



Université d'Oran 2

Faculté des sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydrogéologie

Thème :

**Approche d'étude pour l'évaluation du risque
environnemental impactant une nappe d'eau souterraine :
Cas de l'usine métallurgique "Simas"
(Zone industrielle de Hassi Ameur, Oran, Algérie)**

Présenté par

DJBRIL SOUMAILA Issa

SOUMANA SOUNNA Amadou

Soutenu le 05 novembre 2020 devant le jury composé de :

Mr. BAICHE Abdel kader	M.A.A	Université d'Oran	Président
Mr. HASSANI Moulay Idriss	Professeur	Université d'Oran	Encadreur
Mm. ABLAOUI Halima	M.A.A	Université d'Oran	Examinatrice

Remerciements

Un très grand merci à **ALLAH** qui est toujours présent avec nous dans le bonheur et dans le pire.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué arduement à la réalisation de ce travail. Notre sincère remerciement à l'endroit de **Mr. Hassani Moulay Idriss**, pour sa patience, sa disponibilité et pour nous avoir encadré et orienté pour la réalisation de ce mémoire.

Notre remerciement à **Mr. BAICHE Abdel kader** de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

Nous remercions également **Mm. ABLAOUI Halima** d'accepter d'être Examinatrice de ce travail.

Nos sincères remerciements à nos enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leur écrits, leur conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nos remerciements à toute l'équipe pédagogique du département de géologie au sein de la faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers de nous avoir transmis une bonne formation.

A tous ces intervenants, nous exprimons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicace 1

Ce travail n'a pas pu être réalisé sans l'appui et l'effort fournis par les personnes chères à nos cœurs, c'est pour cela nous déduisons en premier temps ce modeste travail à nos chers parents.

A toute la grand famille DJIBRIL SOUMAILA et SOUMANA SOUNNA

Dédicace 2

Je dédie ce travail à mon père Elhadj DJIBRIL SOUMAILA et à ma mère Hadjia HADIZA ALHOUSSEINI qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A la mémoire de mon frère aîné Ousseini et de ces camarades tombés sur le champ d'honneur.

A mon petit frère Mohamed et à mes deux adorables sœurs, Hassana et Aminatou.

A mes neveux Aboubacar et Moudassirou.

A mes grands-parents et à toute la famille ALHOUSSEINI MAIGA.

A tous mes amis particulièrement Abdoul Aziz dit Avoka et à Chaibou Nombré.

Un grand merci pour leurs amours et leurs encouragements.

(Djibril Soumaila Issa)

Dédicace 3

A ma chère mère décédée Hadjia Aissa Tinni, à mon père Soumana Sounna, également à hadji Dina, à mes frères et sœurs qui de loin m'ont soutenu par divers moyens afin d'accomplir dans les meilleures conditions mes cinq ans de cursus universitaire.

(Soumana Sounna Amadou)

Résumé :

Les zones industrielles sont des zones d'activités prévues pour des usages industriels concentrés. Les activités industrielles menés sur ces zones sont importantes pour l'activité économique mais peuvent constituer des problèmes majeurs en termes d'atteintes environnementales. Le présent travail traite de cette thématique en proposant une approche d'étude pour l'évaluation du risque environnemental pouvant impacter une nappe d'eau souterraine par les déchets générés et stockés au niveau de l'usine métallurgique SIMAS située dans la zone industrielle de Hassi Ameer, implantée près de la ville d'Oran (Algérie).

La première étape de ce travail a permis de synthétiser les connaissances relatives au cadre physique de la zone d'étude précisant sa situation géographique, ses caractéristiques morphologiques, climatologiques, géologiques et hydrogéologiques ainsi que le contexte hydrochimique en relation avec les critères de la qualité des eaux du secteur. Sur le plan hydrogéologique, l'ensemble géologique Astien-Calabrien constitue sous la plaine de Hassi Ameer un réservoir aquifère contenant une nappe libre dont le substratum est constitué par les marnes du Miocène supérieur ou du Pliocène inférieur. Du point de vue piézométrique, cette nappe est de type radial, à écoulement de direction Nord-ouest/Sud-est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Ameer. L'étude hydrochimique a caractérisé les principaux paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique. La cartographie hydrochimique a permis de rendre compte de l'évolution spatiale de certains éléments majeurs. Une relative forte minéralisation s'observe au niveau central de la zone industrielle.

Le deuxième chapitre a caractérisé la vulnérabilité intrinsèque des eaux de la nappe à la pollution. Celle-ci s'est appuyée sur une approche cartographique par application de la méthode GOD. Deux classes de vulnérabilité ont été identifiées. Une zone à forte vulnérabilité qui occupe la plus grande partie de la plaine et de la zone industrielle, et une classe à vulnérabilité modérée qui occupe un espace localisé dans les zones agricoles situées au Nord et à l'Est de la zone industrielle.

En troisième chapitre, il a été récapitulé l'historique de l'implantation de l'unité métallurgique SIMAS. Une évaluation a été faite, des principales séquelles environnementales potentiellement générées par l'unité Simas. Il s'en est suivi une prise en considération des caractéristiques du milieu récepteur : sol, sous-sol (zone non saturée-ZNS) et zone saturée (ZS). Parallèlement, une autre évaluation a été faite du contexte hydrodynamique de la zone saturée, essentiellement la direction d'écoulement de la nappe

ainsi que gradient hydraulique et la perméabilité de la zone saturée qui déterminent la vitesse de transport du polluant dissous (panache) sous l'effet du déplacement de l'eau (transport convectif). En dernier, la carte du risque environnemental a été établie cartographiquement par superposition de la carte de vulnérabilité intrinsèque, avec positionnement du lieu du potentiel aléa (zone de stockage), avec la carte piézométrique du secteur. En tenant compte de la direction d'écoulement de la nappe sous de l'usine SIMAS, seules la direction prévisible et la vitesse apparente (et non réelle) d'un éventuel panache de pollution, à niveau de risque unique, ont été proposées. Quant à la forme et à l'extension de ce panache, elles ne sont présentées qu'à titre indicatif, à défaut d'avoir pu disposer des données nécessaires à cause des conditions particulièrement contraignantes de réalisation pour cette étude : période de confinement due à la pandémie du Covid 19.

Mots-clés : Environnement, aquifère, pollution, vulnérabilité, aléa, panache, carte de risque.

Summary:

Industrial zones are areas of activity intended for concentrated industrial uses. The industrial activities carried out in these areas are important for economic activity but can constitute major problems in terms of environmental damage. This work deals with this theme by proposing a study approach for the assessment of the environmental risk that can impact a groundwater table by the waste generated and stored at the SIMAS metallurgical plant located in the industrial zone of Hassi Aneur, located near the city of Oran (Algeria).

The first stage of this work made it possible to synthesize the knowledge relating to the physical framework of the study area specifying its geographical location, its morphological, climatological, geological and hydrogeological characteristics as well as the hydro-chemical context in relation to the criteria of the sector waters quality. From a hydrogeological point of view, the Astien-Calabrian geological complex constitutes an aquifer reservoir under the Hassi Aneur plain containing a free water table whose substratum consists of marls from the Upper Miocene or Lower Pliocene. From the piezometric point of view, this sheet is of radial type, with flow in a North-West / South-East direction, slightly converging towards the sector of the agglomeration of Hassi Aneur. The hydro-chemical study characterized the main physico-chemical parameters of groundwater water. Hydro-chemical mapping has made

possible to account the spatial evolution of certain major elements. Relatively strong mineralization is observed at the central level of the industrial zone.

The second chapter characterized the intrinsic vulnerability of groundwater to pollution. This was based on a cartographic approach by applying the GOD method. Two classes of vulnerability have been identified. A high vulnerability zone which occupies most of the plain and the industrial zone, and a moderate vulnerability class which occupies a space located in the agricultural zones located to the north and east of the industrial zone.

In the third chapter, the history of the implantation of the SIMAS metallurgical unit has been recapitulated. An assessment was made of the main environmental consequences potentially generated by the SIMAS unit. The characteristics of the receiving environment were taken into consideration: soil, subsoil (unsaturated zone-USZ) and saturated zone (SZ). At the same time, an evaluation was made of the hydrodynamic context of the saturated zone, essentially the direction of flow of the water table as well as hydraulic gradient and the permeability of the saturated zone which determine the speed of transport of the dissolved pollutant (panache) under the effect of water displacement (convective transport). Lastly, the environmental risk map was established cartographically by superimposing the intrinsic vulnerability map, with positioning of the location of the hazard potential (storage area), with the piezometric map of the sector. Taking into account the direction of flow of the water table under the SIMAS plant, only the foreseeable direction and the apparent (and not real) speed of a possible panache pollution, at a single risk level, were proposed. As for the shape and the extension of this panache, they are presented only as an indication, in the absence of having been able to have the necessary data because of the particularly restrictive conditions for the realization of this study: period of confinement due to the Covid 19 pandemic.

Keywords: Environment, aquifer, pollution, vulnerability, hazard, panache, risk map.

Tables des matières

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : Cadre physique de la zone d'étude.....	02
I. Localisation géographique	02
II. Aspects morphostructuraux	03
II.1. Contexte topographique	03
II.2. Le réseau hydrographique	04
II.3. Cadre climatique	05
II.3.1. Etude de la pluviométrie	05
II.3.2. Etude de la température.....	08
II.3.3. Calcul de l'indice climatique	09
III. Cadre géologique du secteur d'étude	10
III.1. Lithostratigraphie du secteur	12
III.1.1. Formations anté-nappes	12
III.1.1.1. Le Permo-Trias	12
III.1.1.2. Le Jurassique	12
III.1.1.3. Le Crétacé	13
III.1.2. Formations post-nappes	13
III.1.2.1. Le Miocène	13
III.1.2.2. Le Pliocène	14

III.1.2.3 Le Plio-Pléistocène "Calabrien"	14
III.1.2.4. Le Pleisto – Holocène.....	15
III.2. Aperçu tectonique.....	15
IV. Cadre hydrogéologique général	17
IV.1. Principaux aquifères autour de la région de Hassi Ameer.....	17
IV.1.1. Aquifère de l’Astien	18
IV.1.2. Aquifère des grès lumachelliques du Calabrien	18
IV.2. Contexte hydrogéologique de la nappe de Hassi Ameer	19
IV.2.1. Piézométrie de la nappe	19
IV.2.2. Paramètres hydrodynamiques	20
IV.2.2.1. Transmissivité	20
IV.2.2.2. Perméabilité.....	21
IV.3. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe de Hassi Ameer.....	21
IV.3.1. Etudes des paramètres physiques.....	22
IV.3.1.1. le pH.....	22
IV.3.1.2. la température.....	22
IV.3.2. Etudes des paramètres chimiques.....	23
IV.3.2.1. La balance ionique.....	23
IV.3.2.2. La minéralisation.....	24
IV.3.2.3. Dureté des eaux	25
IV.3.3. Faciès hydrochimiques.....	25
IV.3.4. Evaluation de la qualité des eaux du secteur.....	27
IV.3.4.1. Potabilité des eaux.....	27
IV.3.4.2. Aptitude des eaux à l’irrigation.....	27
IV.4. Pollution des eaux de la nappe de Hassi Ameer	30
IV.4.1. Les différents types de pollution	30

IV.4.2. Analyse des éléments indicateurs de pollution dans le secteur d'étude	30
Conclusion.....	33

CHAPITRE II : Vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe de Hassi Aneur

Introduction	34
I. Notions générales et méthodologie.....	34
I.1. Notions de vulnérabilité.....	34
I.2. Types de vulnérabilité	34
I.2.1. Vulnérabilité intrinsèque	34
I.2.2. Vulnérabilité spécifique	35
I.3. Critères de vulnérabilité intrinsèque	35
I.4. Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité des aquifères	38
I.4.1. Présentation de la méthode G.O.D	39
II. Mise en œuvre de la méthode GOD	41
II.1. Acquisition et Description des paramètres G.O.D	42
II.1.1. Type d'aquifère (G)	42
II.1.2. Impact de la zone vadose (O)	42
II.1.3. Profondeur de la nappe (D)	43
II.2. Application et résultats	44
II.2.1. Type d'aquifère (G)	44
II.2.2. La zone non saturée (O)	45
II.2.3. Profondeur de la nappe (D)	46
II.2.4. Elaboration de la carte de vulnérabilité du secteur d'étude	47
Conclusion.....	48

CHAPITRE III : Etude du risque environnemental autour de l'usine SIMAS

Introduction.....	49
-------------------	----

I. Présentation de la zone industrielle de Hassi Ameur	49
II. Présentation de l'unité industrielle SIMAS (ex. ENCC, SN-Métal, SNS)	51
II.1. Historique de l'unité SIMAS.....	52
III. Les principaux déchets produits et stockés au sein de l'unité.....	53
IV. Principales séquelles environnementale potentiellement générées par l'unité Simas.....	55
V. Etablissement de la carte de risque environnemental induit par les déchets stockés au niveau de l'unité Simas	57
Conclusion.....	61
Conclusion générale	62
Références bibliographiques	65

Liste des Figures

Chapitre 1

Figure N°1 :	Localisation géographique de la zone industrielle de Hassi Aneur (Google Earth, 2020).....	02
Figure N°2 :	Cartes des grandes unités topographiques de la zone d'étude.....	04
Figure N°3 :	Carte pluviométrique de la région correspondant à la période de 1913-1963 (Chaumont M et Paquin C., 1971).....	05
Figure N°4 :	Précipitations moyenne mensuelle à la station d'Es-Sénia (1990-2008).....	06
Figure N°5 :	Précipitations moyennes annuelles (1990-2008).....	07
Figure N°6 :	Température moyenne mensuelle à la station d'Es –Sénia (1990-2008).....	08
Figure N°7 :	Indice d'aridité de Martonne relatif à la station d'Es-Sénia.....	10
Figure N°8 :	Log géologiques synthétique de la région d'Oran (Hassani M.I., 1987, extrait).....	11
Figure N°9 :	Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappe autour du Djebel Khar (B. Fenet, 1975).....	13
Figure N°10 :	Coupe géologique du forage Oravia (Boubkeri M., 2013).....	15
Figure N°11 :	Esquisse structural de l'oranie centrale selon Fenet B., (1975).....	16
Figure N°12 :	Schéma illustrant la structure de la région d'étude (in Haddar L, 1986).....	16
Figure N°13 :	Log hydrogéologique générale de la région (Boubkeri M., 2013).....	18
Figure N°14 :	Carte piézométrique du secteur d'étude-février 2012(Boubkeri M., 2013).....	20
Figure N°15 :	Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude.....	24

Figure N°16:	Représentation sur le diagramme de Riverside.....	29
Figure N°17:	Carte des teneurs en nitrates (mg/l) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).....	32
Figure n°18:	Carte des teneurs en manganèse (mg/l) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).....	32

Chapitre 2

Figure N° 19:	Méthode GOD pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères à la contamination (Foster S., 1987).....	40
Figure N° 20 :	Restitution cartographique de l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères par la méthode GOD (Foster & al. 2005).....	41
Figure N° 21 :	Niveau des aquifère en fonction des type de matériaux (Foster S., 1987).....	43
Figure N° 22 :	Carte indicielle du paramètre du type d'aquifère (G) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).....	44
Figure N° 23 :	Carte indicielle du paramètre "impact de la zone vadose" (O) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).....	45
Figure N°24 :	Carte indicielle du paramètre "profondeur" (D) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).....	46
Figure N° 25 :	Carte finale de vulnérabilité à la pollution de la région de Hassi Ameer établie par la méthode GOD (Boubkeri M., 2013).....	47

Chapitre 3

Figure N° 26 :	Vue aérienne de la zone industrielle de Hassi Ameer (Boubkeri M., 2013) ...	49
Figure N° 27:	Plan parcellaire actuel de la zone de Hassi Ameer, montrant le plan de masse polygone de l'unité SIMAS (in Boubkeri M., 2013).....	51
Figure N° 28 :	Vue de détail de l'unité SIMAS (google Earth, mai 2020).....	52
Figure N° 29 :	Esquisse représentant les contours de l'unité SIMAS et l'emplacement de la	

	zone de stockage des déchets.....	54
Figure N° 30 :	Fûts métalliques de déchets stockés à l'intérieur de l'unité SIMAS.....	55
Figure N° 31 :	Processus de migration de substances polluantes dans le milieu souterrain (produit plus léger que l'eau).....	56
Figure N° 32 :	Schématisation de la cartographie des facteurs de risque de pollution des nappes d'eau souterraine.....	58
Figure N° 33 :	Carte positionnant l'emplacement de l'aléa, la piézométrie de la nappe et les classes de vulnérabilité.....	60
Figure N° 34 :	Carte de risque environnement représentant la direction d'un éventuel panache de pollution en aval de l'unité SIMAS.....	60

Liste des Tableaux

Chapitre 1

Tableau N°1 :	Précipitation moyenne mensuelle pour la période 1990-2008(données O.N.M).....	06
Tableau N°2 :	Variabilité des précipitations annuelle à la station d'Es- Sénia (1990-2008)..	07
Tableau N° 3 :	Température moyenne mensuelle à la station d'Es-Sénia à la période : 1990-2008, (données O.N.M).....	08
Tableau N° 4 :	Classification des climats proposée par De Martonne.....	09
Tableau N° 5 :	Les données piézométriques des points d'eau étudiés (Boubkeri M., 2013).....	19
Tableau N°6 :	Valeurs de perméabilité formations superficielles du secteur (Agep/Sogreah, 1984).....	21
Tableau N° 7 :	Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons prélevés des eaux de la nappe.....	22
Tableau N° 8 :	Résultats des analyses Chimiques des eaux de la nappe en r (méq/l).....	23
Tableau N° 9 :	Valeur de l'erreur sur chaque analyse.....	24
Tableau N° 10 :	Valeurs calculés du TH.....	25
Tableau N° 11 :	Les classes des eaux selon la dureté.....	25
Tableau N° 12 :	Faciès caractéristiques des échantillons prélevés.....	26
Tableau N° 13 :	Résultats des valeurs du SAR.....	28
Tableau N° 14 :	Classes d'alcalinité selon l'U.S.S.L (1954).....	28
Tableau N° 15:	Résultats des Analyses des éléments indicateurs de pollution organique en mg/l.....	31
Tableau N° 16 :	Résultats des analyses des éléments indicateur de pollution métallique en mg/l.....	31

Chapitre 2

Tableau N° 17:	Critères de vulnérabilité intrinsèque.....	35
Tableau N° 18 :	Principales méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Civita, 1993).....	39
 Chapitre 3		
Tableau N°19 :	Productions de l'industrie SIMAS ex. ENCC autour de l'année 1985.....	53

Introduction générale

Les ressources en eau souterraine constituent une source d'approvisionnement primordiale dans l'ensemble des régions du monde. Néanmoins, leur vulnérabilité vis à vis des diverses pollutions de surface est souvent compromise. A cet effet, leur protection contre les divers risques de contamination doit être assurée de façon d'abord préventive. Cela constitue un défi majeur pour les gestionnaires et exploitants de cette ressource.

La bonne protection qualitative de cette ressource, nécessite en premier lieu une connaissance détaillée de leur contexte hydrogéologique. Cela permettra d'évaluer d'autant mieux leur vulnérabilité environnementale aux diverses formes de pollution de surface. L'évaluation de cette vulnérabilité constitue l'étape première dans le processus de protection de cette ressource. La prochaine étape consistera à une évaluation des risques de pollution sous l'effet de différents aléas d'origine anthropiques

C'est cette approche qui est proposée dans la présente étude qui consistera à établir une carte de risque environnemental impactant une nappe phréatique, en contexte industriel. La nappe en question est celle de Hassi Aneur, qui s'étend à une dizaine de kilomètres à l'Est d'Oran. Au-dessus de cette nappe est établie une zone industrielle comprenant l'unité industrielle SIMAS qui active dans le domaine de la métallurgie. Cette étude traitera du risque environnemental, généré par la mise à la décharge de déchets au sein même de cette unité et pouvant potentiellement impacter les eaux de la nappe autour de la zone en question.

Le plan d'étude se base sur trois chapitres :

Le premier porte sur l'étude physique de la zone de Hassi Aneur, abordant les caractéristiques morphologiques, climatologiques, géologiques, hydrogéologiques ainsi que l'hydrochimie des eaux et la qualité des eaux caractérisant la nappe de Hassi Aneur.

Le deuxième chapitre traite de l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par une méthode à cotation numérique (système de classement RS) fondée essentiellement sur trois critères (GOD) : le type de nappe (Groundwater occurrence), le type d'aquifère en termes du facteur lithologique (Overall aquifer class) et la profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Enfin, le troisième chapitre vise l'établissement de la carte de risque environnemental autour de l'unité industrielle SIMAS induit par les déchets produits et stockés au sein de l'unité et les principales séquelles environnementales qu'elles peuvent potentiellement générer.

CHAPITRE I

Cadre physique de la zone d'étude

I. Localisation géographique :

L'unité Simas est établie au sein de la zone industrielle de Hassi Ameur qui se situe à environ 11 km à l'Est de la ville d'Oran. Cette zone industrielle longe la route nationale RN 11 Oran/Arzew et a été établie au niveau de la plaine de Sidi Ali qui s'intègre au Plateau des Hassis s'étendant entre Bir El Djir et Arzew. La zone industrielle occupe plus de 300 hectares (fig. n°1). Elle est limitée :

- au Nord-est, par l'agglomération de Hassi Ben Okba,
- au Nord et au Nord-ouest, par les collines de Hassi Ben Okba,
- au Sud-est, par l'agglomération de Hassi Ameur,
- à l'Ouest et au Sud-ouest, par les agglomérations de Douar Kharrouba et de Hassi Bounif.



Figure n° 01: Localisation géographique de la zone industrielle de Hassi Ameur (Google Earth, 2020).

II. Aspects morphostructuraux :

II.1. Contexte topographique :

Les unités topographiques du secteur se présentent en trois grands ensembles :

➤ **La plaine proprement dite de Sidi Ali :**

La plaine de Sidi Ali est située sur le plateau d'Oran-Arzew, avec une superficie totale ne dépassant pas les 1500 ha, elle s'allonge du Sud-ouest au Nord-est et fait partie d'une série de cuvettes topographiques bien marquées dans le paysage, appelées communément la plaine des Hassis.

➤ **Les reliefs qui dominent la plaine :**

Cette plaine de Sidi Ali est dominée :

- En son nord immédiat par les collines de la forêt de Hassi Ben Okba. Ces collines constituent une série de replats topographiques qui s'élèvent à une altitude maximale de 250 mètres. Son contact avec la plaine se fait par un talus au tracé disséqué et un commandement régulier de 100 mètres.

- A l'Est, par la colline de Koudiat Er Reha, assez large mais basse, d'une altitude maximale de moins de 150 mètres. Elle s'étend du Nord-ouest vers le Sud-est entre Hassi Ben Okba et Hassiane Touul, et sépare cette plaine du Lac de Telamine. Ce dernier s'allonge du Sud-ouest au Nord-est, l'altitude du fond du lac avoisine les 80 mètres.

- A l'Ouest et au Sud, par une série de petites collines aux altitudes modestes ne dépassant aussi les 150 mètres.

