à la (dolomie) ou avec des minéraux argileux. Il s'agit dans ce dernier cas de marnes. Le calcium est l'un des éléments essentiels dans la constitution chimique des eaux et est présent dans les roches sous plusieurs états. Il se trouve sous forme de minéraux calciques de structures très diverses, dont quelques types se présentent comme des :

- Feldspaths calciques : anorthite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; - Pyroxènes calciques : diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$; - Calcite, aragonite (rare) : CaCO_3 ; - Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- Sulfate de calcium : $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$.

Selon la constitution lithologique des terrains, le calcaire (calcite) dont l'existence n'exclut pas celle d'autres minéraux, peut être présent en quantités extrêmement variables. Le tableau 1 résume l'ensemble des formations géologiques du plateau de Mostaganem et donne la composition du minerai et les ions prédominant dans l'eau.

Tableau n°1 : Relation entre la lithologie du sol et la composition du minerai

Lithologie du sol	Calcite %	Argile %	Gypse %	Ions prédominants
Croûte grésso –calcaire ; Sable et limons sableux ; Grès jaunâtre a ciment calcaire	0 – 65	0 - 35	0	$\text{Ca}^{++} \text{ } _ \text{HCO}_3^-$
Alluvions sablo –argileuses	0 – 5	0 - 95	0	$\text{Na}^+ \text{ } _ \text{HCO}_3^- \text{ } _ \text{Cl}^-$
Grès jaunâtre –gypse- argile	0	0 - 35	0 - 65	$\text{Ca}^{++} \text{ } _ \text{SO}_4^{--}$
Limons sableux- gypse-grès ; marins-Marnes	0	0 - 55	0 - 45	$\text{Ca}^{++} \text{ } _ \text{HCO}_3^- \text{ } _ \text{SO}_4^{--}$
Sable-grès et sable marins	0 – 45	0 - 35	0 - 20	$\text{Ca}^{++} \text{ } _ \text{Cl}^- \text{ } _ \text{HCO}_3^- \text{ } _ \text{Na}^+$

Chapitre II – Eaux phréatiques dans la Wilaya Mostaganem

Présentation générale de la Wilaya

Situation géographique

La wilaya de Mostaganem se situe au nord-ouest du pays. Elle est délimitée au nord par la Méditerranée, à l'ouest par la wilaya d'Oran, à l'est par la wilaya de Chleff et au sud par les wilayas de Mascara et Relizane (Figure 1) :

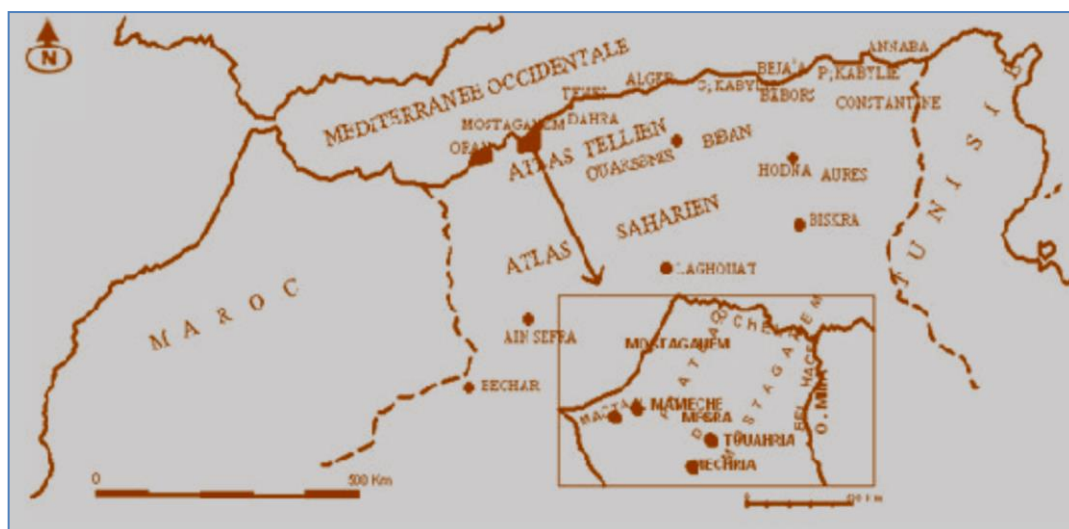


Figure 1 : Carte de localisation de la wilaya de Mostaganem

Le relief de la Wilaya de Mostaganem se divise en quatre unités morphologiques appartenant à deux régions distinctes, le plateau de Mostaganem et le Dahra :

les vallées basses de l'ouest englobent les communes : Hassi Mamèche, Mazagran, Stidia, Aïn Nouissy, El Hassiane et Fornaka.

les Monts du Dahra englobent les communes : Sidi Belattar, Oued El Kheir, Sidi Ali, Ouled Maallah, Tazgait, Nekmaria, Kheir-Eddine, Ain Boudinar et Safsaf

le plateau de Mostaganem englobe les communes : Mostaganem, Ain Tedles, Sour, Bouguirat, Sirat, Souaflia, Mesra, Aïn Sidi Cherif, Mansourah, Touahria et Sayada.

les vallées de l'Est englobent les communes: Achaacha, Khadra, Ouled Boughalem, Sidi Lakhdar, Hadjadj et Abdelmalek Ramdane

Les forêts couvrent 14,2 % de la superficie de la wilaya. La wilaya est dotée d'un littoral de 124 km. Le climat de la wilaya se caractérise par un climat semi-aride à hiver tempéré et une pluviométrie qui varie en moyenne entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra.

La wilaya de Mostaganem dispose de quatre barrages :

Barrage du Cheliff,

Barrage de Kramis,

Barrage de Gargar et Barrage de Sidi Abed.

Ces barrages font partie des 65 barrages opérationnels en Algérie alors que 30 autres sont en cours de réalisation en 2015.

Organisation de la wilaya

La wilaya de Mostaganem compte 10 daïras en plus de la daïra de Mostaganem centre et 32 communes qui se présentent comme suit (Figure 2) :

Hassi Mamèche avec 3 communes : Hassi Mamèche, Mazagran et Stidia.

Ain Tedles avec 4 communes : Ain Tedles, Sour, Sidi Belattar et Oued El Kheir.

Bouguirat avec 4 communes : Bouguirat, Safsaf, Sirat et Souafliia.

Sidi Ali avec 3 communes : Sidi Ali, Ouled Maallah et Tazgait.

Achaacha avec 4 communes : Achaacha, Khadra, Nekmaria et Ouled Boughalem.

Ain Nouissy avec 3 communes : Ain Nouissy, El Hassiane et Fornaka.

Mesra avec 4 communes : Mesra, Ain Sidi Cherif, Mansourah et Blad Touahria.

Sidi Lakhdar avec 3 communes : Sidi Lakhdar, Hadjadj et Abdelmalek Ramdane.

Kheir-Eddine avec 3 communes : Kheir-Eddine, Ain Boudinar et Sayada.

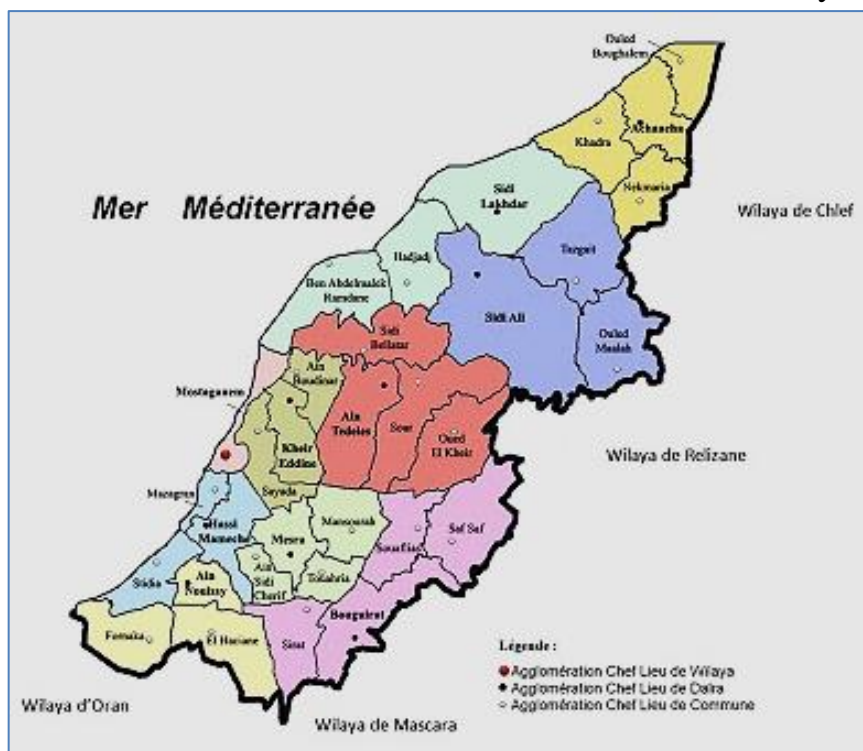


Figure 2 : Carte de localisation de la wilaya de Mostaganem

Démographie et santé

En 2008, la population de la wilaya de Mostaganem était de 737 118 habitants contre 504 124 en 1987. 6 communes dépassaient alors la barre de 30 000 habitants.

À l'instar de la population algérienne, la population de la wilaya est jeune, près de 39 % a moins de 20 ans. La tranche d'âge comprise entre 20 et 59 ans représente plus

de la moitié de la population de la wilaya. Corolairement, la population de 60 ans et plus est très faible et représente près de 7 % de la population totale. Une baisse de la natalité est observée depuis la fin des années 1980.

La capacité de soins hospitaliers se compose à Mostaganem de 8 hôpitaux et 2 EHS (Établissement Hospitalier Spécialisé) avec un total de 1313 lits.

Les hôpitaux concernent les daïras de Mostaganem, Sidi Ali, Aïn Tedles, Mesra, Bouguirat et Achaacha. Ajouté à cela, le nouvel hôpital universitaire de Kharrouba avec 240 lits.

Les EHS se situent à Mostaganem, l'un est spécialisé dans les maladies dites de mère-enfant et l'autre en psychiatrie. Six autres établissements appelés EPSP (Établissement de Proximité et de Soins Primaires) assurent les soins primaires et se répartissent au total en 27 polycliniques et 152 salles de soins à travers Mostaganem, Sidi Ali, Ain Tedles, Mesra, Sidi Lakhdar et Achaacha

Situation économique

La wilaya de Mostaganem est l'une des villes les plus agricoles du pays, elle bénéficie d'un climat favorable au développement d'une agriculture diversifiée notamment la production de primeurs et de maraîchages

La wilaya dispose également de plusieurs points d'attractions touristiques : des musées, de vieilles mosquées, des quartiers antiques ("Derb" et "Tobana"), des grottes et des sites archéologiques. Elle devient un pôle touristique, elle dispose de 15 zones d'expansion touristiques et une bande côtière de 124 km, elle est fréquentée par environ dix millions d'estivants chaque été. Les plages les plus prisées sont : Aïn Brahim, Petit Port, Bosquet, Clovis, Ouréah, Kharrouba et les Sablettes.

Le secteur industriel regroupe quatre branches principales : l'industrie agroalimentaire, l'industrie du bois et de la cellulose, l'industrie manufacturière et les mines et les carrières La pêche constitue une autre activité économique de la wilaya.

La wilaya de Mostaganem dispose de trois ports, un premier de dimension internationale se situe dans la commune de Mostaganem aux côtés d'un deuxième dédié à la pêche la plaisance. Un troisième se trouve à Sidi Lakhdar et est consacré à la pêche.

Ressources en eaux phréatiques de Mostaganem

Limites continuité et homogénéité

Un aquifère est un sol ou une roche réservoir originellement poreuse ou fissurée, contenant une nappe d'eau souterraine et suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement. La wilaya de Mostaganem dispose d'un aquifère limité au nord, par l'affleurement des marnes du Miocène dont la présence entraîne l'existence d'une ligne de sources au contact des sables du Plateau. Au sud, ces mêmes marnes

apparaissent au niveau du Djebel Djazzar. Des communications existent avec la plaine de la Macta (forêt des Bordjias et la région d'Ain Sidi Chérif).

A l'ouest ce sont les marnes du Plaisancien et du Miocène supérieur qui définissent les limites de l'aquifère (Figure 2).

La nappe est située essentiellement dans les grès « calabriens » et les sables qui constituent le réservoir principal. Des passées sablo-argileuses peuvent rompre par place son homogénéité. Les courbes isopièzes apparentes dans la carte (Figure 3) qui a été dressée en 1990 par les services de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), montre huit bassins hydrogéologiques, constituant la nappe aquifère de cette région et dont le plus important a une superficie de 200 Km² (Oued Aïn Sefra) à Mostaganem. Les axes principaux de convergences de l'écoulement de la nappe ont des directions divergentes.

