



FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES

MARRAKECH



Département des Sciences de la Terre
Licence Sciences et Techniques
Option : Eau et Environnement

Mémoire de Fin d'Etudes

Impact des margines sur les eaux souterraines de la nappe phréatique de la vallée de Ghmat au sud de Marrakech (Maroc)

Réalisé Par :

- **Raja HAKAKAT**
- **Asma LAZRAK**

Encadrées par :

- **Mr D. CHAFIKI**
- **Mr A. RHOJJATI**

Soutenu le 22/02/2010 devant le jury composé de :

- **Mr M. AGOUSSINE**
- **Mr A. RHOJJATI**
- **Mr D. CHAFIKI**

Année Universitaire : 2010 - 2011

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents qui nous sont très chers ;

Nos professeurs ;

Nos camarades ;

Tous ceux qui nous ont aidés tout au long de la réalisation de ce travail.

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et témoigner de notre grande reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études et leur exprimer notre gratitude pour l'intérêt et le soutien qu'ils nous ont généreusement accordé.

Nos remerciements s'adressent au Professeurs Driss CHAFIKI et Ali RHOUJJATI, Pour avoir dirigés nos travaux de recherche. La confiance et le soutien, qu'ils nous ont accordés, nous ont permis de mener à bien ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

On est très reconnaissant au Professeur Monsieur M. AGOUSSINE de nous avoir soutenu et appuyé tout au long de ce projet de fin d'étude, vous nous avez encouragé à surmonter les difficultés. Vos précieux conseils vos commentaires et vos critiques ont été très utiles pour structurer notre travail. Mr vous nous avez consacré de nombreuses heures de discussion, votre disponibilité, votre générosité nous ont été des atouts précieux un simple mot de merci n'est pas suffisant pour vous exprimer nos gratitudes.

Nous exprimons nos gratitudes à Monsieur A.BENKADDOUR qui, et malgré ses occupations, nous a bénéficié de ses conseils et critiques judicieux.

Nos remerciements vont à Monsieur Ali BACHNOU, pour ses conseils et son soutien.

Nous tenons aussi à remercier très vivement tout le corps professoral du département de la géologie qui a déployé tous ses efforts afin de nous assurer une meilleure formation.

Nous adressons nos vifs remerciements à :

- Mr MORINO, Ingénieur chef de laboratoire de l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).
- Mme OUZZANI, professeur à la faculté des Sciences Semlalia, Marrakech de nous avoir autorisés à effectuer les analyses physicochimiques dans son laboratoire d'écotoxicologie au département de biologie.
- Mr TAOURIRTE : Vice doyen et professeur de chimie à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech

Nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, sans oublier personne.

RESUME

L'étude a été réalisée dans le Haouz de Marrakech, principalement au niveau de la commune rurale « Ghmat », caractérisée par une potentialité agricole importante surtout l'oléiculture. Dans cette zone, les eaux souterraines constituent une ressource importante en eau potable et en eau d'irrigation. Or, les eaux de cette nappe se trouvent menacées par nombreux foyers de pollution ce qui les sujette à plusieurs possibilités de contamination.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact d'épandage direct des eaux résiduaires de l'industrie oléicole sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines.

Les résultats obtenus à partir des mesures et des analyses effectuées sur les différentes eaux prélevées ont montré que les teneurs en Nitrates sont faibles et ne dépassent pas les 50 mg/l suggérés par les normes marocaines et internationales d'eau potable. Ainsi la pollution par les margines est manifestement observée grâce aux teneurs en polyphénols sont situées entre 1,76mg/l et 7,47mg/, qui dépassent généralement la norme fixée par le conseil national de l'environnement (0,01 mg/l) pour la qualité des eaux destinées à la production de l'eau potable.

Mots clés : Margines, polyphénols, Nitrates, qualité des eaux souterraines, Ghmat, Marrakech.

Sommaire

Introduction.....	6
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
I- Généralités sur les margines.....	8
I-1- Origine des margines	8
I-2- Caractéristiques physico-chimiques des margines.....	8
II- Contexte géologique, hydrogéologique et climatologique de la zone d'étude.....	10
II-1-Situation géographique	10
II-2-Cadre géologique et pédologique	10
II-2-1-Le cadre géologique	10
II-2-2-Pédologie.....	15
II-3- Cadre Climatologique, hydrologique et hydrogéologique.....	16
II-3-1-Climatologie	16
II-3-2- L'Hydrologie	16
II-3-3- Hydrogéologie	17
II-3-3-1 : la vulnérabilité de la nappe Houaz	19
CHAPITRE II : PARAMÈTRES ETUDIÉS ET MÉTHODES D'ANALYSE	20
I- Échantillonnage des eaux souterraines.....	21
II- Méthodes d'analyse des eaux souterraines	24
II-1- Mesure sur le terrain	24
II-2- Mesure au laboratoire	24
Chapitre III : Résultats et discussion.....	26
I- Résultats des analyses	27
I-1- Critique des résultats	27
I-2- Interprétation des paramètres analysés	27
I-2-1-1-Température	27
I-2-1-2 : pH	27
I-2-1-3 : Conductivité :	27
I-2-2 :Paramètres chimiques	29
II- Détermination des faciès chimiques	35
III- L'impact des margines sur les eaux souterraines.....	40
IV-Analyse en composantes principales (ACP)	41
Conclusion générale	44
Références bibliographique.....	41
Liste des Figures.....	43
Liste des tableaux.....	44
Liste des photos.....	45
Liste des abréviations.....	46
Liste des annexes.....	47

Introduction

Dans le bassin du Haouz, les eaux souterraines jouent un rôle primordial dans l'alimentation en eau potable et l'irrigation agricoles. L'unique origine de toutes ces ressources est la nappe phréatique qui est généralement de nature alluviale, libre, perméable et ne bénéficie pas d'une bonne protection vis-à-vis les différents foyers de pollution qui se sont multipliés dans la région (Pollution domestique, pollution industrielle et pollution agricole).

La région retenue dans cette étude est la zone de Ghmat connue par son activité agricole. Ainsi, la présence de l'olivier en abondance dans la région a permis l'installation des petites unités industrielles (huileries) productrices de l'huile d'olive.

Cette production des huiles pendant des années successives génère, outre l'huile d'olive qui est le produit désiré, deux types de déchets :

- un déchet solide formé par les grignons qui ne posent pas de problèmes environnementaux majeurs, vu la facilité de leur transport et leur utilisation soit pour l'extraction de l'huile résiduelle soit comme combustible.
- *un déchet liquide appelé « margines », qui constituent un important facteur de pollution du fait qu'ils renferment une fraction organique importante (des protéines, lipides, glucides et polyphénols) et aussi par leur acidité moyennement élevée et leur concentration élevée de matière solide totale (Camurati et al., 1984).*

Le volume des margines produites varie en fonction du système d'extraction utilisé. Au Maroc, la trituration d'un quintal d'olive est accompagnée de 20 litres des margines (Scandiascult, 1992). Ainsi, et devant la demande croissante des huiles d'olive dans ces dernières décennies, l'élimination des grandes quantités de ces effluents est devenue, un problème sérieux pour les unités productrices.

De ce fait, le rejet direct de ces effluents constitue un problème majeur dans la région. Ces eaux fortement polluées et peu dégradables à cause des substances phytotoxiques et antimicrobiennes (phénols, acides gras volatiles, pesticides, etc.) qu'elles contiennent causent de sérieux dégâts environnementaux. L'absence de méthodes de traitement adaptées et de législation contraignante pousse les propriétaires de moulins à huile à rejeter ces eaux soit directement dans le milieu naturel, soit via le réseau d'assainissement urbain ou communal.

Ce travail de recherche consiste à étudier l'impact des effluents des huileries d'olive sur les eaux souterraines de la nappe phréatique de la vallée de Ghmat.

Pour cela, nous avons entrepris :

- Une synthèse des connaissances géologiques et hydrogéologiques de la zone étudiée.
- Une étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines dans la zone ici considérée. Ces caractéristiques permettront de rendre compte de la qualité de ces eaux souterraines et de détecter d'éventuel impact des rejets des margines sur les eaux de la nappe phréatique.

Pour atteindre les objectifs du travail sus-cités une démarche à la fois de terrain et de laboratoire a été suivie. Le travail de terrain consiste en une campagne d'échantillonnage des eaux au niveau des puits choisis et en une série de mesures de la piézométrie, de la conductivité et du pH. Cette étape s'est poursuivie au laboratoire par des analyses chimiques des eaux souterraines et une interprétation des résultats

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I-Généralités sur les margines

I-1- Origine des margines

L'olivier (*Olea oleuropea* L.) est cultivé depuis des milliers d'années où il occupe une place capitale dans la production arboricole. C'est un arbre rustique et bien adapté au climat sec et aux sols pauvres. L'industrie oléicole constitue une activité fort importante dans la région de Ghmat .la production de l'huile d'olive est basée essentiellement sur trois techniques d'extraction :

- La méthode traditionnelle dite par pressage ou discontinue qui traite 8 à 10 tonnes d'olives par jour
- La méthode moderne dite par centrifugation ou continue qui traite 30 à 32 tonnes par jour.
- Le procédé à deux phases.

Concernant les deux huilerie étudiées H₁ et H₂ adoptent la méthode traditionnelle (Fig.1) qui consiste d'abord à broyer les olives par des meules de pierres puis à malaxer la pâte obtenue pour favoriser la rupture des émulsions, la pâte est ensuite soumise a une force de pression qui sépare entre les grignons et le moût ; ce dernier se sépare par décantation en deux phases : l'huile d'olive et les margines qui sont les effluents liquides des huileries.

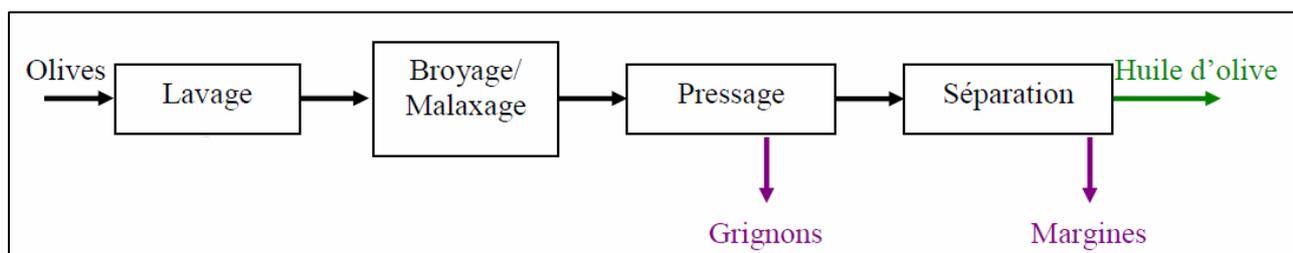


Figure 1 : l'extraction d'huile d'olive par pressage (d'après Skerrat et Ammar, 1999)

Les margines contiennent 83 à 94% d'eau, 4 à 16% de matière organique et 0,4 à 2,5% de sels minéraux (Ramos-Cormenzana, 1986). La matière organique des margines comprend l'huile (1 à 14%), les polysaccharides (13 à 53%), les protéines (8 à 16%), les acides organiques (3 à 10%), les polyalcools (3 à 10%) et les polyphénols qui représentent 2 à 15% ce qui correspond à une concentration de 10 g/l (Fiestas Ros de Ursinos, 1986 ; Paredes *et al.*, 1999; Sayadi *et al.*, 2000 ; Ben Sassi *et al.*, 2006). Les sels minéraux des margines comprennent 21% de carbonates, 14% de phosphates, 47% de potassium et 7% de sodium (Fiestas Ros de Ursinos et Borja, 1992).

I-2- Caractéristiques physico-chimiques des margines

Les déchets liquides dénommés « margines » obtenus lors de l'extraction de l'huile d'olive, constituent un important facteur de pollution du fait qu'ils renferment une fraction organique importante (des protéines, lipides, glucides et polyphénols) et aussi par leur acidité moyennement élevée et leur concentration élevée de matière solide totale (Camurati *et al.*, 1984).

Les margines peuvent présenter des propriétés très différentes les unes des autres en fonction de la variété des olives et leur maturité, du climat, des conditions du sol et de la méthode d'extraction adopté (Tableau 1).

Paramètres	Système d'extraction	
	Discontinu	Continu
pH	4,5 à 5	4,7 à 5,2
Conductivité (ms/cm)	16	8
Demande chimique en oxygène DCO (g/l)	120 à 130	45 à 60
Demande biologique en oxygène DBO5 (g/l)	90 à 110	35 à 48
Matières en suspension MES (g/l)	1 à 2	6 à 9
Matières sèches MS (g/l)	120 à 170	50 à 60
Matières volatiles MV (g/l)	88 à 105	44 à 55
Principaux éléments (mg/l)		
Phosphore : P	1.100	96
Potassium : K	7.200	1.200
Calcium : Ca	700	120
Magnésium : Mg	400 à 6.000	48
Sodium : Na	900	45
Fer : Fe	70	15
Substances organiques (g/l)		
Sucres totaux	20 à 80	10
Substances azotées	5 à 20	2,8
Acides organiques	5 à 10	-
Polyalcools	10 à 15	1,1
Pectines-mucilages et tannins	10 à 15	3,7
Polyphénols	10 à 24	5
Graisses	0,5 à 1	3 à 10

Tableau 1 : Composition des margines (Fiestas, 1981 ; Hamdi, 1993)

✓ Les composés phénoliques

Les composés phénoliques forment un très vaste ensemble de substances présentant, au moins, un noyau benzoïque auquel est directement lié un ou plusieurs groupes hydroxyles libres ou engagés dans une autre fonction ester, éther ou étherside (Thomson, 1964). Dans ce contexte, plusieurs composés phénoliques et plusieurs alcools ont été identifiés (Maestro-Duran *et al*, 1991 ; Brenes *et al*, 1999). Ces composés peuvent se présenter sous différents formes plus ou moins complexes : c'est le cas notamment des tannins.

Plusieurs classes de composés phénoliques sont répertoriées selon leur structure chimique de base notamment le nombre de carbone ainsi que la nature, le nombre et la position des substitutions.