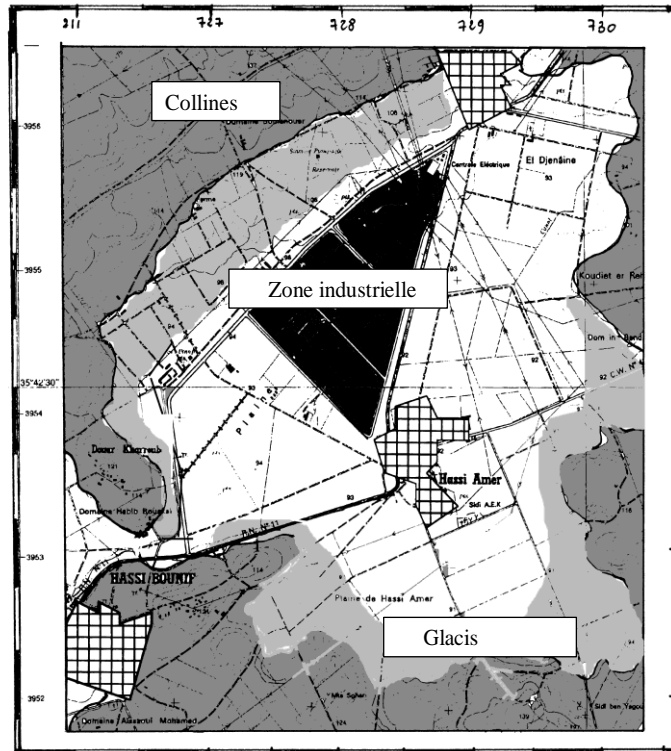


Figure n°02 : Carte des grandes unités topographiques de la zone d'étude.

➤ **Les glacis et les cônes de déjection du pourtour de la plaine :**

Les contacts de cette plaine avec les reliefs environnants se font systématiquement par l'intermédiaire de versants aux pentes douces : ce sont des glacis et des cônes de déjection qui se sont développés aux pieds des différents reliefs. Leur taille est liée à la vigueur des reliefs qui les dominent et leur longueur maximale ne dépasse pas les 500 mètres.

II.2. Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique actuel dans cette zone est limité, peu dense et faiblement organisé. Un chevelu hydrographique très réduit se développe dans les reliefs du Nord/Nord-Ouest. Plusieurs chaâbets comme Chaâbet El Houari, Chaâbet El Ma, etc. dévalent des reliefs de la forêt de Hassi Ben Okba vers la plaine, où les eaux de ruissellement viennent se perdre, à la faveur du fort amortissement de la pente, au niveau des glacis d'accumulation. L'écoulement est intermittent, entretenu par des crues, parfois brutales, lors de la saison pluviale.

II.3. Cadre climatique :

L'étude du climat de la région s'est basé sur l'étude de deux (2) paramètres climatiques qui sont : la pluviométrie et la température, enregistrées au niveau de la station météorologique d'Es-sénia au cours de la une période 1990-2008 (Boubkeri, 2013).

II.3.1. Etude de la pluviométrie :

La pluviométrie se définit par l'évaluation quantitative des précipitations, de par ses caractéristiques, sa nature (pluie, neige, grésil, brouillard), sa répartition, etc., en fonction d'une période et d'un secteur déterminés. Pour l'ensemble de l'Algérie du nord, les auteurs Chaumont et Paquin (1971) ont établi une carte de la pluviométrie annuelle se rapportant à la période (1913-1963). Au niveau de notre région d'étude, cette carte (fig. n° 03) indique que le secteur d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles comprises majoritairement entre 300 et 400 millimètres.

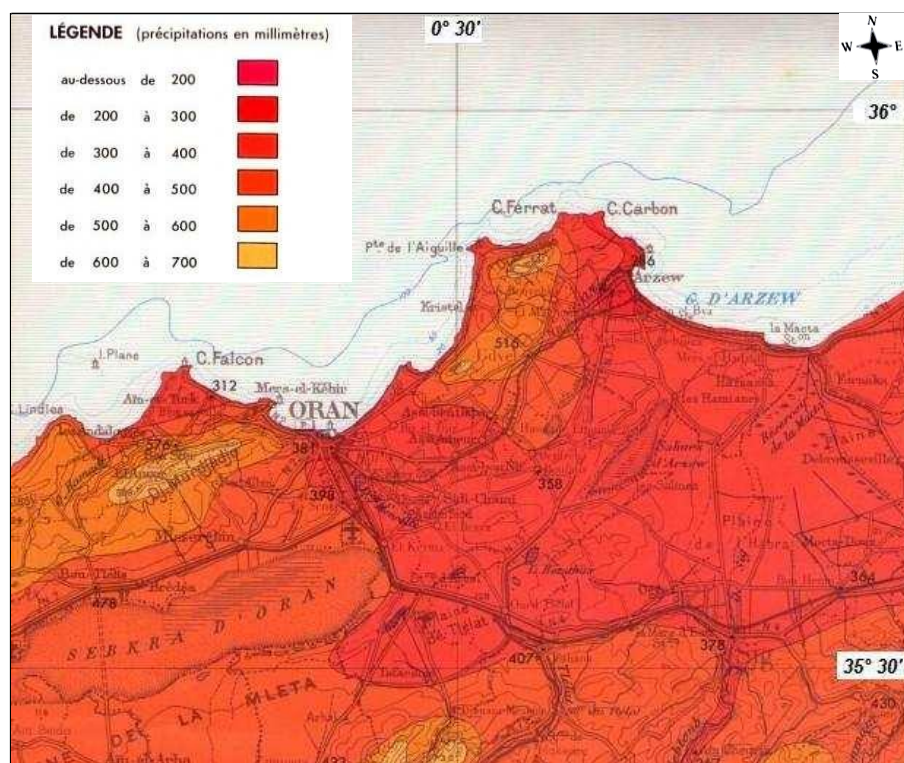


Figure n°03: Carte pluviométrique de la région correspondante à la période 1913-1963 (Chaumont M. et Paquin C. ,1971).

a. Précipitations moyennes mensuelles:

Les précipitations moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de l'aéroport d'Oran-Es-sénia (données ONM) sur la période 1990-2008 se présentent comme suit :

Tableau n° 01 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période 1990-2008 (données O.N.M).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
P (mm)	38	45	30	25	16	2.5	0.5	2.9	18	33	62	50	325

Les données du tableau n°1 et le tracé du graphe des précipitations moyennes mensuelles (fig. n°04) font ressortir distinguer deux périodes ; l'une peu arrosée de mai à septembre, l'autre pluvieuse, d'octobre à avril.

La quantité maximale de précipitations est de près de 62 mm au mois de novembre.

Le minimum est enregistré au mois de juillet : 0,5 mm.

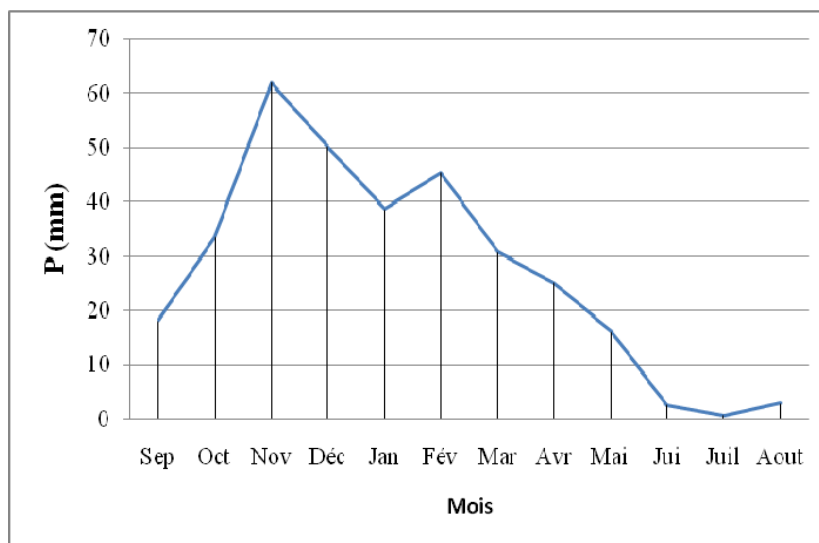


Figure n° 04 : Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Es-sénia (1990-2008).

b. Précipitations annuelles:

Les précipitations annuelles sont représentées dans le tableau n° 2 :

Tableau n° 02 : Variabilité des précipitations annuelles à la station d'Es-sénia (1990-2008).

P (mm)	Années
405	1990
234	1991
441	1992
313	1993
318	1994
313	1995
193	1996
205	1997
280	1998
294	1999
375	2000
415	2001
318	2002
313	2003
285	2004
337	2005
320	2006
362	2007
459	2008
325	Moy.An.

Les tableaux n° 01 et 02 (1990-2008) indiquent une précipitation moyenne annuelle égale à 325 mm.

Le graphe obtenu à partir des précipitations annuelles (fig. n°02) montre une variabilité interannuelle enregistrant un maximum de 459 mm en 2008 et un minimum de 193 mm en 1996.

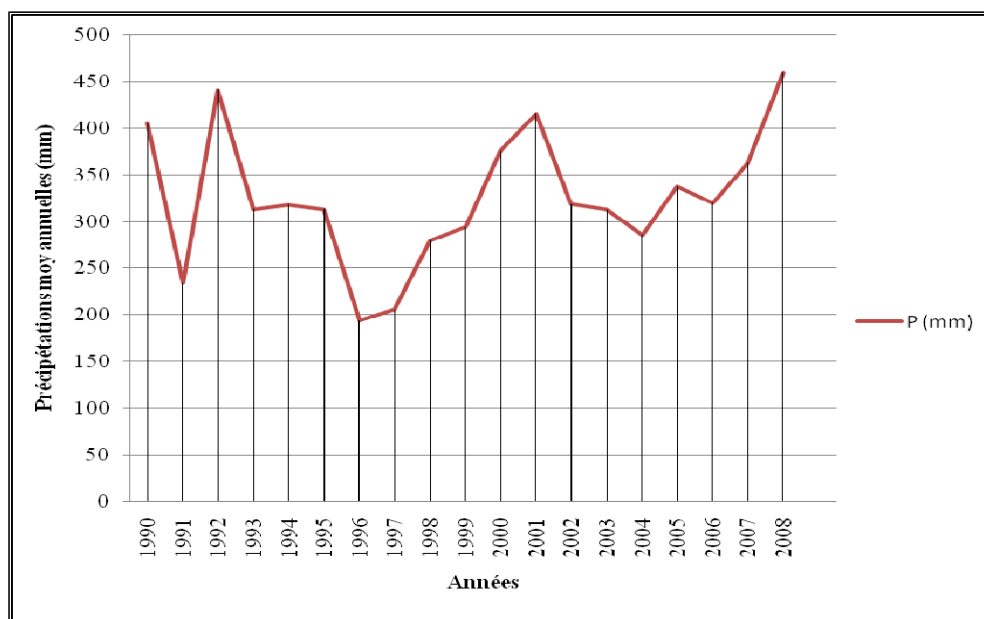


Figure n° 05: Précipitations moyennes annuelles (1990-2008).

II.3.2. Etude de la température :

L'étude de la température car constituant un paramètre climatique qui influe directement sur l'évaporation, la pression, le vent et l'humidité.

Les données des températures moyennes mensuelles, sont représentées dans le tableau n° 03.

Tableau n° 03 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Es-sénia, période : 1990-2008 (données O.N.M).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An.
T° moyenne °C.	12.93	13.54	15.02	16.65	19.49	22.57	25.28	26.31	24.26	20.74	16.62	14.24	18.97

La température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistré au mois d'août avec 26.31°C, et la plus faible au mois de janvier avec 12.93°C. La température moyenne annuelle étant de 18.97°C.

Le graphe de la figure n° 06 indique que la période froide (< 17°C) débute au mois de novembre et se termine en avril, alors que la période chaude commence au mois de mai et finit en octobre.

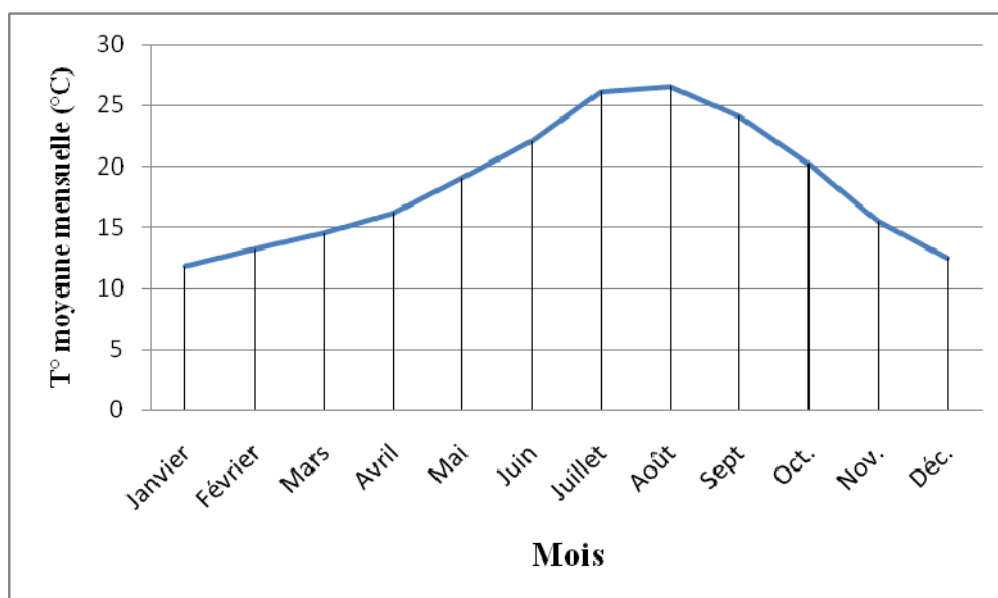


Figure n° 06: Températures moyennes mensuelles à la station d'Es-sénia (1990-2008).

II.3.3. Calcul de l'indice climatique :

Plusieurs formules empiriques permettent de calculer l'indice climatique qui permet la classification du type de climat qui conditionne entre autres les éléments du bilan hydrologique. Parmi ces méthodes :

- l'indice xéothermique de Bagnouls et Gaussen,
- l'indice d'aridité de De Martonne,
- l'indice de continentalité de Kerner "K", etc.

Le choix est porté sur celui proposé par De Martonne.

L'indice d'aridité de De Martonne tient compte de la température moyenne annuelle (en °C) et de la pluviométrie annuelle (en mm). Il est donné par la relation suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec: P = précipitation annuelle moyenne (mm).

T = température annuelle moyenne.

La classification proposée par De Martonne est la suivante (tableau n°04) :

Tableau n°04: Classification des climats proposée par De Martonne.

Valeur de "I"	<05	05 <I<7.5	7.5 <I<10	10 <I<20	20 <I<30
Type de climat	hyperaride	désertique	steppique	semi-aride	tempéré

Appliqué à la station d'Es-sénia, l'indice "I" = 325 / (18.97 + 10) I = 11.22

Après calcul de l'indice d'aridité et d'après les résultats obtenus de la figure 07, le climat de la région est de type semi-aride.

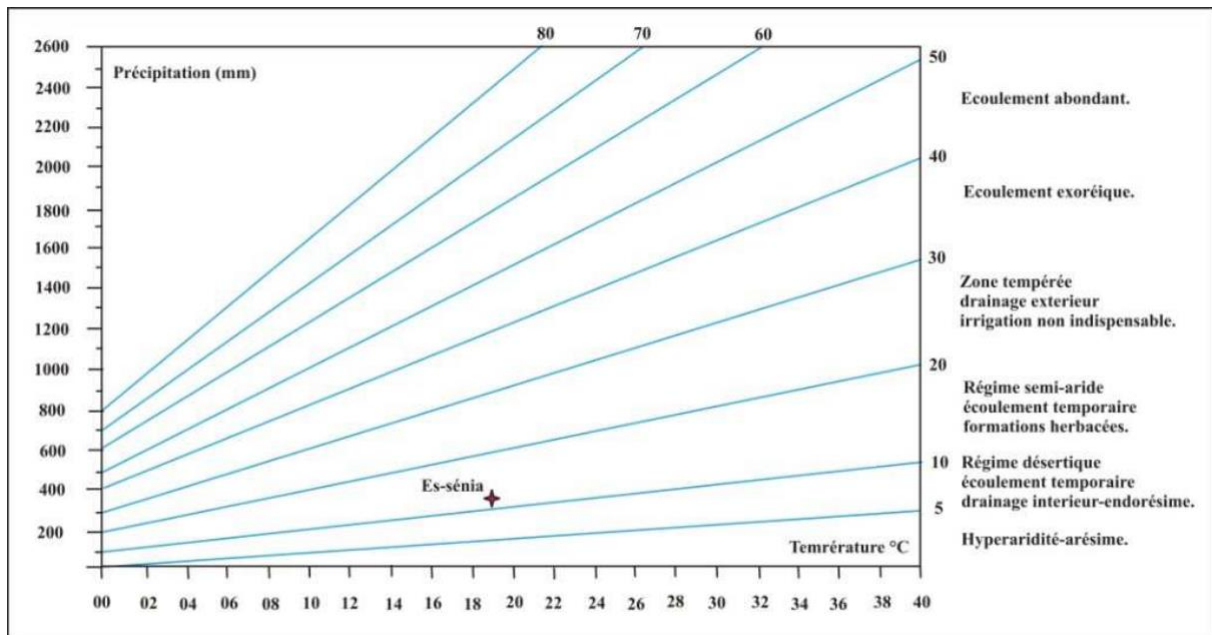


Figure n° 07: Indice d'aridité de De Martonne relatif à la station d'Es-sénia.

III. Cadre géologique du secteur d'étude :

Le secteur étudié est inclut dans le domaine géologique du "Littoral oranais" qui fait partie de la zone externe ou tellienne. Ce domaine s'allonge sur une centaine de kilomètres entre la partie occidentale du Djebel Murdjadjo, à l'ouest, et les Monts d'Arzew, à l'est. Il s'étend sur une largeur moyenne d'une vingtaine de kilomètres. Il comprend dans le sens de la longueur un groupe de horsts (djébel Murdjadjo, djébel Khar, monts d'Arzew) constitués essentiellement de terrains d'âge secondaire. Ces horsts, très tectonisés, correspondent au substratum anté à synchro-nappe (orogénèse alpine). Ils sont bordés au sud par des zones déprimées (plateaux d'Oran, de Bir El Djir, des Hassis, etc.), comblées d'une importante sédimentation post - nappe, constituée de terrains d'âge néogène et quaternaire.

Les travaux réalisés entre autres par : F. Doumergue (1912), Tinthoin (1948), A. Perrodon (1957), A. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1985), synthétisés par M.I. Hassani (1987), permettent de rendre compte du cadre géologique général. Ils distinguent deux grands ensembles sus-cités : le premier est anté à synchro-nappe et le second est post-nappe.

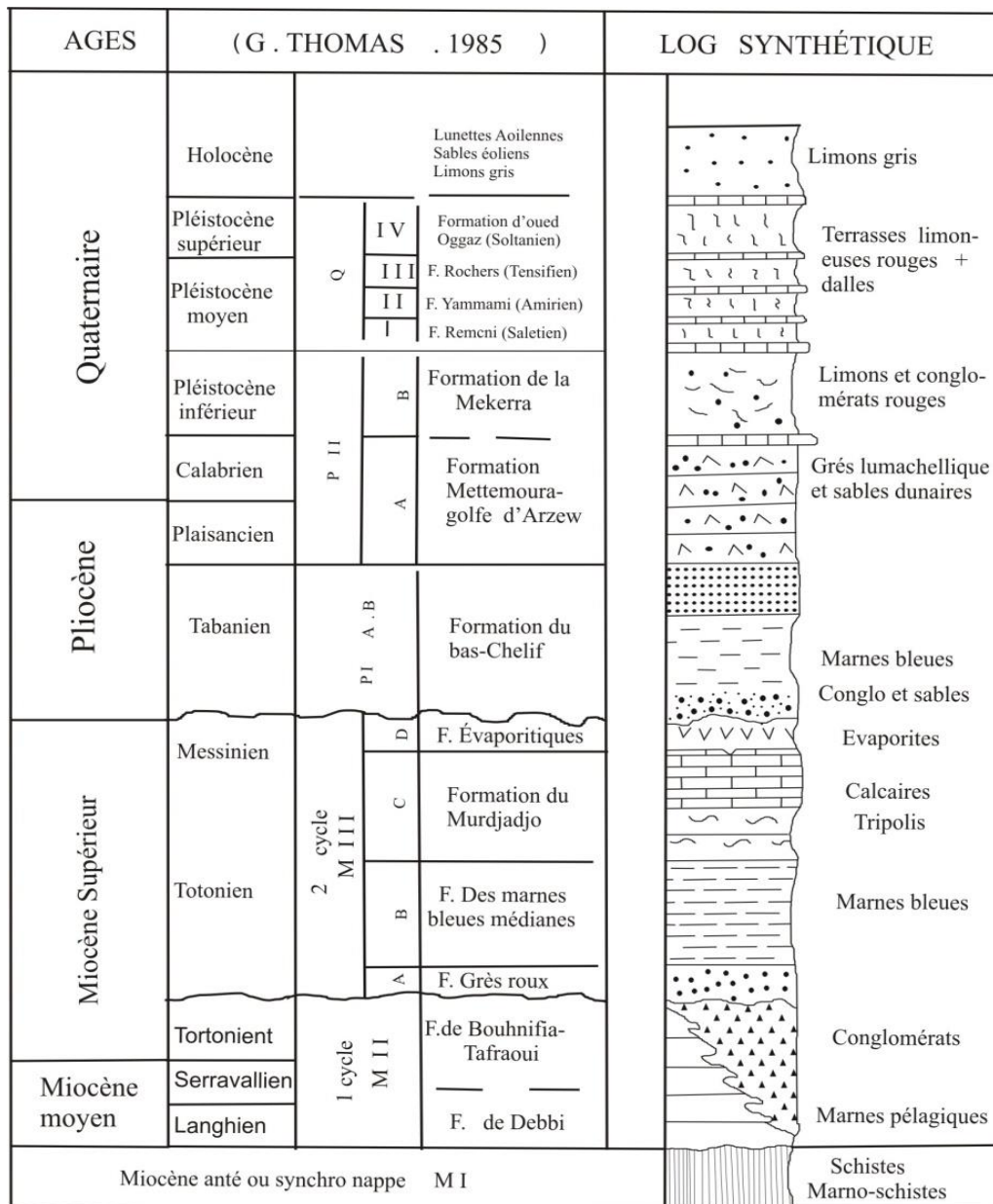


Figure n°08: Log géologique synthétique de la région d'Oran (Hassani M.I., 1987, extrait).

*** Le substratum anté à synchro nappe**

Il affleure au niveau du Djebel Khar (Montagne des Lions) et dans le Djebel Murdjadjo jusqu' à la région de Madagh, représenté par les massifs schisteux para-autochtones d'âge Jurassique et Crétacé.