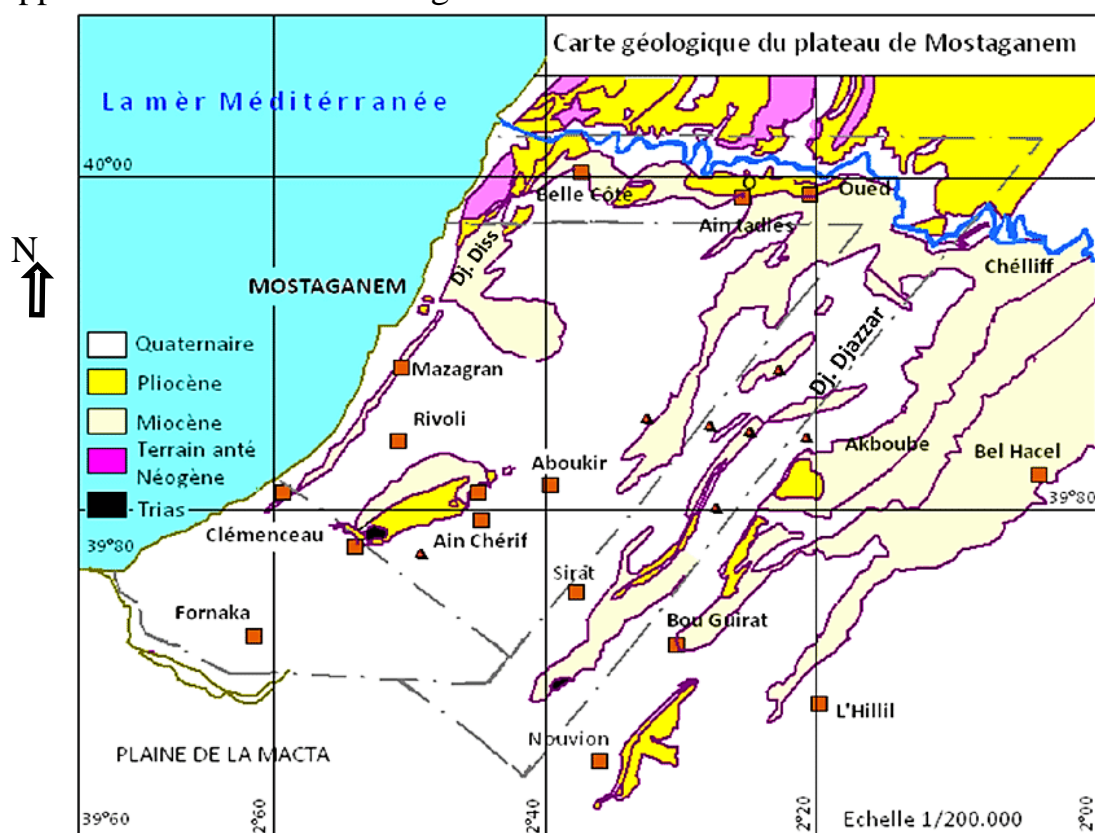


Figure 2 : Carte géologique de la région de Mostaganem

La carte de la Figure 4, fait ressortir l'existence de trois secteurs : au sud-est et au nord-ouest, deux systèmes où le gradient hydraulique est faible, compris entre 2,5 et 5,5 %. Ils se raccordent au niveau d'un véritable seuil hydraulique où le gradient atteint une valeur moyenne de 3,3%.

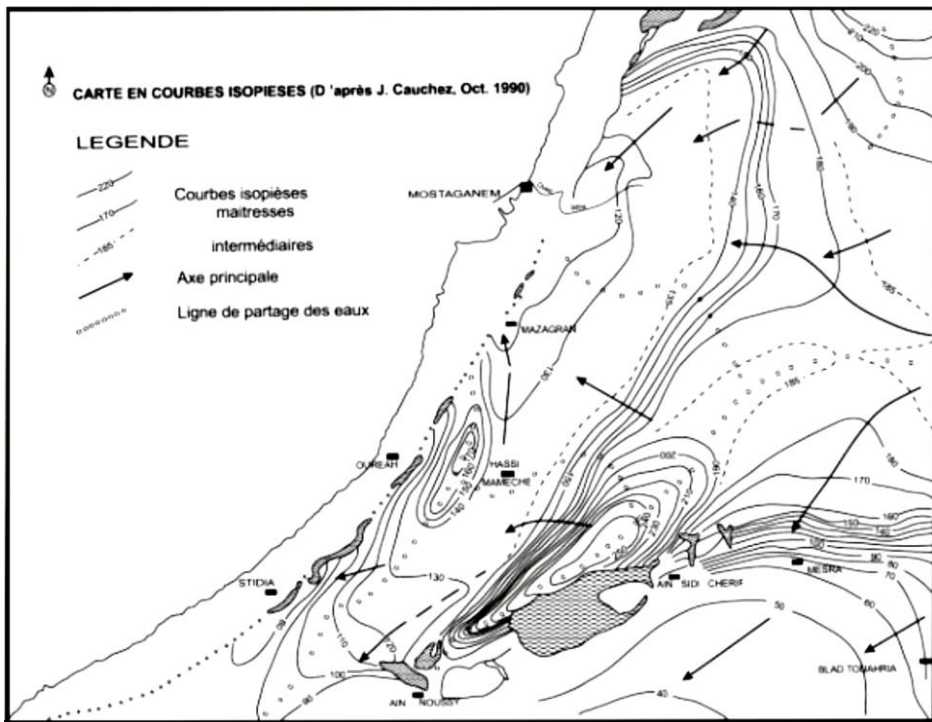


Figure 3 : Carte piézométrique de la région de Mostaganem

Ces zones d'alimentation de la nappe sont constituées par les différents djebels ou bombements affectant le Plateau, ainsi que sa bordure nord. Dans ces zones, le gradient hydraulique est élevé et les axes principaux d'écoulement ont des directions divergentes, mais la direction Nord-est Sud-ouest reste la direction privilégiée correspondant à celle des structures du Plateau.

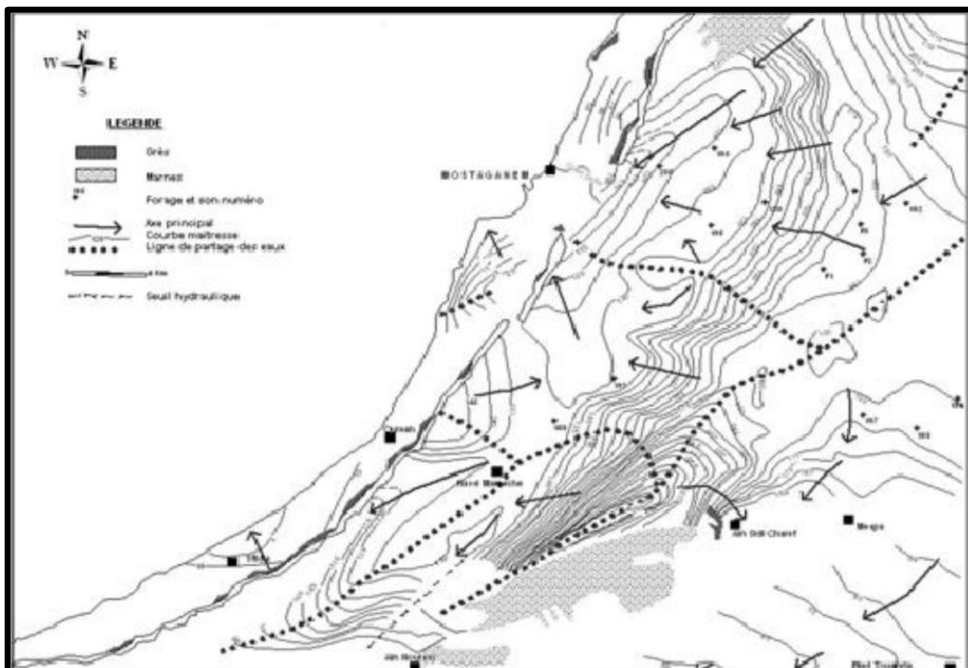


Figure 4 : carte piézométrique de la région de Mostaganem (Juin 2010)

Dans la région, la structure du substratum fait ressortir les grandes structures et notamment en bordure de la côte et parallèlement à celle-ci, un alignement de dômes allant du sud-ouest au nord-est coupées par la dépression de Mostaganem. Ces structures déterminent la dépression Hassi-Mamèche-Mostaganem et Kheir-Eddine. Ces observations permettent de préciser l'allure générale du Plateau de Mostaganem (Figure 5).

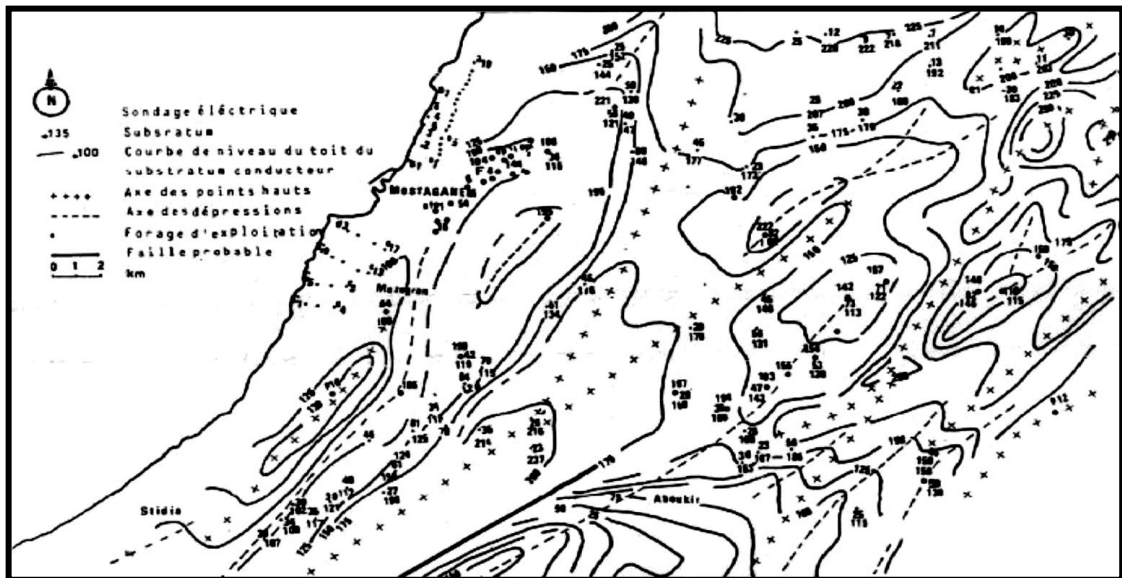


Figure 5 : Carte du toit du substratum conducteur

Epaisseur de la nappe

L'épaisseur de la nappe est faible à très faible dans les zones d'alimentation (l'incertitude sur les cartes représentant le substratum tout comme les risques d'erreur sur les relevés piézométriques, ne permet d'évaluer l'épaisseur de l'aquifère dans les zones où cette épaisseur est inférieure à cinq mètres). Ces zones sont le Djebel Trek El Tourès, le bombement d'Hassi Mamèche et le secteur des Hachem (Figure 6). Les épaisseurs les plus importantes se situent dans la zone des Ouled Bachir (40 à 60 m) et dans la vallée des jardins (20 à 35 m).

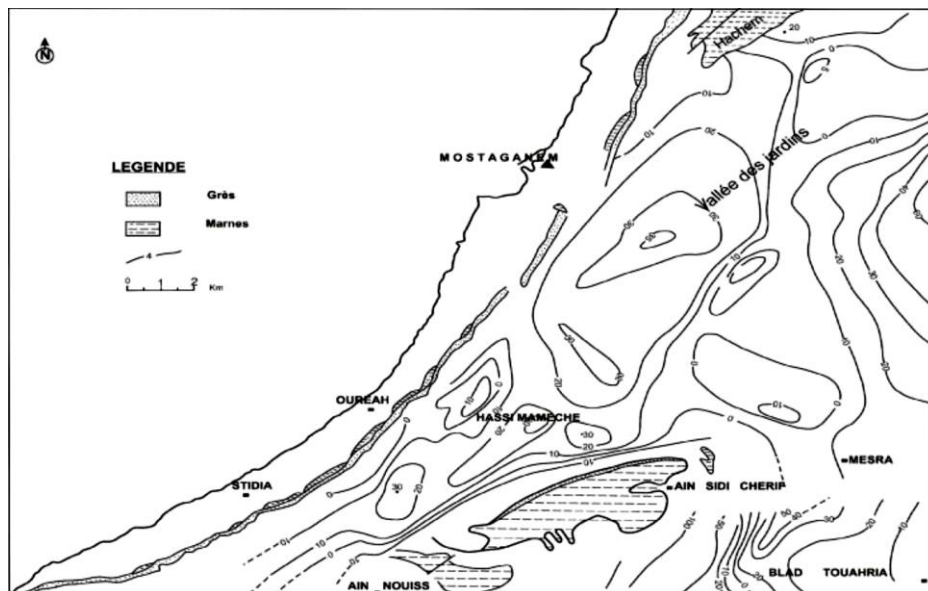


Figure 6 : Carte de différence entre le substratum (1990) et la piézométrie (2010)

Principales aquifères dans la wilaya de Mostaganem

Dans la wilaya de Mostaganem, les unités hydrogéologiques exploitées à différents usages (AEP, irrigation et industriels) sont au nombre de quatre : les plateaux de Mostaganem et de Chouachi-Achaacha, le synclinal de Bouguirat et

Plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem est bien individualisé et a comme limites :

- À l'est les djebels d'Ennaro et Bel-Hacel,
- À l'ouest, un bourrelet côtier qui l'isole du littoral,
- Au nord, la vallée du Chélif et
- Au sud, la plaine de Bordjias.