II- Contexte géologique, hydrogéologique et climatologique de la zone d'étude

II-1-Situation géographique

Le secteur d'étude appartient au Haouz Central (Marrakech). Celui-ci est limité au Nord par le massif des Jbilet, au sud par la chaîne du Haut Atlas, à l'Est par l'oued R'Dat et à l'Ouest par l'oued N'Fis. Il se situe à 35 Km au sud-est de Marrakech (Fig. 2).

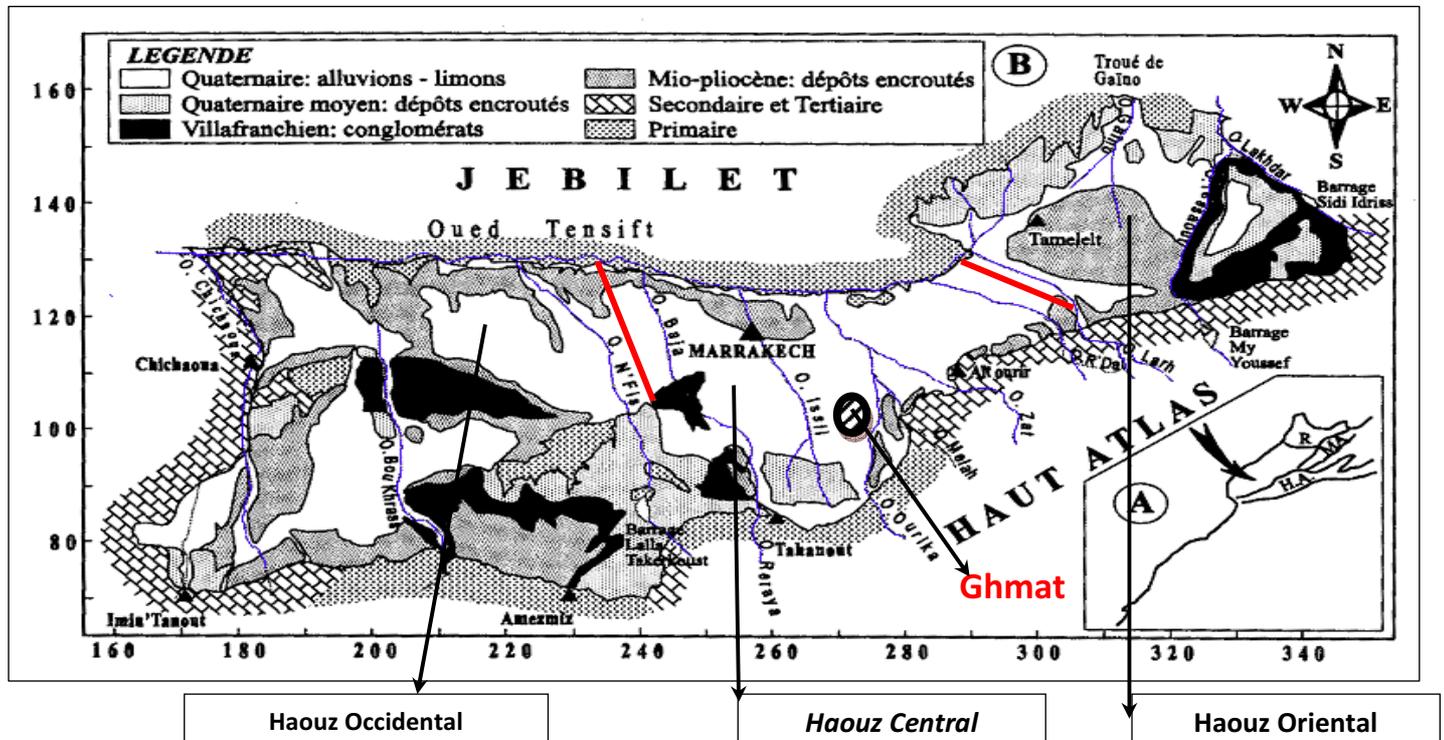


Figure 2 : Contexte géographique et géologique de la plaine du Haouz (Razoki, 2001).

II-2-Cadre géologique et pédologique

II-2-1-Le cadre géologique

Le Haouz de Marrakech est un bassin de sédimentation modérément subsident, il correspond à une dépression d'origine tectonique, qui s'est formée au Tertiaire et au Quaternaire, et dans laquelle se sont accumulées au Néogène des formations détritiques continentales et fluviales issues du démantèlement de la chaîne atlasique (Ambrogui et Thuile, 1952) (Fig.3).

L'étude stratigraphique du bassin de Haouz montre l'existence de deux grands domaines ;

- un domaine oriental formé, pour l'essentiel, de calcaire dolomitique du Jurassique inférieur ;
- un domaine occidental dans lequel prédominent les formations crétacées et éocènes caractérisées par des faciès gréseux, marneux et calcaires.

Ces deux domaines correspondent respectivement aux deux grands bassins qui ont régné dans la dépression du Haouz. Il s'agit du bassin Triasique et Liasique à l'Est et du bassin Jurassique et Crétacé-Eocène à l'Ouest.

Le secteur étudié fait partie intégrante du Haouz central, il montre par conséquent les mêmes caractéristiques stratigraphiques décrites auparavant par Sinan (2000):

1- Le Paléozoïque :

Les terrains paléozoïques constituent le massif de Jebilet, limite nord du Haouz central et une grande partie du haut Atlas. Ces terrains sont essentiellement formés de pélites, grès, quartzites et des argiles avec des carbonates au Dévonien.

2- Le Mésozoïque :

- *Permo-trias* : Les dépôts permo-triasiques sont constitués d'une série argileuse-salifère. Le Trias supérieur-Lias a été marqué par l'individualisation du bassin haut atlasique.
- *Jurassique* : le Jurassique Inférieur est formé par les siltes argileuses, et les calcaires dolomitiques, calcaires marneux et parfois du gypse.

Le Jurassique moyen affleure essentiellement au niveau des cuvettes d'Ait Ourir et il est formé de bas en haut par des conglomérats, des siltes argileuses et des grès.

- *Crétacé* : le Crétacé inférieur est représenté, dans le Haouz central, par des calcaires gréseux à altération jaunâtre (Albien) et le Crétacé moyen par un faciès argileux (cénonanien) et des calcaires (cénonano-turonien).

Le Crétacé supérieur est représenté par des faciès argileux (Sénonien) et des intercalations calcaires.

3- Le Cénozoïque :

- *Eocène* : Il constitue le fond des synclinaux, le faciès est un calcaire à coquilles ou à silex ou bien des calcaires dolomitiques avec des passages marneux ou gréseux.
- *Mio-Pliocène* : Il affleure au sud sous forme de pointements avec un faciès essentiellement gréseux à la base et devenant argilo-gréseux au sommet.

4- Quaternaire :

Ses sédiments sont des produits de démantèlement de la chaîne atlasique. Les dépôts sont constitués essentiellement par des limons rouges, des argiles et des cailloux qui affleurent sur des grandes étendues dans le Haouz central.

Deux sondages (IRE 3586/53 et IRE 3848/53), réalisés par l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT) dans la vallée de Ghmat, montrent la nature lithologique des différentes formations rencontrée lors de la foration (Fig. 4 et Fig. 5).

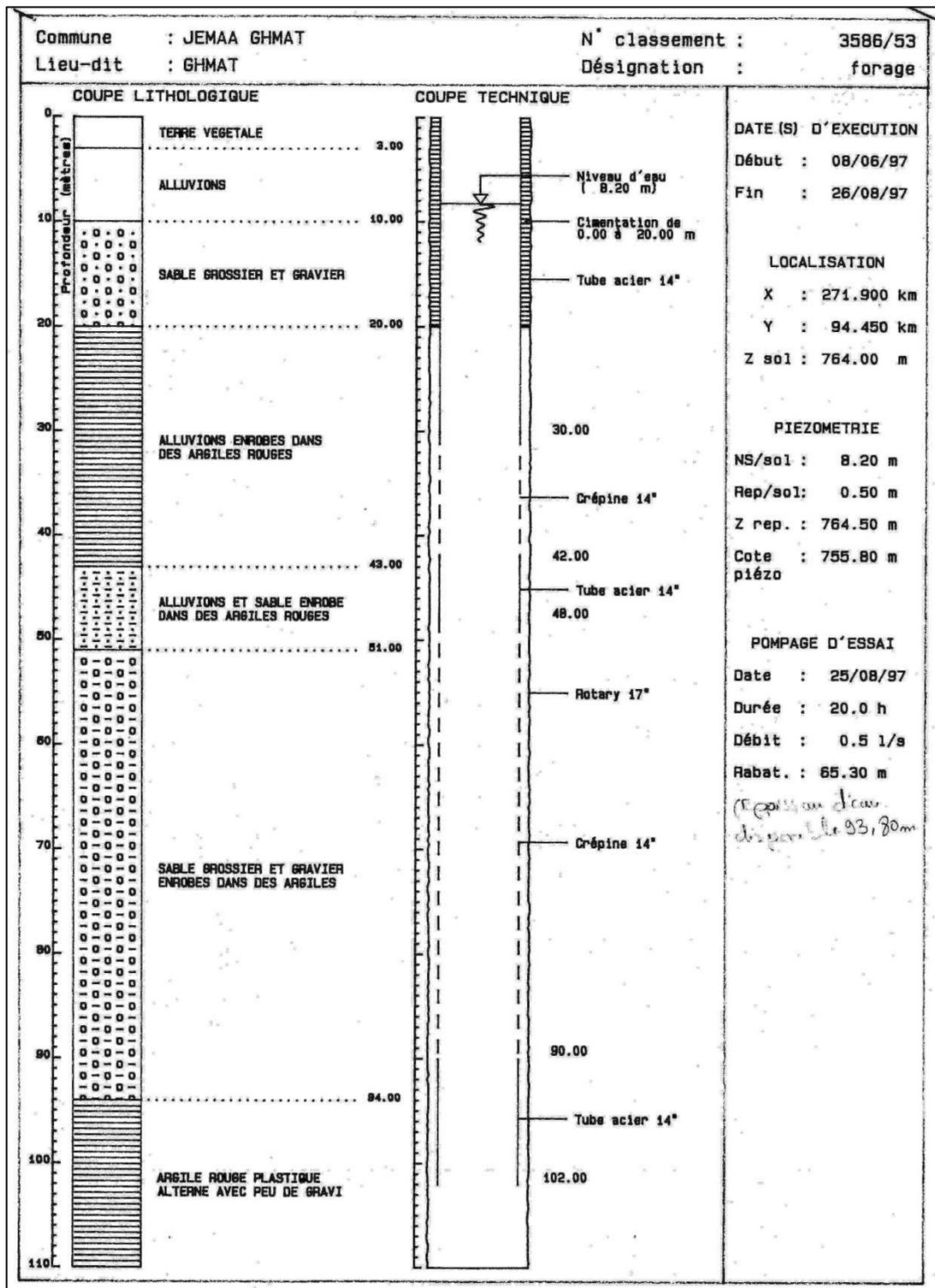


Figure 4: Colonne lithostratigraphique tirée du forage IRE : 3586/53 réalisé dans le secteur de Ghmat (Source : ABHT)

localité : DAHRA
IRE : 3848/53

N° classement : 3848/53
Désignation : PIEZOM

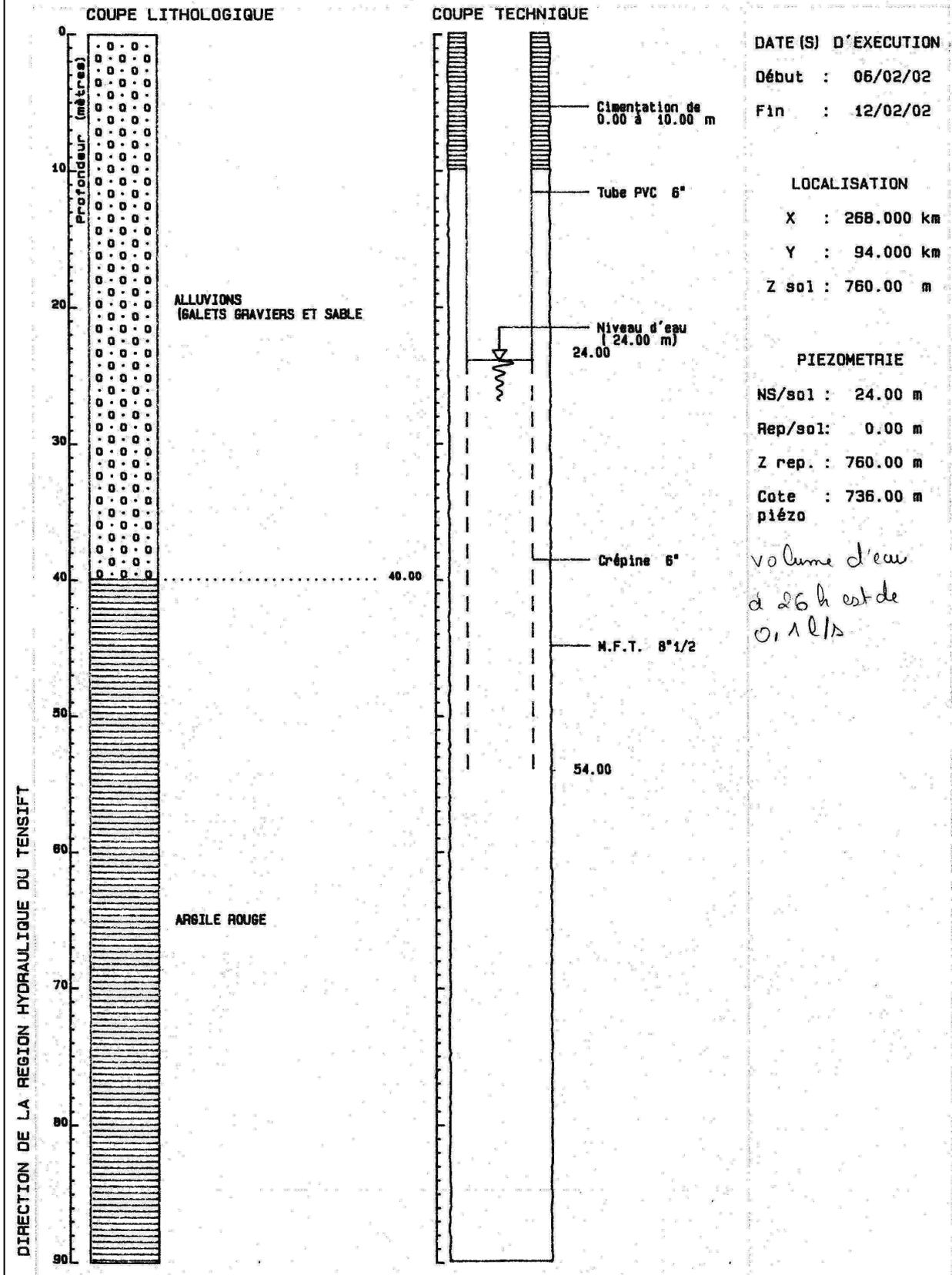


Figure 5 : Colonne lithostratigraphique tirée du forage IRE : 3848/53 implanté dans le secteur de Ghmat (Source : ABHT).