*** Le remplissage post-nappe**

Il occupe les parties déprimées (basses) du domaine et est constitué par :

- **Un Miocène 1^{er} cycle (M II)**, constitué de 250 mètres de dépôts continentaux de marnes et conglomérats rouges, qui affleurent au nord, dans le bassin de Mers El Kebir et au sud dans les Monts de Tessala (région de Tafraoui-Aghbal).
- **Un Miocène 2^{ème} cycle (M III)**, constitué par :
 - Un niveau détritique de base formé de grès marins affleurant sommairement dans les zones hautes,
 - Des formations médianes constituées de marnes bleues qui prennent une grande extension sous le plateau d'Oran et dans les Monts de Tessala où ils peuvent atteindre 600 mètres d'épaisseur,

Des formations terminales, constituées au fond du domaine, par la série des tripolis et la série des gypses alors que dans le Djebel Murdjadjo, il y a passage latéral à des formations de bordure : c'est le faciès des calcaires récifaux qui prend une grande extension dans la région.

- **Un Pliocène inférieur et moyen 3^{ème} cycle (P1)**, affleurant dans les Djebels Djira et Debbi, au Sud d'El Braya, où des marnes bleutées à intercalations grès-gypseuses atteignent 100 à 200 mètres d'épaisseur,
- **Des formations Pleisto-holocènes 4^{ème} cycle (Calabrien)**, correspondant à un empilement de couches subhorizontales et argilo-sableuses ou limoneuses se raccordant sur les bords avec des sédiments devenant plus grossiers. Ce cycle est d'abord lumachellique ou conglomératique passe progressivement à des grès dunaires et représentent le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral Oranais.

III.1. Lithostratigraphie du secteur :

III.1.1. Formations anté-nappes :

III.1.1.1. Le Permo-Trias :

Il affleure au djébel Khar. Il est représenté par des schistes violacés à bancs de quartzites blancs et par des poudingues à dragées de Quartz.

III.1.1.2. Le Jurassique :

Il est représenté par des calcaires dolomitiques du Lias qui constituent des affleurements peu importants au nord-ouest de Gdyel et par des schistes et grès ardoise, brun rouge en surface, qui apparaissent en lambeaux sur le flanc sud du djébel Khar, recouvrant les schistes et les poudingues Permo-triasiques.

III.1.1.3. Le Crétacé :

Il est représenté par des schistes argileux brun violet au nord-ouest du djébel Khar (fig. n° 09).

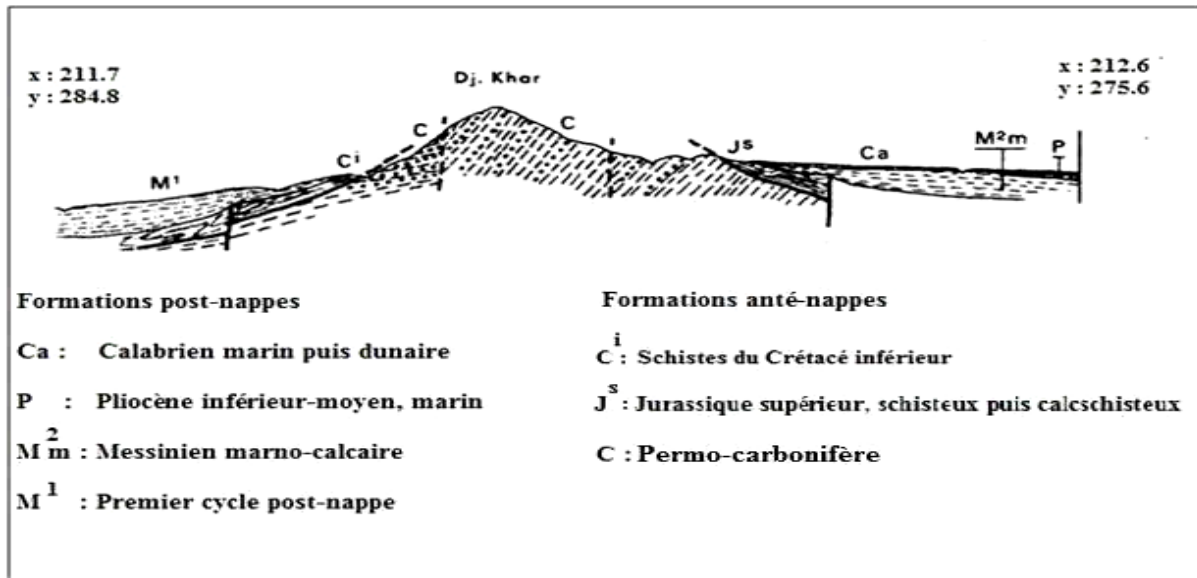


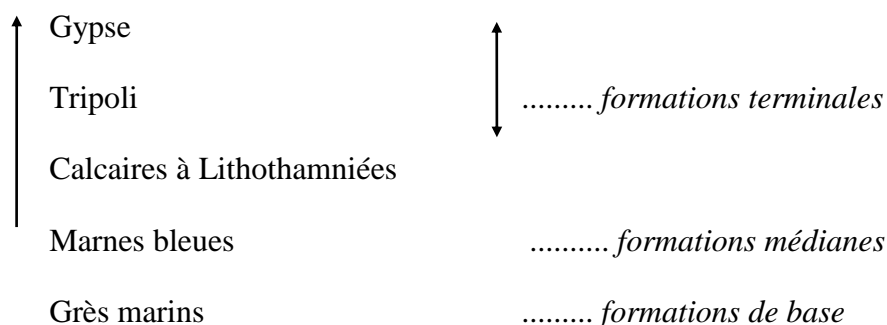
Figure n° 9 : Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappe autour du Djebel khar (B. Fenet, 1975).

Le Permo-trias, le Jurassique et le Crétacé, plissés et érodés, constituent le substratum de la région. Ils sont recouverts en discordance par diverses assises transgressives d'âge néogène, déposées au cours et après l'orogénèse alpine (post nappe).

III.1.2. Formations post-nappes :

III.1.2.1. Le Miocène :

Dans la région d'Oran, cinq formations géologiques ont été identifiées au sein du Miocène supérieur; c'est la succession classique du bassin du Chélif (A. Perrodon, 1957).



Sur le flanc sud du djébel Khar, le premier terme du Miocène supérieur, transgressif, est constitué par les marnes bleues à verdâtres, à grès micacées (mm). Elles affleurent au sud-ouest de la ferme du "domaine des lions". Les marnes bleues sont surmontées par des marno-calcaires, tendres, blanchâtres intercalés avec des bancs de "Tripoli et de lentilles de silex

(mt). Ces formations affleurent au fond des chaabets des collines du foret de Hassi Ben Okba (chaabet El Houari, chaabet El Ma, etc.). Le dernier terme du Miocène supérieur est représenté au sud de Hassian Ettoual (ex: Fleurus). Là, pointent des affleurements de marnes gréseuses gypsifères et des bancs de gypse massif de plusieurs dizaines de mètres ; des marno-calcaires à tripoli formant des bancs de un à deux mètres d'épaisseur s'intercalent au sein de ces formations.

III.1.2.2. Le Pliocène :

Dans la région d'Oran, le Pliocène inférieur et moyen, marin, est transgressif. Il est représenté par la succession classique des marnes bleues "plaisanciennes" et des grès "astiens" (A. Perrodon 1957). Le deuxième terme est reconnu en affleurement, au sud du secteur, dans le djébel Debbi. Il est représenté par des formations grèso-sableuses carbonatées, jaunes et très fossilifères (Lamellibranches, etc.). Ces formations peuvent atteindre cent à deux cent mètres d'épaisseur.

Dans le secteur étudié, cette formation affleure peu mais a été reconnue par quelques sondages de la région. Son épaisseur est variable, plus de quinze mètres à l'ouest de Hassi Ben Okba et dans les pointements au nord-ouest de Hassian Ettoual. A l'affleurement, ce grès calcaire est induré dans sa partie superficielle et devient tendre et friable dans les couches inférieures.

Plus au nord, le pliocène marin s'amincit et semble se biseauter. Les formations du Plio-Pléistocènes reposent directement sur les formations du Miocène supérieur.

III.1.2.3 Le Plio-Pléistocène "Calabrien" :

Dans la région du "Littoral oranais", cette formation représente le dernier épisode marin reconnu. Elle est discordante sur le Miocène supérieur. D'abord lumachelliques ou conglomératique, elle passe progressivement à des grès dunaires à stratification oblique et entrecroisée, souvent entre coupés d'argile continentale. Souvent la dissolution des éléments carbonatés a entraîné la formation d'argile rouge brique plus ou moins sableuse qu'on rencontre dans la partie supérieure du "Calabrien". Dans la majeure partie de la région, une croûte calcaire, parfois de deux mètres d'épaisseur, vient masquer le "Calabrien" et les formations antérieures.

Dans le secteur d'étude, cette formation est représentée par des grès coquilliers de couleur blanchâtre passant à une véritable lumachelle, très consolidée. Elle n'affleure pas, mais a été recoupée à faible profondeur et entièrement traversé par le forage de l'usine des œufs de l'ex Oravio, située à quelques centaines de mètres au nord de l'unité SIMAS.

La profondeur totale de ce forage est de soixante mètres (figure 10). Sous un mètre de sol limoneux et sableux, le sondage a traversé vingt mètres d'une formation gréseuse fossilifère,

constituée d'un grès brun rouge à ciment carbonaté, à intercalations de niveaux durs et tendres, puis passage de débris coquilliers et grès jaune à Hélix.

Sous cette formation ont été recoupés vingt autres mètres de grès marneux gris. De quarante à soixante mètres de profondeur ont été recoupés des marnes bleuâtres à grisâtres.

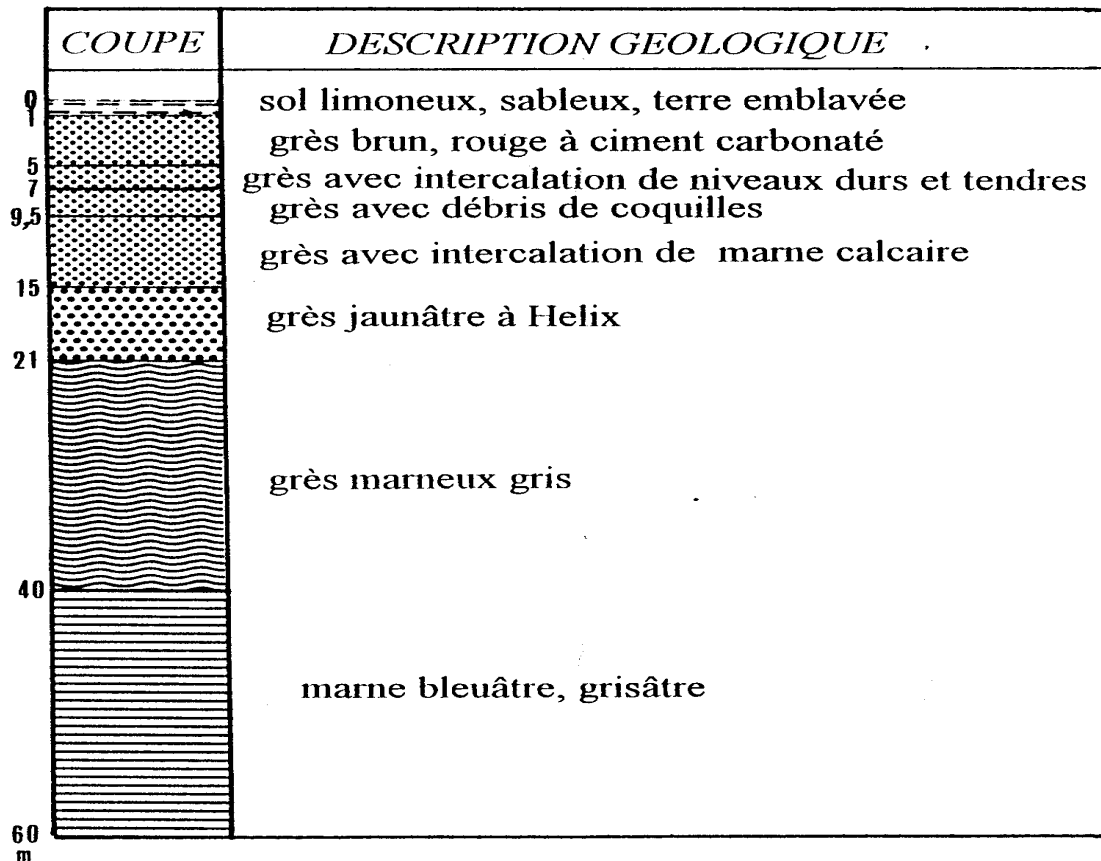


Figure n° 10 : coupe géologique du forage Oravio (Boubkeri M., 2013).

III.1.2.4. Le Pleisto– Holocène :

Dans la zone de piémont entre les collines du foret de Hassi Ben Okba et la plaine de Sidi Ali s'étend une bande des glacis d'accumulation formés d'éléments grossiers provenant du démantèlement des reliefs. Ces glacis sont raccordés à l'aval à un empilement des couches formées de limons sableux, argileux ou caillouteux, rubéfiés. La majeure partie de la plaine de Sidi Ali est occupée par des alluvions récentes, limoneuses, recouvrant les formations "calabriennes". Un mince encroûtement calcaire vient masquer ces alluvions, en surface.

III.2. Aperçu tectonique :

La tectonique de la région est contrôlée par des phases de cisaillement et de collision qui engendrent une tectonique polyphasée. Depuis le dépôt des formations post nappes, la

compression est prédominante (Thomas G., 1985). Cette tectonique dessine les traits essentiels de la structure actuelle et s'exprime selon les directions principales N 10-20°, N 50-70° et N 140 (fig. n°11).

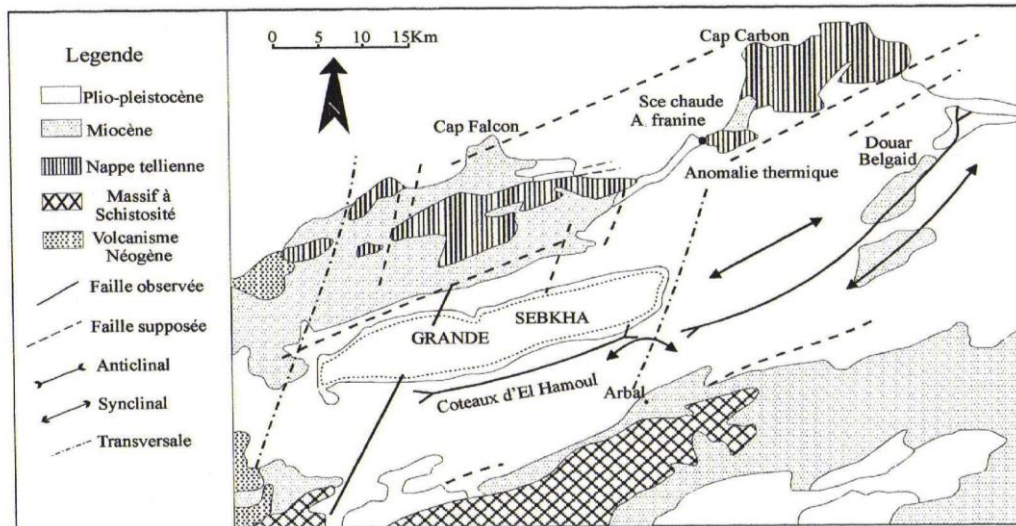


Figure n° 11 : Esquisse structurale de l'Oranie centrale selon Fenet. B, 1975.

Le Djébel Khar, comme le reste des massifs littoraux, correspond à une zone de horsts. L'apparition des horsts s'est produite au Miocène supérieur. Le rejet des horsts s'est poursuivi par la suite et a contribué au développement d'ondulations tectoniques de faible amplitude, formées de plis simples tels ceux affectant les couches du Pliocène de l'anticlinal du djébel Debbi (entre Boufatis et El Braya). Des failles normales séparent, au sud, les horsts des terrains néogènes et quaternaires du plateau d'Oran et du plateau des Hassis. Ces terrains sont presque horizontaux au niveau des plateaux et affectés de plis simples au niveau des collines (fig. n° 12).

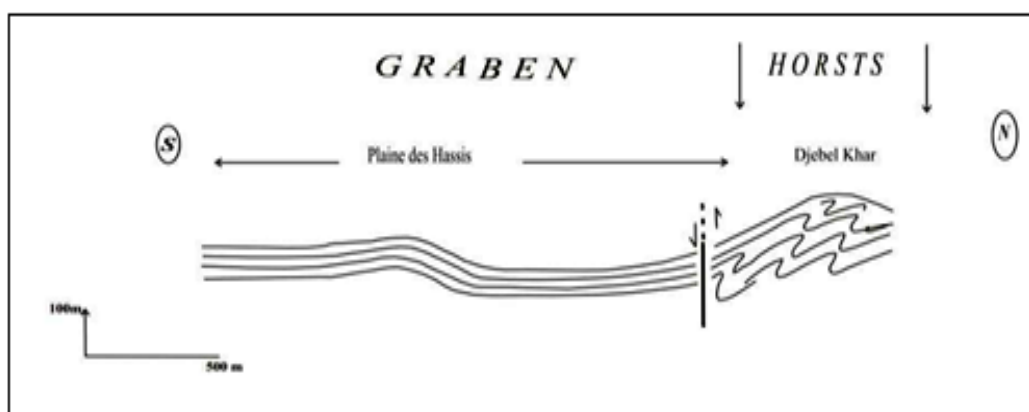


Figure n° 12 : Schéma illustrant la structure de la région d'étude (in Haddar L., 1986).

IV. Cadre hydrogéologique général :

IV.1. Principaux aquifères autour de la région de Hassi Ameer :

Le log hydrogéologique (figure 13) fait ressortir que les grès du Pliocène "Astien" ainsi que les grès lumachelliques et les grès jaunes du Calabrien constituent les principales formations aquifères de la région. Ainsi l'ensemble Astien-Calabrien forme le réservoir d'une nappe libre à grande extension. En effet L'eau de cette nappe n'est pas en charge, et est à surface libre (phréatique). L'alimentation de cette nappe se fait suivant deux processus:

- par infiltration directe des précipitations à travers les formations superficielles perméables: encroûtement calcaire, limons sableux, etc...
- et par infiltration, en période de crue à partir du ruissellement de surface au niveau des glacis et des cônes de déjection des principaux oueds; essentiellement ceux provenant du flanc sud du djébel Khar et des collines de la forêt de Hassi Ben Okba.

Le mur imperméable de la nappe ou substratum est constitué par les marnes bleues du Miocènes relayés parfois par ceux du Pliocène inférieur (L. Haddar, 1986 & M. Boubkeri, 2013).

Géologie				Stratigraphie	Lithologie	Hydrogéologie
Classement des terrains						
1	2	3				
				Récént	Bas fond salé au niveau du lac constitue un milieu vaseux.	Perméabilité faible
				Quaternaire	Argile gréseux, mince couche de croûte et dépôt de pente de Dj. Khar.	Perméabilité moyenne
				Plio-quaternaire	Grès coquillers et grès jaunes à Hélix	Bonne perméabilité
				Plio-quaternaire	Marnes grises	Imperméable
				Pliocène	Grès et calcaire gréseux	Bonne perméabilité la nappe noie la partie inférieure des calcaires (tendre de porosité d'interstice)
				//	Marnes bleuâtres	Imperméable constitue le mur de la nappe du Pliocène
				Miocène	Gypse à intercalation de banes de tripoli	Imperméable
				//	Marnes à gypse	Imperméable
				//	Marnes à silex	Très faible perméabilité
				//	Marnes et grès micacés	Très faible perméabilité
				Crétacé	Schistes argileux brun violet	Imperméable
				Jurassique	Calcaire dolomitique du lias	Bonne perméabilité donne naissance à la source de kristel.
				Permo-trias	Schiste violaces, quartzites, lydiennes	Imperméable

Figure n° 13: Log hydrogéologique général de la région (Boubkeri M. 2013).

IV.1.1. Aquifère de l’Astien :

Cet aquifère est constitué essentiellement par des calcaires gréseux. En profondeur, cette formation peut atteindre une épaisseur de 50 m. Les calcaires gréseux surmontent les marnes bleues du Miocène qui constituent le mur de cette nappe. Elle alimente un nombre de puits qui se concentrent au niveau des villages de Hassiane Ettoual, Hassi Ben Okba et au Nord-Ouest de Hassi Bounif.

IV.1.2. Aquifère des grès lumachelliques du Calabrien :

Cet aquifère est constitué à son tour par des formations des grès coquillers (lumachelliques) et de grès jaunes du Calabrien, qui surmontent en profondeur les marnes grises du Pliocène inférieur, parfois localement par l'intermédiaire de faibles niveaux de calcaires gréseux

astiens. Ces formations contiennent une nappe phréatique captée et exploitée par la majorité des puits de la plaine de Sidi Ali.

Les formations des grès lumachelliques et grès jaunes du Calabrien contiennent une nappe phréatique captée et exploitée par la majorité des puits de la plaine de Sidi Ali.

L'eau de la nappe n'est pas en charge. La nappe à surface libre est alimentée par infiltration directe à travers les formations superficielles perméables : encroûtement calcaire et limons sableux et en période de crue à partir du ruissellement de surface, au niveau des glacis et des cônes de déjection des principaux oueds; essentiellement ceux provenant du flanc sud du Djebel Khar et des collines de la forêt de Hassi Ben Okba.

IV.2. Contexte hydrogéologique de la nappe de Hassi Aneur :

IV.2.1. Piézométrie de la nappe :

Une campagne piézométrique, a été réalisée le 25 février 2012, au niveau de la zone industrielle, et dans son alentour : des terres agricoles et urbanisés environnantes (Boubkeri, 2013). Elle a ciblé treize (13) puits et forages captant la nappe de la plaine de Sidi Ali (tableau 5). Elle a permis de caractériser la piézométrie de la nappe phréatique (figure 14).