L'aquifères principal est constitué essentiellement par le Calabrien transgressif et discordant sur les dépôts marins et continentaux du moi-pliocène. Le terrain imperméable des miocènes et du pliocène inférieur constituant le mur de la nappe. Il est formé par des micro-poudingues, suivies de grés jaunâtres grossières et vacuolaires passant à des lumachelles.

L'alimentation de la nappe se fait exclusivement par infiltration des précipitations sur le plateau. Les potentialités de cette dernière sont de 26,70 Hm² /an (étude 1973). Le volume annuel moyen des ressources renouvelable utilisable a été estimé à 15,56 Mm² /an (Energoprojekt, 2009). Le volume exploité s'élève à 35,66Hm²/an selon une estimation réalisée sur par 115 forages et 5369 puits et sources (inventaire ANRH 1997).

Plateau des Chouachi et Achaacha

Le plateau de Chouachi-Achaacha constitue à l'est de l'embouchure du Cheliff, le prolongement du plateau de Mostaganem. Il est limité au nord par la mer, au sud par

les affleurements du substratum marneux du djebel Darnessis, à l'ouest par l'oued Kramis et à l'est par la ligne Cap-Ivi et djebel Larbi. Cet aquifère est formé par une couverture canarienne constituée de grés et sables et par des grés de l'astien.

L'alimentation de cette nappe se fait à partir de l'infiltration des eaux de pluie. Ses potentialités sont de $1,4 \text{ Hm}^3/\text{an}$ (NOBST 1975). Le volume annuel moyen des ressources renouvelables utilisables a été estimé en 2009 par l'étude ENERGOPROJEKT $2,76 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

Volume exploité = $1,4 \text{ Hm}^3/\text{an}$ par 15 forages. 396 puits et 8 sources (NOBST 1975). ?????

Synclinal de Bouguirat et la vallée de la soif

Cette région constitue l'aire entre le plateau de Mostaganem, la plaine de la mina et le bled el Halb elle est limitée :

Au nord – ouest par les djebels Milar, Mouzaia, Brahl relayés par le forêt domanial d'ennaro et le forêt de l'Akboube

Au sud – ouest par la ligne sidi Cherif – Nouvion – plaine de negma

Au sud est par les djebels Ed djir – karouba – bel hasal

Au nord – est par la mina

Deux nappes superposées sont rencontrées dans cette région :

Nappe libre des niveaux détritiques quaternaire.

Nappe captive des grés calabriens et astiens.

L'alimentation de cette nappe se fait à partir des précipitations.

Potentialité = $15,3 \text{ Hm}^2/\text{an}$ (étude OTT 1975)

Le volume annuel moyen des ressources renouvelables utilisables a été estimé en 2009 par l'étude ENERGOPROJKT à $9,10 \text{ Mm}^3/\text{an}$

Volume exploité = $9,6 \text{ Hm}^2/\text{an}$ par 25 forages, 300 puits et 2 sources (OTT 1975).

Plaine des bordjias

La plaine des bordjias constitue la partie nord – est de la zone effondrement de la Macta.

Elle est limitée :

Au nord par le plateau de Mostaganem. La ligne de démarcation entre les deux unités hydrogéologiques passe par Ain Nouissy – Ain sidi Cherif – Mesra

Au nord-ouest, par les collines de Fornaka

Au nord-est, le hameau de Bled Touahria

Au sud est par les djebels Biode, Brahel, Mouzaia et Milar

Au sud par l'oued tine

On rencontre deux nappes :

Nappe libre des grés du Calabrien.

Nappe captive des grés Astien.

L'alimentation se fait à partir des précipitations et à partie des bassins avoisinantes.

Potentialité = 21 Hm²/an.

Le volume annuel moyen des ressources renouvelables utilisables a été estimé en 2009 par l'étude ENERGOPROJKT à 9,10 Mm³/an

Volume exploité = 20 Hm²/an par 20 forages, 500 puits (1975).

Règlementation de l'exploitation des ressources en eau

Le plateau de Mostaganem est essentiellement à vocation agricole. Ce qui fait que l'agriculture constitue la plus grande consommatrice en eau du plateau.

Durant la période 1969-1970, le débit annuel prélevé directement dans la nappe par puits atteignait 11,5 Hm², aujourd'hui ce volume a triplé avec plus de 35,5 Hm².

L'inventaire des débits annuels extraits des points d'eau du plateau a été réalisé en 1997 par l'ANRH et a permis de recenser 5512 points d'eau totalisant un débit extrait de 35.665.000 m³/an dont 21.600.000 m³ sont destinés à l'irrigation. Le débit annuel prélevé par puits en 1970 était estimé à 11.500.000 m³/an, soit le tiers du volume actuel. Le nombre de points d'eau recensés en 1997 (5512 points), comparé à celui de 1970 (601 points), équivaut à près de 10 fois.

Le volume sortant des sources évalué à 15,3 Hm² en 1970, atteint aujourd'hui 4,0 Hm² dont 3,15 Hm² captées pour l'alimentation en eau potable, ce qui correspond à une diminution de près de 80 % qui confirme les risques d'une surexploitation (Tableau 1).

Tableau 1 : Consommation de la nappe du Calabrien

Année de l'enquête	A.E.P	Irrigation	Alimentation animale	Industrie	Totale
1972	4,0 hm ² /an	12,92 hm ² /an		0,42 hm ² /an	17,34 hm ² /an
1997	13,6 hm ² /an	21,60 hm ² /an	0,12 hm ² /an	0,42 hm ² /an	35,7 hm ² /an

Actuellement, la région à l'instar du pays, traverse une période de sécheresse qui dure depuis 1978. Ainsi se sont multipliés les ouvrages d'exhaure de l'eau dans la cadre de ce développement agricole qui doit subvenir aux besoins d'une démographie toujours croissante. Les deux facteurs : démographie et sécheresse ont été pour la plus grande partie la cause principale de la prolifération des points d'eau, puits et forages compris. Compte tenu donc du faible débit par ouvrage, il fallait combler le déficit en eau potable et d'irrigation en réalisant le plus grand nombre de puits possibles.

La nappe aquifère du plateau subit en débit d'épuisement particulièrement la partie nord et nord-est où les agriculteurs emploient le système de sondage qui consiste à installer un tubage de petit diamètre dans le puits à une certaine profondeur dans lequel

est introduite la pompe, l'ancien ouvrage ne servant finalement que d'avant puits ou le niveau statique est absent.

Jusqu'à un passé récent, l'AEP des agglomérations relevant de la wilaya de Mostaganem se faisait à partir des forages captant les différentes unités hydrogéologiques connues.

Toutefois ces ressources demeuraient insuffisantes pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau différents secteurs (AEP, irrigation et AEI) ce qui explique la disparité qui s'est installée entre la région urbaine et rurale.

Pour combler ce déficit en eau, la wilaya grâce à l'investissement public marqué, a bénéficié d'un apport en eau potable remarquable par le biais d'importants ouvrages de mobilisation des eaux superficielles et eaux non conventionnelles.

Parmi ces ouvrages, on peut citer :

Barrage Kramis (45 hm²)

Barrage prise de Chelif (50 hm²)

Barrage réservoir du Kerrada (70 hm²)

Barrage Gargar

Unité de dessalement Sonaghter (200.000m²/j) et d'El Mactaa (500.000m²/j).

Devant cette nouvelle conjecture qui satisfait aux besoins en eau de la wilaya, les autorités locales de la wilaya de Mostaganem ont retenu le principe de libérer au fur et à mesure les nappes souterraines à l'irrigation sachant que la vocation principale de la wilaya est l'agriculture. Les tâches retenues par les services de l'hydraulique sont focalisées sur les éléments suivants :

Etude de la possibilité de recharge artificiels des nappes souterrains.

Allègement des procédures d'octroi d'autorisation de fonçage délivrées par la DRE de Mostaganem.

Outre l'allègement administratif des procédures, veiller à la protection quantitatif et qualitatif des ressources en eau souterraines.

En ce qui concerne la superficie des parcelles qui ouvre droit à un point d'eau (puits ou forage), il y a lieu de rappeler l'historique suivant :

L'ANRH a, tout d'abord, conseillé contiguë de 70 Hectares.

Devant cette proposition, la DRE a tenu à exposer la situation socio-économique propre à la région caractérisée par l'exploitation de petite parcelle. Après discussion, la superficie minimale a été ramenée à 40 hectares.

A la demande de DRE, la superficie pour les GIC a été ramenée à 37 ha au lieu de 40 ha tout en recommandant l'utilisation des techniques modernes d'irrigation économique en eau pour la préservation de la ressource hydrique et le recours aux cultures non spéculatives moins consommatrice d'eau.

En date du 06/11/2012, l'arrêté du wali n°1562 a été modifié et complété encore une fois d'une manière partielle, et ce à la demande des agricultures, les services de la DSA et ceux de la DRE.

Aussi en date du 08/09/2015, le nouvel arrêté n°1546 promulgué, à la demande des services techniques, encourageait l'administration à donner, dans l'octroi des autorisations de fonçage, la priorité aux agriculteurs ayant des activités liés à l'arboriculture, les grands éleveurs de bétail (40 vaches et plus), les investisseurs dans le domaine de semence et les éleveurs des poulets de chair industriels, sous certaines conditions administratives. la plupart des article de l'arrêté (n°1562) n'ont pas été modifiés.

Situation des ressources phréatiques à Mostaganem

Vallée de la soif

Cadre géographique et géomorphologique

Situation géographique générale

La région étudiée est une partie du territoire de la Wilaya de Mostaganem (Daïra de Bouguirat). Elle constitue l'aire entre le plateau de Mostaganem, la plaine de la Mina et le bled el Halb (plaine de la Macta).

La Vallée de la Soif est une structure géologique qui fait partie du territoire de la wilaya de Mostaganem. Elle est située, entre la forêt domaniale de l'Akboube et le Mont de Bel Hacel, elle est limitée (Figure 7) : au nord par l'Oued Chelif et Djebel Bou Assas, au sud par la plaine d'El Merouana, à l'est par le Mont de Bel Hacel et Djebel Mekhalia et à l'ouest par la forêt Domaniale de l'Akboube.

La commune de Saf-Saf fait une partie de la vallée de la Soif qui est limitée : au nord par les deux communes de Souafia et Ouled el kheir, à l'ouest par le synclinal de Bouguirat, au sud par la plaine d'El Merouana et à l'est par la forêt de l'Akboub.

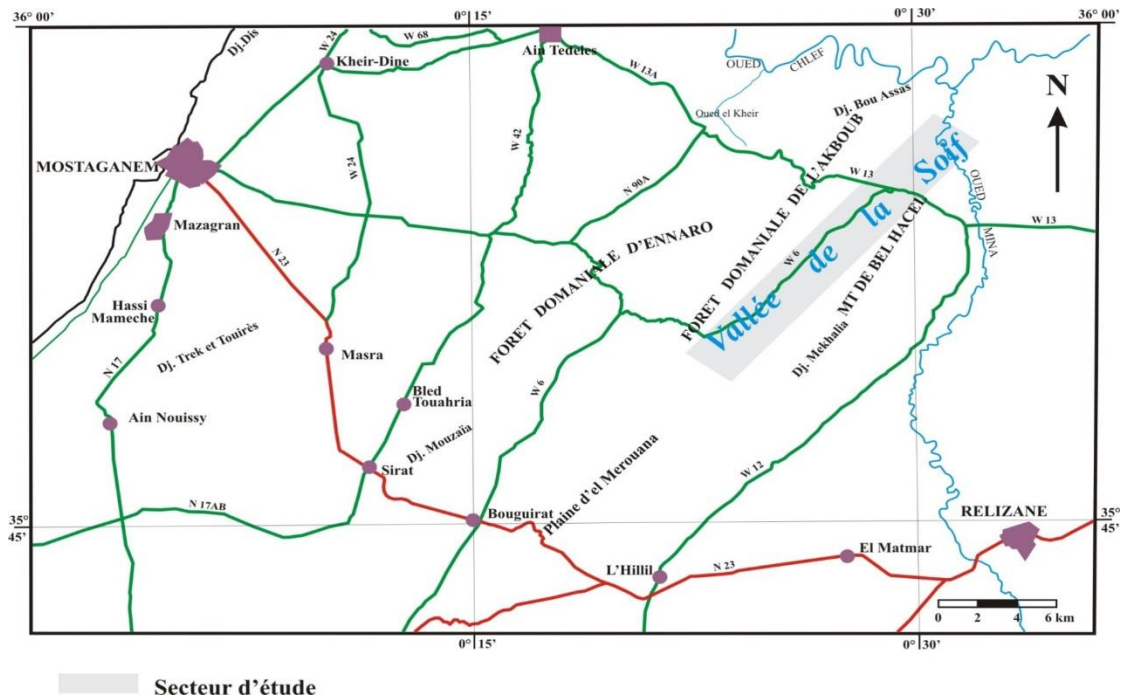


Figure 7 : Situation géographique de la région d'étude.