Les deux coupes de forages montrent la succession des formations rencontrées dans la vallée de Ghmat, qui sont constitués de deux natures lithologiques notamment les alluvions et les alluvions enrobés dans des argiles rouge et un substratum argileux qui seraient respectivement d'âge plio-quaternaire et mio-pliocène. Cette probable attribution stratigraphique est faite sur la base des observations de terrain affleurant sur la bordure de la chaîne Atlasique à 8Km à vol d'oiseau au sud du secteur étudié.

II-2-2-Pédologie

L'étude pédologique effectuée en 1951 par la Direction de l'Agriculture du Commerce et des Forêts au niveau du Haouz de Marrakech a révélé la présence de quatre types de sols : rouges, bruns, châtains et gris, avec des textures limono-argileuses, limoneuses ou limono-sableuses (Fig.6).

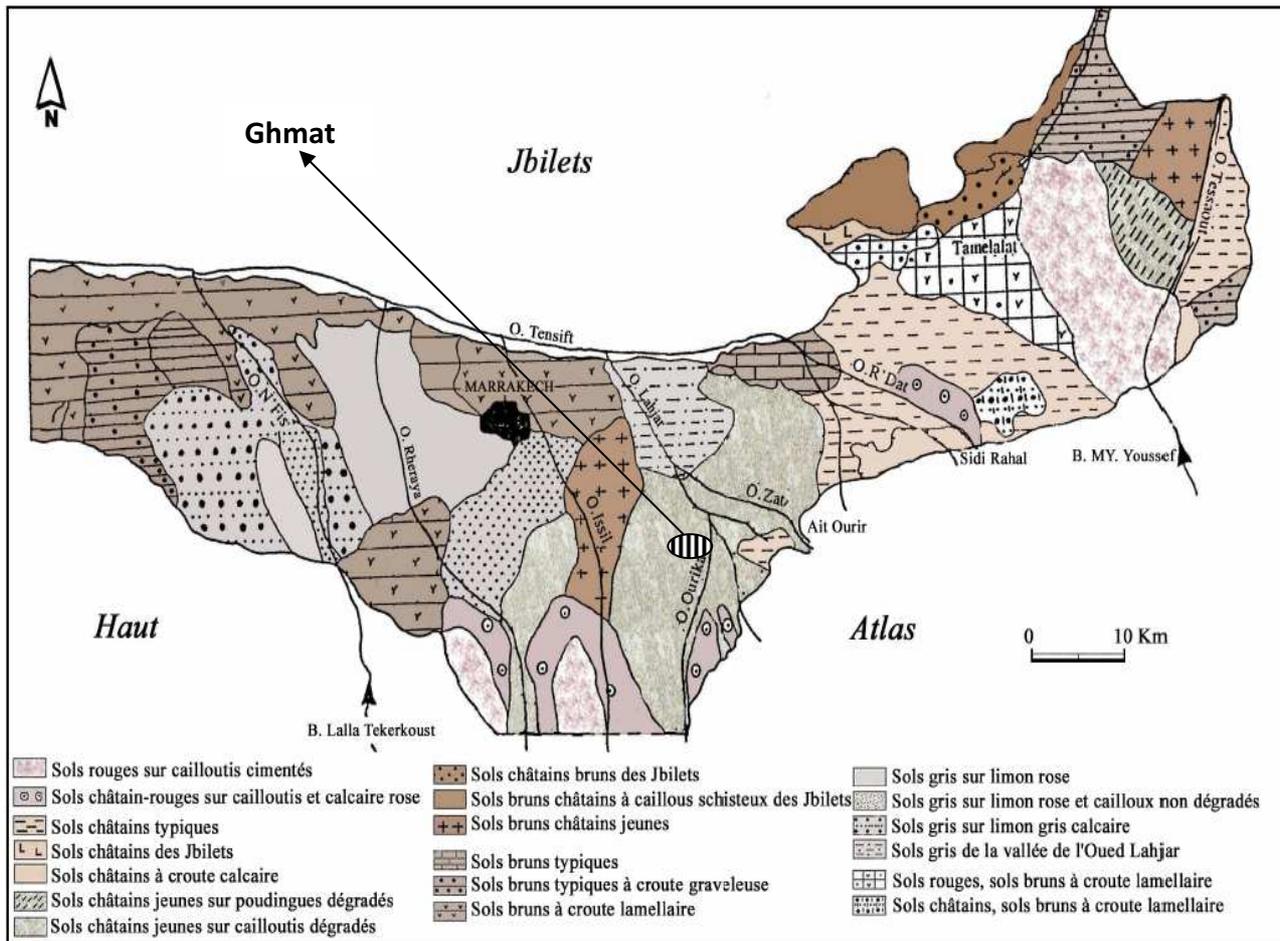


Figure 6 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'Agriculture du Commerce et des Forêts, 1951)

Le site d'étude est situé dans la vallée de Ghmat, où dominent des matériaux quaternaires de types limons, alluvions et cônes de déjection caillouteux.

II-3- Cadre Climatologique, hydrologique et hydrogéologique

II-3-1-Climatologie

Le climat méditerranéen du Haouz, chaud et sec, de type continental, est classé à la limite du semi-aride et de l'aride. Les données climatiques exposées dans ce qui suit sont fournies par la station du barrage Lalla Takerkoust. Celle-ci est la station la plus proche du secteur d'étude et elle est gérée par l'ABHT.

- **Evaporation au piche :** L'analyse de l'histogramme relatif à la répartition de l'évaporation moyenne annuelle (voir Annexe 1) montre un régime irrégulier. On note que l'évaporation maximale a été enregistrée nettement en 2000-2001 alors que l'évaporation minimale a été enregistrée en 2009-2010.

L'évaporation moyenne est de l'ordre 1800mm/an.

- **Température :** La variation de la température depuis l'année 1999 jusqu'à 2010, elle peut atteindre 48°C et la température moyenne est de 39°C (voir Annexe 1).

- **L'humidité :** D'après les mesures de l'humidité réalisée par l'ABHT depuis l'année 1990 jusqu'à 2009 (voir Annexe 1). on déduit que celle-ci est moins importante de Juin à Septembre et élevée pendant le mois d'Octobre à Juin.

- **Pluviométrie :** Les mesures de la pluie montrent qu'il y'a une variation irrégulière (voir Annexe 1). Dans la région de Ghmat la pluviométrie moyenne annuelle atteint 408 mm.

II-3-2- L'Hydrologie

L'ensemble des précipitations qui tombent sur le versant nord atlasique, se regroupent et forment un nombre important d'affluents qui se rassemblent ensuite en deux principaux systèmes hydrographiques :

- le premier représenté par l'oued Tensift qui reçoit les eaux des Oueds : R'dat, Zat, Ourika, Reraya et Oued N'fis ;

- le deuxième est principalement composé par l'oued Lakhdar et oued Tassaout.

Les oueds ont un régime qui reflète l'irrégularité des pluies. Ils sont pérennes en montagne mais ne le sont plus dans la plaine (sauf pour l'oued Lakhdar). La plus grande partie des débits passe sous forme de crues provoquées par de fortes pluies.

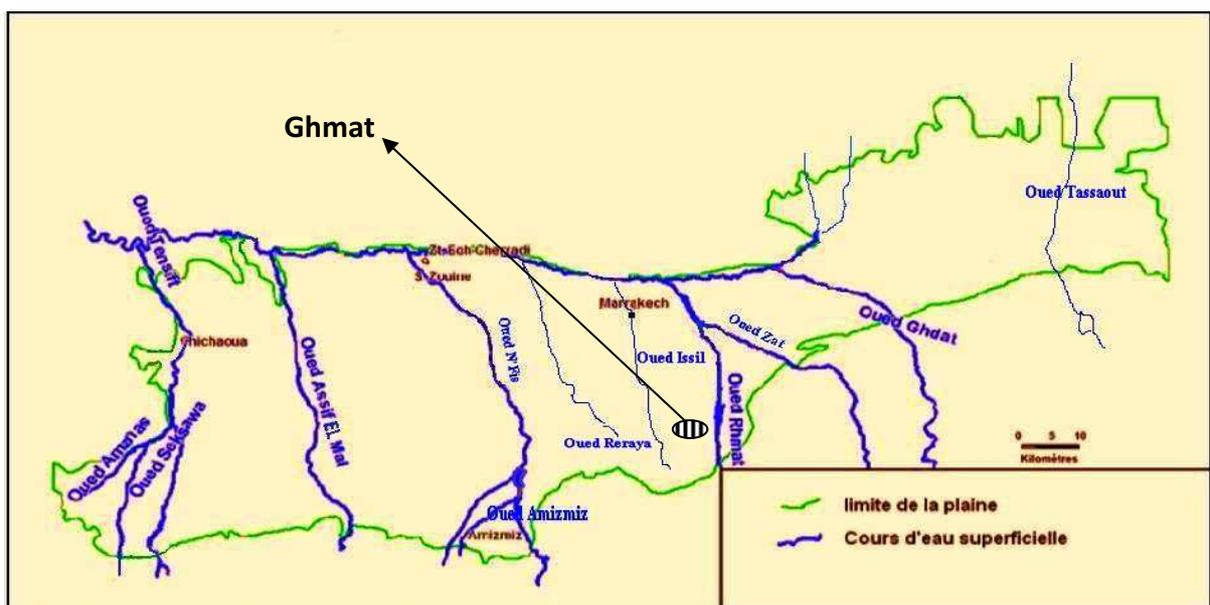


Figure 7 : Carte des systèmes hydrographiques du Haouz (Source, ABHT)

II-3-3- Hydrogéologie

Parmi les différentes nappes existantes, l'unique nappe qui présente une réelle importance dans la plaine du Haouz est la nappe phréatique. Elle est limitée au Nord par les schistes imperméables des Jbilets, au Sud par la bordure nord du Haut Atlas, à l'Ouest par les calcaires du plateau de Chichaoua et à l'Est par l'Oued Lakhdar.

Les eaux de cette nappe circulent dans les alluvions mio-plioquaternaires ayant une hétérogénéité complexe, tant horizontale que verticale. Cette complexité est à l'origine de la variation des caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe.

L'alimentation de la nappe est assurée par les sous-écoulements des oueds atlasiques à leur entrée dans le Haouz grâce aux propriétés pétro-physiques des dépôts fluviaux fortement favorables à l'infiltration, au transfert direct avec les nappes profondes et par aux retours d'irrigation toutefois certains auteurs (Cochet et al., 1965) ont montré que la couverture limoneuse de la plaine limite considérablement l'alimentation verticale de la nappe phréatique par les infiltrations d'eau de pluie ou d'eau d'irrigation .

La carte piézométrique (Fig.8) montre que l'écoulement s'effectue généralement du Sud vers le Nord, avec des zones de forts gradients hydrauliques au sud de la plaine, alors que vers le Nord les surfaces libres s'adoucissent très nettement.

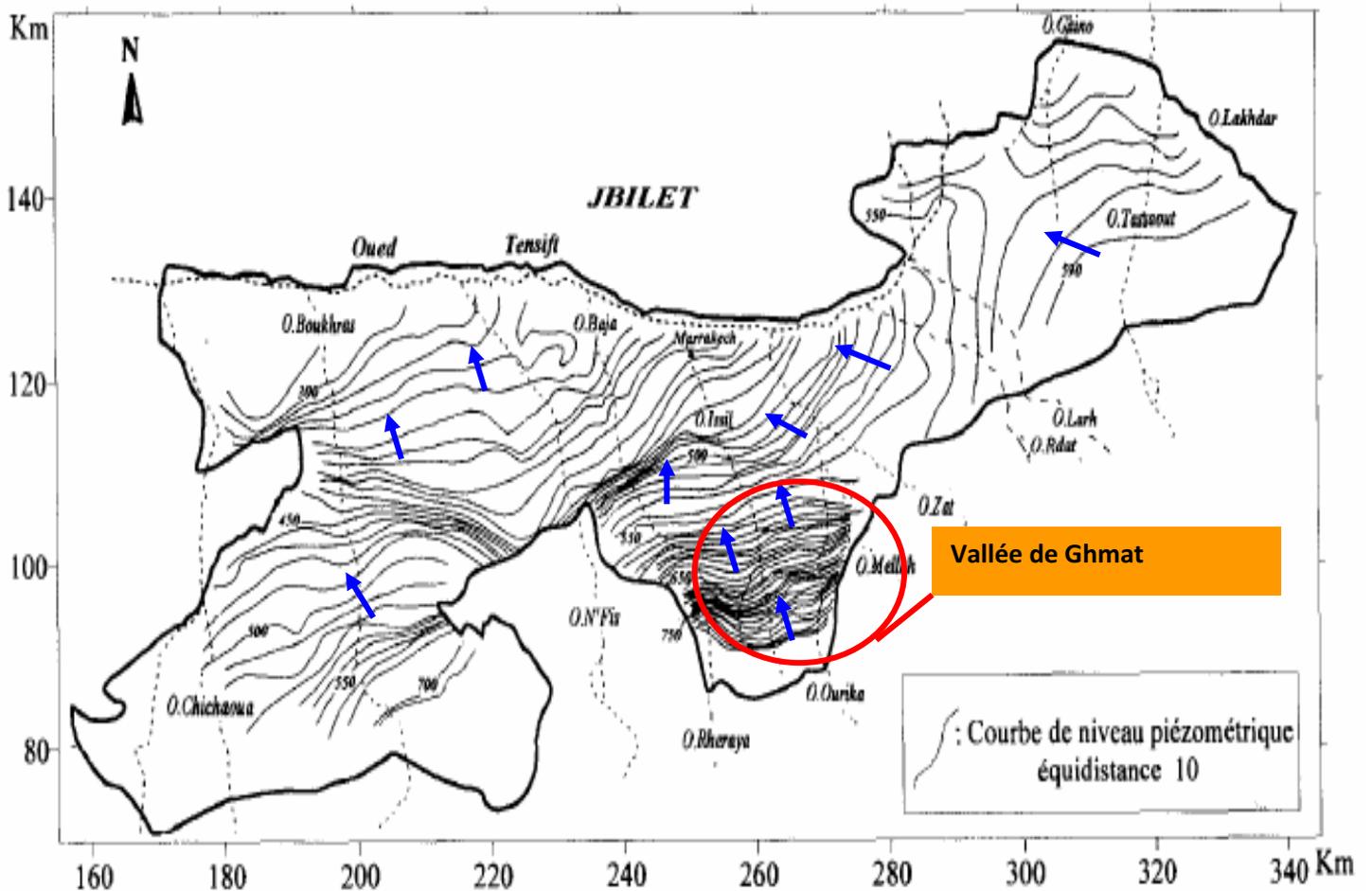


Figure 8 : Schéma piézométrique général de l'aquifère mio-plioquaternaire.