Tableau n° 05: Les données piézométriques des points d'eau étudiés (Boubkeri M., 2013)

Indice des points d'eaux	longitude	latitude	Z (m)	H (m)	Localisation
P1	35°42'20.10''	0°29'27.14''	97	93	Zone Industrielle (U. Haffar)
P2	35°42'39.48''	0°29'07.66''	96.5	92.7	Zone industrielle (U. Benyeles)
P3	35°42'17.13''	0°28'37.38''	94	90	Zone Industrielle (U. Saida)
P4	35°43'01.14''	0°28'25.22''	98.5	92.75	Zone agricole
P5	35°43'21.65''	0°28'10.94''	99	92.1	Zone Industrielle (U. ECO)
P6	35°42'45.03''	0°28'55.89''	97	92.9	Zone Industrielle (U.SIMAS)
P7	35°42'21.24''	0°29'07.13''	94.8	91.55	Zone Industrielle (U. Unilever)
P8	35°42'17.18''	0°28'25.65''	94	89	Zone Urbaine
P9	35°43'01.35	0°28'10.22''	96	91.4	Zone agricole
P11	35°43'18.19''	0°28'55.77''	115	92.8	Zone agricole
P12	35°42'48.80''	0°29'20.86''	99.75	93	Zone agricole
P13	35°42'42.23''	0°29'50.01''	102	93.8	Zone agricole
P15	35°41'57.11''	0°29'30.23''	97	92.25	Zone agricole

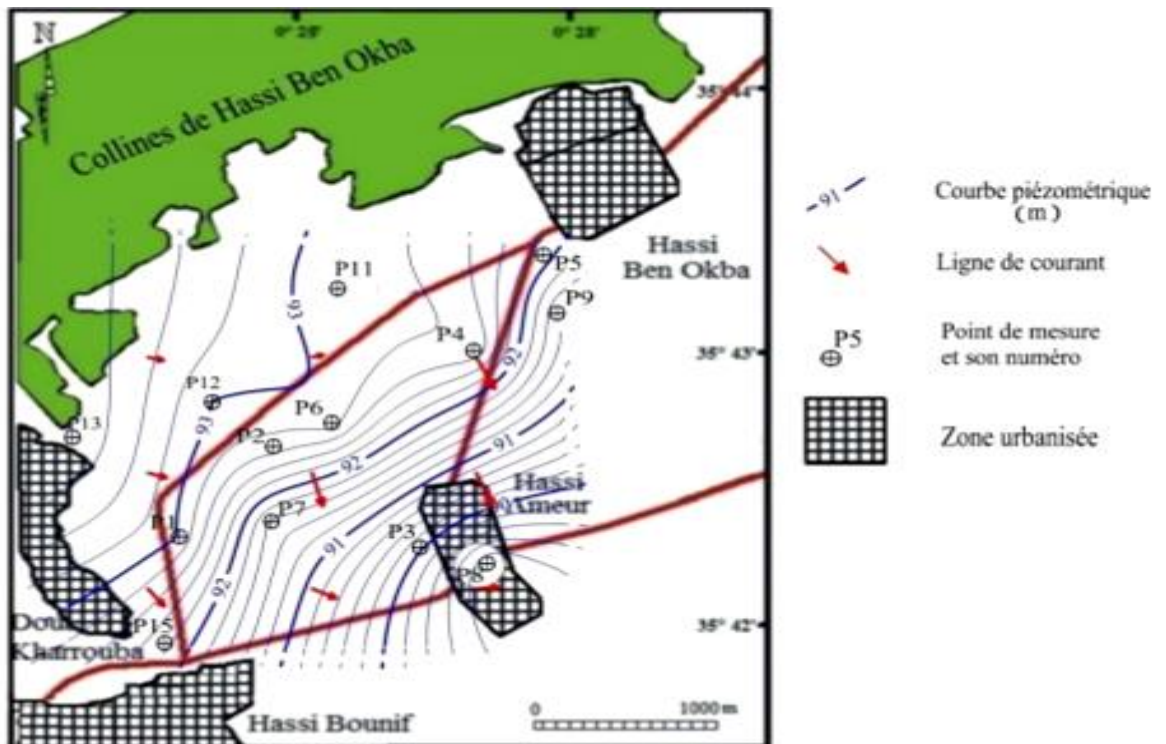


Figure n° 14 : carte piézométrique du secteur d'étude - février 2012 (Boubkeri M., 2013)

L'allure des courbes isopièzes déterminent une surface piézométrique caractérisant une nappe radiale, à concavité de courbure tournée vers l'aval. La direction globale est Nord-ouest / Sud-est. Les écoulements semblent converger vers le secteur de l'agglomération de Hassi Ameur. L'espacement des courbes isopièzes indique par ailleurs un écoulement général à profil parabolique, entraînant une diminution de la perméabilité dans le sens de l'écoulement.

Le gradient hydraulique moyen de zone industrielle est égal à 1.8×10^{-3} .

La pente de cette nappe présente une morphologie assez régulière. L'examen de l'allure et de l'espacement des courbes isopièzes indique un écoulement général à profil parabolique dénotant une diminution de la perméabilité dans le sens de l'écoulement. Le gradient hydraulique moyen de la nappe au niveau de la zone industrielle (S.S) est de 1.8×10^{-3} .

IV.2.2. Paramètres hydrodynamiques :

IV.2.2.1. Transmissivité :

En ce qui concerne la perméabilité de la formation aquifère, un pompage d'essai effectué dans un puits, à grand rayon de courbure, situé à quelques dizaines de mètres de P1 (X= 212,40 Y= 271,73 Z= 111) a permis d'estimer la transmissivité (T):

$$T = 2,8 \text{ à } 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{ENRENAD 1998}).$$

IV.2.2.2. Perméabilité :

Par ailleurs, des mesures de perméabilité réalisées par essai Lefranc sur des sondages de reconnaissance du plateau d'Oran et des Hassis (Agep/Sogreah, 1984) ont permis d'approcher les perméabilités en surface des formations géologiques superficielles du secteur.

Tableau n° 06 : Valeurs de perméabilité formations superficielles du secteur (Agep/Sogreah, 1984)

Formation géologique	Lithologie	Perméabilité (m/s)
Quaternaire	Argiles à gravier ou à horizon sableux ou gypseuse	$1,2 \cdot 10^{-7}$ à $2,4 \cdot 10^{-4}$
	Argiles rouges	$1,3$ à $7 \cdot 10^{-7}$
	Silts	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	Sables fins, sables argileux, calcaires tuffeux	$9,4 \cdot 10^{-5}$
Calabrien	Argiles sableuses et gréseuses	$6,6 \cdot 10^{-6}$
	Sables argileux	$1,1 \cdot 10^{-5}$ à $7 \cdot 10^{-4}$
	Argiles et calcaires	$1,1 \cdot 10^{-4}$

IV.3. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe de Hassi Ameer :

La campagne piézométrique réalisée en février 2012 s'est accompagnée d'une série de mesures et de prélèvements d'échantillon d'eau qui a permis de définir les caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe. L'analyse et l'interprétation a ciblé les principaux paramètres physico-chimiques des eaux. L'établissement de cartes et la réalisation de diagrammes a permis de cerner l'origine de ces eaux, leurs faciès chimiques, etc. des eaux de la nappe de la plaine de Hassi Ameer (Boubkeri M., 2013). Nous présentons ici les éléments essentiels de cette caractérisation hydrochimique.

Le tableau n° 07 présente les résultats des analyses des échantillons prélevés.

Tableau n° 07 : résultats de l'analyse physico-chimique des eaux de la nappe.

Point d'eau	T (°C)	pH	Cond (µs/cm)	Min (mg/l)	Rs (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
P1	18.6	7.55	4140	3142	3520	234	104	658	22	974	271	728	92
P2	16.8	7.8	3470	2633	2800	76	145	589	4	821	542	418	55
P3	20	7.3	4110	3120	3100	128	175	695	31	1054	535	447	97
P4*	15.7	7.51	1370	1040	1060	93	54	157	2	334	243	146	21
P5	19	7.06	3500	2657	3000	276	46	460	4	934	250	257	100
P6	18.6	7.32	2740	2080	2040	111	58	479	5	601	474	337	50
P7	20.5	7.33	6110	4638	4800	170	179	1093	12	1729	542	612	58
P8	18.8	7.18	4150	3150	3300	166	123	759	47	888	453	890	112
P9	17.1	7.27	4960	3765	4200	234	153	777	7	1515	339	414	84
P10	20.9	7.03	4880	3704	4200	395	94	695	6	1582	271	322	94
P11	20	7.39	2019	2660	2100	191	66	375	6	687	345	271	55
P12	20.3	7.16	4560	3461	3920	353	71	621	7	1381	284	308	101
P13	18.7	7.2	3180	2414	2600	263	37	458	5	814	284	303	128
P14	20.7	7.39	5270	4000	3880	102	172	1001	16	1428	704	467	46
P15	19.6	7.32	2480	1822	1880	102	78	433	8	514	426	414	71

IV.3.1. Etudes des paramètres physiques :

IV.3.1.1. le pH :

La mesure du pH est importante car elle nous permet de connaître le degré d'acidité du milieu. Dans le cas présent, les valeurs du pH varient entre 7,03 et 7,80. Elles paraissent homogènes et avoisinent de la neutralité.

IV.3.1.2. la température :

Les valeurs de la température des eaux souterraines sont aussi homogènes. Elles varient entre 15.7 et 20.9 °C. La température joue un rôle au niveau de la décomposition des matières organiques et du développement des maladies parasitaires, l'augmentation de la température entraînant une baisse de l'oxygénation de l'eau.

IV.3.2. Etudes des paramètres chimiques :

Les études des paramètres chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de chimie de la Direction Régionale Ouest (DRO) de l'A.N.R.H. les résultats d'analyse sont résumés au tableau n° 8 :

Tableau n° 08 : Résultats des analyses chimiques des eaux de la nappe en r (meq/l).

N°	rCa ⁺⁺	rMg ⁺⁺	rNa ⁺	r K ⁺	rCl ⁻	rSO ₄ ⁻	rHCO ₃ ⁻	rNO ₃ ⁻
P1	11.66	8.54	28.6	0.55	27.44	15.16	4.44	1.49
P2	3.81	11.94	25.6	0.1	23.12	8.7	8.88	0.88
P3	6.36	14.4	30.2	0.8	29.7	9.32	8.77	1.56
P5	13.78	3.79	20	0.11	26.32	5.35	4.1	1.61
P6	5.51	4.79	20.8	0.13	16.92	7.02	7.77	0.8
P7	8.48	14.75	47.5	0.3	48.69	12.75	8.88	0.94
P8	8.26	10.12	33	1.2	25	18.54	7.43	1.8
P9	11.66	12.58	33.8	0.17	42.67	8.62	5.55	1.35
P10	19.71	7.76	30.2	0.15	44.55	6.7	4.44	1.51
P11	9.54	5.4	16.3	0.14	19.36	5.64	5.66	0.88
P12	17.63	5.87	27	0.17	38.91	6.41	4.66	1.62
P13	13.14	3.02	19.9	0.13	22.93	6.31	4.66	2.06
P14	5.08	14.11	43.5	0.42	40.23	9.72	11.54	0.74
P15	5.08	6.43	18.8	0.2	14.47	8.62	6.99	1.15

IV.3.2.1. La balance ionique :

La balance ionique est obtenue suite du calcul de l'erreur pour vérifier l'état d'analyse chimique des éléments majeurs. Pour calculer l'erreur, la relation suivante mise en œuvre :

$$e = [(\sum r_c - \sum r_a) / (\sum r_c + \sum r_a)] * 100.$$

Avec :

rc = somme des cations en milliéquivalent par litre en meq /l;

ra = somme des anions en milliéquivalent par litre en meq /l;

Selon la valeur de l'erreur, on peut distinguer :

- ***e % > 5% : erreur dans l'analyse***
- ***5 > e > 2% : erreur acceptable***
- ***e < 2% : bonne analyse***

Le tableau 09 indique les valeurs de l'erreur calculé et état de l'analyse de chaque point d'eau.

Tableau n° 09 : Valeurs de l'erreur sur chaque analyse.

Echantillon	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
e (%)	2	1	4	2	3	1	0	2	1	2	1	1	3	1	1
Etat de l'analyse	bonne	bonne	acceptable	bonne	acceptable	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	acceptable	bonne	bonne

Les valeurs de l'erreur varient entre zéro(0) et quatre(4). Les eaux de la majorité de ces échantillons sont de bonne analyse mis à part celles de P3, P5 et P13 qui restent acceptables.

IV.3.2.2. La minéralisation :

Les résultats de l'analyse physico-chimique (tableau07 & figure 15) montre que la minéralisation des eaux du secteur déduite de la conductivité est variable d'un puits à un autre. La minéralisation la plus élevée est enregistrée au puits P7 avec 4638 mg/l et la plus faible au puits P15 avec 1822 mg/l. Il est à signaler que les plus fortes minéralisations (>3000 mg/l) sont localisées à l'ouest du secteur d'étude où se trouvent les plus importantes unités industrielles en activité. En dehors de la zone industrielle, les minéralisations les plus faibles sont relevables dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba).

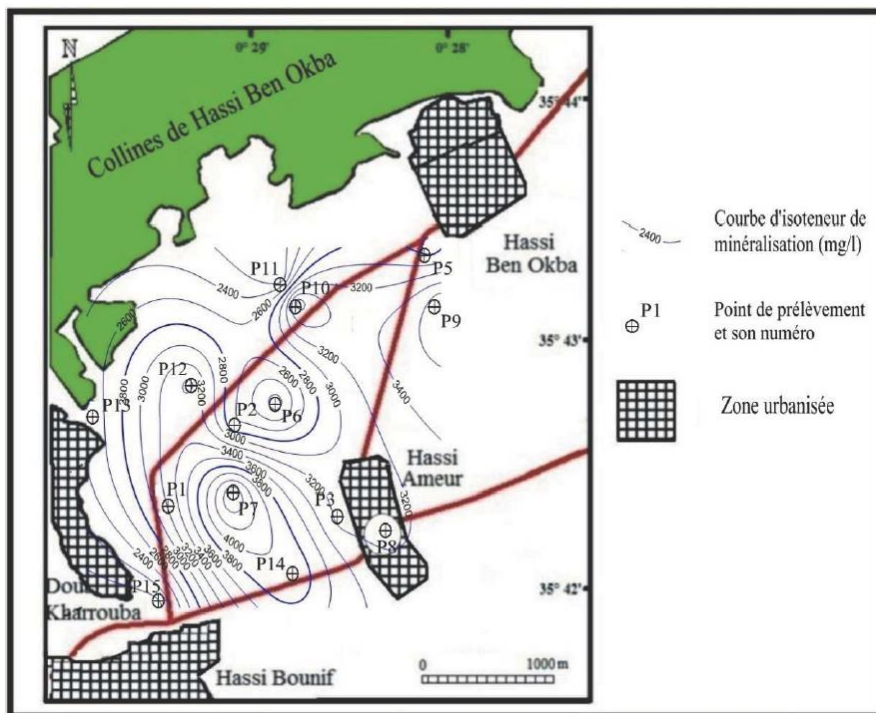


Figure n° 15 : Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude.

IV.3.2.3. Dureté des eaux:

La dureté d'une eau ou Titre Hydrotimétrique (TH) se définit par la quantité de sel de calcium et de magnésium qu'elle contient. Il est important de connaître la dureté d'une eau, par exemple si cette eau est trop dure, peut engendrer des conséquences sur le fonctionnement des appareils électroménagers et sur l'état des canalisations. Le (TH) calculé pour tous les points d'eaux sont présentés au tableau n°10.

Tableau n° 10 : Valeurs calculés du TH.

Points d'eau	TH calculé (°f)	Points d'eau	TH calculé (°f)
P1	101	P9	121
P2	79	P10	137
P3	104	P11	75
P5	88	P12	117
P6	52	P13	81
P7	116	P14	96
P8	92	P15	58

Les valeurs du tableau n° 11 permettent de classer les eaux selon leurs duretés.

Tableau n° 11 : Les classes des eaux selon la dureté.

TH (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 et plus	Eau très dure

Ainsi d'après ces tableaux 10 et 11, le TH de l'ensemble des points d'eaux sont supérieurs à 30 °F soient classés très dures.

IV.3.3. Faciès hydrochimiques:

Afin de déterminer les faciès hydrochimiques des échantillons analysés, il est tenu compte de leurs teneurs en milliequivalent/l et de leurs formules caractéristiques tableau 07. Cela permet l'obtention du tableau 12.

Tableau n° 12: Faciès caractéristiques des échantillons prélevés.

N°	Contexte	Cations	Anions
P1	Zone Industrielle	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P2	Zone Industrielle	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻
P3	Zone Industrielle	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P5	Zone agricole	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P6	Zone Industrielle	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻
P7	Zone Industrielle	Na ⁺ >Mg ⁺⁺ >Ca ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P8	Milieu urbain	Na ⁺ >Mg ⁺⁺ >Ca ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P9	Zone agricole	Na ⁺ >Mg ⁺⁺ >Ca ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P10	Zone agricole	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P11	Zone agricole	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻
P12	Zone agricole	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P13	Zone agricole	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻
P14	Zone Industrielle	Na ⁺ >Mg ⁺⁺ >Ca ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻
P15	Zone agricole	Na ⁺ >Mg ⁺⁺ >Ca ⁺⁺ >K ⁺	Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >HCO ₃ ⁻ >NO ₃ ⁻

L'analyse de ce tableau montre que l'ensemble des eaux présente un faciès chloruré sodique. Par ailleurs, cette classification fait ressortir une prédominance variable entre les cations Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ et les anions HCO₃⁻ et SO₄⁻. Ceci détermine l'existence de quatre sous-faciès :

- Un sous-faciès sulfaté calcique aux points : P1, P3, P5, P10, P12 et P13.
- Un sous-faciès sulfaté magnésien aux points : P7, P8, P9 et P15.
- Un sous-faciès bicarbonaté calcique aux points : P2, P6 et P11.
- Un sous-faciès bicarbonaté magnésien au point P14.

IV.3.4. Evaluation de la qualité des eaux du secteur:

L'analyse de la qualité des eaux est très importante, car elle permet de savoir par exemple si ces eaux sont propres à la consommation humaine ou si elles peuvent être utilisées à d'autres usages (agriculture, industrie, etc...).

IV.3.4.1. Potabilité des eaux :

La potabilité d'une eau repose le plus souvent sur des normes internationales de (OMS). Bien que ces normes sont souvent trop restrictives par rapport aux conditions semi-arides de notre région. Il ressort dans le cas présent qu'en dehors des considérations liées à leur qualité bactériologique, la concentration de la majorité des anions et cations ainsi les paramètres conductivité et TH sont supérieures aux concentrations maximales admissibles aux normes de l'OMS pour la consommation humaine.

IV.3.4.2. Aptitude des eaux à l'irrigation:

Pour définir la qualité des eaux suite à leur aptitude à l'irrigation, il est important d'étudier leur risque d'alcalinité et de salinité. On peut utiliser alors les valeurs de la conductivité électrique à 25°C et celles du coefficient d'adsorption du sodium (SAR) comme moyen pour évaluer ces risques.

a. Evaluation du risque d'alcalinité:

Pour évaluer le risque d'alcalinité, il revient de calculer le coefficient d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivant : $SAR = rNa / \sqrt{(rCa + rMg)/2}$

Où

rNa, rCa et rMg sont les quantités en réaction du Na, du Ca et du Mg exprimées en meq/l.

La comparaison des valeurs du SAR calculées (tableau 13) avec les valeurs portées au tableau 14, permet de déduire les résultats suivants :

Tableau n° 13 : Résultats des valeurs de SAR.

Point d'eau	SAR	Point d'eau	SAR
P1	9.02	P9	9.17
P2	9.42	P10	8.16
P3	9.37	P11	5.97
P5	6.74	P12	7.87
P60	9.17	P13	7
P7	13.97	P14	14.04
P8	10.89	P15	6.61

Tableau n° 14 : Classes d'alcalinité selon l'U.S.S.L (1954).

Classes	SAR	Echantillons	% correspondant
S1	<13	P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9, P10, P11, P12, P13 et P15	85.72 %
S2	13-23	P7 et P14	14.28 %
S3	>23	/	00 %

- L'ensemble des points d'eau étudiés du secteur d'étude, appartiennent à la classe S1 avec un pourcentage de 85.72%.
- La classe S2 représente 4.28%.
- L'absence d'échantillons appartenant à la classe S3 (00%).

Le calcul du risque d'alcalinité montre que les deux échantillons, prélevés au P7 et au P14, sont caractérisés par un fort risque d'alcalinité.

b. Evaluation du risque de salinité (diagramme de Riverside) :

La salinité provoque des effets directs sur les végétaux et des risques de salinisation du sol. En effet, elle perturbe le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes du fait d'une augmentation de la pression osmotique et des effets toxiques des sels.

Le diagramme de Riverside est beaucoup utilisé à cause de sa fiabilité pour une surestimation de la salinité des eaux souterraines. Proposé par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside Californie, en 1956, ce diagramme se base sur les valeurs du rapport du SAR et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau (fig. n°15). Il permet également d'évaluer le risque de sodisation.

Les échantillons sont représentés sur le diagramme de Riverside en figure 16.

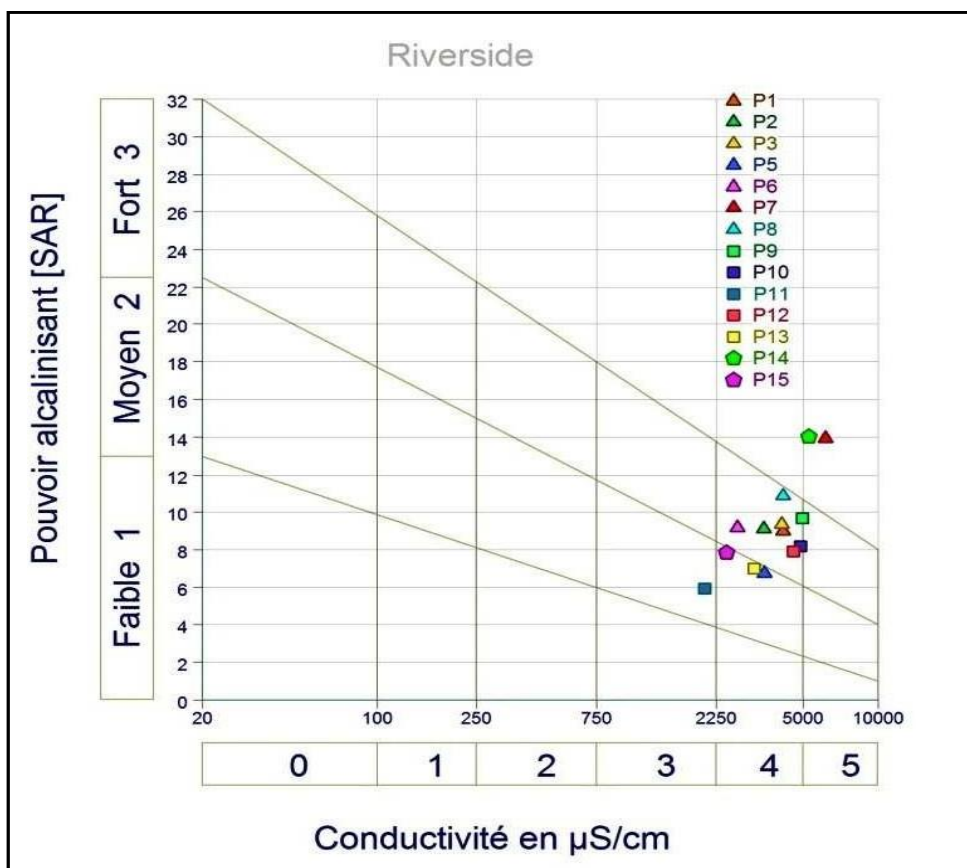


Figure n° 16: Représentation sur le diagramme de Riverside.

La représentation de nos échantillons dans le graphe de la (fig. n°16) montre une répartition de celle-ci en trois groupes qui sont :

1^{er} groupe : les points 5, 11, 15 et 13 avec des risques de salinisation des sols moyens mais les risques de sodisation sont élevés ;

2^e groupe : les points 2, 3, 6, 8, 9, 10 et 12, avec des risques de salinisation élevés et de forts risques de sodisation;

3^e groupe : les points 7 et 14, avec des risques de salinisation très élevés et de très forts

risques de sodisation.

IV.4. Pollution des eaux de la nappe de Hassi Ameer :

Les eaux de la nappe de Hassi Ameer se trouvent dans une zone pouvant être affecté par plusieurs formes de pollution provenant des activités urbaines, agricoles et industrielles.