Cadre structural

La région étudiée se trouve au centre du bassin du bas Chélif où se déposaient les marnes épaisses du Miocène et Pliocène. Nous observons d'importantes déformations souples accompagnées d'accidents.

Le synclinal de la Vallée de la Soif s'étend du Sud-ouest au Nord-est entre l'anticlinal de la forêt Domaniale de l'Akboube à l'Ouest et celui de la montagne de Bel Hacer à l'Est.

L'axe de ce synclinal est incliné vers le Nord-est. Il plonge sous les alluvions de la plaine de la Mina.

La montagne de Bel Hacer est un anticlinal légèrement dissymétrique. Son flanc Nord-Ouest plonge plus fort que le flanc Sud-est. La structure est dessinée par des formations du Villafranchien et des grès Astien. Les marnes du Plaisancien apparaissent au cœur de cet anticlinal et forment une combe.

Cadre climatologique

Le climat caractérise l'état de l'atmosphère en un lieu donné ;

Le climat de la wilaya de Mostaganem est celui d'une région méditerranéenne. Il est caractérisé par une saison estivale chaude et sèche et une saison hivernale froide et humide.

Pour les paramètres climatiques notre étude concernera la température, l'humidité relative (dont nous disposons des données de 11 ans « 2000-2011 »).

Températures

Dans une région donnée, la température représente l'élément le plus influant de l'hydro climatologique. C'est surtout la température extrême (minimale et maximale) qui ont une influence importante sur les plantes.

Tableau 2 : Température moyennes mensuelles (ONM Mostaganem, 2000-2011)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jt	Août	sept	Oct	Nov	Déc	Année
M° c	16,18	17,28	19,44	21,48	23,95	28,88	31,85	31,33	28,81	25,57	19,85	16,63	23,44
m° c	5,56	6,49	8,63	10,33	14,83	17,23	19,05	19,60	17,57	14,37	9,80	7,34	12,56
(M+m)/2	10,87	11,89	14,04	15,91	19,39	23,06	25,45	25,47	23,19	19,97	14,83	12	18

Précipitations

La précipitation d'une région est l'ensemble des eaux qui tombe sur la surface soit sous forme liquide (pluie) ou solide (grêle, neige). Elle augmente avec l'altitude ; ce que fait de cet élément le plus variable du climat aussi bien dans le temps que dans l'espace.

La wilaya de Mostaganem a une pluviosité variant de 250 à 400 mm d'eau par an. Celle-ci pouvant atteindre 400 à 500 mm par an sur le plateau de Mostaganem et 500 à 700 mm par an sur les piémonts de Dahra.

Généralement la plus grande chute de pluie est enregistrée pendant la saison hivernale correspondant aux mois de Novembre à Février ; le contraire est constaté au cours de la saison estivale, période pour laquelle les pluies sont très réduites. La pluviométrie étant variable dans le temps, il est nécessaires de travailler sur des séries assez longues afin d'effectuer des études fréquentielle sérieuse. Dans notre cas nous avons pris la moyenne des précipitations dont nous avons pu disposé des données afférant à une période de 11 ans (2000-2011).

Régimes pluviométriques

a) -Régime annuel

Le tableau 3 est obtenu en faisant la somme des précipitations des 11 années qui ont servi à l'étude.

L'évolution des précipitations interannuelles au cours des 11 années d'observation nous montre une irrégularité très marquée des précipitations sont irrégulières d'une année à l'autre.

Alors qu'on enregistre plus de 600 mm/an en 2006, la pluviométrie atteint à peine 180 mm en 2000. Dans cette situation, on ne peut pas identifier un intervalle d'année où la pluviométrie est faible ou élevée.

Les données pluviométriques sont données dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Précipitations annuelles de Mostaganem (2000-2011)

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
P (mm)	179,1	522,9	311,1	392,9	330,9	329,2	608,4	456	473,9	268,6	420,6	434

b)-Régime mensuel

On constate d'après le tableau 4 une irrégularité des précipitations moyennes mensuelles qui sont fortes et concentrées pendant la saison hivernale (novembre à février) et très réduites pendant les mois juin, juillet et août (été).

Les maximas sont enregistrés du début de novembre à la fin février ce qui représente à peu près 60% de la pluviométrie annuelle.

Tableau 4 : précipitations moyennes mensuelles (2000-2011).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	sept	Oct.	Nov.	Déc.	Année
P (mm)	45,74	44,76	28,18	43,84	26,78	3,15	0,78	3,17	16,68	41,54	71,51	67,83	394

c) Régime saisonnier

En fonction des quatre saisons de l'année les précipitations sont données dans le tableau ci-après.

Tableau 5 : précipitations moyennes saisonnières (2000-2011).

Saison	Eté	Automne	Hiver	Printemps
Mois	Juin, Juillet, Août	Sept, Oct, Nov	Déc, Janv, Fév	Mars, Avril, Mai
P (mm)	7,13	129,73	158,33	98,8

D'après l'indice saisonnier (HAPE), les apports par les précipitations présentent de bonnes conditions très favorables à la recharge des nappes pendant les périodes pluvieuses, à l'abri de pertes d'eau par évapotranspiration. L'évapotranspiration représente l'ensemble de l'évaporation de l'eau par le sol et la transpiration des végétaux, c'est un phénomène consommateur d'énergie.

Les différentes études hydrogéologiques établies au niveau de la vallée de la soif comprennent :

- L'étude géologique de surface.
- les logs des puits, sondages et forages réalisés dans la région qui permettent d'évaluer les potentialités hydrauliques des formations litho stratigraphiques et de préciser les niveaux aquifères.

Principaux aquifères

Les coupes des puits, sondages et forages de la région étudiée (la vallée de la soif) et quelques régions qui se trouvent à proximité, nous ont permis de mettre en évidence plusieurs niveaux aquifères constituant deux principaux réservoirs :

- L'aquifère multicouche à nappe libre : formé par les grès du Pliocène continental et du Villafranchien.
- La nappe des grès astiens.

a- Nappe libre des grès du pliocène continental et du villafranchien

La nappe libre est contenue dans les grès du Pliocène continental et du Villafranchien. Seulement dans la région méridionale la nappe libre est aussi contenue dans les grés calabriens. Mais en général la nappe forme une seule unité hydrogéologique à l'échelle de tout le bassin versant.

-La région de SafSaf ou les affleurements des marnes imperméables sont près de la surface, et à hauteur de l'Ain SafSaf (Ain Sidi Ouda El Hadje) un seuil existe permettant la formation d'une nappe dans les sables et les grés calabriens en amont. La nappe est exploitée par des puits relativement nombreux et peu profonds et on peut constater qu'elle affleure au niveau du petit Marais d'El Moualid. Le débit de la source, inférieur à 3 L/S, nous indique que l'émergence est seulement de trop plein.

En aval, entre SafSaf et Sidi Khattab, les points d'eau sont très rares et le nom de "vallée de la soif" est, à cet égard caractéristique.

La pente des couches aquifère ainsi que le substratum est inclinée vers le Nord-Est. La profondeur du toit de la nappe libre à la surface du sol est supérieure à 30 m et atteint dans la région de Sidi khattab même 60 m. Cela explique l'absence des ressources sur les flancs des Djebels à chaque côté. Par conséquent, le niveau statique de la nappe est plus bas que tous les points bas de ces couches affleurant à la surface.

Le gradient hydraulique est assez élevé de l'ordre de 2,5 %. Dans la région de Sidi Khattab on remarque un changement du gradient hydraulique, c'est-à-dire qu'il diminue. Ceci constitue une zone d'accumulation d'eau. Dans quelques endroits limites il existe des nappes perchées. C'est le cas à l'Ain Guettara sur le flanc Nord de la montagne de Bel Hacer (X= 299,600. Y=290,500). La source sourde au fond d'un profond ravin d'orientation Sud-Nord. Le flanc est-est constitué par un important amas de sables dunaires. Le débit total est inférieur à 3 l/s et on ne peut pas compter sur cette source en ce qui concerne l'A.E.P par exemple de Sidi Khattab.

Le forage de Chaabia a été arrêté à 60 m sans qu'il ait traversé les grés du Pliocène Continental. Il n'y a pas de renseignement en ce qui concerne l'existence d'une nappe. Normalement les marnes plus anciennes au-dessous des grés astiens devraient être atteintes à 250 m de profondeur (Vignat, 1960).

b- Nappe des grés astiens

Une nappe captive est contenue dans les grés astiens. Ces grés affleurent sur les flancs de la montagne de Bel Hacer et la forêt domaniale de l'Akboub, leur nature lithologique est bien connue. Ces grés ont une texture très favorable à l'infiltration des eaux de pluie et devraient renfermer par conséquent, une nappe significative.

L'épaisseur de ces grés est de l'ordre de 100 m. Il y a 2 versants de la vallée de la soif (Figure 8), plusieurs forages ont atteint les grés.

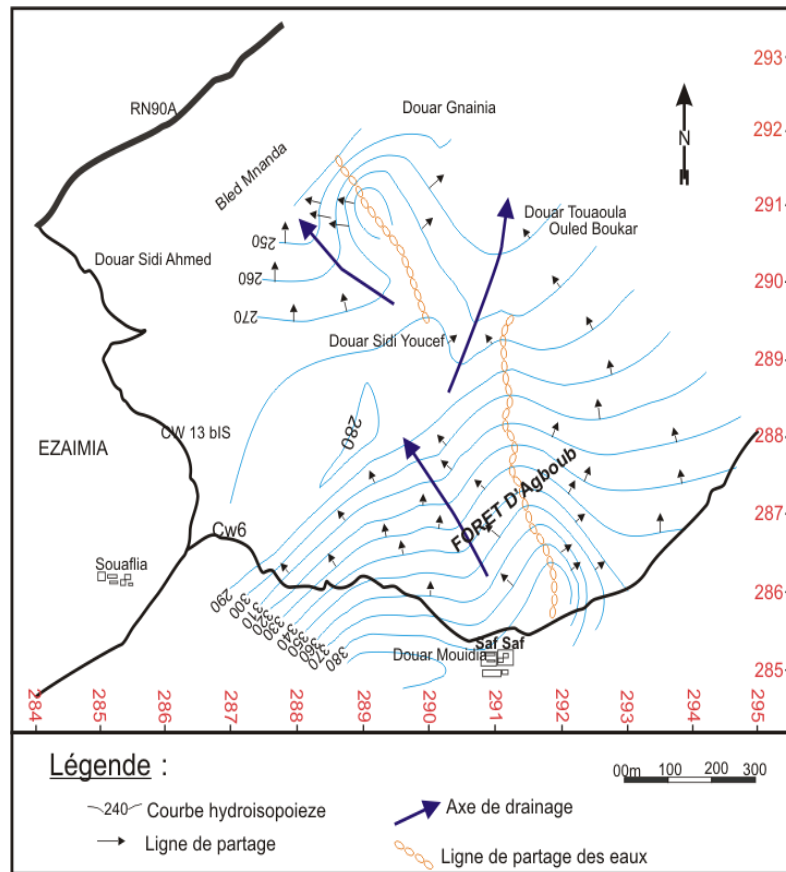


Figure 8 : Extrait de la carte piézométrique de la région de Saf Saf (Vallée de la soif) (Boudraf et Ghrissi, 2012)

Le forage de Ouled Mokhtar a été arrêté dans le Pliocène continental. Les forages de Bel Hacel (Neggache, 1974) sur le flanc sud-est de la montagne de Bel Hacel n'ont pas atteint ces grès marins jusqu'à 150 m de profondeur.