Les fluctuations du niveau général de la nappe sont données par des mesures réalisées au niveau du piézomètre IREn°2701/53 (Annexe 2).

La campagne des mesures piézométriques réalisée par ABHT au cours du mois de janvier 2010 au niveau de la nappe Haouz – Mejjate montre globalement, une tendance généralisée de remontée des niveaux piézométriques d'une moyenne de 0.51 m par rapport au mois de décembre 2009 (Annexe 2).

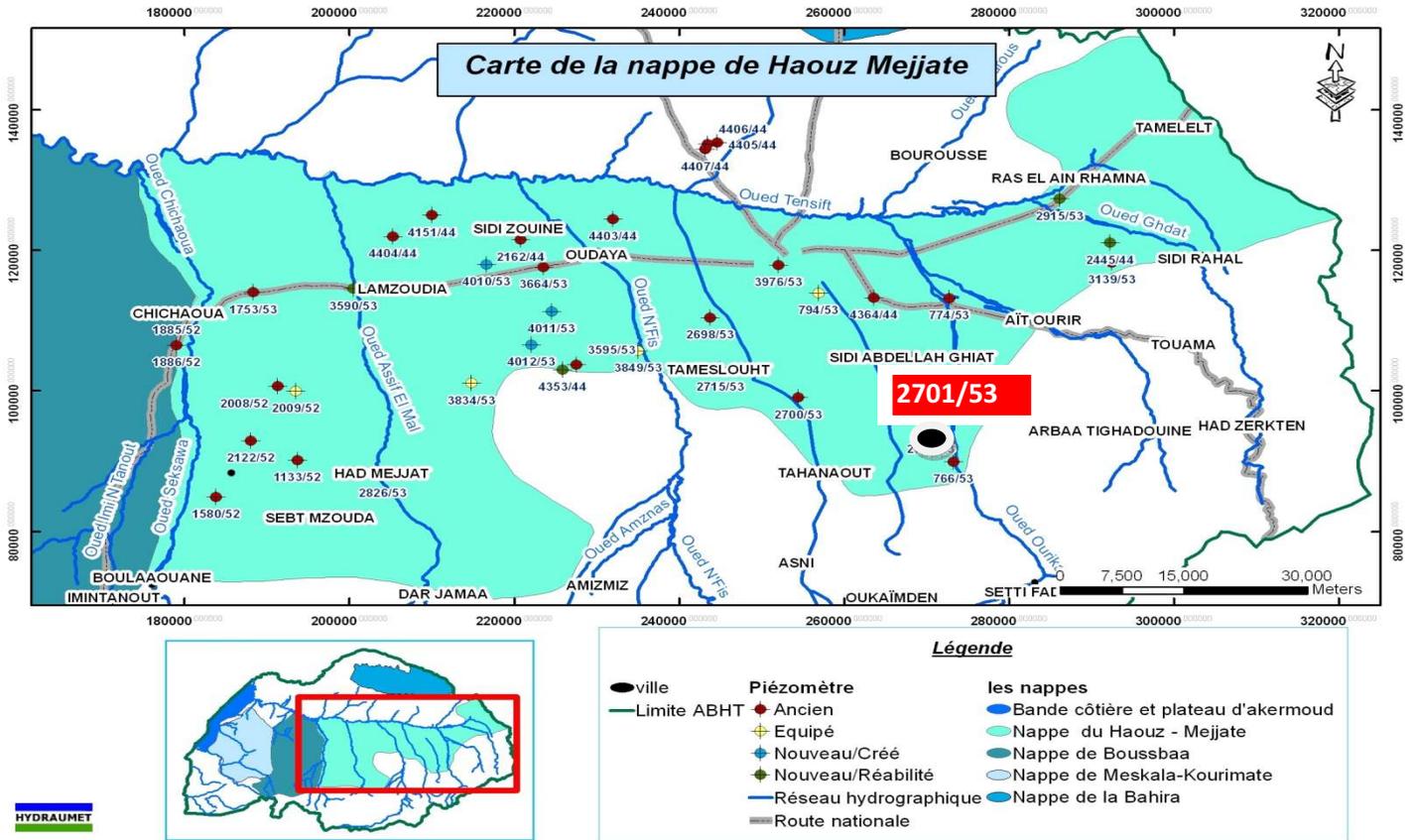


Figure 9 : Carte montrant l'emplacement du piézomètre IRE n°2701/53 (source, ABHT)

Ce piézomètre présente les caractéristiques physiques suivantes :

	N°IRE	Coordonnées	Date	PH	O2 dissout (mg/l)	T (°C)	Conductivité (µs/cm)	N,P (m) Décembre 2009	N,P (m) Janvier 2010
Ghmat & Skoum	2701/53	X=270550, Y=94250, Z=619	12/01/2010	8,58	71,2	20,6	420	10,85	10,02

Tableau .2 : les caractéristiques physiques du piézomètre.

II-3-3-1 : la vulnérabilité de la nappe Haouz.

La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution provenant de la surface du sol.

D'après SINAN, 2000 la nappe est caractérisée par une vulnérabilité et une sensibilité globalement moyenne à faible.

La vulnérabilité est moyenne dans le secteur de Ghmat (Fig. 9).

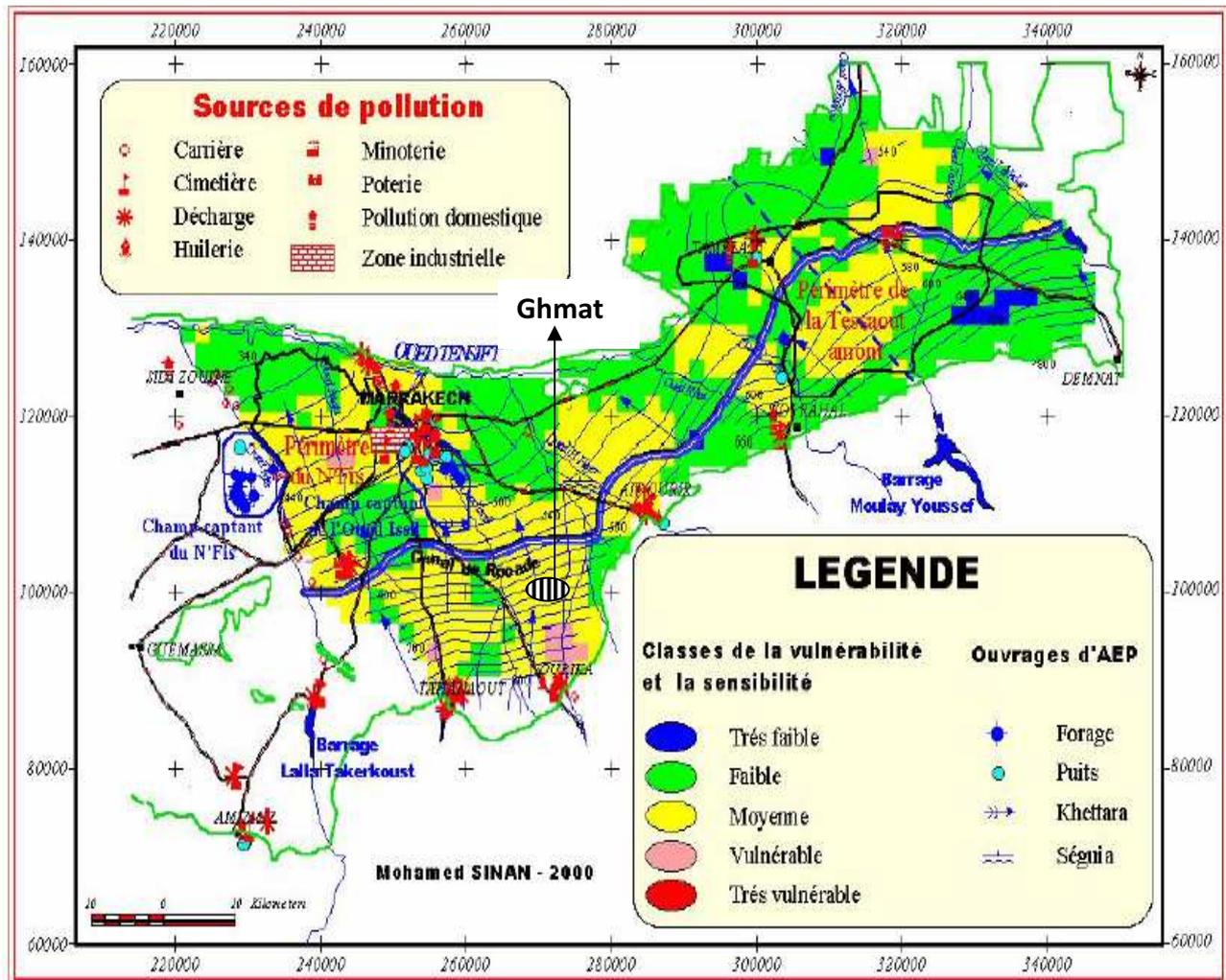


Figure 10 : Carte de la vulnérabilité de la nappe phréatique du Haouz. (SINAN, 2000)

CHAPITRE II : PARAMETRES ETUDIES ET METHODES D'ANALYSE

L'industrie oléicole génère deux résidus, l'un liquide (les margines) et l'autre solide (les grignons). Les margines sont rejetés soit dans des cours d'eau, soit épandues sur le sol. Ces effluents, fortement chargés en matières organiques, affectent la qualité des eaux dans lesquelles elles sont déversées. C'est dans ce contexte que nous proposons cette étude. Il s'agit de l'évaluation de l'impact des rejets huileries sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines, dans une zone oléicole qui est Ghmat, susceptible d'être contaminée par des margines accumulées dans des bassins d'évaporations.

Dans la région de Ghmat, nous avons prélevé les échantillons d'eau au niveau de deux sites appartenant à ce secteur, il s'agit du (Fig. 11) :

- site 1 : Jemâa Ghmat ;
- site 2 : Skoum.

I- Échantillonnage des eaux souterraines

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération qui doit être faite avec un très grand soin pour éviter toute contamination. Les échantillons doivent être homogènes, et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Les résultats analytiques et leur interprétation dépendent étroitement de la manière de prélèvement et de conditionnement de l'échantillon :

- Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.
- Sur chaque flacon il faut mentionner le numéro de puits de prélèvement et noter dans une fiche la date et le lieu de prélèvement de l'échantillon.