IV.4.1. Les différents types de pollution :

➤ Pollution d'origine domestique et urbaine :

Le rejet des eaux usées est la principale cause de la pollution domestique dans le secteur d'étude. Le non raccordement des foyers au réseau d'assainissement (fosses perdues) caractérise la pollution de quelques agglomérations comme celles de Douar Kharrouba, le domaine Habib au Nord-Est et notamment l'agglomération de Hassi Ameer au Sud-Est du secteur étudié.

➤ Pollution d'origine industrielle :

Les principales sources de pollution industrielle sont implantées dans la zone industrielle de Hassi Ameer. La variété des unités industrielles peut causer différents types de pollutions.

Quelques entreprises non accessibles au réseau d'assainissement peuvent être objet de fosses ou des puits à secs, ou évacuent l'eau usagée dans des réservoirs septiques. Pour autant, tout ceci peut conduire à une contamination des eaux de la nappe.

➤ Pollution d'origine agricole :

L'utilisation exagérée des engrais et des pesticides que les agriculteurs ajoutent pour favoriser la fertilisation des sols et augmenter la productivité de la parcelle contribue à la pollution des eaux de la nappe. A cet effet, il faudrait respecter les normes environnementales tout en accentuant sur la pédologie des terrains et les besoins de la plante en nitrate. Éviter également un phénomène de lessivage du sol tout en maîtrisant les quantités d'eaux.

Dans le secteur d'étude, les fermes et terrains agricoles, les abattoirs sauvages situés au Nord-Ouest du secteur, ainsi qu'à l'Est peuvent être des sources de pollution majeure d'origine agricole (Boubkeri M., 2013).

IV.4.2. Analyse des éléments indicateurs de pollution dans le secteur d'étude :

Pour évaluer le degré de vulnérabilité de la nappe de Hassi Ameer, l'étude de certains éléments indicateurs de pollution s'avère fondamentale afin d'apprécier l'effet potentiel de la pollution des eaux souterraines dans le secteur.

Dans le secteur d'étude, deux types d'éléments indicateurs de pollution ont été dosés pour chaque point d'eau (Boubkeri M., 2013).

En premier, les éléments indicateurs de pollution organique représentés par les nitrates, les nitrites, l'ammonium, les phosphates, la matière organique acide, la matière en suspension, la silice et la turbidité. Les données et résultat de ces éléments sont établis dans le tableau 15 :

Tableau n° 15: Résultats des analyses des éléments indicateurs de pollution organique en mg/l.

	NO2	NO3	NH4	P04	MO	MES	SiO2	Turbidité
P1	92	0,04	0,05	0,09	4,8	2	27,3	1
P2	55	0,01	0,06	0,17	4,4	5	29,7	3
P3	97	0	0,07	0,09	4,3	5	28,6	2
P5	100	0,01	0,05	0,03	4,5	2	24,1	1
P6	50	0	0,08	0,08	2,2	2	23,5	1
P7	58	0,06	0,07	0,05	7,1	2	22,9	1
P8	112	0,02	0,06	0,05	3,7	2	23,3	1
P9	84	0,01	0,07	0,04	5,9	5	32,7	2
P10	94	0	0,06	0,05	5,3	2	26,6	1
P11	55	0,04	0,06	0,15	2,8	2	27,3	1
P12	101	0,02	0,09	0,08	4,3	5	21,2	2
P13	128	0	0,05	0,05	2,7	2	14,4	1
P14	46	0,2	0,09	0,04	4,8	2	20,9	1
P15	71	0,01	0,07	0,11	2,2	5	22	2

D'autre part, les analyses de onze éléments indicateurs de pollution métallique sont les suivants : le chrome, le manganèse, le fer, le sélénium, le cuivre, le zinc le cadmium et afin le plomb (tableau 16).

Tableau n° 16: Résultats des analyses des éléments indicateurs de pollution métallique en mg/l.

	Chrome	Manganèse	Fer	Cuivre	Zinc	Sélénium	Cadmium	Plomb
P1	0,00613	0,00172	0,05891	0,00407	0,00194	0,07817	0,00002	0,00069
P2	0,00117	0,00205	0,03455	0,00478	0,00489	0,07138	0,00002	0,00053
P3	0,00023	0,00255	0,03815	0,00357	0,00672	0,066697	0,00001	0,00023
P5	0,00019	0,00194	0,08354	0,00295	0,01088	0,07028	0,00001	0,000039
P6	0,00106	0,002	0,03674	0,0035	0,00471	0,04574	0,00002	0,00039
P7	0,00014	0,002	0,04782	0,009	0,01346	0,1264	0,00002	0,00022
P8	0,00015	0,04223	0,04514	0,00456	0,00299	0,05504	0,00002	0,00046
P9	0,00032	0,00211	0,04963	0,0033	0,01428	0,1168	0,00003	0,00033
P10	0,00016	0,00241	0,08354	0,00339	<limite détection	0,1097	0,00001	0,00025
P11	0,00018	0,00319	0,05887	0,00475	0,00642	0,05119	0,00002	0,00035
P12	0,00021	0,00273	0,08321	0,00311	0,01658	0,09136	0,00001	0,00035
P13	0,00008	0,00262	0,06394	0,00359	0,00217	0,05287	0,00005	0,00026
P14	<limite détection	0,3872	0,03056	0,00316	<limite détection	0,09287	0,00001	0,00016
P15	0,00028	0,00289	0,05219	0,00448	0,00738	0,04239	0,00001	0,000092

La teneur en ces éléments et leur répartition dans les eaux de la nappe, exemple des figures (17 & 18) a permis d'apprécier la conformité à l'utilisation pour différents usages : eau potable, industrie, agriculture (Boubkeri M., 2013).

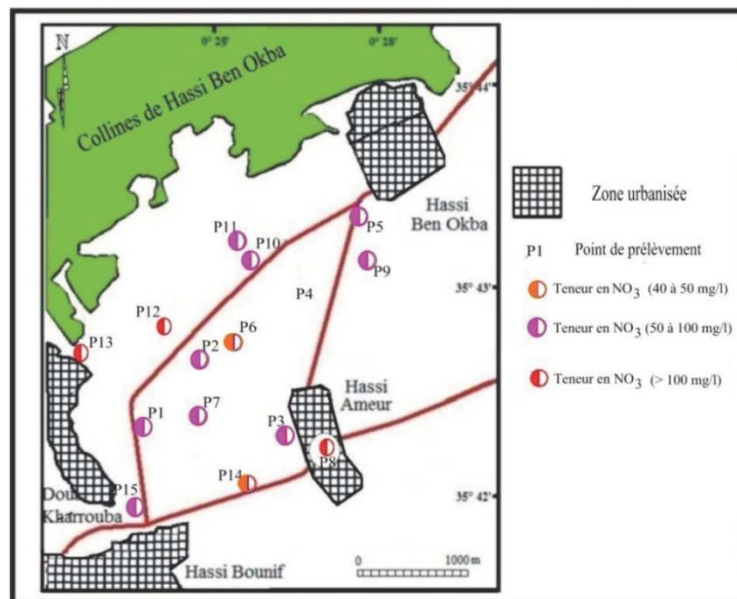


Figure n° 17: Carte des teneurs en nitrates (mg/l) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).

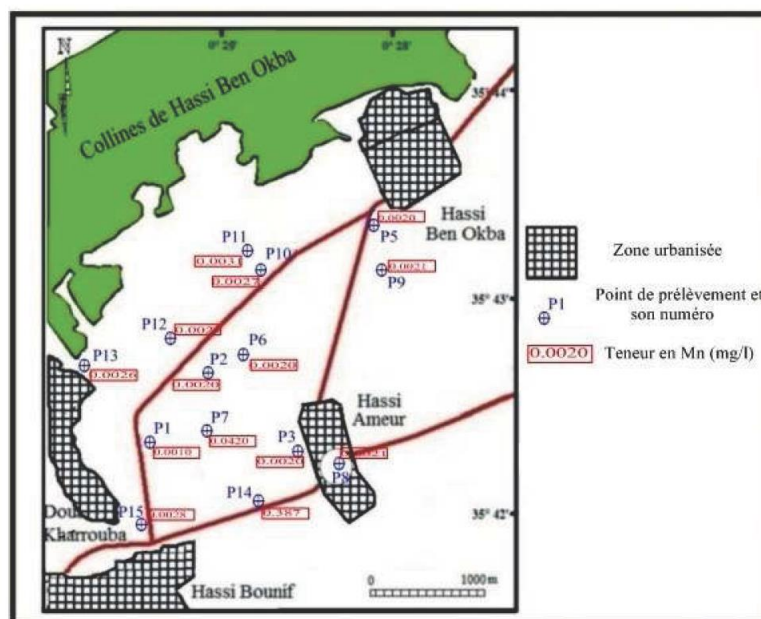


Figure n° 18: Carte des teneurs en manganèse (mg/l) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).

Conclusion

Ce chapitre a présenté un aperçu général de la région autour de la zone de Hassi Aneur (plaine Sidi Ali) où est implantée l'usine Simas. Le descriptif des caractéristiques morphologiques, climatologiques, géologiques et hydrogéologiques du secteur a été établi.

L'étude piézométrique, nous a révélé l'existence d'une nappe libre, de type radiale, avec une direction d'écoulement de direction Nord-ouest / Sud-est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Aneur. La pente de cette nappe présente une morphologie assez régulière.

Concernant les caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe et leurs conformités aux normes qualitatives, les résultats obtenus indiquent des pH d'eau qui varient entre 7,03 et 7,8 et des températures de 15,7 à 20,9°C. La minéralisation des eaux est variable variant entre une minéralisation de 2 g/l au nord et à l'ouest du secteur par 4,5 g/l dans la partie centrale de la zone industrielle. Les eaux présentent globalement, un faciès chloruré sodique, secondairement calcique ou magnésien.

Les valeurs de dureté sont supérieures à 30 °F, ce qui caractérise une eau à caractère dur.

La comparaison des teneurs en éléments organiques, indicateurs de pollution aux normes de potabilité (hors bactériologie), indique que les nitrates présentent des teneurs dépassant les normes de potabilité pour l'ensemble des points d'eaux sauf pour les points P6 et P14 (≤ 50 mg/l). Concernant les autres d'éléments nutritifs, les normes sont respectées, sauf pour le point P14 qui se caractérise par une teneur en NO_2 dépassant la norme de potabilité.

L'étude des résultats des analyses métalliques des échantillons révèle, d'une manière globale, la présence de teneur du sélénium dépassant très fortement les normes OMS de potabilité, entre 2 et 12 fois la valeur maximale admissible. Les autres métaux lourds présentent des teneurs inférieures aux normes de potabilité, sauf concernant le manganèse dont les teneurs moyennes restent quelque peu sont élevées et dépassent localement les limites de potabilité.

Il apparaît en conséquence, et de manière globale, que la qualité hydrochimique des eaux de la nappe montre la non-potabilité générale des eaux du secteur étudié. L'aptitude de celle-ci à l'irrigation, est potentiellement mauvaise du fait du risque d'alcalinité et de salinisation que présentent les eaux des puits. Ces eaux sont aussi déconseillée pour l'industrie, surtout agro-alimentaire, ou comme eau de bain. Même en cas de traitement des eaux, ce traitement doit être spécifique à l'élimination des métaux lourds incriminés (Boubkeri M., 2013).

CHAPITRE II

Vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe de Hassi Ameur

Introduction :

Les ressources en eaux souterraines sont plus que jamais des ressources naturelles très importantes et constituent une source d'approvisionnement primordiale dans l'ensemble des régions du monde. Néanmoins, leur vulnérabilité et leur protection vis-à-vis des diverses formes de pollution demeure un défi majeur pour les gestionnaires et exploitants de cette ressource. A cet effet, l'évaluation de cette vulnérabilité constitue l'étape première dans le processus de protection de cette ressource.

Dans ce chapitre, nous traiterons de cette problématique relativement à la nappe s'étalant sous la surface de la zone industrielle de Hassi Ameur et ses alentours. Cela constitue une étape essentielle permettant d'appréhender les risques découlant des potentielles pollutions pouvant être émises par l'usine Simas.

I. Notions générales et méthodologie :**I.1. Notions de vulnérabilité:**

Dans la recherche de moyen et d'outils pour faire face au problème de contamination des nappes d'eaux souterraines, l'étude de la vulnérabilité à la pollution s'impose non seulement pour prévenir ces contaminations mais aussi pour protéger ces ressources eaux. En effet la vulnérabilité décrit le caractère fragile des nappes d'eaux souterraines vis à vis des polluants qui peuvent les affectés.

La notion de vulnérabilité repose sur différents facteurs physiques et stables en relation avec la nappe d'eau souterraine. Elle se base sur le principe que l'environnement physique peut assurer un certain degré de protection aux eaux souterraines à l'égard d'éventuels contaminants pénétrant dans le sol. Ce degré de protection ou degré de pollution dépendra d'une part de la nature des polluants et, d'autre part, de la nature des formations géologiques qui composent le système aquifère sous-jacent (Hassani M.I., 2015).

I.2. Types de vulnérabilité :

On distingue deux types de vulnérabilité; une vulnérabilité intrinsèque et une vulnérabilité spécifique.

I.2.1. Vulnérabilité intrinsèque :

Inhérente au milieu géologique et aux conditions climatiques locales, elle peut se définir comme la sensibilité des eaux souterraines à une potentielle contamination issue des activités anthropiques.

I.2.2. Vulnérabilité spécifique :

Moins grande que la vulnérabilité intrinsèque, est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'un aquifère à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle dépend dans ce cas des propriétés des polluants eux même.

Entre ces deux types de vulnérabilité, l'intrinsèque est le type qualifié pour notre étude de cartographie, à cet effet un certain nombre de critères sont nécessaires.

I.3. Critères de vulnérabilité intrinsèque :

Les cartes de vulnérabilité ne peuvent être produites sans tenir compte des différents critères qui déterminent l'homogénéité des zones à étudier et leur capacité d'atténuation face aux contaminants. Ainsi, la vulnérabilité intrinsèque est évaluée en prenant compte des caractéristiques du sol, de la zone non saturée et de la zone saturé qui contrôlent le comportement des polluants (tableau 17).

Tableau n° 17 : Critères de vulnérabilité intrinsèque.

Critères de vulnérabilité intrinsèque		
Sol	Zone Non Saturée (ZNS)	Zone Saturée
Ruissellement-infiltration Pédologie : perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols	Profondeur de la nappe libre Temps de transfert : perméabilité verticale Structure de la ZNS : variation de facies, épaisseur des discontinuités de facies, position dans le profil vertical, texture, teneur en m.o. et argile	Type de nappe Temps de résidence dépend des paramètres hydrodynamiques des formations aquifères Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci Relation eaux souterraine/ eaux superficielles
		Piezometrie : évolution des sens et direction d'écoulement selon la période du cycle hydrologique épaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)
		Type de système hydrogéologique : caractères plus ou moins capacitif et transmissif Direction et sens d'écoulement
Battant de nappe		
Recharge: quantité d'eau atteignant la ZS sur une période donnée (recharge annuelle nette)		
Fracturation, directions et densité		

a. Critères liés aux propriétés du sol :

Ruissellement – infiltration : permettent la recharge de la nappe. Ils dépendent de la perméabilité du sol en surface, la présence de végétation et de la topographie des lieux. Ils peuvent être représentés dans l'espace par la méthode des "indices de persistance des réseaux".

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

b. Critères liés aux caractéristiques de la zone non saturée (ZNS) :

Profondeur de la nappe libre (ou épaisseur de la zone non saturée) : l'épaisseur de la Z.N.S conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant) et donc sa possible dégradation en cours de transfert.

Amplitude de battement de la nappe : l'amplitude de battement de la nappe, dans la mesure où elle est significative, conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe (sol + ZNS). De ce fait; elle peut devenir un critère de vulnérabilité.

Perméabilité verticale de la ZNS : elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.

Structure de la ZNS : les variations de faciès, l'épaisseur des discontinuités de faciès et leur position dans le profil vertical, la texture, la teneur en matière organique et en argile des formations, sont autant de facteurs qui conditionnent la migration de fluides vers la nappe.

c. Critères liés aux caractéristiques de la zone saturée (ZS) :

Type de la nappe (libre ou captive) : une nappe libre est plus vulnérable comparé à une nappe captive. Cette dernière possède un toit à formation imperméable qui la protège.

Paramètres hydrodynamiques des formations aquifères : permet de déterminer la vitesse de migration des polluants et leurs temps de résidence dans la nappe. Se sont : la

transmissivité (T), la perméabilité (K), le coefficient d'emmagasinement (S) et le gradient hydraulique de la nappe (i).

Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci. Cet horizon va déterminer le caractère libre, semi-captif ou captif de la nappe.

Relation nappe/cours d'eau : les relations entre les eaux superficielles et les eaux souterraines peuvent être de deux types, drainage ou alimentation. Ils conditionnent la possibilité de contamination des eaux souterraines à partir des eaux superficielles.

Piézométrie : mesure de profondeur de la surface des nappes (niveau piézométrique). La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'une nappe, à sa caractérisation, à son fonctionnement hydrodynamique et à l'évaluation de ces capacités au cours d'un cycle hydrologique complet.

Epaisseur de l'aquifère (quantité de réserve) : la quantité d'eau stockée dans l'aquifère détermine les conditions de dilution d'un polluant ayant atteint la nappe.

Type de système hydrogéologique : il s'agit des systèmes à caractères capacitifs ou transmissifs. Si un système présente un caractère transmissif fort, temps de transfert des eaux depuis la surface vers la zone saturée sont dites rapides, mais possède un faible temps de séjour. Il s'agit par exemple des systèmes carbonatés fortement karstifiés. Si le système est à caractère inertiel et/ou capacitif fort, il se caractérise par des temps de transfert et des temps de séjours longs.

Direction et sens d'écoulement : ils déterminent les espaces susceptibles d'être atteints par un polluant une fois que celui-ci atteint la nappe.

d. Critères communs au sol, à la zone non saturée (ZNS) et à la zone saturée (ZS) :

Recharge : elle correspond à la quantité d'eau des précipitations qui réussit à s'infiltrer dans le sol jusqu'à atteindre la nappe d'eau souterraine. Elle varie dans l'espace et dans le temps en fonction de la topographie et des formations géologiques rencontrées. Elle constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines.

Fracturation (directions et densité) : des discontinuités verticales telles que les failles peuvent, dans certaines conditions, jouer le rôle de drain et augmenter très sensiblement les vitesses d'infiltration depuis la surface vers la nappe.

I.4. Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité des aquifères :

La cartographie de la vulnérabilité des aquifères peut se définir comme la technique permettant d'élaborer ou de réaliser des cartes de vulnérabilité des aquifères. L'obtention de ces cartes est basée sur des méthodes qui doivent être simples, précises, fiables et faciles d'utilisation pour l'évaluation de cette vulnérabilité (Hassani M.I., 2015).

Les techniques d'évaluation peuvent être regroupées en trois groupes de base :

- 1 - Les méthodes de cartographie des complexes hydrogéologiques (HCS).
- 2 - Les méthodes à cotation numérique (MS, RS, PCSM).
- 3 - Les modèles mathématiques (AR).

Il est important de remarquer que l'élaboration d'une carte de vulnérabilité peut varier d'un concepteur à l'autre, la détermination des indices étant parfois subjective. Elle peut aussi varier en fonction du type et de la quantité d'information disponible, des erreurs occasionnées sur la prise de données, et de la méthode de détermination des paramètres (un bon exemple est celui de la recharge).

Plusieurs auteurs ont proposés des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (tableau n° 18). Les paramètres utilisés par cette évaluation sont répertoriés sont nombreux. Ils incluent, comme cité plus haut, les caractéristiques du sol, les caractéristiques hydrologiques de la zone saturée et non saturée, la recharge nette, la profondeur de l'eau, et la perméabilité des aquifères. Certains auteurs ont également ajouté d'autres paramètres, qui sont beaucoup plus difficiles à collecter et souvent peu disponible dans certains contextes.

Tableau n° 18 : Principales méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Civita, 1993).

METHOD REFERENCE	TYPE	BASIC PARAMETERS															
		PRECIPITATION RATE & CHEMICAL COMPOSITION	TOPOGRAPHIC ELEVANCE	SOIL VULNERABILITY	NET IRRIGATION	NET IRRIGATION DENSITY	THICKNESS, TEXTURE & MINERALOGY	EFFECTIVE POROSITY	PERMEABILITY	PHYSICAL & CHEMICAL FEATURES	AQUIFER CONNECTIONS TO SURFACE WATER	NET RECHARGE	CHARACTERISTICS OF THE UNSATURATED ZONE	DEPTH TO WATER	WATER LEVEL CHANGE	HYDROGEOLOGICAL FEATURES	AQUIFER HYDRAULIC CONDUCTIVITY
Albinet & Margat (1970) B.R.G.M. (1976...)	HCS																
Vrana (1968) Olmer & Rezac (1974)	HCS																
Fenge (1976)	RS																
Josopait & Schwerdtfeger (1979)	HCS																
Zampetti (1983) Fried (1987)	AR																
Villumsen et al (1983)	RS																
Haertle (1983)	MS																
Vrana (1984b)	HCS																
Subirana Asturias & Casas Ponsati (1984)	HCS																
Engelen (1985)	MS																
Zaporozec (1985)	RS																
Breeuwisma et al (1986)	HCS																
Sotornikova & Vrba (1987)	RS																
Ostry et al (1987)	HCS																
Ministry Flemish Comm. (1986) Goossens & Van Damme 1987)	MS																
Carter et al (1987) Palmer (1988)	MS																
Marcolongo & Pretto (1987) Method 1	RS																
Marcolongo & Pretto (1987) Method 2	AR																
GOD - Foster (1987)	RS																
Schmidt (1987)	RS																
Trojan & Perry (1988)	PCSM																
Civita in Benacchio et al (1988)	HCS																
DRASTIC - Aller et al (1987)	PCSM																
SINTACS - Civita (1990a)	PCSM																

Explanation: AR - analogical relations, HCS - hydrogeological complex and setting, MS - matrix system, PCSM - point count system model, RS - rating system.

Parmi les méthodes les plus utilisées en Algérie figurent celles de cartographie des complexes hydrogéologiques "HCS" (Albinet & Margat, 1970), la méthode numérique de cotation d'index avec pondération des critères "PCSM" - DRASTIC (Aller et al., 1987) ainsi que la méthode numérique à système de classement "RS" – GOD (Foster S., 1987). Cette dernière méthode a été appliquée par Boubkeri M. 2013 à la région de Hassi Ameur.

I.4.1. Présentation de la méthode G.O.D : (figure19)

Cette méthode a été proposée par S. Foster (1987). Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturé. Cette méthode est bien adaptée dans les régions ne disposant pas de données fournies renseignant les nombreux

paramètres d'évaluation de la vulnérabilité.

L'approche employée par cette méthode a recours à trois paramètres :

- Le premier réside dans l'identification du type d'aquifère, en fonction de son degré de confinement (**G**roundwater occurrence) (**G**).
- Le deuxième est défini par les caractéristiques des couches surmontant la zone saturée de l'aquifère en ce qui a trait à leur degré de porosité relative, à leur perméabilité et à leur contenu en eau (**O**verallaquifer class) (**O**).
- Le troisième correspond à la profondeur à la nappe (**D**epth to groundwater table) (**D**).

L'indice de vulnérabilité (IGOD ou IG) est obtenu par la multiplication des indices de chacun de ces trois paramètres.