Un sondage en-dehors de la région, le sondage de Krouaouna situé dans la plaine de la Mina à mi-distance entre Bel Hacel et la Sebkhia de Ben Ziane a traversé les grès marins entre 400 et 500 m de profondeur du sol. La charge de la nappe est de 20 m au-dessus. L'analyse de la carte piézométrique nous permet de distinguer une grande individualité de la nappe de la vallée de la soif. Cette nappe est limitée à l'Est par un axe anticlinal orienté SW-NE passant par la forêt d'Ennaro puis par le Djebel Slimane.

Dans cette vallée on peut mettre en évidence une première ligne de partage des eaux souterraines passant par Djebel El Assa et va jusqu'à la maison forestière d'Akboub (sud-ouest de la vallée de la soif). On peut aussi remarquer une deuxième ligne de partage des eaux sensiblement parallèle à la précédente jalonnant le Djebel Hadj Hammou. Cette dernière donne naissance à deux axes de drainage :

L'un s'opérant suivant un sens d'écoulement SE-NW.

l'autre matérialisant un écoulement du SW vers le NE.

Le drainage de cette nappe se fait par l'intermédiaire de l'Oued Mina.

A l'Est du forêt domaniale d'Ennaro, la nappe est drainée dans sa partie Nord par Ain Soltane et dont les eaux souterraines constituent un apport à l'aquifère du plateau de Mostaganem sensu stricto au niveau de la région Nord Est

Plateau de Mostaganem

Cadre géologique

Dans la région de Mostaganem, on trouve deux types de formations qui affleurent sur la carte géologique de Mostaganem à l'échelle 1/50000é :

Des formations autochtones

Des formations allochtones.

Formations allochtones

Ce sont des formations les plus anciennes, on peut définir deux types d'allochtonie le diapirisme : Il se manifeste à l'Est d'Ain Nouissy où affleure un diapir de gypse renfermant des roches volcaniques (ophites), des marnes vertes ou roses, de la pyrite, de la dolomie noire fétide (étudié en 1919 par Mr Dalloni)

Les nappes de charriage : se trouvant au nord de Mostaganem (Kharouba – Djebel Diss), tout un ensemble de terrain appartenant aux nappes. En considérant la disposition tectonique des couches on trouve à la base :

Le flysch violacé : Pyélites bleu clair avec de petits bancs calcaro-ferrugineux. Au sommet on peut rencontrer des niveaux de phtanites et des lambeaux de marno-calcaires.

Le Flysch vert : Il comporte de petits bancs calcaro- ferrugineux lie de vin. Des pyélites on une texture vert sombre, les grés sont plus abondants. son âge est créacé inférieur.

Gypse du Trias : Il renferme des ophites, de la dolomie noire, marnes vertes et roses, de la muscovite et de la pyrite

Formations Autochtones

Ce sont des terrains les plus anciens post- nappe est le miocène qui affleure très largement sur la carte géologique.

Le Miocène :

Laguno- continental : Marnes rouges riches en galets et sables, grés quartzeux très dures. Conglomérats avec passage latéral à des marnes graveleux à gypse .âge miocène inférieur.

Marin : série marno- gréseuse bleue qui s'altère en jaune (miocène moyen). Au dessus marnes bleues à cristaux de gypse fer de lance. Cet ensemble est recouvert au Nord du plateau par une série de cinérites liée au volcanisme régional.

Pliocène marin :

Plais ancien : Marnes bleues à petits filons de gypse saccharoïde passant progressivement vers le haut à des marnes sableuse et sables argileux.

Astien : C'est une série de couleur jaune foncée formée par des grés à ciment calcaire. L'épaisseur maximum est de 100 m. l'extension de ces grés sous le quaternaire est mal connue.

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

Quaternaire :

Calabrien : Il est transgressif et discordant sur les dépôts marins et continentaux du moi- pliocène. Il débute dans la région de Mostaganem par un niveau de micro-poudingue formé des galets de grés à ciment calcaire, et se poursuit par des grés jaunâtres grossiers et vacuolaires passant à des lumachelles. Le reste du quaternaire est continental. Il est constitué de grés dunaires jaunâtres entre croisées et de limons sableux.

Tectonique :

Sur le plan régional le plateau de Mostaganem est encadré par deux accidents NE SW : Mercier Lacombe – Mostaganem et Mascara – Cas saigne (Sidi Ali). Ces accidents qui affectent le socle paléozoïque s'accompagnent d'un déplacement sénestre de la baie entre Mostaganem et Arzew

Géologie du milieu

Les différents terrains rencontrés au Nord Est (Commune de Ain Boudinar, Kheir Eddine , Sayada et centre de Mostaganem) et Sud Est (Douar Krichiche et Ouled Bachir) du plateau de Mostaganem sont défini comme suit :

Dans la région de Ain Boudinar : au Nord, les différents de faciès apparaissent très bien, il est constitué de marnes Gypseuse et de gypse de Trias. Ces affleurement de gypse sont à deux kilomètres en amont de l'embouchure de L'Oued Chélif, rive gauche (Djebel Aizeb) et en rive droite (Djebel Zegnoun). Dans la carte géologique sont indiqué par la lettre Mg.

Dans la région de Kheir Eddine, Sayada, Mostaganem (Nord Est) , et Douar Krichiche et Ouled Bachir Commune de Kheir Eddine et Sayada (Sud Est), on a constaté une alternance de niveau sableux, gréseux et limon sableux du quaternaire. Des croûtes

calcaire-gréseuses blanchâtres et grés lumachelliques du Calabrien sont présentés à des profondeurs différentes d'une épaisseur à peu près de 20 à 30 m et cette formation donne un niveau très perméable. Ces formations reposent directement sur des niveaux imperméables substratum marneux du miocène supérieur.

A la surface du plateau de ces communes sus citées, Nous avons des croûtes calcaire-gréseuses sur les reliefs, ainsi que des accumulations de sable éolien sur le versant Ouest dans les anticlinaux

Plaine de Bordjias

Cadre géologique

Dans de la plaine des Bordjias la connaissance géologique est insuffisante. Il s'agit des couches sédimentaires mio-pliocènes et quaternaires. Les deux diapirs de gypse d'Ain Nouissy et d'Ain Sidi Cherif sont d'âge Triasique. Au niveau de cette région, les couches les plus profondes sont sans aucun intérêt hydrogéologique.

Description litho-stratigraphique de bas en haut

a) Trias

Il se manifeste à l'Est d'Ain Nouissy et près d'Ain Sidi Cherif par des diapirs composés de gypses mélangés avec des roches volcaniques (Ophites), des marnes vertes ou roses, de la pyrite, du chlorure de sodium et du sulfate de magnésium.

b) Miocène supérieur

Le miocène supérieur est composé de bas en haut par :

- Marnes bleues

Les marnes sont de couleur bleue ou verte et jaunâtre en surface. Elles contiennent quelques niveaux de grés argileux surtout à la base. Les marnes sont très épaisses. Au niveau du plateau de Mostaganem elles ont une puissance de 200 mètres environ alors que vers le Sud-Ouest et le Sud-Est. L'épaisseur de ces marnes augmente et atteignent 800 mètres dans la région d'Ain Nouissy.

- Tripolis et argile à Tripolis

Les Tripolis sont représentés par des alternances de couches très pures de Tripolis blancs (diatomites) et de marnes bleues, Cinérites et limons. L'épaisseur de cette série, généralement de l'ordre de 200m, peut cependant se réduire localement à une cinquantaine de mètres (région Nord-Est). Vers le haut, les couches passent progressivement du gypse au l'anhydrite. Les Tripolis affleurent sur le flanc Sud du diapir d'Ain Nouissy, et sont représentés par une alternance de diatomites et de marnes grises à passées de calcaires siliceux. Ils affleurent aussi au niveau des Djebels Mouzaia et Brahl.

- Gypse et marnes gypseuses

Au sommet du Miocène supérieur, se trouve une série gypseuse représentée par des couches de gypse bien développées dans la partie inférieure, d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur et par des marnes grises plus ou moins gypseuses souvent entrecoupées de passées sableuses dans la zone supérieure. L'épaisseur totale de cet ensemble varie de quelques mètres à 300 mètres.

c) Pliocène

- Plaisancien

Il est représenté par une série de marnes bleues à coccolites très comparables aux marnes bleues miocènes souvent plus calcaires et parfois même blanchâtres et également plus fossilifères. Elles renferment assez fréquemment des calcaires à Algues. La base du Plaisancien peut présenter des horizons sableux (grés de base). La puissance de cette formation est inconnue au centre de la plaine des Bordjias, mais peut être estimée à 500 mètres.

- Astien

Les marnes bleues du Plaisancien passent progressivement dans leur partie supérieure à des marnes sableuses et à des sables argileux astiens. Les grés sont représentés par une série marine, sableuse (sables fins) ou gréseuse, de couleur jaune, comprenant des grés peu argileux

Parfois à ciment calcaire et des sables fins parfois argileux. La base est marquée par un niveau très fossilifère (lumachelles). L'épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 mètres.

-Pliocène continental

Le pliocène continental est peu connu. D'après Perrodon (1957), il est formé par des sables roux et gris à Hélix, souvent d'origine dunaire. Il succède aux grés Astien, débutant par des dépôts fluviatiles et lacustres et renfermant des lentilles irrégulières de sables grossières et de graviers. Des passés de conglomérats existent à différents niveaux.

d) Quaternaire

La période d'émersion du Pliocène continental est entrecoupée d'un épisode marin qui forme le Calabrien. Il est formé par des grés calcaires discordants sur toutes les formations antérieures. Les niveaux supérieurs du Calabrien sont constitués par une alternance d'horizons sableux, gréseux ou argileux; la base est formée par des grés jaunâtres grossiers, vacuolaires et lumachelliques. D'après Perrodon (1957), le Calabrien passe vers le Sud-ouest (plaine de Habra) aux grés argileux ou même aux argiles. Le remplissage quaternaire de la plaine des Bordjias est d'origine fluviatile. Il est constitué par des couches lenticulaires d'argiles et de sables.

Cadre structural

La région des Bordjias fait partie du bassin du bas Cheliff. Dans ce bassin, pendant le Miocène et le Pliocène inférieur, les marnes épaisses et les gypses ont été déposés et

forment du point de vue hydrogéologique le substratum. Par la suite, se sont déposés les grès astiens, les grès du Pliocène continental et le Calabrien. Les grès de l'astien et ceux du Pliocène continental furent érodés en quelques endroits par la phase tectonique post-pliocène et par la transgression Calabrien.

Le cadre structural se présente comme suit :

Le plateau de Mostaganem constitue un horst dont la délimitation S-E est formée par une faille ou une flexure. Les diapirs d'Ain Nouissy et d'Ain Sidi El Cherif marquent cette zone fracturée. Vers le N-E, la flexure est moins remarquable.

La plaine des Bordjias, ainsi que la partie N-E de la plaine de l'Habra, est depuis le Pléistocène l'objet d'une active subsidence qui se poursuit de nos jours et qui est plus forte au S-W qu'au N-E.

La délimitation S-E de la plaine des Bordjias est formée par un anticlinal asymétrique qui plonge progressivement vers le Sud-ouest sous les alluvions de la plaine de Habra. Le flanc Nord-Ouest est plus incliné que celui de Sud-Est.

Nous pouvons conclure que :

Les structures plissées post-pliocènes sont orientées Nord-Est et Sud-Ouest,

Les axes de ces structures plongent progressivement vers le Sud-Ouest

Cadre Hydrogéologique

Les recherches et investigations hydrogéologiques à travers la plaine des Bordjias, ont permis de mettre en évidence l'existence de trois nappes superposées de haut en bas :

La nappe libre des niveaux détritiques du Quaternaire,

La nappe captive des grès du Calabrien,

La nappe captive des grès de l'Astien.

Nappe libre des niveaux détritiques du quaternaire

L'aquifère est constitué par des alluvions récentes de la plaine des Bordjias qui passent vers le Nord-Est aux grès Calabrien. En général, nous avons la coupe suivante : sous la terre végétale et la carapace sablo-calcaire qui peut atteindre 20 mètres d'épaisseur, l'aquifère est constitué par des alternances de niveaux marno-gréseux, jaunes ou briques et des niveaux franchement sableux. Vers le Nord-Est, les couches argileuses régressent : le faciès devient plus sableux (dunes). L'épaisseur de cet aquifère varie de 10 à 30 mètres.

La plaine, très argileuse le long de l'oued Tinn, est marquée par une zone marécageuse. Cette nappe est fortement minéralisée dans le centre de la plaine, le long de l'oued Tinn et dans la zone Ouest (Fornaka) où il existe, par endroit, de l'hydrogène sulfuré. Les résidus secs dépassent parfois les 3 g/l.