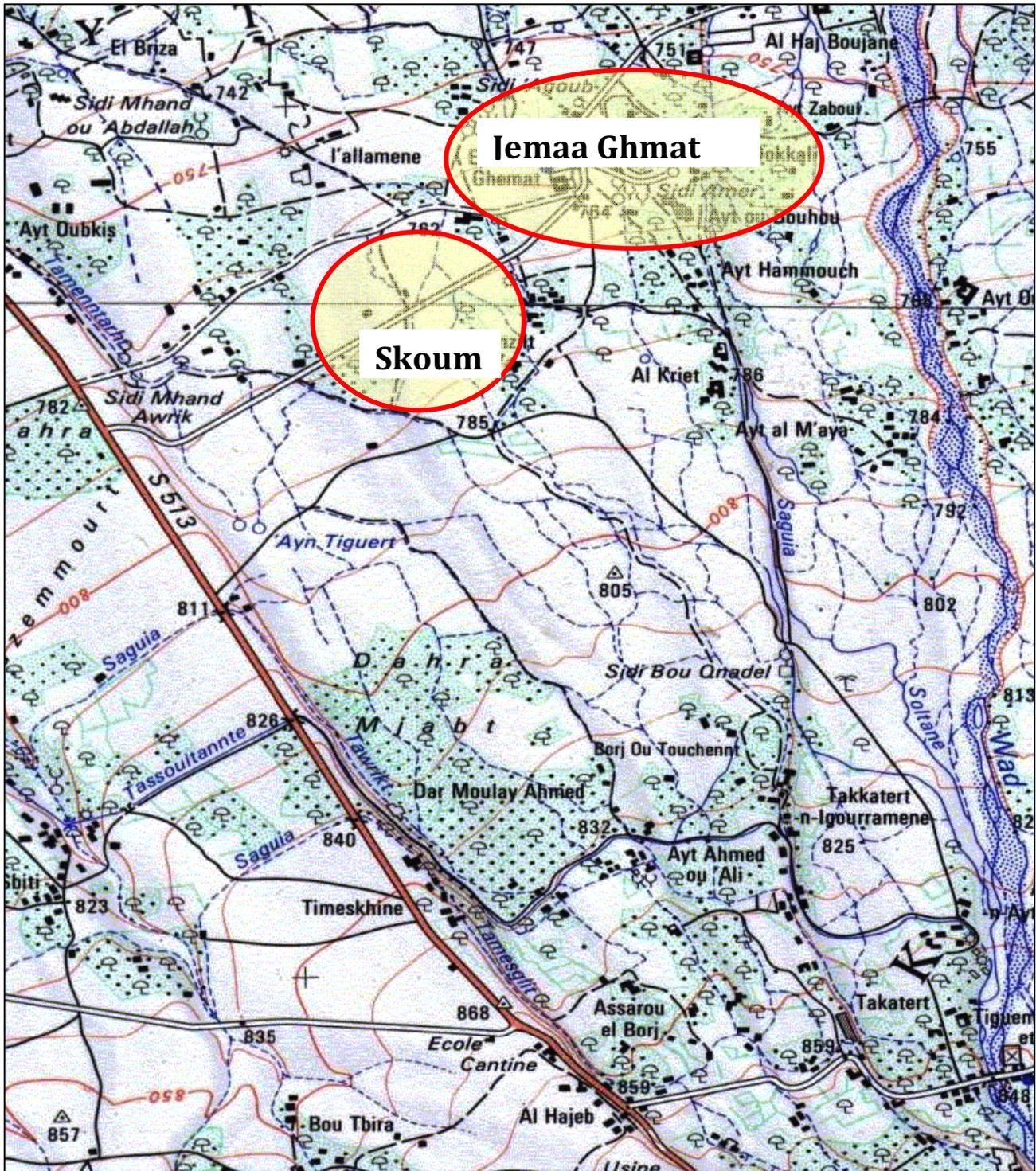


Figure 11 : Localisation des deux sites de Jemâa Ghmat et Skoum étudiés sur la carte topographique de Tahannaout au 1/50 000 ème

Pour l'échantillonnage, nous avons choisi, soigneusement 9 puits. Les figures 12 et 13 montrent leur emplacement exact par rapport aux huileries limitrophes.

→ **Le premier site : Jemâa Ghmat**

Le puits P₁ est situé à l'intérieur de la zone clôturée de l'huilerie H₁. Le puits P₂ se situe au SW de l'unité H₁. Les puits P₆ et P₇ se situent à l'aval hydraulique de H₁. Les puits P₃, P₄ et P₅ ont été choisis à proximité de l'huilerie H₁.

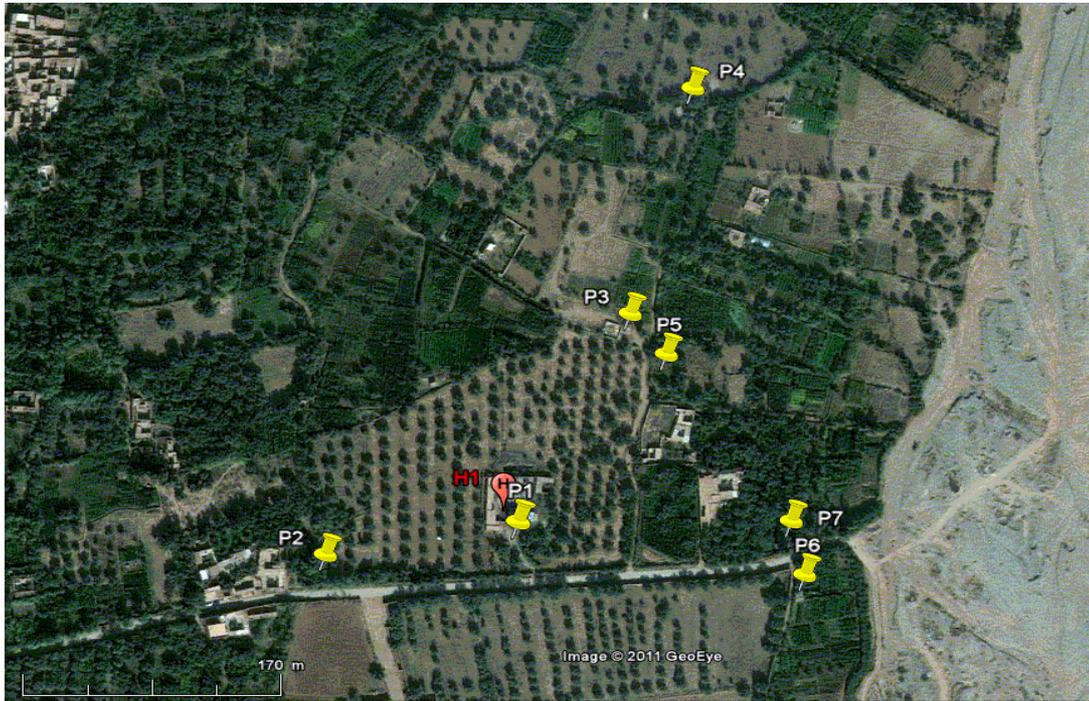


Figure 12 : Image satellite montrant l'emplacement des puits choisis par rapport à l'huilerie H₁ considérée dans le premier site de Jemâa Ghmat

→ **Le deuxième site : Skoum**

Les puits P₈ et P₉ se situent à l'amont hydraulique de l'huilerie H₂.

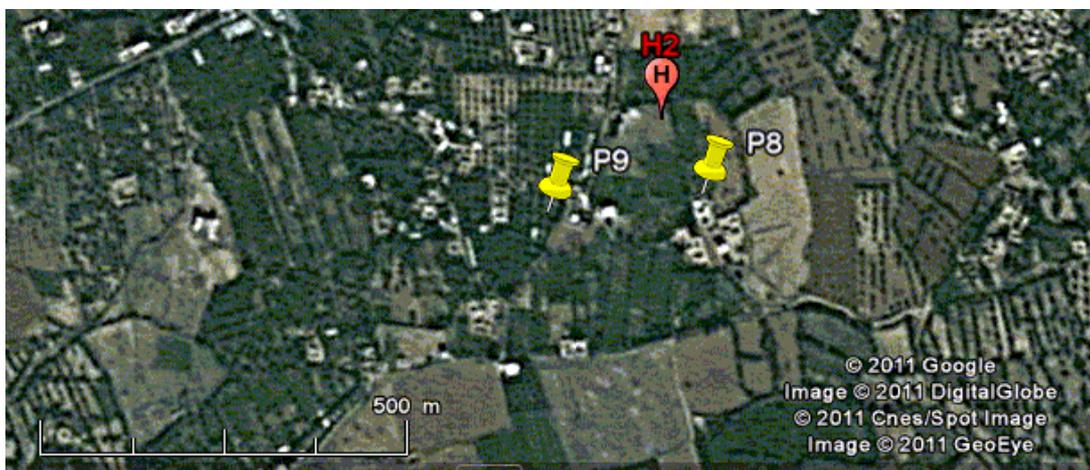


Figure 13 : Image satellite montrant l'emplacement des puits choisis par rapport à l'huilerie H₂ dans le deuxième site de Skoum

II- Méthodes d'analyse des eaux souterraines

La caractérisation physique des eaux souterraines a été réalisée suivant les méthodes standardisées : Température, Conductivité électrique.

II-1- Mesure sur le terrain

Le travail de terrain nous a permis :

- ✓ Le choix des sites à étudier : Jemâa Ghmat et Skoum ;
- ✓ des prélèvements ont été effectués au niveau des deux sites ;
- ✓ La localisation des points des prélèvements à l'aide d'un GPS.

Dans chaque puits, nous avons effectué des mesures de température et de la conductivité de l'eau.

Des échantillons de 1 litre d'eau pour les analyses physico-chimiques ont été prélevés dans des bouteilles de plastique pour chaque point de prélèvement.

	Les Puits	T°C	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Jamâa Ghmat	P ₁	20	618
	P ₂	19	672
	P ₃	19	688
	P ₄	20	646
	P ₅	19	672
	P ₆	19	580
	P ₇	18	608
Skoum	P ₈	20	690
	P ₉	19	700

Tableau. 3 : Mesure de la conductivité et de la température des eaux prélevées au sein des différents puits choisis dans les deux sites de Jmâa Ghmat et Skoum considérés dans ce travail (Emplacement des puits, cf Fig 12 et 13).

II-2- Mesure au laboratoire

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire d'Hydrobiologie, Ecotoxicologie et Assainissement (LHEA), à la Faculté des Sciences Semlalia de l'Université Cadi Ayyad.

Les méthodes d'analyse des paramètres étudiés sont :

• Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont dosés après leur réduction en nitrites, cette réduction s'effectue par passage dans une colonne de cadmium-cuivre (Rodier, 1984).

• Les orthophosphates (PO_4^{3-})

En présence de molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium, les orthophosphates forment en milieu acide un complexe phosphomolybdique qui se réduit par l'acide ascorbique en un complexe de coloration bleue dosée au spectrophotomètre (AFNOR 90-022).

• Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet (TA et TAC)

Il correspond à la teneur d'une eau en ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^{2-} . Si le pH des échantillons est inférieur à 8,3 les ions OH^- et CO_3^{2-} sont négligeables et le TAC correspond à l'analyse des ions HCO_3^- seul. Le dosage se fait par acidimétrie au moyen d'une solution d'acide dilué (HCL ou H_2SO_4 N/50) l'indicateur coloré est le vert de bromocrésol (Rodier, 1984)

- **Le calcium (Ca²⁺)**

Le Calcium est dosé par complexométrie en milieu à l'aide d'une solution de sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA : N/50), l'indicateur coloré est le murexide (AFNOR T90-010).

- **Les Sulfates (SO₄²⁻)**

Méthode néphélométrique où les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum et stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20, les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à $\lambda = 650$ (Rodier, 1996).

- **Les Chlorures (Cl⁻)**

Les chlorures sont dosés selon la méthode de Mohr en présence de nitrate d'argent N/20, l'indicateur coloré est le chromate de potassim (Rodier, 1984)

- **La dureté totale ou titre hydrotimétrique**

Correspond à l'analyse des ions Ca²⁺ et Mg²⁺. Le dosage se fait en milieu tamponné à pH=10 en présence d'un indicateur coloré le noir d'érichrome (AFNOR T90-203). La teneur en magnésium (Mg²⁺) est déduite par différence entre la dureté totale et la teneur en calcium (Rodier, 1984).

- **Le Sodium et le potassium (Na⁺ et K⁺)**

Ils sont dosés par spectrophotométrie à flamme, cette méthode est basée sur le principe qu'un sel métallique passe dans une flamme s'ionise et émet une lumière de longueur d'onde caractéristique. Sachant la longueur d'onde de Na⁺ et K⁺, on peut déterminer leurs concentrations après avoir étalonné le dispositif à des concentrations connues (Appareil type Jenway PEP7).

- **Dosage des composés phénoliques :**

- Mode opératoire:

On prend 100 μ l d'échantillon, puis on ajoute 3,9 ml d'eau distillé et 100 μ l de réactif de Folin-Ciocalteu, après 3 min, on ajoute 1 ml de carbonate de sodium 20%, on laisse les tubes incubés 1h dans l'obscurité, ainsi une lecture de la densité optique à 725 nm permet de déterminer la concentration des polyphénols.

La réalisation de la gamme étalon est indiquée dans l'annexe 3.

Conclusion :

Dans cette partie de travail, après avoir effectué des mesures sur terrain et au laboratoire, on s'est essentiellement intéressé à la détermination des cartes piézométriques pour donner une idée sur le sens d'écoulement. La mesure de la conductivité et de la température a pour but l'interprétation des différents éléments chimiques. Ainsi l'analyse des eaux souterraines réalisée au laboratoire nous a permis d'établir un tableau de bilan ionique des différents puits étudiés (voir annexe 4).

Chapitre III : Résultats et discussion

I- Résultats des analyses

I-1- Critique des résultats

A fin de vérifier la validité des analyses chimiques, nous avons calculé, pour chaque échantillon, la balance ionique (BI) qui représente l'équilibre entre les cations et les anions. Ce coefficient d'erreur a été établi par Shöller en 1962 : Ce paramètre permet de vérifier la validité des résultats des analyses d'ions majeurs.

$$\text{BI (\%)} = [(\text{anions-cations}) / (\text{anions} + \text{cations})] * 100.$$

Selon la valeur du BI, on distingue trois classes :

- BI < 5% : Analyse bonne ;
- 5% < BI < 10% : Analyse admissible ;
- BI > 10% : Analyse douteuse.

Pour l'ensemble des échantillons analysés au niveau des neuf puits testés, nous avons les résultats suivants:

- analyse bonne pour quatre échantillons (44,4%);
- analyse admissible pour trois échantillons (33,3%);
- analyse douteuse pour deux échantillons (22,2%).

I-2- Interprétation des paramètres analysés

I-2-1-Paramètres physiques

I-2-1-1-Température

L'étude de la température a montré que les valeurs moyennes de la température dans les deux sites sont comprises entre 18°C et 20°C (voir Tableau 3).

I-2-1-2 : pH

Le pH constitue un facteur limitant pour les processus d'épuration (nitrification, précipitation du phosphore, survie des bactéries,.....) d'où l'importance de contrôler ce facteur. Généralement le pH des eaux échantillonnées au niveau des puits des deux sites d'études est compris entre 7 et 8.

I-2-1-3 : Conductivité :

La conductivité électrique constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux. Elle dépend de la concentration des ions (surtout Cl⁻, Mg²⁺, Ca²⁺ et K⁺) et de la température. Toutes les valeurs des conductivités présentées par les puits sont inférieures à la valeur maximale recommandée (1300µs/cm) par l'ONEP (ONEP, 2006), et qui oscillent entre 580µs/cm et 700µs, dont la valeur maximale est enregistrée dans le puits P₉ (Fig. 14).