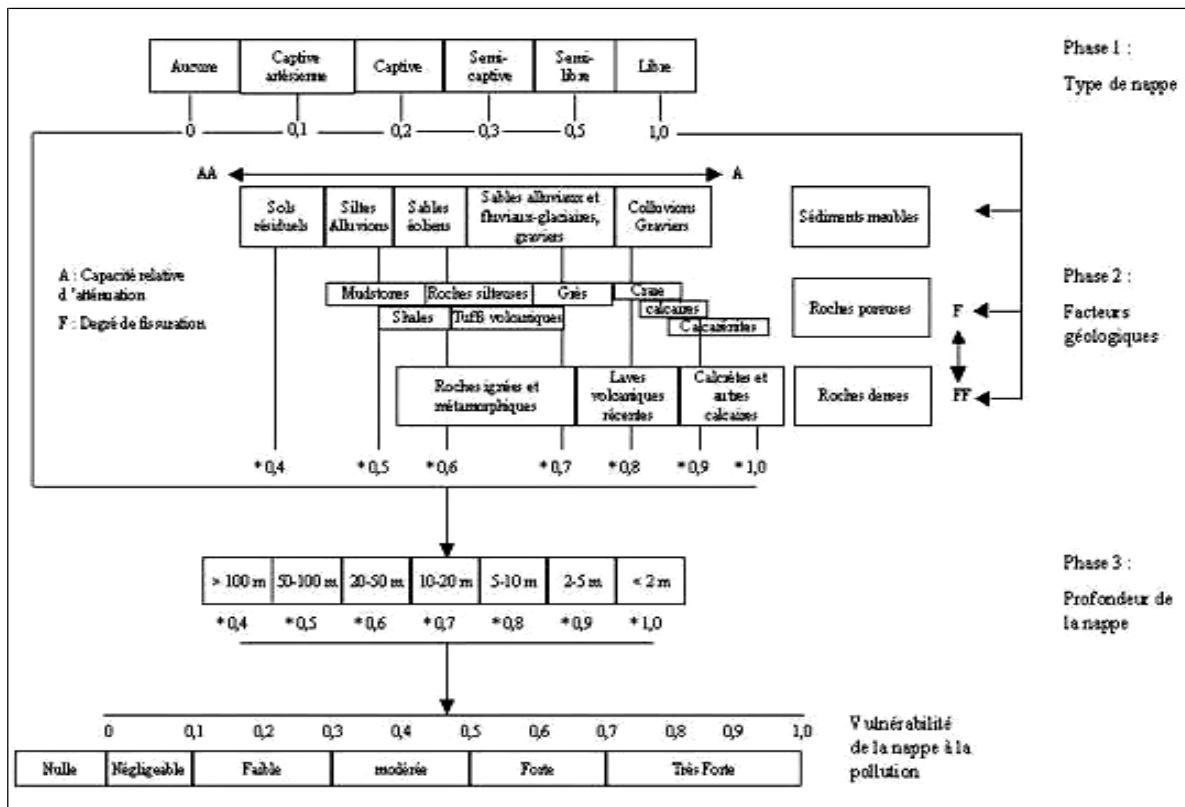


Figure n° 19 : Méthode GOD pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères à la contamination (S. Foster, 1987).

II. Mise en œuvre de la méthode GOD :

Le calcul de l'indice GOD (IG) est donné par la formule suivante :

$$IG = Ca \cdot Cl \cdot Cd$$

Où :

- **Ca** : type d'aquifère (G)
- **Cl** : lithologie d'aquifère, principalement dans la zone non saturée (O).
- **Cd** : profondeur de la nappe (D).

Chaque paramètre est cartographié avec un index ou cote allant exactement de 0 à 1 pour le paramètre G et de 0,4 à 1 pour les paramètres O et D.

Les cartes obtenues permettent de voir le degré relatif de vulnérabilité de tout secteur de la zone étudiée. Le potentiel de pollution croit dans le même sens que l'index (figure n° 20).

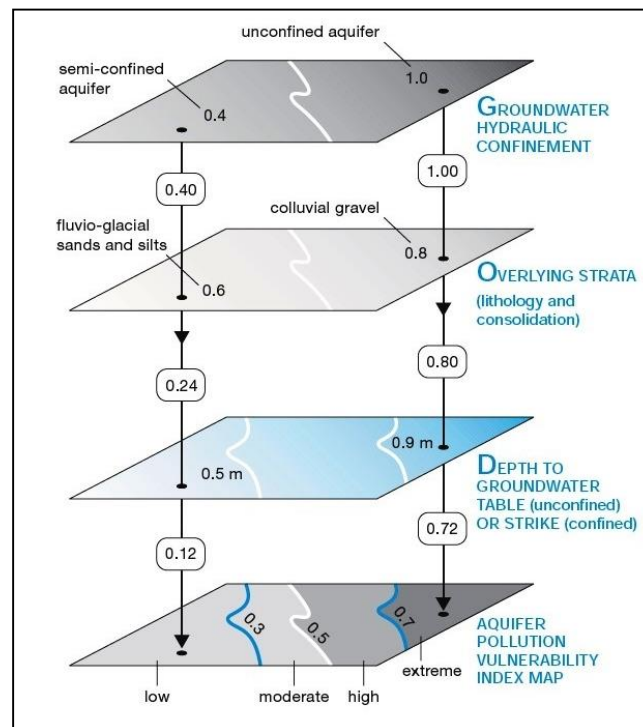


Figure n° 20 : Restitution cartographique de l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères par la méthode GOD (Foster & al., 2005).

II.1. Acquisition et description des paramètres G.O.D :

L'identification et l'évaluation des paramètres demandent des connaissances en géologie et hydrogéologie du site investigué. Ces informations sont le plus souvent stockées dans les mémoires ou banque de données ou les rapports. Dans le cas où les données disponibles sont peu nombreuses cela va se répercuter sur la qualité de la carte de vulnérabilité.

II.1.1. Type d'aquifère (G) :

Le type d'aquifère compose l'un des facteurs essentiels contrôlant la vulnérabilité des aquifères. Les nappes semi-captives et captives sont moins sensibles à la pollution de surface par rapport aux nappes libres qui sont les plus vulnérables. Cependant, une couche présentant une faible perméabilité peut rendre l'aquifère captif et donc limiter le passage du polluant vers l'aquifère.

II.1.2. Impact de la zone vadose (O) :

C'est un paramètre fondamental de la méthode G.O.D. La zone vadose correspond à l'ensemble des niveaux du sol et du sous-sol, soit entre le sol et le niveau piézométrique de la nappe d'eau souterraine. La zone vadose est caractérisée par un important degré d'hétérogénéité qui peut rendre très aléatoire la transposition à des bassins de plusieurs dizaines de km² de valeurs de paramètres obtenues sur échantillon à l'échelle d'une parcelle par exemple.

Le comportement de chaque matériau est particulier par rapport au risque d'acheminement de toute potentielle pollution (figure 21).

Ainsi dans les roches très consolidées, métamorphiques ou éruptives, qui à l'état originel contiennent ou pas une faible porosité primaire, la pollution potentielle sera fonction du degré de fracturation. Au niveau, des couches de calcaire et de dolomies, la pollution potentielle sera fonction du degré de fissuration, de fracturation, des cavités et du nombre de dolines tandis qu'au niveau des formations non consolidés tels les graviers plus les matériaux sont propres et grossiers, plus la pollution potentielle ne sera forte, etc.

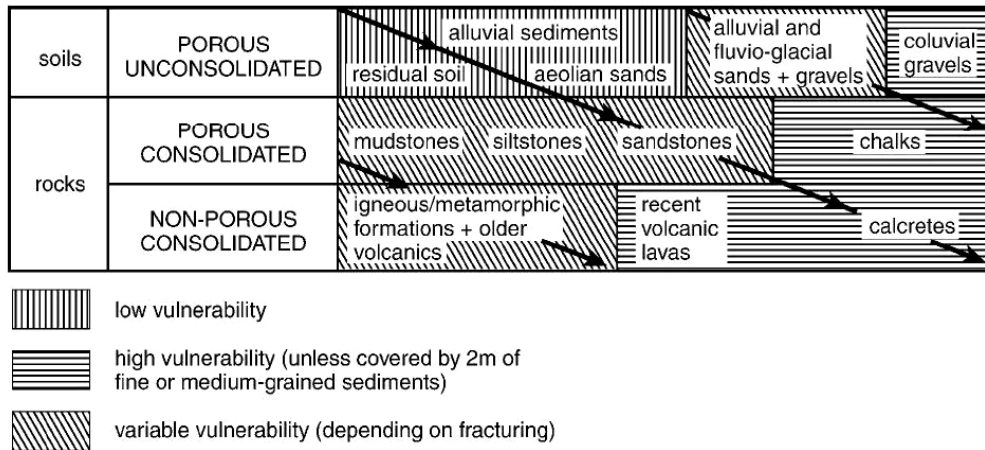


Figure n° 21 : niveau de vulnérabilité en fonction des types de matériaux (Foster S., 1987).

II.1.3. Profondeur de la nappe (D) :

La profondeur de l'eau est un paramètre important de la méthode GOD car celui-ci permet de représenter l'épaisseur que va traverser un polluant avant l'arrivée à l'aquifère. Elle est représentée par une distance qui sépare le niveau du sol et le niveau piézométrique de la nappe. Dans le cas d'une nappe libre, la profondeur de l'eau représente la portion du sol entre la limite de la couche végétale, à la surface du sol et la surface libre de la nappe ; tandis que pour une nappe captive, elle représente la tranche entre la couche végétale et le substratum supérieur (le toit) de l'aquifère.

De manière générale, il y a une forte possibilité que la pollution s'atténue au fur et à mesure que la profondeur de la nappe augmente, d'où plus le niveau d'eau est profond plus la durée de traversée du polluant est grand.

L'application de la méthode GOD suppose que le polluant est déversé depuis la surface du sol, pénètre le sol et traverse la zone non saturée jusqu'à atteindre le niveau piézométrique soit l'aquifère (S.S).

Les valeurs de référence des cotes des trois (3) paramètres sont représentées dans le schéma de la méthode GOD pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères à la contamination de (figure 19).

II.2. Application à la nappe de Hassi Aneur :

Par usage des fonctionnalités des systèmes d'information géographique (SIG) et l'élaboration d'une application de la méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité Boubkeri (2013) a appliqué cette démarche à la nappe de Hassi Aneur par traitement des données visant la réalisation des cartes paramétrique sous logiciel map info ainsi que leur croisement.

II.2.1. Type d'aquifère (G) :

A travers des données des coupes des sondages, des coupes géologiques et forages effectués dans la région, il est apparu la nappe est en régime libre sur l'entière étendue de la zone d'étude. En conséquence une cote égale à 1 a été affectée à l'ensemble du secteur d'étude

La carte indicielle du paramètre "type d'aquifère" (G) est présentée en figure n° 22.

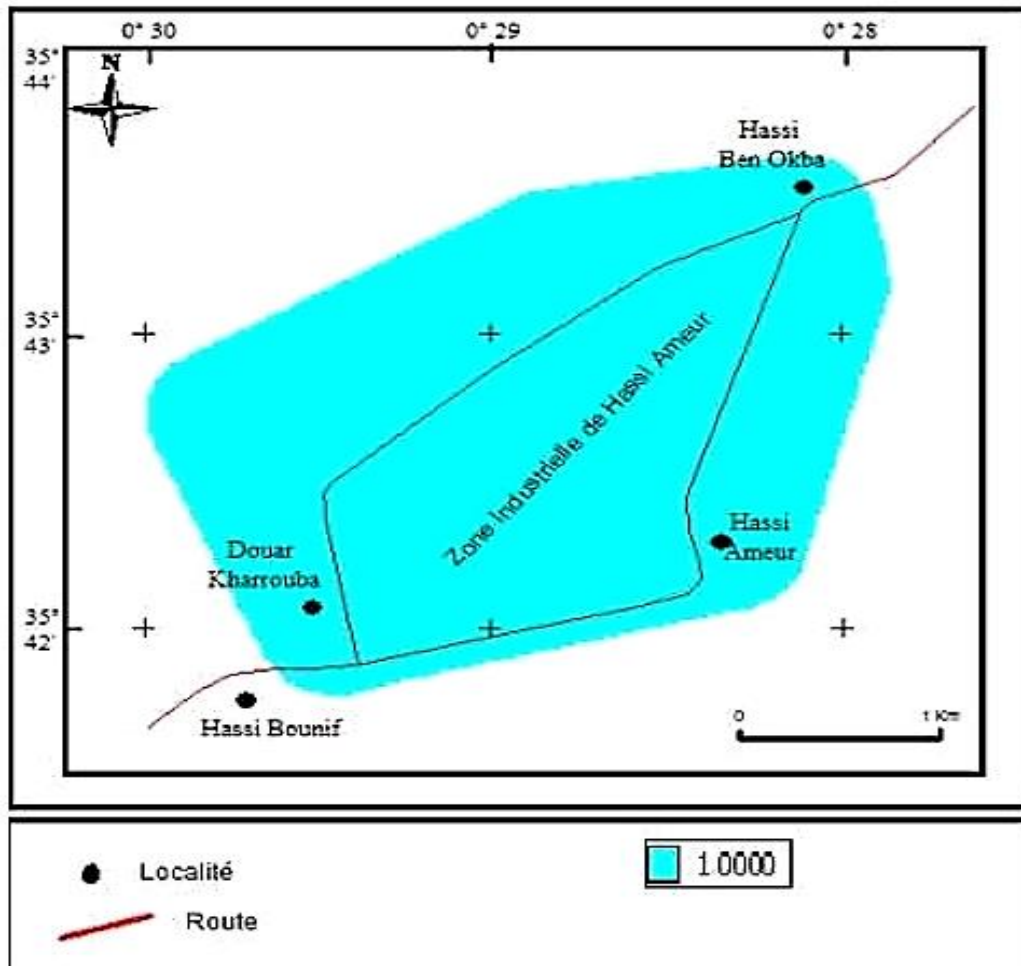


Figure n° 22 : carte indicielle du paramètre "type d'aquifère" (G) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).

II.2.2. La zone non saturée (O) :

La réalisation de la carte de la zone non saturée s'est basée sur des données géologiques des cartes géologique du secteur au 1/50.000, également celles des coupes des sondages et forages établit dans le secteur d'étude. En fonction de la nature des faciès constituant la zone non saturée, trois (3) cotes ont été attribuées conformément à la méthode GOD. Trois (3) classes d'indices peuvent ainsi être distinguées :

- une classe 1 correspondant à la cote 0,6000
- une classe 2 correspondant à la cote 0,7000
- une classe 3 correspondant à la cote 0,7500

La carte indicielle du paramètre "impact de la zone vadose" (O) est présentée en figure n° 23.

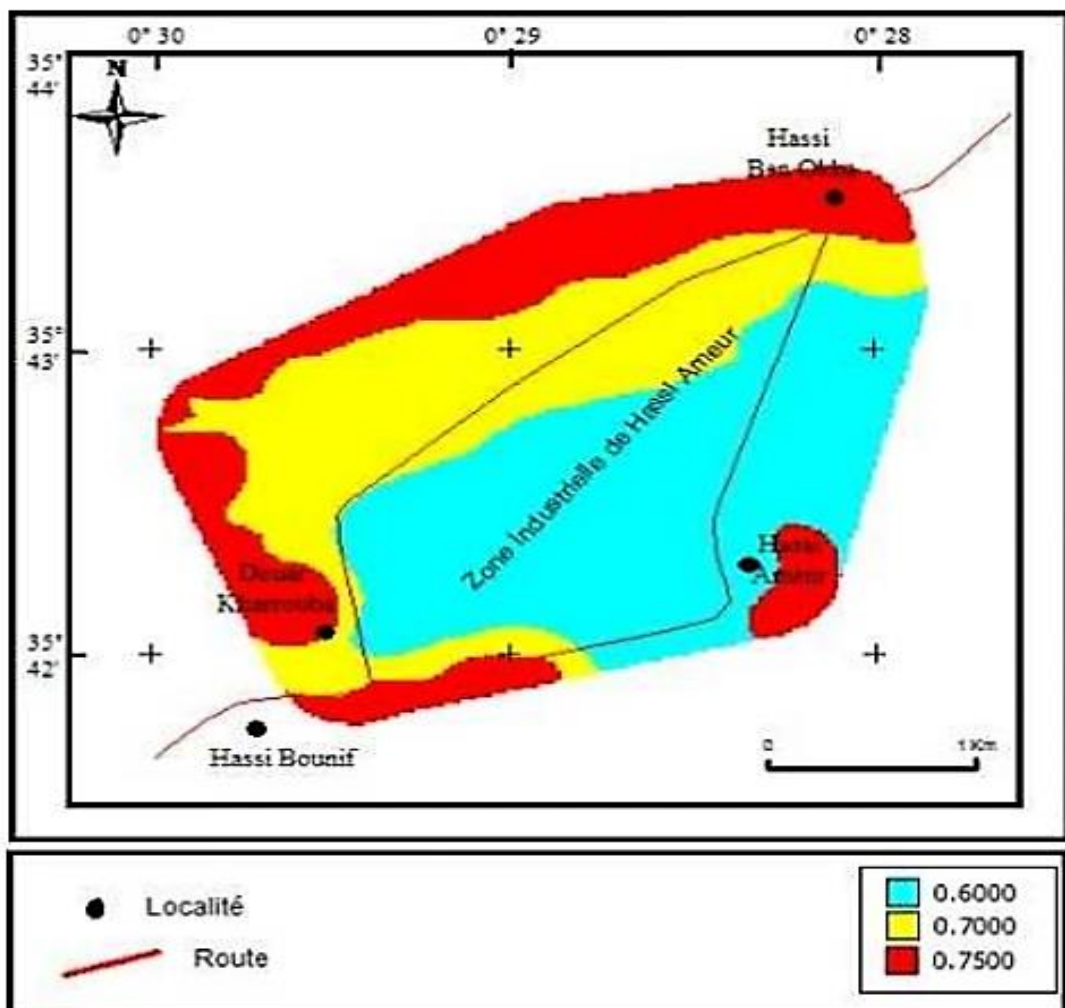


Figure n° 23 : carte indicielle du paramètre "impact de la zone vadose" (O) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).

II.2.3. Profondeur de la nappe (D) :

Lors de la campagne piézométrique réalisée dans le secteur d'étude en février 2012 (voir étude piézométrique en chapitre 1), les valeurs de profondeur relevées au niveau des différents points d'eau (puits et forages) se sont révélées variant entre 3,25 et 21 mètres. Une interpolation des données de profondeur a été effectuée par emploi d'une méthode appropriée "Natural Neighbour". Cela a permis d'établir carte en courbes hydro-isobathes du toit de la surface piézométrique. Il s'en est suivi une classification de chaque pixel réalisée en fonction du système de cotation de la méthode GOD. Trois (3) classes d'indice ont pu être dégagés.

- une classe 1, correspondant à la cote 0,9
- une classe 2, correspondant à la cote 0,8
- une classe 3, correspondant à la cote 0,6

La carte indicielle du paramètre "profondeur" (D) est présentée en figure 24.

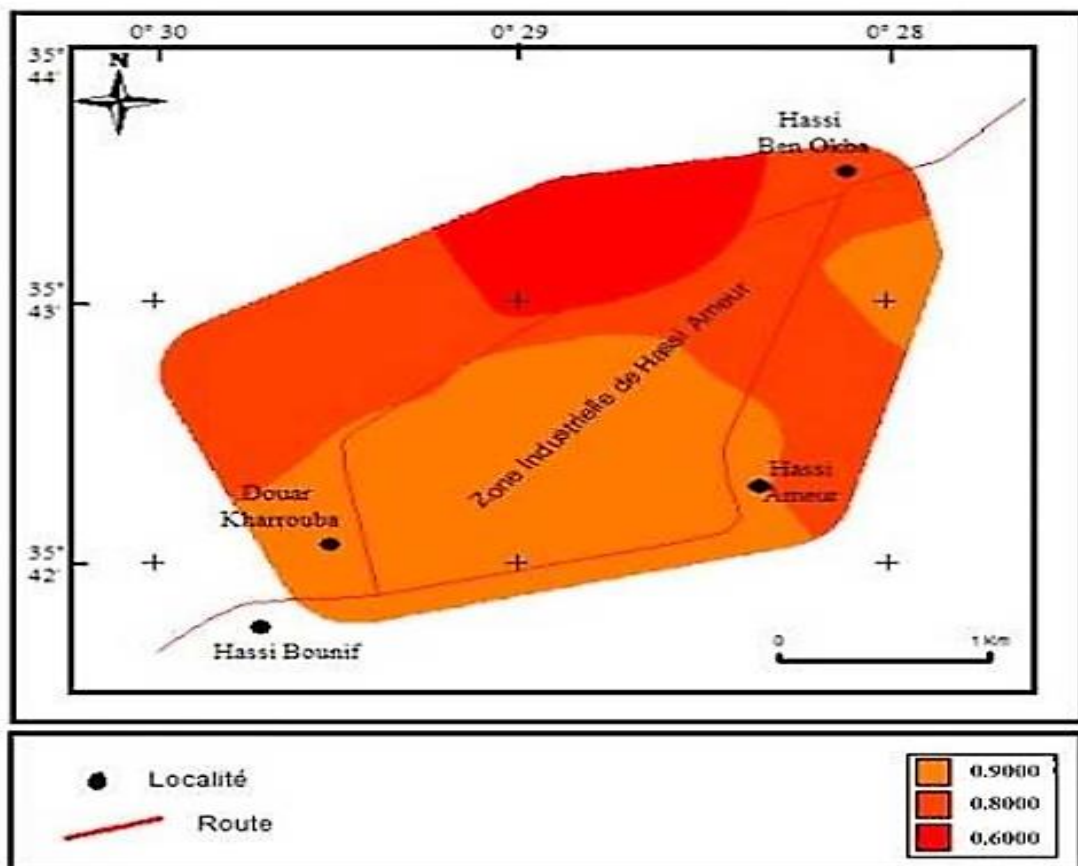


Figure n° 24 : Carte indicielle du paramètre "profondeur" (D) dans le secteur d'étude (Boubkeri M., 2013).

II.2.4. Etablissement de la carte de vulnérabilité du secteur d'étude :

La multiplication des trois(3) paramètres indiciaires permet de calculer l'indice de vulnérabilité (IG) relatif à la méthode GOD.

A l'aide de la fonctionnalité "calculator" (Map info), une multiplication des pixels superposés des trois cartes indiciaires (G, O, D) est effectuée en fonction du système de cotation de la méthode GOD.

La carte de vulnérabilité obtenue par application de la superposition a abouti à la carte présentée en figure 25.