Nappe captive des grés du Calabrien

Le Calabrien existe pratiquement dans toute la plaine. La zone d'alimentation se trouve au Nord sur le plateau de Mostaganem et au Nord-Est de Bled Touahria. Cet aquifère est constitué généralement par des grés à ciment calcaire, des grés parfois argileux et sables jaunes, des grés grossiers, vacuolaires et lumachelliques (base). Tous ces niveaux sont fréquemment intercalés par endroits d'argiles ou parfois, d'argiles sableuses. Ils renferment une nappe en charge.

L'épaisseur moyenne de cet aquifère est de l'ordre de 40 mètres.

Dans la zone Ouest (Fornaka), le Calabrien forme un aquifère unique. En revanche, dans la zone centrale, il se subdivise en deux horizons distincts. La qualité chimique du premier horizon est bonne alors que le deuxième horizon ainsi que la nappe dans la zone Ouest semblent être chargés en sels dissous. L'influence des diapirs d'Ain Nouissy et Ain Sidi-Cherif n'est pas à écarter.

Nappe captive des grés de l'Astien

Il s'agit de grés fins, mal consolidés, parfois à ciment argileux qui peut localement passer à des grés à ciment calcaire. Ces grés affleurent sur le flanc des Djebels Milar et Mouzaia et plongent sous les alluvions de la plaine des Bordjias. Les couches quaternaires argileuses mettent généralement en charge de nappe des grés. Les eaux de cette nappe sont de bonne qualité chimique.

Deuxième partie – Etude expérimentale

Chapitre III – Nappe du plateau de Mostaganem

Présentation du plateau de Mostaganem

Situation géographique du plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem est situé au Nord-ouest d'Algérie. Il est limité à l'Est par les djebels d'Ennaro et de Bel Hacel, au Sud par la plaine de Bordjias, à l'Ouest par un bourrelet côtier qui l'isole du littoral et au Nord par la vallée du Chélif, il s'étend sur une superficie de 110 600 ha.



Figure 9 : image présentée la situation du plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem appartient au Tell occidental algérien, à une soixantaine de kms à l'est d'Oran. Il couvre une superficie de 750km², son altitude augmente sensiblement d'Ouest en Est (de 130 à 293m). La morphologie du plateau n'est pas absolument plate, on peut voir trois zones « bombées » correspondant à d'anciennes dunes consolidées et entre lesquelles s'intercale chaque fois une dépression. Ces reliefs ont des surfaces inégales : sur environ le 1/3 ouest du plateau, nous trouvons deux zones surélevées entourant une étroite dépression. Sur les 2/3 restants (vers l'est), les dépressions sont plus larges et les parties « bombées » très entaillées avec des replats et des surfaces plates bordées de talus représentant des « reliefs résiduels ». Ces différentes unités morphologiques (composantes principales du relief) sont parsemées de différents types de dunes :

- des dunes vives.
- des dunes consolidées à sommets aigus et d'autres à sommets arrondis.

Parallèlement au plateau il ya le cordon littoral d'une superficie de 27.047ha, il est représenté par des pentes variables, les plus fortes atteignent 25% et se composent de formations dunaires mobiles ou consolidées.

Cadre Géologique

Cartes géologiques disponibles

Trois cartes géologiques (1/50 000) couvrent les trois-quarts du secteur d'étude :

- Mostaganem 128-129
- Debrousseville 155 B9-C8
- Relizane 156 B9-C9

La partie restante n'a pas fait l'objet de l'édition d'une carte géologique.

La carte hydrogéologique du plateau de Mostaganem, éditée en 1978 par le Ministère de l'hydraulique, de la mise en valeur des terres et de l'environnement, présente une carte géologique simplifiée mais complète.

Présentation de la géologie du système aquifère

Stratigraphie

D'un point de vue stratigraphique au droit de la zone d'étude, les formations suivantes peuvent être rencontrées depuis la surface :

- **Le Quaternaire** : Les terrains quaternaires peuvent être subdivisé en différents niveaux qui sont les suivants :

- Le Quaternaire récent avec des variations lithologiques (sables, calcaire gréseux, sables argileux, grès à ciment calcaire...) d'une épaisseur variante entre 80 et 160 m ;

- Le Calabrien. Il s'agit du niveau aquifère contenant la nappe principale du plateau de Mostaganem. Il est constitué principalement de grès à ciment calcaire et de sables. Sa puissance est comprise entre 0 et plus de 100 m.

Tous les autres niveaux, autre que le niveau à grès jaunâtres à ciment calcaire, à éléments grossiers, ont des dispositions lenticulaires.

Globalement, les terrains de couverture possèdent une porosité élevée limitant, de façon importante, le ruissellement, même en cas de fortes pluies.

- **Le Pliocène inférieur** : caractérisé par des marnes bleues. En s'altérant, ces marnes deviennent blanches. Elles peuvent contenir des petits filons de gypse saccharoïde ainsi que des macros fossiles. Cette formation est très puissante, 500 à 700 m.

- **Le Miocène** : cet horizon comprend différents niveaux, à la lithologie différente :

- Un niveau de gypse qui est discontinu. Son épaisseur est très variable (de 0 à 100 m).

-Un niveau de cinérites et des niveaux à biotite. Cet horizon s'est formé à partir de l'explosion d'un volcan situé à 5 km de Sidi Ali. Ce niveau est continu mais dispose d'une épaisseur variable (quelques décimètres à 200m). On peut notamment l'observer sur la rive gauche de l'oued Cheliff.

- Des marnes bleues qui s'altèrent en prenant une couleur brun-jaunâtre Elles renferment des cristaux et des filons de gypse.

- Des marnes gréseuses de couleur bleue devenant jaunâtre en s'altérant. Ces marnes sont riches en inclusions charbonneuses et débris végétaux. On retrouve à la base de cette série un poudingue contenant des argiles. L'épaisseur de ces marnes varie entre 0 et 100 m.

-Au niveau du Miocène inférieur se situe une formation, de couleur rouge, qui se caractérise, soit par des marnes rouges riches en galets, soit par des grès quartzeux, soit par des conglomérats. Latéralement, cette formation passe à des marnes brunes. La puissance de ce niveau est comprise entre 1 et 100 m.

- L'Oligocène avec des argiles et grès numidiens ;
- Le Vracono-Cénomaniens comprenant des marnes et marno-calcaires ainsi que du Gypse ;
- Le flysch violacé de l'Albien supérieur ;
- Le flysch vert du Crétacé inférieur ;
- Le gypse du Trias.

Tectonique

On note de nombreuses déformations du Quaternaire, principalement à la périphérie du plateau de Mostaganem où l'on l'observe des plis d'orientation générale.

Des déformations sont également visibles dans les terrains plus anciens :

-**Diapirisme** : plusieurs diapirs, de gypse notamment (à l'Est d'Aïn Nouissy), ont été identifiés sur le plateau et aux alentours.

-**Nappes de charriage** : au Nord de Mostaganem (Karouba et djebel Diss) ainsi que dans la vallée du Cheliff apparaît tout un ensemble de terrains appartenant, d'après Baiche (1993), à des nappes de charriage. Il s'agit des formations antérieures au Miocène : Argiles et grès Numidiens de l'Oligocène, Marnes et marno-calcaire du Vracono- Cénomaniens, Flysch de l'Albien supérieur et enfin gypse du Trias.

Cadre Hydrogéologique

Horizons aquifères

D'après les données récoltées et notamment l'étude hydrogéologique de GAUCHEZ (1981), on peut subdiviser les terrains aquifères du quaternaire et fin du Tertiaire (tableau 6). Les données ne permettent pas de savoir comment était apprécié

la perméabilité de chaque terrain, il est cependant possible de supposer que c'est par analogie entre les logs de forages et les essais de pompages réalisés.

Aquifère principale

Les grès du Calabrien

L'aquifère le plus perméable du plateau de Mostaganem est constitué par des grès jaunâtres à ciment calcaire, à éléments grossiers, coquilles, lumachelle au niveau du Calabrien (Quaternaire). Son épaisseur varie entre 40 et 100 m.

Les terrains peu perméables situés au-dessus ou en dessous de la formation aquifère ont une épaisseur variable. Ainsi, il existe des phénomènes de drainance et de communication localisés à partir des grès du Calabrien.

La nappe du plateau de Mostaganem est une nappe libre.

L'alimentation de la nappe libre se fait donc :

- par infiltration directe au niveau des zones d'affleurement ;
- par percolation au travers des terrains sus-jacents ;
- par communication (réduite vue la lithologie des terrains) avec les grès, sables argileux et micro-poudingue sous-jacents.

Le substratum de l'aquifère est principalement constitué par les marnes bleues du Pliocène inférieur. Cependant, dans le cas où une lacune existerait au niveau du Pliocène, le Miocène constitue également un écran imperméable pour la nappe du Calabrien.

La plaine de Bordjias, au Sud du plateau, est potentiellement en continuité hydraulique avec celui-ci. Elle constituerait alors une partie de l'exutoire des eaux souterraines du plateau. On note également qu'au niveau de cette plaine les grès calabriennes sont saturées et forment une nappe captive.

Alimentation de la nappe

Climat

Le plateau de Mostaganem subit l'influence de la proximité de la mer Méditerranée. Ainsi, en été, l'anticyclone des Açores assure un temps chaud et sec, et en hiver, le temps reste doux.

Les précipitations sont réparties sur un nombre de jour faible.

Les vents dominants au niveau de Mostaganem sont de direction E-NE, il s'agit principalement de vents faibles à modérés. On note également la présence du Sirocco, essentiellement en été, qui souffle soit du Sud, soit du Sud-est, soit du Sud-ouest. L'humidité relative moyenne annuelle à Mostaganem est d'environ 70%.

Recharge pluviométrique

Pluviométrie

A proximité du plateau de Mostaganem, la pluviométrie est mesurée au niveau de plusieurs stations :

Tableau 6 : Stations pluviométriques du secteur de Mostaganem

Station	Code	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Période de mesure	Moyenne annuelle (mm)
Oued el Kheir	13606	291,0	296,8	1982-2004	288,1
Kheireddine	40602	271,7	300,8	1969-2004	355,3
D cultivees	40611	274,0	288,3	1969-2004	318,4
Mostaganem	40612	266,4	293,4	1906-2004	361,8
Fornaka	111606	250,6	278,4	1967-2004	264,1
Blad Touahria	111612	277,0	284,6	1969-2004	303,2
Marais Sirat	111616	271,8	275,3	1970-2004	279,9
Fme Assorain	111617	292,7	281,0	1970-2004	321,4

Parmi ces stations, Mostaganem, Kheireddine, Dunes cultivées, B. Touahria et Oued El Kheir sont les plus représentatives des conditions climatiques du plateau de Mostaganem

- **la station Fornaka se situe** sur l'extrémité Ouest du plateau,
- la station Maraissirat mesure la pluviométrie dans la plaine de Borjias,
- la station Fme Assorain est située à l'extrémité Est du plateau, sur le flanc Est du Djebel Meckalia.

A Mostaganem, les précipitations se produisent principalement entre les mois de novembre et mai. En février et mars, la pluie mensuelle moyenne dépasse 35 mm alors qu'elle excède rarement 3 mm entre les mois de juillet et août (Tableau 7).

Tableau 7 : Moyennes annuelles sur chaque station pluviométrique. Comparaison avec la carte pluviométrique ANRH sur 1922-1960 et 1969-1989

Station	Code	Coordonnées Lambert		Période de mesure	Moy annuel (mm)	Moy annuel 1922/1960 et 1969/1989 (mm)
		X (km)	Y (km)			
Oued el Kheir	13606	291,0	296,8	1982-2004	288,1	-
Kheireddine	40602	271,7	300,8	1969-2004	355,3	419
Dunes cultivées	40611	274,0	288,3	1969-2004	318,4	384
Mostaganem	40612	266,4	293,4	1906-2004	361,8	390
Fornaka	111606	250,6	278,4	1967-2004	264,1	-
Blad Touahria	111612	277,0	284,6	1969-2004	303,2	-
Marais Sirat	111616	271,8	275,3	1970-2004	279,9	-

Ferme Assorain	111617	292,7	281,0	1970-2004	321,4	-
----------------	--------	-------	-------	-----------	-------	---

L'analyse de la pluviométrie enregistrée en discontinu depuis 1906 à la station de Mostaganem montre que la pluviométrie de la première moitié des années 1990 est la plus faible rencontrée depuis plus de 50 ans. Le dernier épisode de plusieurs années successives extrêmement sèches remonte au début des années 1920.

Depuis 1970, on note sur l'ensemble des points suivis que la pluviométrie a été globalement conforme aux normales jusqu'en 1975-1980. Après cette date, on note une décroissance significative ayant atteint des valeurs extrêmes autour de 1995. Depuis cette date, la situation pluviométrique semble légèrement s'améliorer en restant toutefois nettement inférieure aux normales.

Par rapport à la situation de référence de 1970-1975, qui correspond globalement aux normales enregistrées depuis le début du siècle, on a noté, sur la période 1990 – 1995, une baisse de la pluviométrie qui a atteint 30-35% environ sur le plateau.