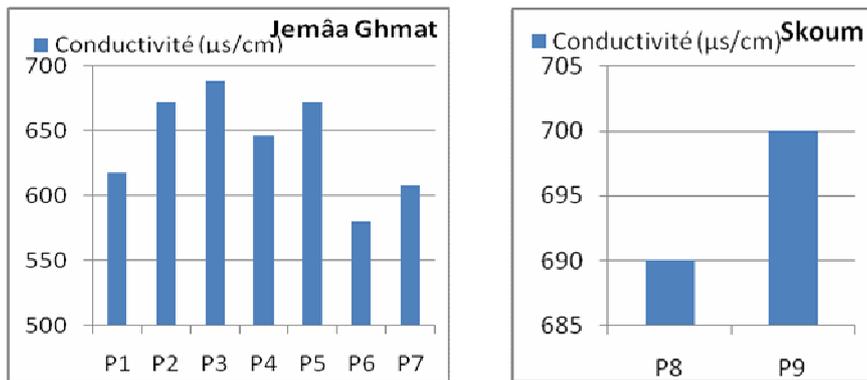
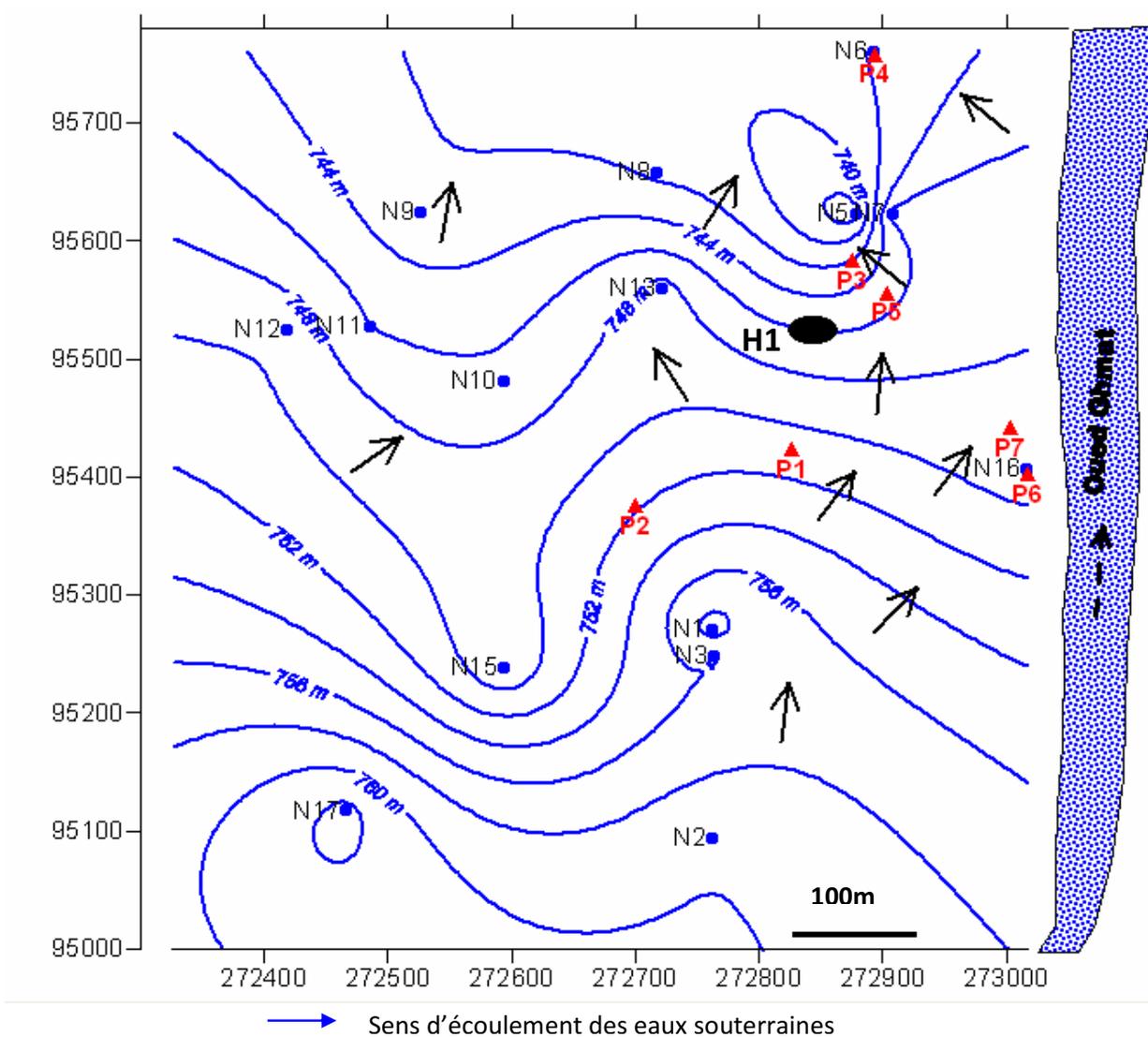


Figure 14: Conductivité des eaux des puits analysées dans la région de Ghmat

I-2-1-4- Piézométrie

Les cartes piézométriques suivantes sont établies à partir des mesures du niveau statique relevé sur le terrain (Annexe 6). L'information essentielle qui nous intéresse au niveau de ces cartes piézométriques est la direction et le sens d'écoulement des eaux souterraines qu'il faut mettre en rapport avec le déplacement des constituants des margines (Polyphénols).



→ Sens d'écoulement des eaux souterraines

Figure 15: Piézométrie de Jemâa Ghmat (Nov. 2010)

Dans la zone de Jemâa Ghmat, et à la proximité de l'huilerie H₁, l'écoulement de la nappe se fait du SW au NE (alimentation de l'oued par la nappe), puis du SE au NW (Alimentation de la nappe par l'oued).

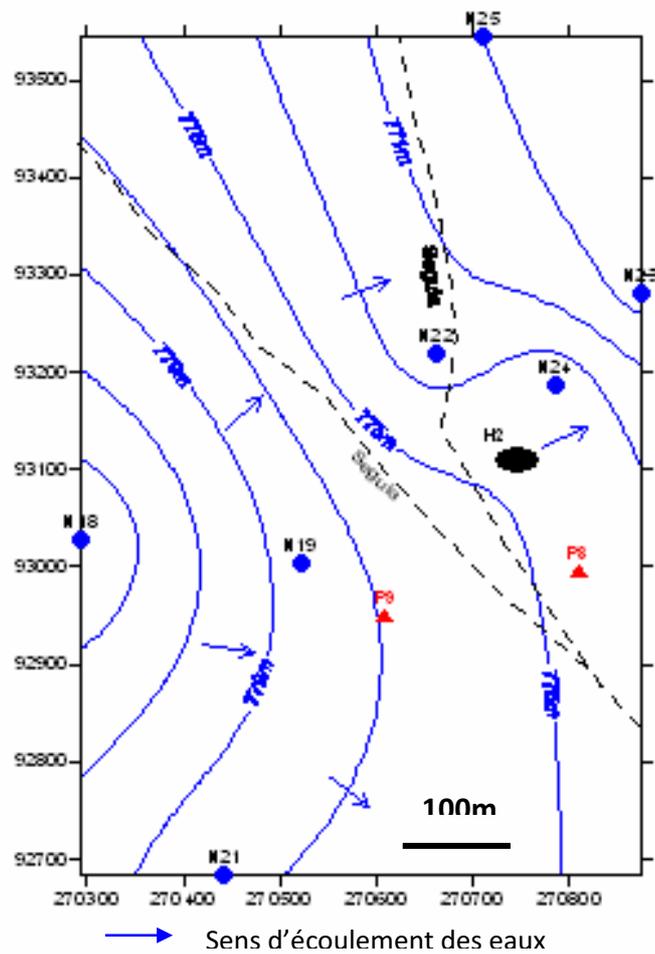


Figure 16 : Piézométrie de la région de Skoum (Nov. 2010)

Dans la zone de Skoum, et à la proximité de l'huilerie H₂, l'écoulement de la nappe se fait du SW au NE.

I-2-2 – Paramètres chimiques

Les analyses chimiques effectuées au laboratoire (LHEA) portent sur les éléments majeurs suivants : NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , KMnO_4^- .

I-2-2-1- Nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en nitrates présentées dans les eaux souterraines analysées du secteur d'étude, varient très peu d'un puits à l'autre (Fig. 17). Elles sont très faibles par rapport à la valeur maximale admissible en nitrates par la norme marocaine (ONEP, 2006-VMA : 50mg/l) .

La diminution des teneurs en nitrates s'explique par l'effet de la dilution par les eaux en hiver dans la zone étudiée.

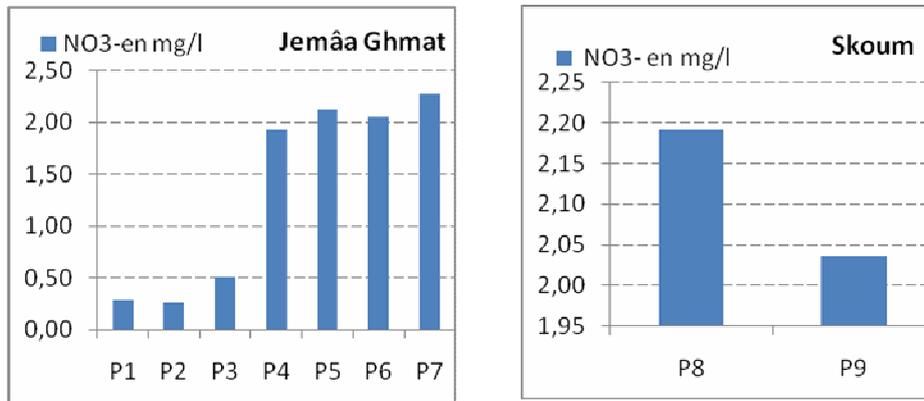


Figure 17 : Teneurs en nitrates dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat

I-2-2-2- Potassium, Sodium et chlorures.

- **Potassium (K⁺)**

Les puits P₁, P₃, P₆ et P₇ du site Jemâa Ghmat présentent des valeurs nulles en potassium tandis que les autres puits ; P₂, P₄ et P₅ ont des teneurs qui varient entre 2mg/l et 3mg/l (Fig. 18).

Les eaux des puits du site Skoum sont nettement marquées par l'absence du potassium (Fig. 18).

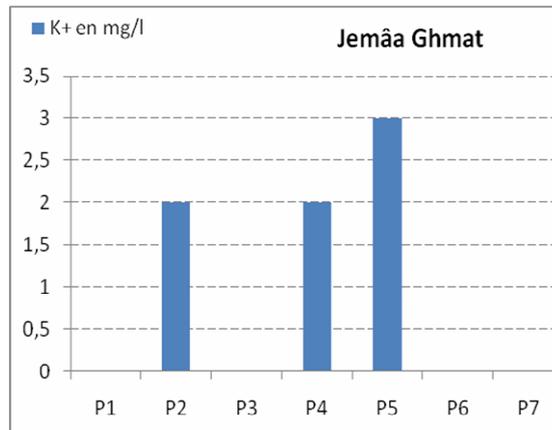


Figure 18 : Teneurs en potassium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat

- **Sodium (Na⁺)**

La figure 19 illustre des teneurs en sodium qui oscillent entre 10.56 mg/l et 22.09mg/l, ces valeurs sont faibles par rapport à la norme marocaine de la potabilité des eaux (150 mg/l). Il est possible donc de signaler que les teneurs en sodium sont globalement faibles.

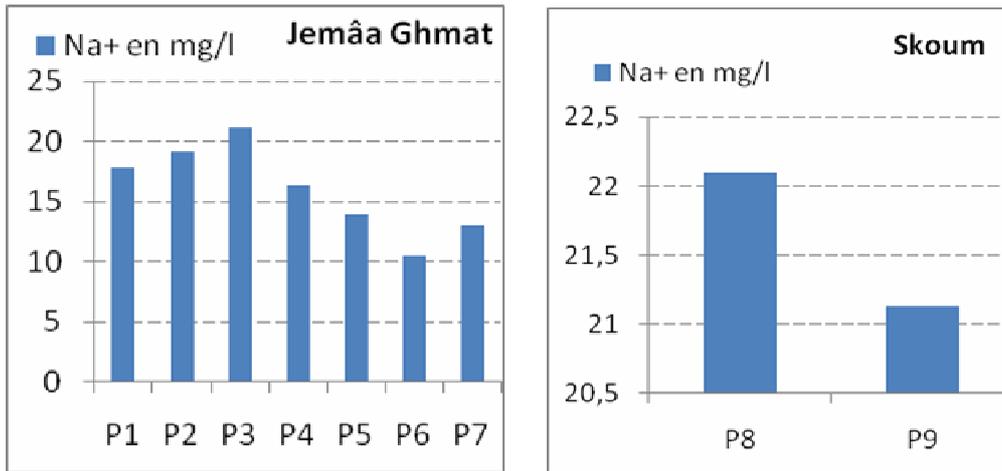


Figure 19 : Teneurs en sodium dans les eaux des puits analysées de la région de Ghmat

- **Les Chlorures (Cl⁻)**

Généralement les teneurs en chlorure des eaux de la région étudiée sont faibles par rapport à la norme marocaine de potabilité des eaux (200mg/l), elles varient entre 71mg/l et 142mg/l (Fig. 20).

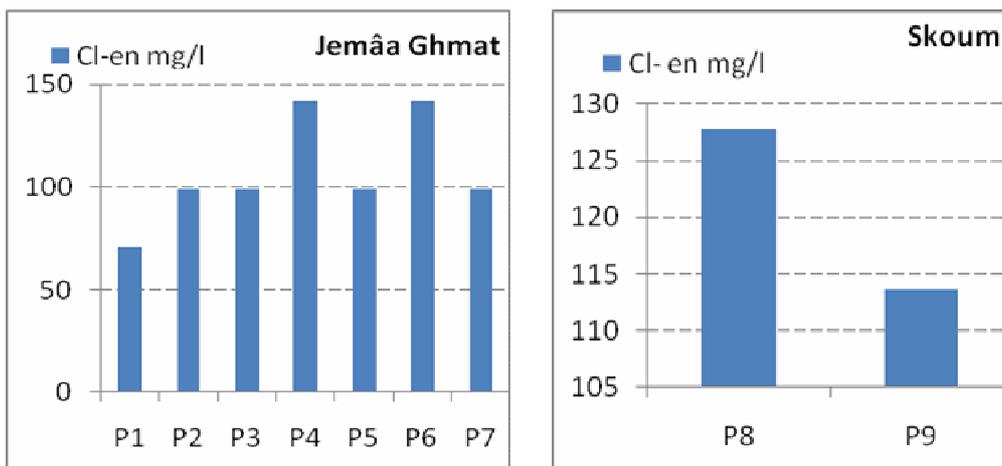


Figure 20 : Teneurs en Chlorure dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat

I-2-2-3 : Bicarbonates, Magnésium, Calcium

- **Bicarbonate (HCO_3^-):**

Les résultats de l'analyse ont montré des teneurs élevées en ion HCO_3^- : les concentrations sont comprises entre 310mg/l et 414mg/l (Fig. 21).