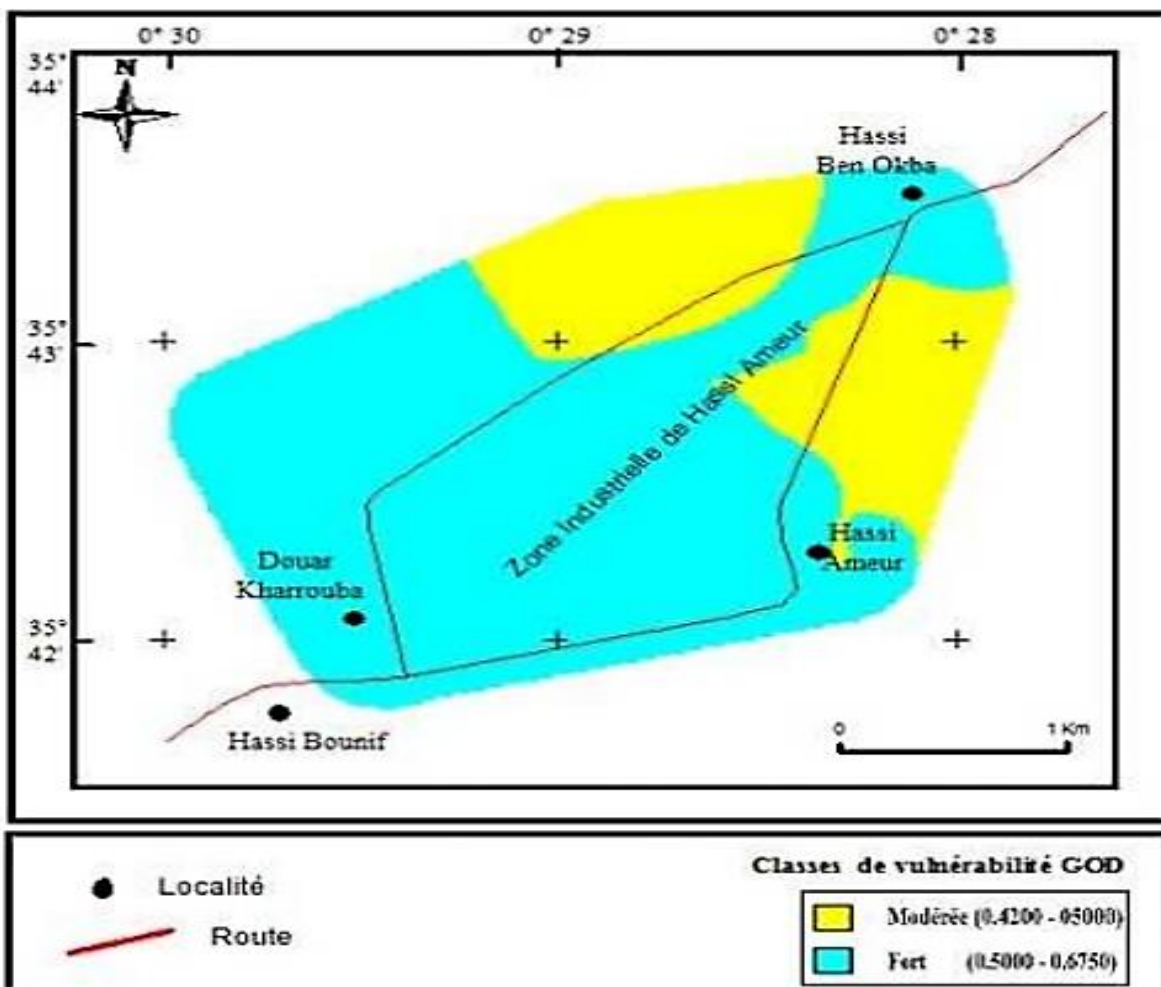


Figure n° 25 : carte de vulnérabilité à la pollution de la région de Hassi Ameur établie par la méthode GOD (Boubkeri M., 2013).

Conclusion :

L'approche cartographique d'application de la méthode GOD par utilisation d'un système d'information géographique a permis une estimation rapide et fonctionnelle du degré de vulnérabilité à la pollution de la région de Hassi Ameer.

L'interprétation de cette carte a fait ressortir deux (2) classes de vulnérabilité :

- une classe à "**vulnérabilité forte**" : qui caractérise la plus grande partie de la zone cartographiée et la majeure partie de la zone industrielle. C'est en cette zone qu'est située l'unité industrielle Simas,
- une classe à "**vulnérabilité modérée**" : elle s'étend sur une superficie moindre que la classe de vulnérabilité forte. Elle occupe un espace localisé dans les zones agricoles se trouvant à l'Est de la zone industrielle entre l'agglomération de Hassi Ameer et celle de Hassi Ben Okba.

Le paramètre "type d'aquifère" (G) étant identique sur toute la région étudiée, la variabilité de l'indice GOD est contrôlée uniquement par l'interaction des deux (2) paramètres : "nature de la zone non saturée" (O) et "profondeur" (D) (Boubkeri M., 2013).

CHAPITRE III

Etude du risque environnemental autour de l'usine SIMAS

Introduction

De par son activité passée et actuelle, l'usine métallurgique SIMAS, implantée dans la partie centrale de la zone industrielle de Hassi Ameer, est potentiellement polluante vis-à-vis de la nappe libre d'eau souterraine. Dans le but de prévoir l'éventuel impact de ces polluants sur la nappe phréatique, une approche d'étude du risque environnemental induit par l'unité industrielle est proposée à cet effet. L'objectif final est l'établissement d'une carte du risque environnemental à l'intérieur et à l'extérieur (aval) de l'usine SIMAS.

I. Présentation de la zone industrielle de Hassi Ameer :

La zone industrielle de Hassi Ameer est localisée en totalité dans la plaine de Sidi Ali. Elle se situe à une dizaine de kilomètres d'Oran et couvre une superficie totale de 324 ha. Elle est limitée :

- Au Nord-Est par l'agglomération de Hassi Ben Okba,
- Au Sud-Est par Hassi Ameer,
- A l'Ouest par Hassi Bounif,
- Au Nord-Ouest par Douar Kharrouba. (figure 26)

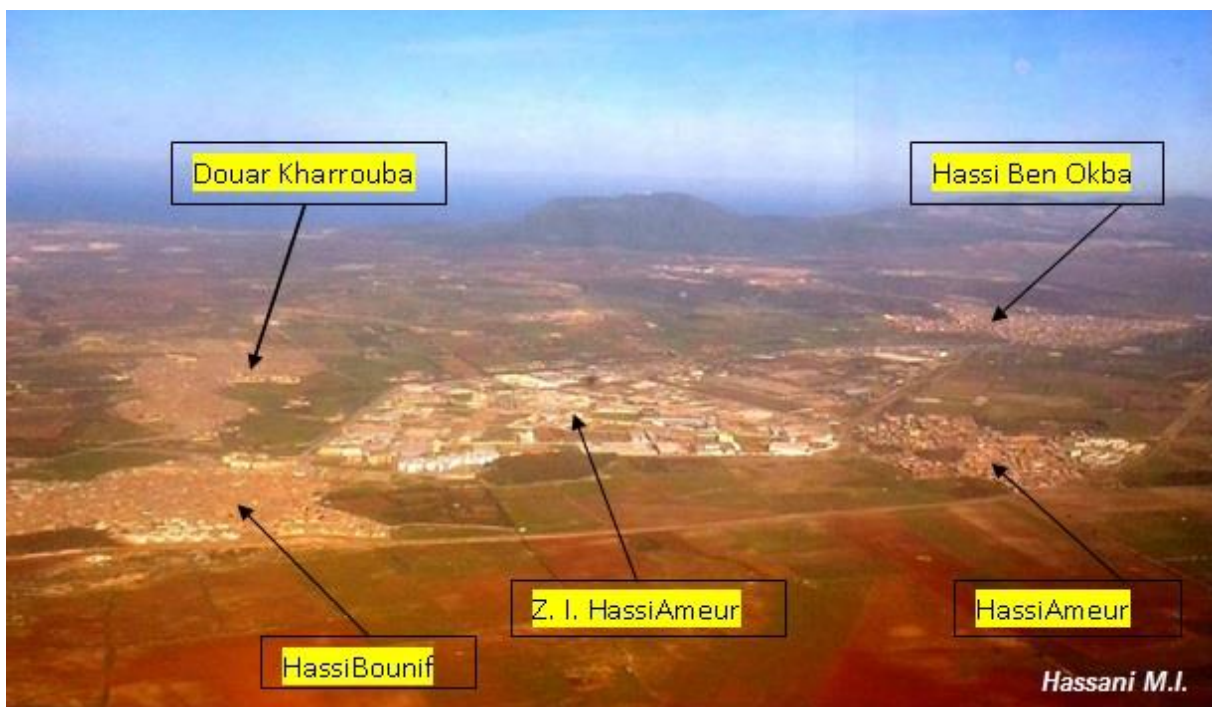


Figure n° 26 : Vue aérienne de la zone industrielle de Hassi Ameer (Boubkeri M., 2013).

Cette zone a été créée vers les années 1970 dans le cadre de la politique d'industrialisation nationale. Le choix de ce site s'est basé sur des critères tels que : sa proximité de l'agglomération oranaise, sa disposition d'une infrastructure routière importante et sa situation géographique stratégique dans la région Nord-Ouest de l'Algérie.

Elle a été conçue initialement pour recevoir des industries lourdes telles la construction métallique, la chaudronnerie, la construction de véhicules automobiles, etc.

En 1983, la zone comptait de deux (2) types d'unités industrielles à faible densité dans la partie Est de la zone. Les premières étaient métallurgiques, essentiellement la grande unité SN-Métal / SNS, dénommée ultérieurement ENCC puis SIMAS. Les secondes unités correspondaient à la production de matériaux de construction. D'autres unités industrielles étaient en cours de réalisation.

Aa fin des années 1990, la zone industrielle a connu des transformations découlant l'évolution de la politique économique et industrielle du pays. La zone industrielle est dès lors composée alors d'une soixantaine (60) unités industrielles. Avec cet accroissement du nombre des unités, d'autres types d'industrie (chimie, agro-alimentaire, etc.) se sont implantées. Après adjonction d'un nouveau lotissement dans la zone Ouest, la zone industrielle est constituée de près de 180 lots (figure 27).

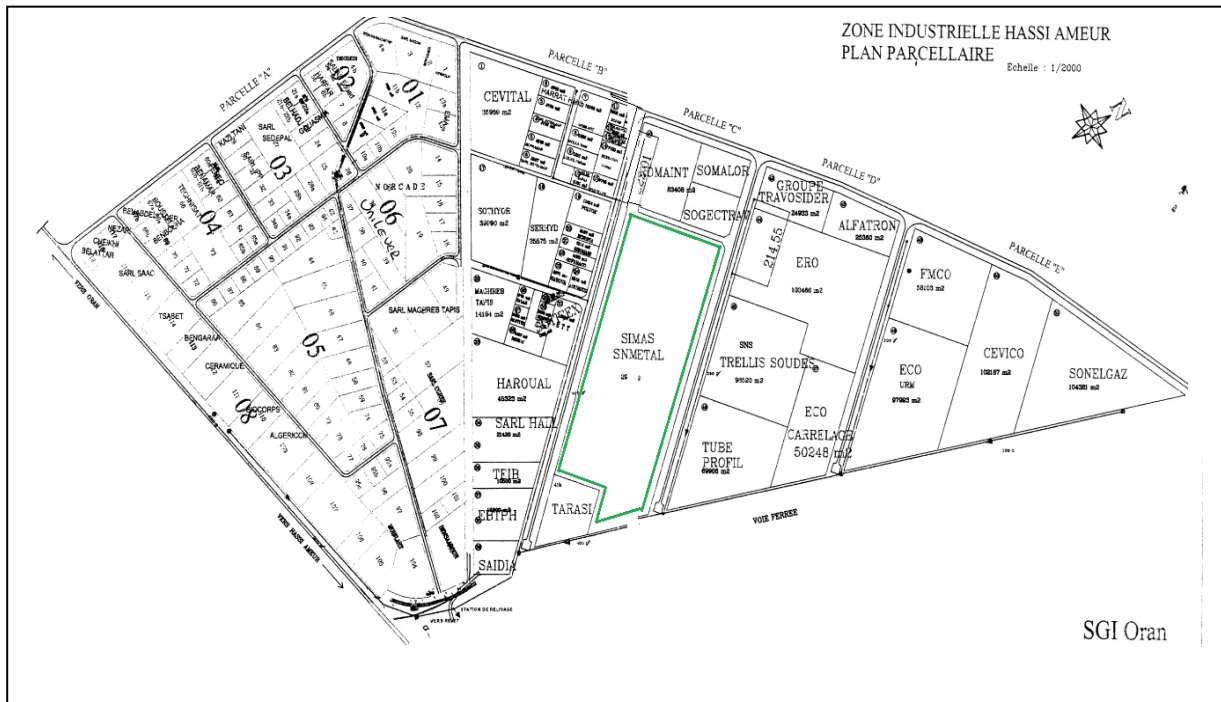


Figure n° 27 : Plan parcellaire de la zone industriel de Hassi Ameur, montrant le plan de masse polygonal de l'unité SIMAS (SGI Oran in Boukeri M., 2013).

La zone industrielle est actuellement caractérisée par la présence d'unités en cours d'activité, certaines unités à l'arrêt (à l'exemple de l'unité SIMAS suite à restructuration) ainsi que des lots non exploités industriellement, utilisés souvent comme zones de stockage.

II. Présentation de l'unité industrielle SIMAS (ex. ENCC, SN-Métal, SNS) :

Avec ses 30 hectares, l'entreprise Simas occupe la plus grande superficie par rapport aux autres unités dans la zone industrielle (figure 27).

Située sur les 2/3 d'un îlot central, qui sépare les entreprises publiques à l'Est et les entreprises privées à l'Ouest, l'unité SIMAS est limitée au Nord par l'entreprise Trivosider, à l'Est par l'ERWO/ SNS, ANABIB et DNC et au Sud par le chemin de fer et la route nationale.

Son plan masse proprement dit est un polygone allongé du Nord-ouest au Sud-est qui s'étend sur environ 500 x 300 mètres (Figure 28). Au niveau de l'occupation du sol, le 1/10 est occupé par les infrastructures administratives et de soutien technique dans la partie Nord, le reste est réservé à la production et aux différentes zones de stockage.



Figure n° 28 : Vue de détail de l'unité SIMAS (google Earth, mai 2020).

II.1. Historique de l'unité SIMAS :

Implantée en 1979-1980, l'unité SIMAS (ex. ENCC "Entreprise Nationale de Charpente et de Chaudronnerie" (SN-METAL/SNS) devait assurer le développement de l'industrie métallurgique dans l'Ouest de l'Algérie. Livrée clef en main, l'unité disposait d'une technologie avancée dans son processus de production telles les sableuses automatiques aujourd'hui en arrêt. Elle s'est spécialisée dans trois (3) domaines stratégiques qui répondent aux besoins de développement de l'époque : la charpente, la tuyauterie et la chaudronnerie entre autres destinées à l'industrie pétrolière. La production industrielle de l'unité SIMAS était d'une importance capitale pour l'économie de la région oranaise mais aussi pour tout le pays.

Autour de l'année 1985, la production moyenne annuelle enregistrée a été fort soutenue (Tableau n° 19).

Tableau n° 19 : Production de l'unité SIMAS ex. ENCC autour de l'année 1985.

<i>Produits</i>	<i>Quantité</i>
Charpente	22.000 Tonnes
Chaudronnerie	15.000 Tonnes
PRS (Profilés Reconstitués Soudés)	11.000 Tonnes
Mécanique	2.000 Tonnes

Ce rythme de production soutenu au cours des années quatre-vingt jusqu'à la moitié des années quatre-vingt-dix, générant autant de risques potentiels de pollution industrielle. Suite une de structuration de l'Entreprise Nationale de Charpente et de Chaudronnerie (ENCC), en Juin 1995, l'unité industrielle est passé sous la coupe de l'entreprise SIMAS qui a semble-t-il beaucoup souffert de la conjoncture économique et des plans de restructurations successifs. L'activité actuelle de l'unité est actuellement fort réduite relativement à la période passée.

III. Les principaux déchets produits et stockés au sein de l'unité :

A travers ses différentes activités, l'unité SIMAS a généré de nombreux déchets solides, liquides et autres produits dangereux. Une partie de ces déchets dangereux ont été stockés à l'air libre et sur sol nu, au sein même de l'unité au niveau d'une zone de décharge, sur un îlot situé dans la partie ouest de l'unité (figures 28, 29 & 30).

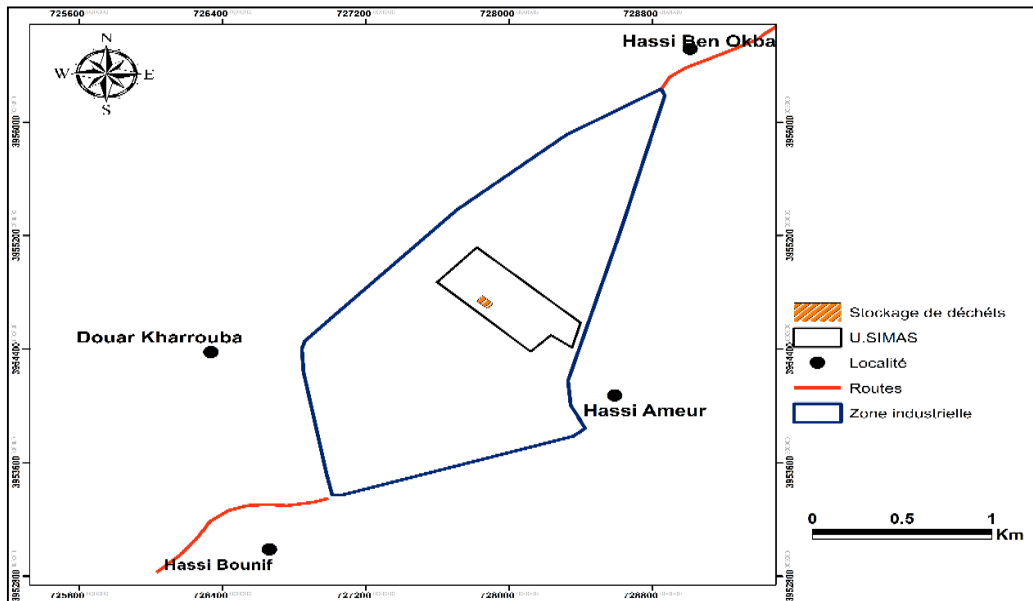


Figure n° 29 : Esquisse représentant les contours de l'unité SIMAS et l'emplacement de la zone de stockage des déchets.

A l'époque où les trois activités fonctionnaient à plein rendement, il semble difficile d'évaluer ces déchets stockés car non accessibles.

A la base, ces déchets semblent avoir été nombreux et variés. Lorsque la production n'a concerné que la chaudronnerie, soit 90% de l'activité de l'unité, la nature des produits mis en décharge peut être estimée. Par définition, la chaudronnerie consiste à transformer des matières premières métalliques et autres en vue de fabriquer des citernes des cuves ordinaires et de la charpente. Les principaux déchets, solides ou liquide, mis à la décharge semblent avoir été :

- des parties de bacs de stockage et de réservoirs affectés par la rouille,
- divers types de ferraille,
- des déchets de produits émanant de citernes ou réservoirs d'eau usée ou de carburant,
- des gaines métalliques, etc.,
- des huiles de vidange,
- des sables souillés utilisés lors des opérations de sablage,
- des déchets de peintures, etc.

Une partie de ces déchets a été mise dans des fûts métalliques avant mise à la décharge (figure 30).



Figure n° 30: Fûts métalliques de déchets stockés à l'intérieur de l'unité SIMAS.

IV. Principales séquelles environnementale potentiellement générées par l'unité Simas.

En l'état actuel, parmi les différents déchets estimés avoir été mis en décharge au niveau de la zone de stockage de l'unité SIMAS, les huiles de vidange semblent les plus aptes à constituer une pollution de type chronique susceptibles de migrer vers le sous-sol suite à leur lessivage et leur remobilisation par les eaux pluviales. En cas de précipitations importantes, leur transfert vers le sol et le sous-sol (zone non saturée) est susceptible d'atteindre, sous certaines conditions et par divers processus, la surface piézométrique de la nappe phréatique sous-jacente (figure 31).

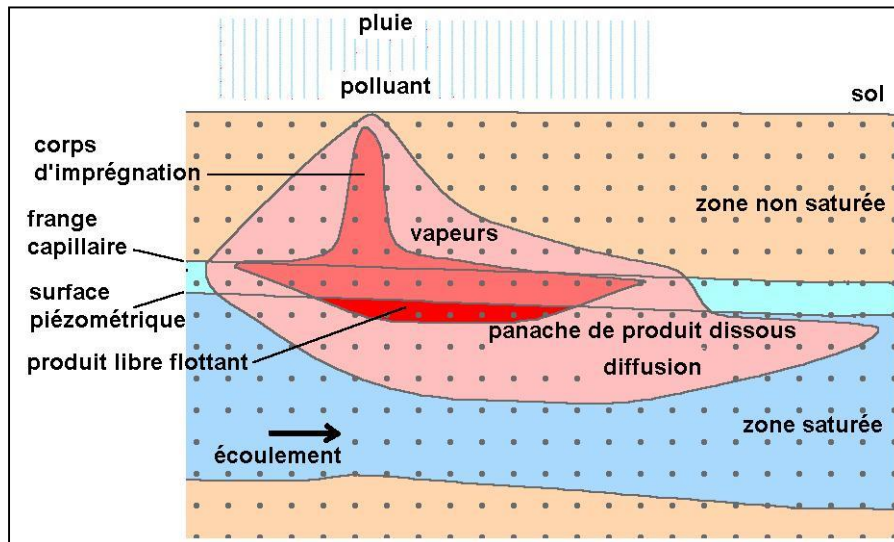


Figure n° 31 : Processus de migration de substances polluantes dans le milieu souterrain (produit plus léger que l'eau).

En règle générale, afin d'évaluer les risques des nappes d'eau souterraine à la pollution, il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques des polluants (nature des polluants, concentration et localisation) et du milieu récepteur : caractéristiques géologique du sous-sol et du contexte hydrodynamique de la zone saturée, essentiellement :

- le pouvoir protecteur et épurateur du recouvrement (ZNS) : divers mécanismes étroitement liés agissent de concert pour dégrader les polluants : a) processus physiques et mécaniques qui agissent sur le transport des particules solides; (b) processus biologiques: (phases aérobie et anaérobie) qui ont un effet sur le transport des bactéries et virus et sur la décomposition des composés organiques; (c) Processus géochimiques qui influent sur le transfert des solutés (adsorption / désorption, précipitation/dissolution). Dans le cas présent, la porosité d'interstice des formations limoneuses de surface et des grès, parfois marneux, de la zone non saturée constituent un facteur favorable à la dégradation des polluants grâce au pouvoir auto-épurateur de ce sous-sol.

- l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS). Sous l'unité Simas, la profondeur du niveau piézométrique de la nappe se stabilisait à environ de quatre (04 m). C'est sur cette distance à travers la zone non saturée (ZNS) que s'effectuent les processus de dégradation et de rétention des substances polluantes,

- Le polluant, partiellement ou totalement miscible ou soluble, après s'être infiltré à travers la zone non saturée peut atteindre le toit de la nappe (zone saturée - ZS). Là, il s'y dissout ou s'y mélange progressivement, formant un panache de pollution. Ce dernier qui s'oriente parallèlement à la direction d'écoulement se disperse progressivement, sous forme de galette si le polluant est plus léger que l'eau, ou continue à s'infiltrer s'il est plus dense. Le transport du polluant dissous sous l'effet du déplacement de l'eau est contrôlé :

- par la vitesse de déplacement de l'eau souterraine, c'est le "transport convectif",
- par le phénomène de la "dispersion", liée à des phénomènes mécaniques (dispersion cinématique ou mécanique), ainsi qu'à la diffusion moléculaire, liée à l'agitation brownienne des particules d'eau et de produit en solution,
- par le "facteurs retard" dépendant de tous les phénomènes qui agissent pour rendre non conservatif le transfert du produit dans le milieu saturé.