Température et évapotranspiration

Durant le mois de janvier, la température est en moyenne de l'ordre de 12 à 13°C et la moyenne dépasse 24°C en juillet et août.

L'évapotranspiration potentielle, ETP, équivaut à la lame d'eau qui serait effectivement évaporée si les ressources en eau disponibles étaient à chaque instant au moins égales à ce qui peut être évaporé. L'ETP dépend des conditions climatiques, notamment de l'ensoleillement, de la température, du vent, etc.

L'évapotranspiration réelle, ETR, quant à elle, équivaut à la lame d'eau effectivement évapotranspirée par le sol et son couvert végétatif, en fonction des données climatiques (ETP), du couvert végétal et de ses besoins (kc), de la quantité d'eau contenue dans les sols (RU). L'ETR est calculée dans le bilan hydrique.

Ruissellement

Le ruissellement n'est pas un paramètre facilement mesurable. Il dépend de la nature des terrains (pentes, rugosité, perméabilité, imperméabilisation, etc.) et de l'état de saturation du sol.

D'après GAUCHEZ, 1981, le ruissellement est proche de zéro sur le plateau de Mostaganem. De plus, l'analyse de la géomorphologie du plateau met en évidence un réseau de drainage très peu développé indiquant un ruissellement très limité.

**Chapitre IV -
Diagnostic physico-
chimique et
bactériologique de la
nappe du plateau**

La qualité potable d'une eau peut être analysée par rapport à trois types de paramètres : organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques.

Les paramètres physico-chimiques concernent la forme et la présence d'éléments chimiques tels que : le calcium, le magnésium, le chlorure, le sulfate, le nitrate et d'autres éléments susceptibles d'affecter la qualité de l'eau. Les teneurs tolérées sont infimes ce qui exige des analyses quantitatives fines. A l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme humain et animal.

Si les ressources en eau pour l'AEP (adduction en eau potable) ont vu un développement conséquent, celles en eau phréatique destinée au secteur agricole demeurent plutôt en voie de dégradation. En effet, la baisse exponentielle du niveau de la nappe phréatique, accélérée par l'extension de spéculations agricoles lucratives, a atteint un niveau critique. Son rabattement est estimé à 1 m.an-1 par les services de l'hydraulique. Dans ce, il ne suffit pas de prendre en considération, l'épuisement de la nappe provoqué par sa surexploitation mais également sa pollution potentielle due à l'intensification de l'agriculture, de l'industrie et des activités urbaines.

Le présent travail est une contribution au diagnostic de la qualité des eaux phréatiques dans le plateau de Mostaganem.

Mesure des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques

Caractéristiques physiques

Température : exprimée en °C, elle est déterminée en raison de ses effets sur la solubilité et dissolution des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique et le pH.

pH: déterminé à l'aide d'un pH-mètre de pailleasse.

Conductivité électrique : l'échantillon d'eau est analysé sur un conductimètre.

Turbidité : est mesurée à l'aide d'un turbidimètre.

Caractéristiques chimiques

Les analyses chimiques reposent sur la méthode volumétrique ou par spectrophotométrie. La méthode volumétrique consiste en l'ajout d'une solution de concentration donnée à un volume d'échantillon avec indicateur approprié jusqu'à l'apparition du virage indiqué par un changement de couleur. Les différentes analyses effectuées par cette méthode sont :

Dureté totale TH (Titre Hydrométrique) : la dureté d'une eau est déterminée par la présence d'ion calcium et magnésium. Lorsque ces deux ions sont présents en forte concentration, l'eau est dite dure.

Titre hydrométrique calcique (TCa) : dans cette méthode l'agent complexant utilisé est l'E.D.T.A (Ethyle-Diamine-Tétra- Acétique).

Titre alcalimétrique (TA, TAC) : le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complet TAC permettent de connaître la concentration en carbonates, bicarbonates et hydroxyde de l'eau analysée.

Chlorures (Cl⁻) : sont dosés en milieu neutre par solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Nitrates (NO₃⁻) : par la méthode de dosage, par spectrophotométrie, qui est utilisée également pour le dosage de l'Ammonium (NH₄⁺), des sulfates (SO₄²⁻) et du fer.

Caractéristiques bactériologiques

L'analyse bactériologique consiste en un dénombrement des contaminants par filtration sur membranes. La filtration est effectuée sur des membranes de 0,45 à 0,22 µm susceptibles de retenir les bactéries. Ceci permet de recenser les germes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridiiums sulfito-réducteurs.

Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques et bactériologiques

Paramètres physico-chimiques

D'après les analyses physico-chimiques effectuées par les deux laboratoires de l'ANRH Oran et de l'ADE unité de Mostaganem, nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 8, figures 10 et 11) :

Eaux des forages

Forage Kaouara et EURL Groupe Lazreg: (Plaine Bordjias)

Les eaux des deux forages présentent un faciès chloruré/Bicarbonaté sodique et potassique selon la présentation de Piper. Selon la présentation de Schoeller-Berkaloff et les formules caractéristiques ces eaux présentent un faciès bicarbonaté sodique :

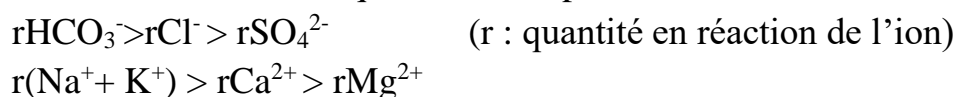


Tableau 8 : caractéristiques physico-chimique (mg /l)

Caractéristiques physico-chimique (Mg/l)	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	NO ₂	RS
Normes d'eau de source	200	150	200	20	300	400	500	50	0,1	1500
Source Sidi Aek (2015)	73	30	92	2	217	71	138	84	0	740
Source Moulins Biguor (2015)	55	27	147	6	149	98	227	18	0,01	700
Source Sidi Yakoub (2015)	110	30	281	27	298	291	296	60	0,09	1380
Source Ain Soltane (2012)	26,5	1,84	3,2	125	59,8	24,98	198,8	0,23	0,006	920
Source Ain Soltane (2009)	100	31	4	106	330	86	170	42	0,02	860
F1 Eurel G-lazreg (2014)	60	45	5	136	348	68	176	6	0,01	840
F2 Kaouara (2015)	120	17	/	/	/	0,15	255	7	/	/
F3 Kaouara (2008)	69	47	7	182	366	123	247	5	0,01	1000
F5 Guenainia (2015)	124	31	/	/	/	43,34	145	0,01	/	/
F10 Guenainia (2008)	133	31	6	136	336	107	254	44	0,02	1080
F14 Ennaro (1997)	112	33	5	115	290	139	184	27	0,03	760
F15 Ennaro (1995)	140	18	7	170	332	168	287	32	0,01	1060

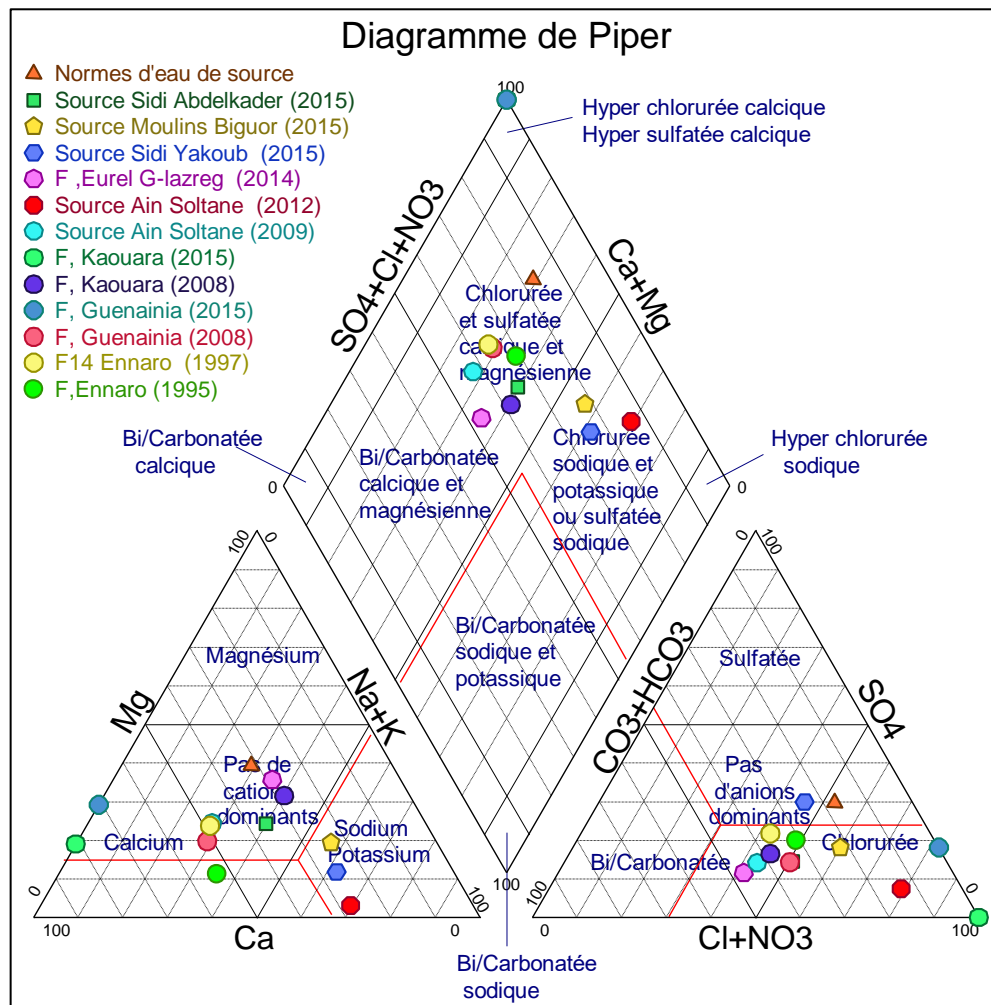


Figure 10 : Diagramme de Piper : faciès type chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique et Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

La qualité hydrochimique est très bonne (si l'on compare les résultats avec l'Arrêté interministériel du 22/01/2006 fixant les proportions d'éléments contenues dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisés et avec les normes OMS de Potabilité).

Du point de vue hydrogéologique, Cette nappe captive est contenue dans les grès fins mal consolidés, parfois à ciment argileux qui peut localement passer à des grès à ciment calcaire. Ces grès affleurent sur le flanc des Djebels Milar et Mouzaia et plongent sous les alluvions de la plaine des Bordjias. L'épaisseur de ces grès de 25 à 100 m sont une succession de couches quaternaires argileuses en charge de la nappe.

Il est souhaitable de consolider cette analyse avec plus d'échantillons répartis sur toute l'étendue de cette nappe pour confirmer ces résultats et détailler davantage l'analyse hydrogéologique de cet aquifère.

Forage Ennaro et EannaroF14

Les eaux des deux forages ont un faciès bicarbonaté sodique à calcique selon la présentation de Schoeller et les formules caractéristiques :

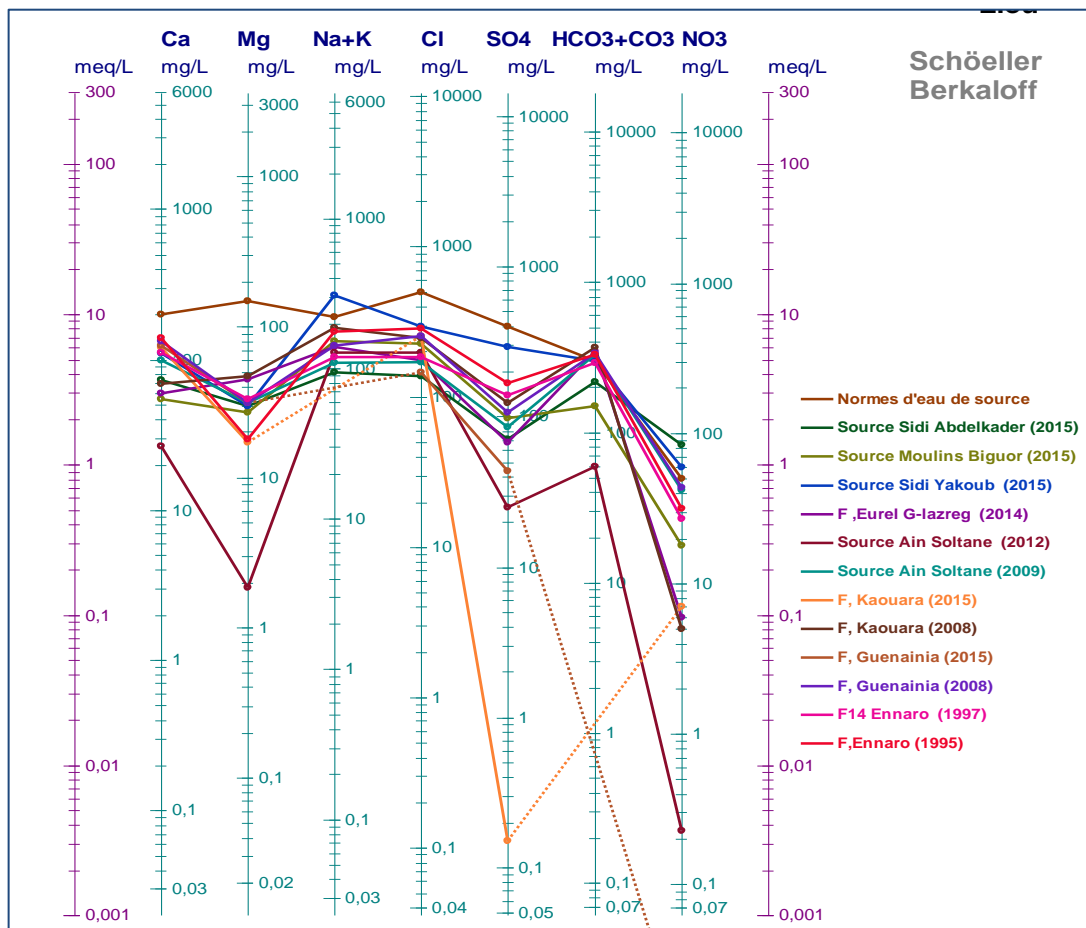


Figure 11 : Représentation Schöeller Berkaloff du faciès type chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique et Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésie