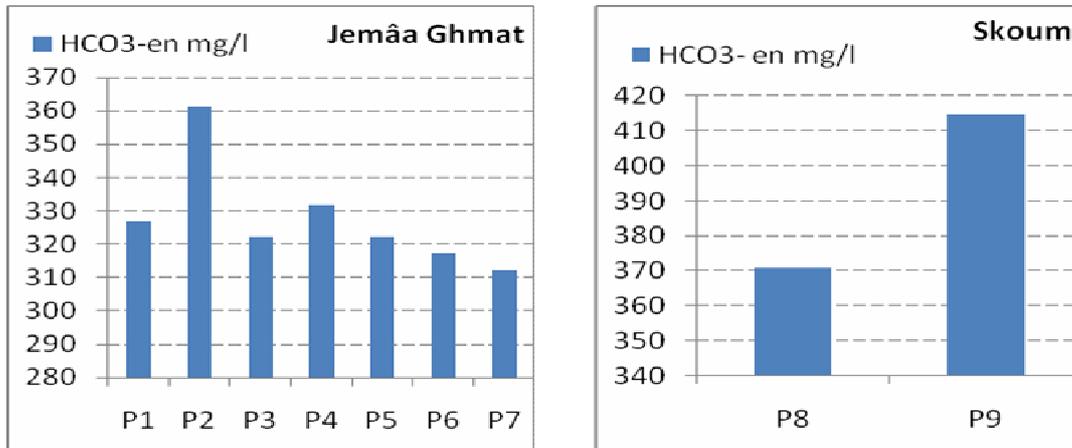


Figure 21 : Teneurs en bicarbonate dans les eaux des puits analysés dans région de Ghmat

- **Magnésium (Mg^{2+}) :**

Les résultats des analyses des eaux des puits montrent que les teneurs en magnésium sont généralement élevées par rapport à la norme marocaine de potabilité des eaux (50mg/l).

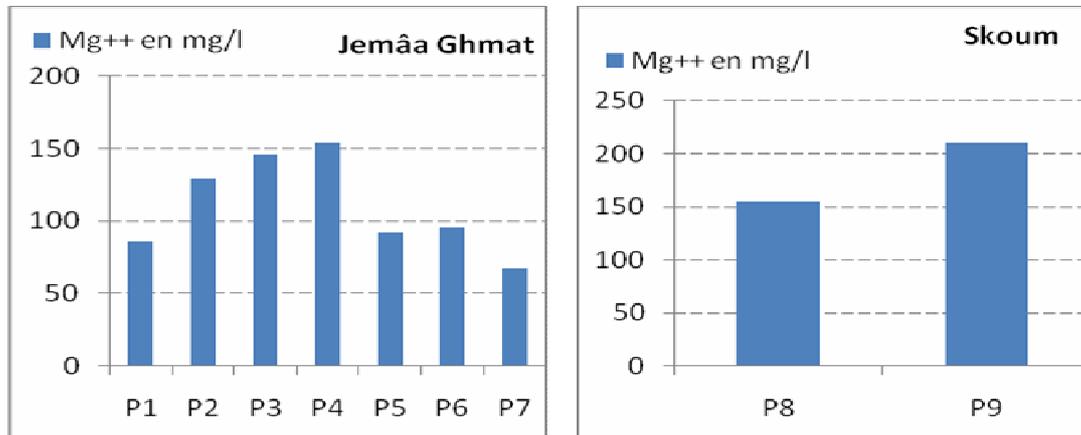


Figure 22 : Teneurs en magnésium dans les eaux des puits analysés dans la région de Ghmat

- **Calcium (Ca²⁺)**

Tous les puits présentent des teneurs moyennement élevées en calcium comprises entre 41.68mg/l et 73.75mg/l, mais qui ne dépassent pas la norme marocaine (100mg/l). La valeur maximale est enregistrée dans le puits P₁ (Fig. 23).

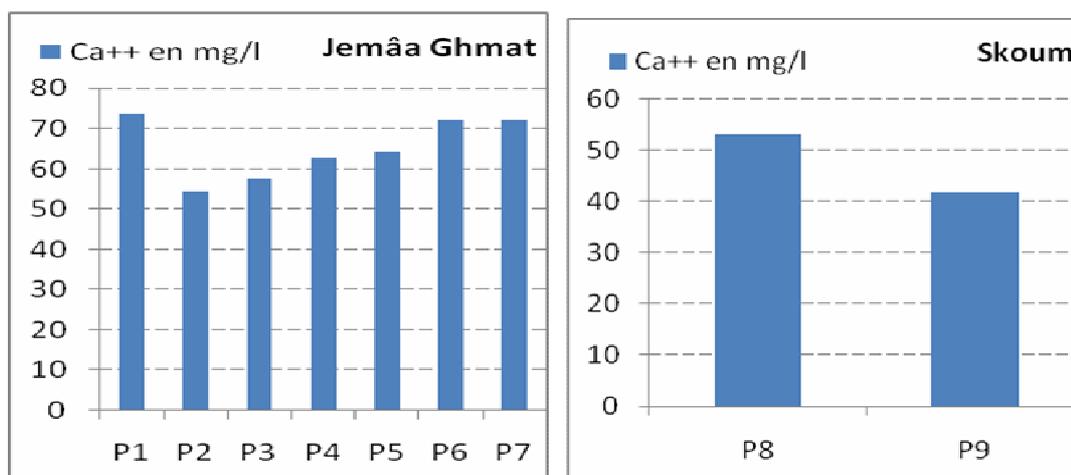


Figure 23 : Teneurs en calcium dans les eaux des puits analysées de la région de Ghmat

Les concentrations élevées en ions HCO₃⁻, Mg²⁺ et Ca²⁺, sont à mettre en relation avec le lessivage des affleurements carbonatés de la chaîne bordière au sud du secteur ici considéré.

I-2-2-4: Sulfates (SO₄²⁻):

Les teneurs en sulfates des eaux des puits des deux sites étudié sont faibles par rapport à la norme marocaine de potabilité des eaux (250mg/l).

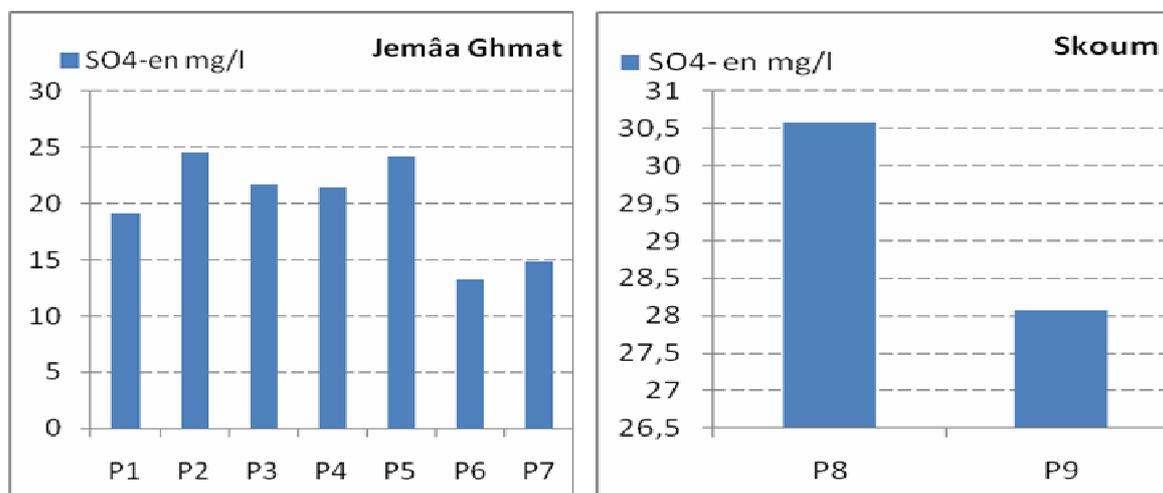


Figure 24 : Teneurs en sulfates dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat

I-2-2-5: Orthophosphates (PO_4^{3-}):

Les résultats montrent que les teneurs en ions PO_4^{3-} sont comprises entre 0.082mg/l et 0.131mg/l (Fig. 25). Les faibles concentrations en orthophosphates peuvent être liées au lessivage des calcaires et marnes phosphatés de l'Eocène qui affleurent au sud.

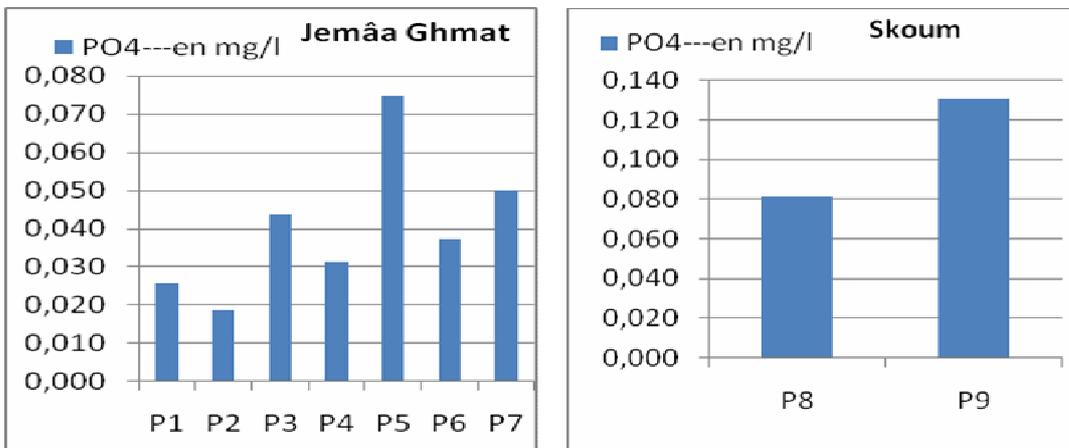


Figure 25 : Teneurs en orthophosphates dans les eaux des puits analysés dans la région de Ghmat

I-2-2-5 : L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO_4^-)

L'appréciation de la teneur en matière organique des eaux des puits est obtenue à l'aide de l'analyse des teneurs en permanganate de potassium (KMnO_4^-) des eaux souterraines. Les eaux des puits du premier site de Jemâa Ghmat enregistrent des teneurs qui dépassent la valeur maximale recommandée par les normes relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine 2mg/l (ONEP, 1990), qui atteint 3,25mg/l dans le puits P₄ (Fig. 25). Le Puits P₉ du deuxième site de Skoum dépasse aussi la valeur maximale recommandée par les normes, sa teneur en KMnO_4 atteint 2,35mg/l. Cependant, le puits P₈ présente une teneur faible par rapport au puits P₉ (Fig. 26).

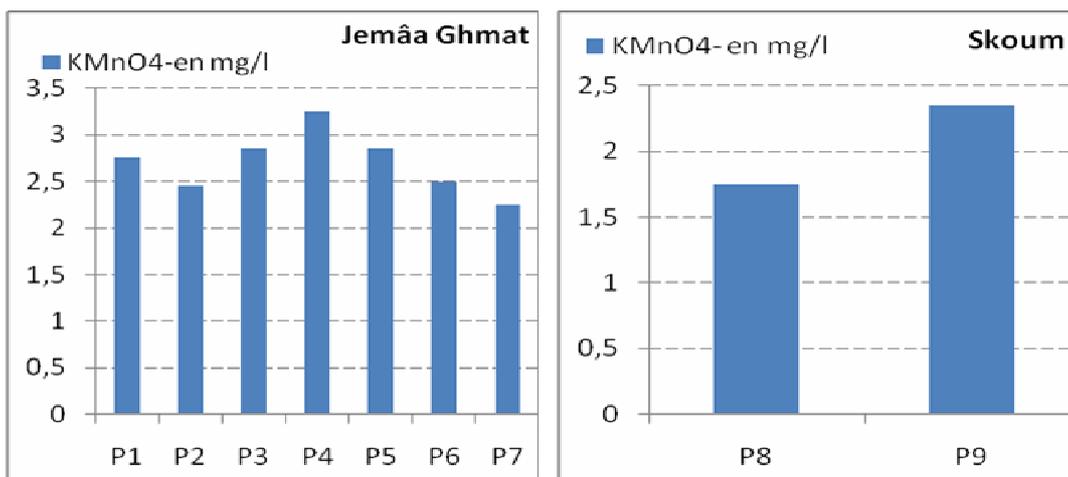


Figure 26 : Teneurs en KMnO_4^- dans les eaux des puits analysés dans la région de Ghmat

II- Détermination des faciès chimiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- le diagramme de Piper ;
- le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff ;
- le diagramme de Stiff ;
- le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques sont retenues et utilisées. Il s'agit du diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et du diagramme de Piper.

✓ Le Diagramme de Piper :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également :

- ➔ d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes ;
- ➔ d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques ;
- ➔ d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant ;
- ➔ la projection de plusieurs échantillons en même temps :
 - Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace,
 - Pour les comparer ;
 - Pour avoir une idée sur la notion de mélange ;
- ➔ de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatio-temporelle.

✓ Le diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller- Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

Les deux représentations de Piper et de Schöeller-Berkaloff ont été utilisées car elles sont complémentaires.

1- Premier site : Jemâa Ghmat

a- Diagramme de Piper (Fig.27)

- Diagramme des cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) :

L'examen du triangle des cations de la figure 27 montre que tous les puits sont localisés dans le pôle Mg^{2+} avec des pourcentages élevés inclus entre 55% et 78%. Cette constatation révèle que tous les puits présentent un faciès magnésien.