Au niveau du secteur de l'unité Simas, les paramètres hydrodynamiques disponibles sont disparates indiquant un faible gradient hydraulique de la surface piézométrique de la nappe phréatique, de l'ordre de deux pour mille, ainsi qu'un coefficient de perméabilité estimé à 2.10^{-4} m/s. Aucune donnée n'est disponible concernant le coefficient d'emmagasinement.

V. Etablissement de la carte de risque environnemental potentiellement induit par les déchets stockés au niveau de l'unité Simas :

Le risque environnemental pouvant affecter les nappes d'eau souterraine résulte de la conjonction, d'une part, d'un aléa environnemental, défini comme un événement instantané ou un processus continu qui, lorsqu'il se réalise, induit la possibilité de dégrader la qualité de l'environnement et d'autre part, la présence d'un milieu vulnérable.

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$$

Par conséquent, un aléa ne présente un risque que lorsqu'il est susceptible d'affecter quelque chose de valeur (la cible), en l'occurrence, les eaux souterraines.

L'évaluation du risque environnemental des eaux souterraines, tenant compte du contexte décrit dans le sous-chapitre précédent, nécessite en conséquence l'établissement d'une carte de risque réalisable par connaissance des éléments suivants :

- 1- la présence et localisation d'un aléa polluant,
- 2- la vulnérabilité intrinsèque du sous-sol et de la nappe d'eau souterraine sous-jacente.
- 3- Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, essentiellement, son sens d'écoulement, son gradient hydraulique, sa porosité cinématique et sa perméabilité qui déterminent la vitesse de transport du polluant dissous (panache) sous l'effet du déplacement de l'eau (transport convectif) (figures 31 et 32).

La superposition de ces différentes cartes permet d'obtenir la carte de risque environnemental (figure 32).

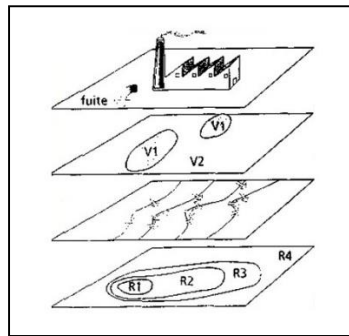


Figure n° 32 : Schématisation de la cartographie des facteurs de risque de pollution des nappes d'eau souterraine.

Au niveau de l'unité SIMAS, l'aléa est constitué par les déchets stockés à l'air libre, particulièrement les huiles de vidanges qui peuvent constituer une source de pollution, de nature organique, dont le corps d'imprégnation peut atteindre la nappe phréatique qui se stabilise autour de quatre mètres de profondeur (voir chapitre 1). Quant à la vulnérabilité de la nappe au niveau et autour de l'unité SIMAS, elle avait été estimée de "forte" par application de la méthode GOD (figure 25 en chapitre 2).

Concernant la direction d'écoulement et le gradient hydraulique de la nappe, prédéterminant celle du panache de pollution, la carte piézométrique de la nappe du secteur avait configuré l'allure des courbes isopièzes et précisé les lignes de courant autour du secteur de l'unité SIMAS (figure 14 chapitre 1). Quant à la vitesse de déplacement du polluant dissous et de la forme du panache, elles dépendent du "transport convectif" et des phénomènes de "dispersion" et de l'"effet retard". L'estimation de ces deux derniers phénomènes n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude car nécessitant l'évaluation de paramètres difficilement accessibles ou non disponibles et au vu des conditions particulières de réalisation de cette étude (période de confinement due à la pandémie du Covid 19).

Seule la vitesse apparente de déplacement de l'eau souterraine, et à titre purement indicatif, peut être approchée.

La loi de Darcy détermine ainsi la vitesse apparente, appelée également vitesse de Darcy (V_d) :

$$V_d = K \cdot i$$

"K" est le coefficient de perméabilité (m/s) et

"i" est le gradient hydraulique de la nappe (sans dimension)

Concernant le coefficient de perméabilité de la nappe, à proximité de l'unité SIMAS, un pompage d'essai avait permis d'estimer la transmissivité (T) autour de $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (voir chapitre 1 - IV.2.2.1).

Sachant que la transmissivité correspond au produit de l'épaisseur mouillée (e) ou tranche de la zone saturée par la perméabilité à l'eau ($T = K \cdot e$), il en résulte que la perméabilité (K) équivaut au rapport T/e.

Dans le secteur de l'unité Simas, le forage Oravio avait recoupé le substratum imperméable à 21 m de profondeur (Figure 10, Chapitre 1). Parallèlement, l'étude piézométrique avait relevé une profondeur de la nappe à 4,10 m au niveau du puits P6, le plus proche de la zone de stockage (Tableau 5, chapitre 1). L'épaisseur de la tranche d'eau est en conséquence égale à 16,9 m. définissant un coefficient de perméabilité K égal $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Sur la base d'un gradient hydraulique de la nappe égal à $1,8 \cdot 10^{-3}$, la vitesse apparente est donc estimée à $3,6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. A défaut de pouvoir disposer de la valeur de la porosité efficace au niveau de la zone saturée (équivalente au coefficient d'emmagasinement), la vitesse réelle de l'eau ne peut être estimée par déduction de la formule : $v_e = v_d / \omega$ (ω : porosité efficace ou utile).

Après positionnement du lieu de l'aléa, la superposition de la carte de vulnérabilité avec la carte piézométrique a permis d'établir la carte de la figure 33.

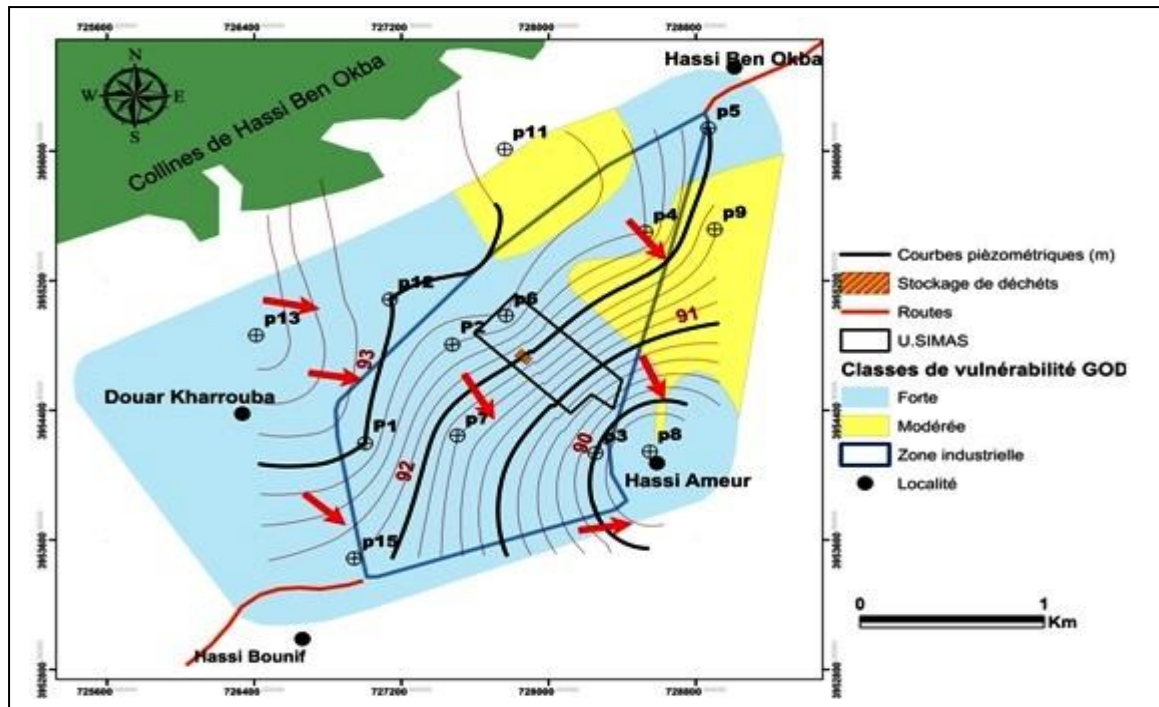


Figure n° 33 : Carte positionnant l'emplacement de l'aléa, la piézométrie de la nappe et les classes de vulnérabilité.

En tenant compte de la direction d'écoulement de la nappe aux alentours de l'usine SIMAS, la direction prévisible d'un éventuel panache de pollution est proposé.

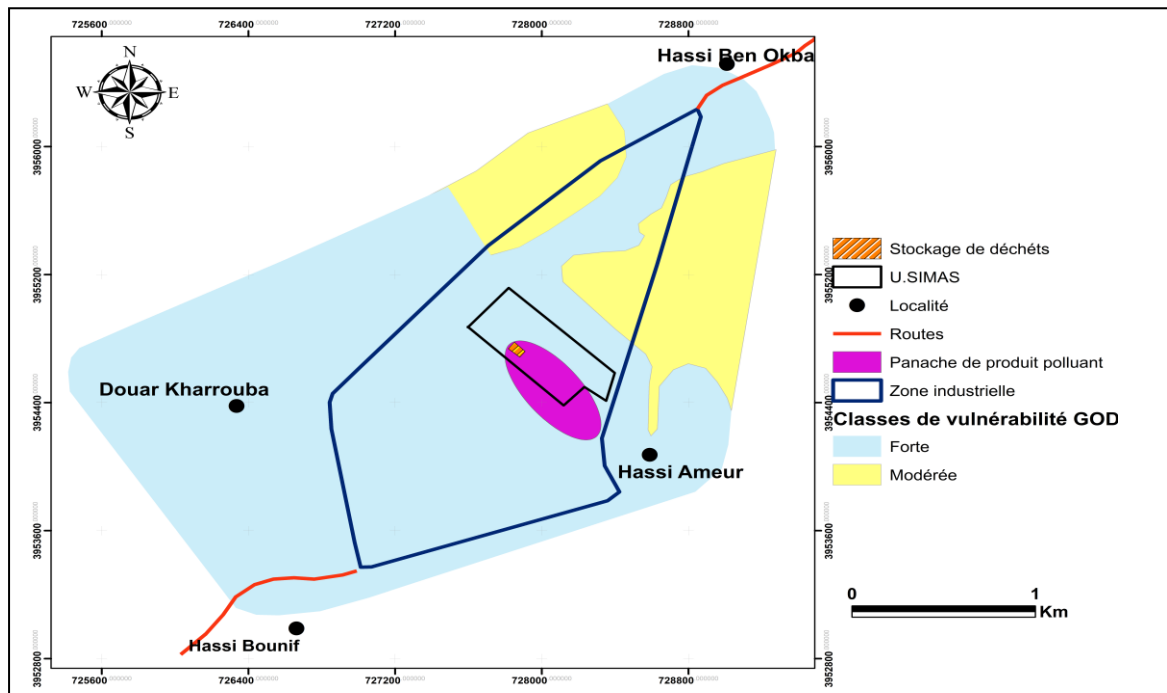


Figure n° 34 : Carte de risque environnement représentant la direction d'un éventuel panache de pollution en aval de l'unité SIMAS.

La forme et l'extension de ce panache est présentée à titre indicatif, à défaut de disposer de nombreux paramètres hydrodynamiques et physico-chimiques (en relation avec la nature du polluant ayant éventuellement atteint la nappe).

Conclusion

En tenant compte de la direction d'écoulement de la nappe sous de l'usine SIMAS, seuls la direction prévisible et la vitesse d'un éventuel panache de pollution, à niveau de risque unique, ont pu être proposées. Quant à la forme et l'extension de ce panache, ils ne sont présentés qu'à titre indicatif, à défaut de disposer de nombreux paramètres hydrodynamiques (milieu récepteur) et physico-chimiques (milieu récepteur et nature du polluant). Cela n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude qui s'est déroulée dans des conditions particulières et difficiles (période de confinement due à la pandémie du Covid 19).

Conclusion générale

Le travail mené dans cette étude était d'établir une carte de risque environnemental impactant une nappe phréatique autour de l'usine SIMAS en zone industrielle Hassi Aneur. Ce travail d'évaluation d'impact nécessite une connaissance approfondie de la zone étudiée.

La première étape de ce travail a été de synthétiser les connaissances relatives au cadre physique de la zone d'étude précisant sa situation géographique, ses caractéristiques morphologiques, climatologiques, géologiques et hydrogéologiques ainsi que le contexte hydrochimique en relation avec les critères de la qualité des eaux de la nappe autour du secteur étudié.

L'étude géologique, basée sur les travaux de plusieurs auteurs ayant étudié la région, a mis en évidence une structure constituée par deux grands ensembles géologiques. (a) Un substratum anté à synchro nappe, affleurant dans le Djebel Murdjadjo, le Djebel Khar et dans les Monts d'Arzew, représenté par des massifs schisteux autochtones d'âge permotriasique, jurassique et crétacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine, (b) un remplissage (couverture) post-nappe, avec une forte extension dans les zones basses du domaine. Dans ce remplissage on distingue quatre cycles dont les deux derniers intéressent directement notre zone d'étude. Un cycle post-nappe, d'âge pliocène, représenté des marnes bleutées "plaisanciennes" et des grès marins "astiens" puis continentaux suivi d'un cycle à dominance du Calabrien, d'abord lumachellique ou conglomératique passant progressivement à des grès dunaires. Au plan hydrogéologique, l'ensemble Astien-Calabrien constitue sous la plaine de Hassi Aneur un réservoir aquifère présentant une nappe libre dont le substratum est constitué par les marnes du Miocène supérieur ou du Pliocène inférieur. Du point de vue piézométrique, cette nappe est de type radiale, à écoulement de direction Nord-ouest / Sud-est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Aneur.

L'étude hydrochimique a caractérisé les principaux paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique. La cartographie hydrochimique a permis de rendre compte de l'évolution spatiale de certains éléments majeurs. Une relative forte minéralisation s'observe au niveau central de la zone industrielle (4638 mg/l). La valeur de minéralisation la plus faible est enregistrée sur la périphérie (1822 mg/l). Les fortes minéralisations (>3000 mg/l) sont localisées à l'ouest du secteur d'étude où se trouvent les plus importantes unités industrielles en activité. Les minéralisations les plus faibles sont relevables, en dehors de la

zone industrielle, dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba). Tenant compte de l'effet des conditions géologiques et hydrogéologiques, ainsi que de l'effet anthropique, l'étude hydrochimique permet de mettre en évidence l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant une influence sur l'évolution de la qualité des eaux. La classification de Riverside indique que les eaux des puits de la région présentent un risque d'alcalinité et de salinisation. Elles sont faiblement recommandées pour l'irrigation. La caractérisation et l'étude des éléments indicateurs de pollution, a permis de délimiter les points affectés par tel ou tel élément indicateur de pollution. Les nitrates sont détectés avec des teneurs dépassant les normes de potabilité pour l'ensemble des points d'eau.

La caractérisation de la vulnérabilité des eaux de la nappe à la pollution s'est appuyée sur l'approche cartographique par application de la méthode numérique à système de classement G.O.D. Deux classes de vulnérabilité se dégagent. Une zone à forte vulnérabilité qui occupe la plus grande partie de la plaine et de la zone industrielle, et une classe à vulnérabilité modérée qui occupe un espace localisé dans les zones agricoles situées au Nord et à l'Est de la zone industrielle.

En dernier chapitre, après présentation de l'historique de l'implantation de l'unité métallurgique SIMAS et le recensement des principaux déchets produits et stockés au sein même de l'unité, une évaluation a été faite des principales séquelles environnementales potentiellement générées par l'unité Simas. Parmi ces déchets, les huiles de vidange stockés dans des futs semblent les plus aptes à constituer une pollution de type chronique susceptibles de migrer vers le sous-sol suite à leur lessivage et leur remobilisation par les eaux pluviales. Il s'en est suivi une prise en considération des caractéristiques du milieu récepteur : sol, sous-sol (zone non saturée-ZNS) et zone saturée (ZS). Les principaux paramètres pris en compte ont été le pouvoir protecteur et épurateur du recouvrement, dépendants de la nature lithologique de ce dernier, ainsi que son épaisseur. Parallèlement, une évaluation a été faite du contexte hydrodynamique de la zone saturée, essentiellement la direction d'écoulement de la nappe ainsi que le gradient hydraulique et la perméabilité qui déterminent la vitesse de transport du polluant dissous (panache) sous l'effet du déplacement de l'eau (transport convectif).

En dernière étape est intervenue l'évaluation du risque environnemental établie sur le principe : $\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$.

La réalisation pratique de la carte du risque a été effectuée par approche cartographique superposant la carte piézométrique du secteur sur celle de la vulnérabilité intrinsèque, avec positionnement du lieu du potentiel aléa (zone de stockage).

En tenant compte de la direction d'écoulement de la nappe sous de l'usine SIMAS, seuls la direction prévisible et la vitesse apparente (et non réelle) d'un éventuel panache de pollution, à niveau de risque unique, sont proposées. Quant à la forme et à l'extension de ce panache, ils ne sont présentés qu'à titre indicatif, à défaut de pouvoir disposer ou d'estimer de nombreux paramètres hydrodynamiques du milieu récepteur (porosité utile, dispersion, effet retard) et physico-chimiques (caractéristique du polluant). Cela n'a pu se réaliser dans le cadre de cette étude qui s'est déroulée dans des conditions particulièrement contraignante : période de confinement due à la pandémie du Covid 19.

Références bibliographiques

Alamy Z et Langevin C. (1989) : Cartographie multicritères. Aptitudes des sols. Etude méthodologique. BRGM 30306 ENV 4S 89.

ANRH. (2009) : Réalisation de la carte des ressources en Eau souterraines du Nord de l'Algérie.

Boubkeri M. (2013) : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel : cas de la zone de Hassi Ameur (région d'Oran - Algérie). Mémoire de magister, 172 p., Université d'Oran.

Boubkeri M., Hassani M.I., Zaidi N., 2014 : Utilisation du modèle GOD pour l'évaluation de la vulnérabilité d'une nappe phréatique à la pollution : cas de la région de Hassi Ameur - Algérie. Proceedings of 41ST IAH International Congress "Groundwater: Challenges and Strategies"- Marrakech, September, 15-19, 2014.

Boulaine J., Gourinad Y., Nicod A., Bouillon M., Perredon A. (1957) : Notice explicatives de la carte géologique de l'Algérie 1/50.000. 154. Saint Cloud.Edition.Service de la carte géologique de l'Algérie.

Dassargues A and Gogu R. (1998): A schortoverview on groundwatervulnerabilityassessment (basic stratements for use in the framework of the COST 620 Action). Work : vulnérabilité et protection des eaux karstiques.Neuchatel (suisse).

Enrenad, (1998) : Evaluation de l'état environnemental de l'unité mécanique lourde et de chaudronnerie sous pression de l'entreprise SIMAS HassiAmeur-wilaya d'Oran.

Fenet B. (1975) : Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogenèse nord-maghrébin : Les Monts du Djebel Tessela et les Massifs du littoral oranais. Thèse de doctorat ES Sciences.

Foster S. (1987): Fundamentals concepts in aquifervulnerability, pollution risk and protection strategyvulnerability of soil and groundwater to pollutants. RIVM. TNO COMMITTE on hydrogicalresearch, pp. 69-86.

Foster & al., 2005: Groundwater Quality Protection: defining strategy and setting priorities 2002 - 2005, GW•MATE Briefing Notes Series. Note 8, World Bank, 6 p., Washington D.C.,

Gabriel Etienne A., Kouassi D., Boyosso Hélène K., Brou Dibi., Mahaman Bachir S., Biemi J. (2009) : Contribution des méthodes de vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à l'étude de la pollution par les Nitrates dans la région de Bonoua (Sud-Est de la cote d'Ivoire).

Guillenin C et Roux J.C. (1992) : la pollution des eaux souterraines. Manuels et Méthodes, n°23, édition. BRGM.

Haddar L. (1986) : contribution à l'étude hydrogéologique du piémont du Djebel Khar entre le lac Telamine et HassiAmeur.Mém.Ing. Etat. Université d'Oran.

Hamel D., Paradis E., Bourque M., Savard M., Nastev M., Lefebvre R., Martel R et Murat V. (2003) : Vulnérabilité à la nappe des aquifères du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD 14p.

- Hassani M.I. (1987) : Hydrogéologie d'un bassin endoréique sémi-aride. Le Bassin Versant de la grande sebkha d'Oran (Algérie). Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Grenoble. 304 p.
- Hassani M.I., 2015 : Vulnérabilité et protection qualitative des eaux souterraines. Série : documents du laboratoire Georen, n°4, FSTU - Université Oran 2, 43 p.
- Lallemand-Barrés. (1994) : Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. Étude documentaire préliminaire. Rapport BRGM R 37928.
- LTPO. (1984) : Implantation d'équipements au sein des ateliers E.N.C.C. HassiAmeur.Oran
- Mardhel V. (2001) : Evaluation et cartographie de la vulnérabilité des grands aquifères de l'île et la réunion –Etude de l'aquifère de la plaine des Galets (rive droite de la rivière des Galets).Rapport BRGM/RP-50590-Fr-00SGR/REU 40, 98 p., 62 fig., 4 tab. 1 annexe.
- Miquel G. (2003) : Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France, tonne
- Munoz S et Langevin C. (1991) : Adaptation d'une méthode cartographique assistée à l'élaboration de cartes de vulnérabilité au Guatemala. Hydrogéologie, n °1.
- Munoz S et Juarez S.R. (1989) : Essai d'adaptation d'une méthode cartographique assistée à l'élaboration de cartes de vulnérabilité au Guatemala.DEA paris –sud Orsay.
- Murat V. (2000) : Guide d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Rapport de stage soumis au Ministère de l'environnement du QUEBEC. Mars 2000, 50 p.
- OMS. (2006) : Normes internationales pour l'eau de boisson.
- ONM. Données climatologies de station d'Es-Sénia (1990-2008).
- Perrodon A. (1957) : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Occidentale, publ.serv. Carte Géol. Algérie, 12, 328p.
- Pételet –Giraud E., Doerfliger N., Crochet P. (2002) : RISKE : méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Application aux systèmes des Fontailles et Cents-Fonts (Hérault, S. France)-Soumis à l'hydrogéologie 2000, 1 et 3 ANTEA Montpellier, 2 BRGM Montpellier.
- Ricour J. (1998) : Elaboration des cartes de vulnérabilité, de sensibilité à la pollution de la nappe de la craie dans le secteur de Guines (Pas-de-Calais) à l'aide du logiciel Synergis.Rapport 88 NPC 101 BRGM.
- Rodier J. (2010) : L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer).Editions Dunod, Paris.
- Sogreah (1984): Drainage de la zone sud du PUD Oran. Mission B. Sogreah Ingenierie. Grenoble.
- Thomas G. (1985) : Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin de bas Chélif occidentale (Algérie) durant le moi-plio-quatenaire. Thèse Doc. Univ. de Pau. 594 p. 161 fig.B.