Forage Guenainia

Les eaux ont un faciès bicarbonaté sodique et calcique selon les formules et la présentation de schoeller :



Du point de vue hydrogéologique, les ressources hydriques dans la zone d'étude sus citée, comprennent une nappe libre d'une série stratigraphique très perméable du calabrien dont le rendement et la qualité chimique des eaux souterraines sont variables.

Eaux des sources

Source Ain Soltane

Si on compare les résultats des deux prélèvements du 2009 et de 2012, on peut constater une dégradation de la qualité hydrochimique.

C'est une eau dure avec un faciès hyper chloruré sodique et un taux de sulfate et de chlorure très élevé et qui présente un taux d'ammonium (selon les analyses qui ont faites par le laboratoire de contrôle de qualité en décembre 2012), ce dernier est un indicateur de pollution. Donc, un traitement de désinfection est nécessaire à l'hypochlorite de sodium ou de calcium, ceci qui provoque des changements des caractéristiques de cette eau. Dans ce cas, cette eau ne peut pas considérée comme une eau de source.



Figure ... - Source d'Aïn Soltane

Sources gala Sidi Abdelkader (Achaacha), Souce de sidi Lakhdar ben Khlouf (Sidi Lakhdar), Source Moilins Bigour et Sidi Yakoub (Mostaganem)

Les analyses physico-chimiques du 29 janvier 2015 ont montré que les eaux de ces sources sont aptes à la consommation humaine à l'exception de la source de Sidi Lakhdar qui présente un taux très élevé des chlorures (773.9 mg/l) qui dépasse les normes d'eau de source de l'arrêté interministériel (500 mg/l).

De point de vue bactériologique, les eaux de ces sources objet de ces analyses, ont une mauvaise qualité vue la présence des streptocoques fécaux qui parfois dépasse 20 C/100ml dans ces eaux et cela contrairement aux normes (00 C/100ml), donc il faudra un traitement de désinfection qui provoque par la suite un changement des paramètres cytochimiques.

pH de l'eau

L'eau acide est en effet agressive (corrosive) et peut libérer les métaux constitutifs des canalisations (en particulier à l'intérieure du réseau habitations), à savoir le fer, le cuivre, le plomb, le nickel, le chrome et le zinc (Hanon et Rouelle, 2011). Les normes édictées par la réglementation locale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 8,5. En comparant les résultats obtenus (Tableau 9) lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude à ceux de la grille normative, il ressort que leur pH est conforme aux normes (7,42 à F6.Enaro et 8,5 à F8.Mezagran)

Tableau 9 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

Point d'eau	pH	Température (° C)	Ec (µS.cm ⁻¹)
Norme OMS	6,5-8,5	25	1000
P1.Fornaka	7,56	21,4	1140
P2.Fornaka	7,98	11,3	1476
F5.Enanro	7,93	21	1220
F6.Ennaro	7,42	20	1324
F4.Kheir-eddine	7,76	19	1466
F5.Hassi Maméche	7,88	20	1863
F6.Sayada	7,64	19	1587
F7.Stidia	7,56	18	3360
F8. Mazagran	8,5	17	1620
F9.Tidjdid	8,20	11,5	2150
F10.Bougirat	7,5	18,20	1816

Conductivité électrique

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La classification des eaux en fonction de la conductivité électrique montre que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans le site F6.Stidia (964 $\mu\text{S}/\text{cm}$) durant le période d'études, est un eau ne dépasse pas les normes de l'OMS (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Par contre pour les autres points d'eaux (P1.fornaka ; P2. Fornaka ; F1 Enaro ; F2 Enaro ;F3 Khir-eddine ; F4. Hassi Maméché ; F5. Sayada ; F7. Mezagran ; F8. Tidjdid ; F9.Bougirat) on enregistre des valeurs plus élevées (e1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ce phénomène de minéralisation est probablement du a la nature lithologique des terrains (sol).

Température

Selon **Chapman & Kimstach [1996]**, La température de l'eau est un facteur écologique très important qui régit pratiquement la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Cette température agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [W.H.O, 1987].

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS, l'eau est excellente lorsque la température est inférieure à 25°C et médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C. La température mesurée dans les échantillons d'eau prélevés varie entre 11.3 et 21.4 °C (tableau 8), ces valeurs sont inférieures à 25°C, ceci nous ramène à dire que les échantillons d'eaux analysés sont du point de vue thermochimique en équilibre.

Paramètres bactériologiques

Les paramètres microbiologiques (Tableau 9 et figure 12) montrent que seule la source de Gala à Achaacha qui est contaminée par les streptocoques fécaux, ce qui laisse supposer que la situation n'est pas grave mais qu'il est important de consolider des mesures préventives pour éviter une contamination plus sévère dans l'avenir.

Tableau 9 - Résultats de l'analyse bactériologique

Caractéristiques bactériologiques	Streptocoques fécaux /100 ml
Normes d'eau de source (Arrêté du 22/01/2006)	0
Source Gala (Achaacha) 29/01/2015	10
Forage Kaouara (El Hassiane) (07/10/2015)	0
Forage Guenainia (Bouguirat) (06/10/2015)	0

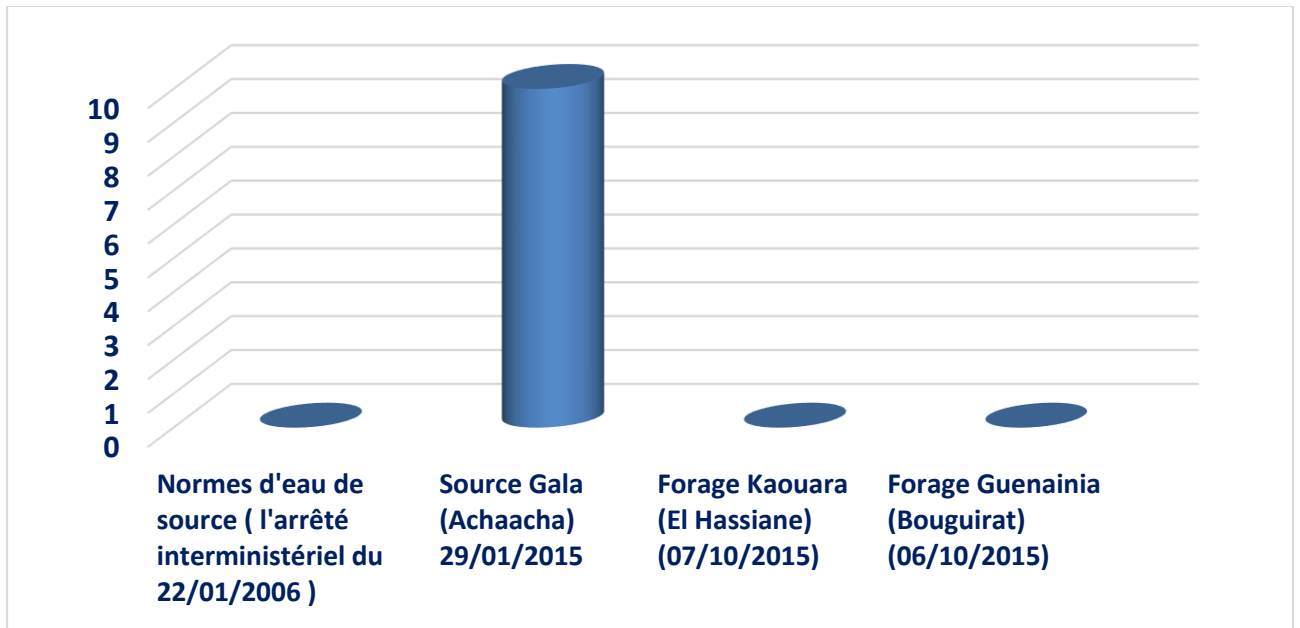


Figure 12 : streptocoques fécaux / 100 ml

Conclusion

Les échantillons d'eau souterraine de la nappe de la région nord-ouest du plateau de Mostaganem sont classés comme dures et modérément potables. Selon les paramètres hydro chimiques et l'indice d'échange de base des échantillons prélevés, l'eau de cette région possède un caractère de type bicarbonate calcique.

Les eaux souterraines en s'écoulant vers les régions sud-ouest, prennent rapidement un faciès chlorure sodique. La nature lithologique des terrains encaissants influe énormément sur la composition chimique des eaux souterraines.

La conductivité élevée dans les zones limites du plateau de Mostaganem est la conséquence de l'enrichissement en sels de ces eaux à la suite des réactions d'altération et d'érosion ainsi qu'aux phénomènes d'évapotranspiration de la nappe.

Les échantillons d'eaux analyses sont beaucoup plus aptes pour les utilisations ménagères et pour l'irrigation que pour la consommation humaine.

Cette étude préliminaire pourrait déclencher ultérieurement dans une perspective dynamique à la fois dans le temps et dans l'espace, une étude d'appréciation des modifications de la composition physico-chimique des eaux du plateau de Mostaganem et ce en liaison avec des différents facteurs; pluviométrie, lithologie, hydrologie...etc...) pour avoir une vision globale des caractéristiques de ressources en eau du plateau de Mostaganem.

Références bibliographiques

(BNED HANON M., ROUELLE A. (2011). Le pH de l'eau de distribution, Portail environnement de Wallonie, Belgique.

A.Bainche, Etude hydrogéologique du plateau de Mostaganem, Thèse de magister, Univ.Es-senia, Oran, Algérie, 1994.

ADAM J.W.H. (1980).Health aspects of nitrate in drinking-water and possible means of denitrification (literature review), Water SA, 6, 79.

Afnor, Recueil des normes françaises, Eaux-Méthodes d'essai, Paris, France, 1982.

American Water Works Association. [AWWA]. 2000. AWWA standard for lead (ANSI/AWWA), September 1, 2000.

BEATSON, C.G. (1978). Methaemoglobinaemia-Nitrates in drinking water, Environ. Health, 86, 31.

C.H.Ward, W.Giger and P.L.MC Carty, Ground water quality, 1 st Edn, p 15. John WILEY & Sons, New York,1976.

Chapman, D., & Kimstach, V. 1996. Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.

ER , 1980). Analyse de l'organisation actuelle des coopératives (structures de l'OAIC)
F.Csaki and I. Endredi, Nitrate contamination of ground waters in Hungary, in quality of ground waters, addited by W.V.duijendooden, P. Glasbergen and H.V.Lelyveld,pp.89-94Elsevier

G. Castany, Principes et méthodes de l'hydrogéologie, éd dunod, Paris, France, 1982.
RL.Nace, Hydrology,In Water ressources and pollution control, edited by H.W. Gehm and J.I. Bregman. Chap.1.Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1976

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Coll. 2009. L'analyse de l'eau, 9ème édition. DUNOD (éditeur), Paris, France.1579 p.

WEINBERG, J.M. (1986). Fluid and electrolyte disorders and gastrointestinal diseases, Dans : Fluids and electrolytes, J.P. Kokko et R.L. Tanner (dir. de publ.), W.B. Saunders Co., Toronto

WHO (World Health Organisation), Guideline for drinking water quality, Vol.1 (2 and) recommendation, Geneva(2010)

World Health Organization [WHO]. 1987. Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP. Water Treatment Solutions <http://www.lenntech.fr/data-perio/cd.html>