- Diagramme des anions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) :

L'observation du triangle des anions de la figure 27 montre que la totalité des puits présentent un faciès mixte.

- Le losange :

La projection des points sur le losange de la figure 27 montre un seul nuage qui caractérise le faciès des eaux souterraines du site de Jemâa Ghmat. Ce nuage définit un faciès chloruré magnésien.

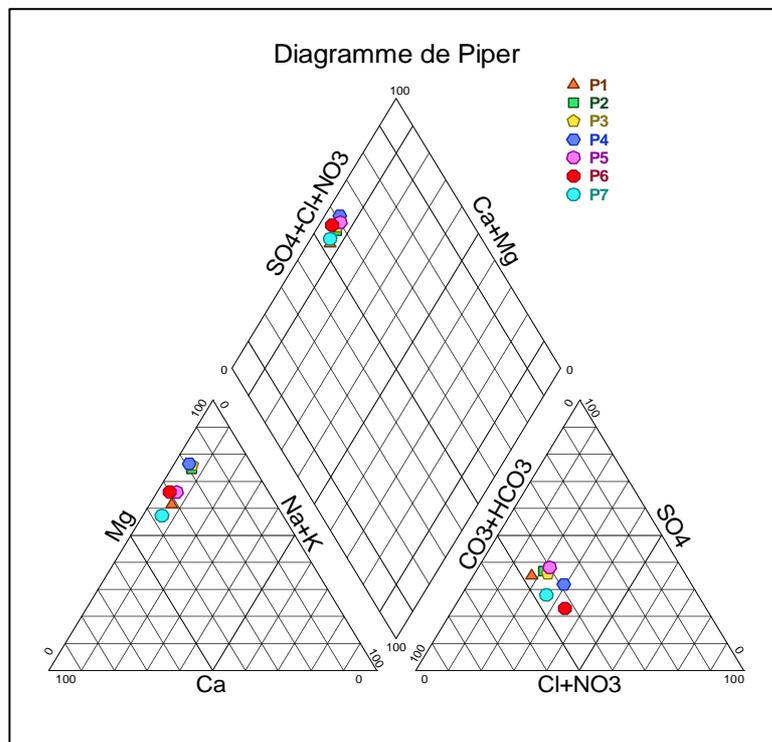


Figure 27: Diagramme de Piper des analyses des eaux de Jemâa Ghmat

✓ **Le diagramme de Schoeller Berkaloff** (Fig. 28)

Ce diagramme montre une dominance des ions HCO_3^- et Mg^{2+} , cela souligne le faciès bicarbonaté magnésien pour les eaux des puits de Jemâa Ghmat.

On remarque par ailleurs que les tracés des échantillons analysés sont presque parallèles, ce qui montre que les eaux de ces puits appartiennent à la même famille d'eau.

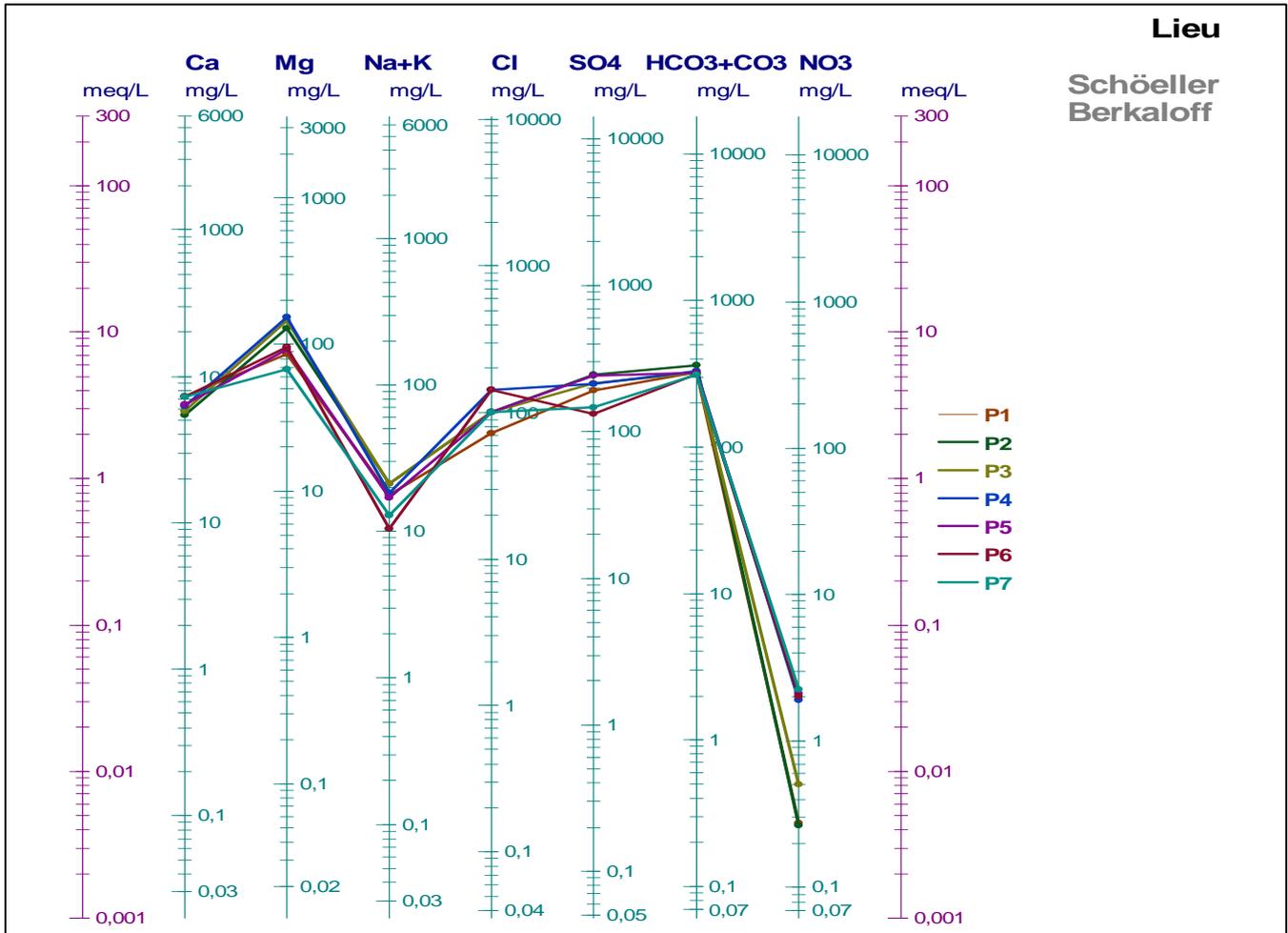


Figure 28 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux de Jemâa Ghmat

2- Deuxième site : Skoum

✓ Le diagramme de Piper (Fig. 29)

- diagramme des cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) :

L'examen du triangle des cations de la figure 29 montre que les deux puits P8 et P9 sont localisés dans le pôle magnésien. Ce triangle montre des pourcentages très élevés compris entre 76% et 83%. Les eaux des deux puits présentent donc un faciès magnésien ;

- diagramme des anions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) :

L'observation du triangle des anions de la figure 29 révèle que les deux puits P8 et P9 sont caractérisés par un faciès mixte ;

- le losange :

La projection des points sur le losange de la figure 29, dévoile un seul nuage et décrit un faciès chloruré magnésien.

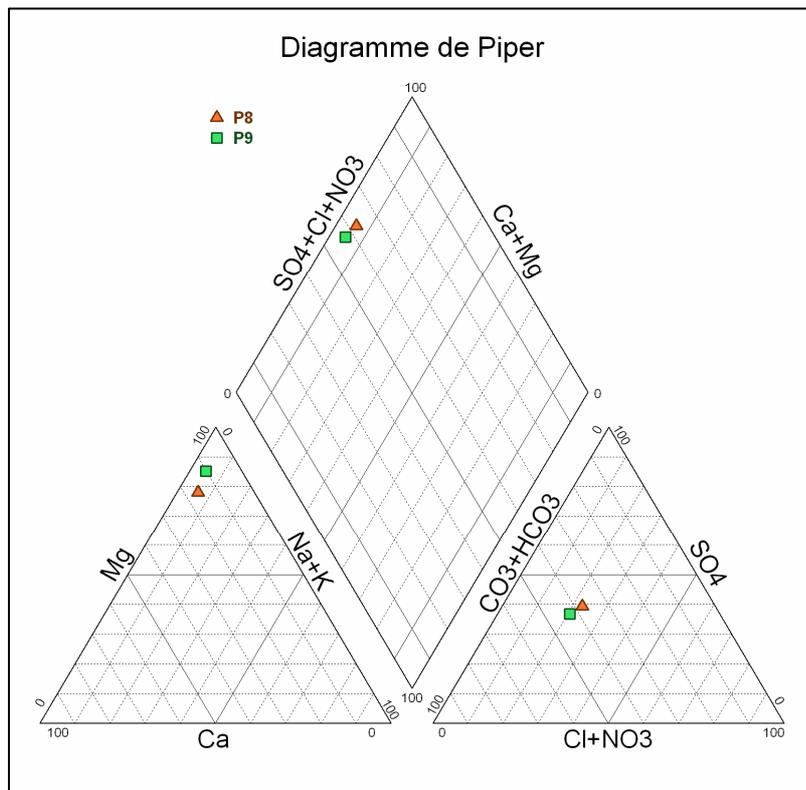


Figure 29 : Diagramme de Piper des analyses des eaux des puits P8 et P9 de Skoum

✓ **Le diagramme de Schoeller Berkaloff (Fig.30)**

Ce diagramme montre une dominance des ions HCO_3^- et Mg^{2+} , donc un faciès bicarbonaté magnésien.

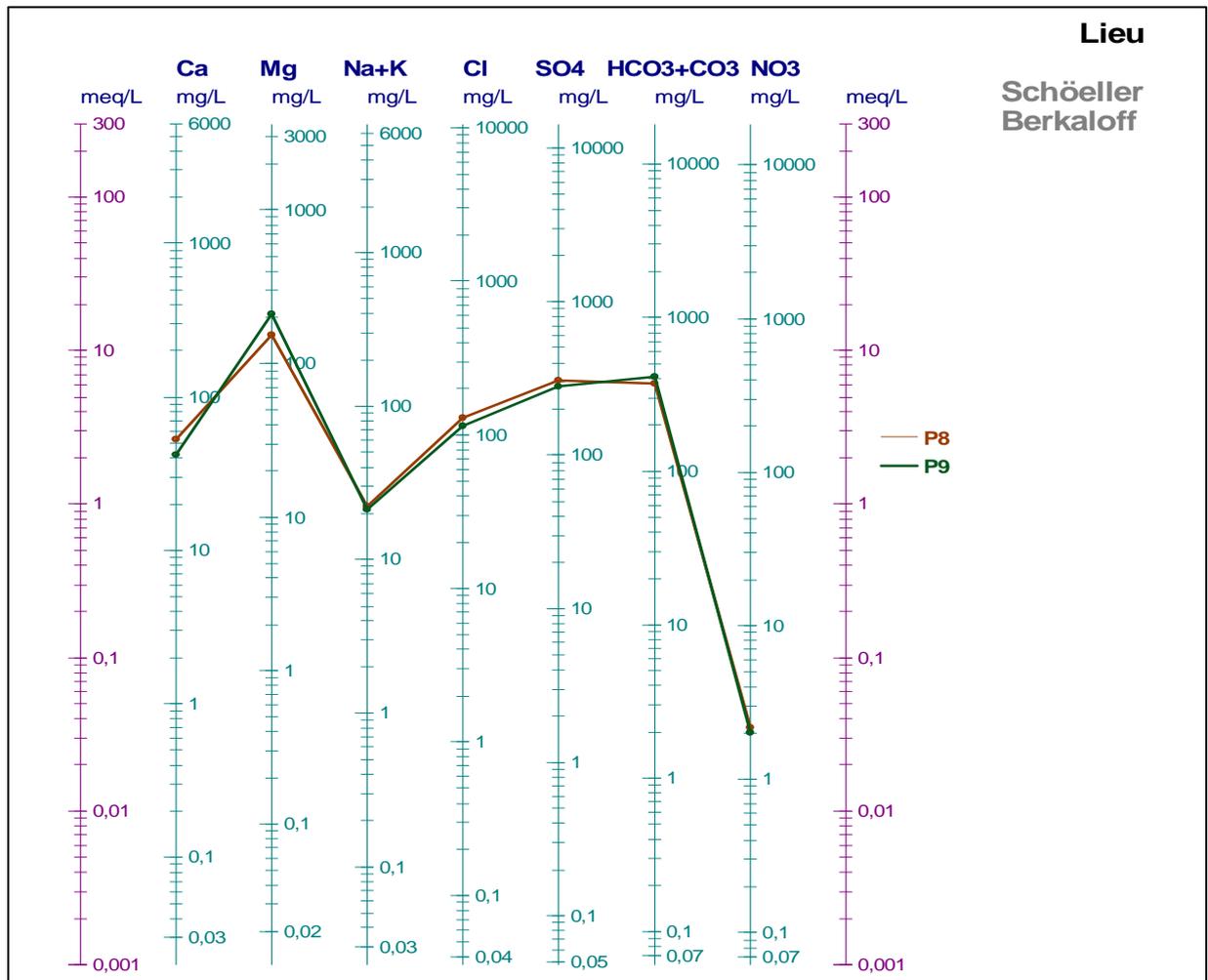


Figure 30: Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux des puits de Skoum

III- L'impact des margines sur les eaux souterraines

Dans le cas des unités industrielles où le débit est plus important, les margines sont rejetées directement dans la nature, ce qui est l'origine de sérieux problèmes environnementaux. L'infiltration d'une faible quantité des composés phénoliques est capable de rendre les eaux souterraines toxiques. Les concentrations en phénols existants dans les margines constituent à elles seules un risque important quand à la pollution des nappes souterraines à la suite des déversements dans les oueds, milieux favorables à l'alimentation directe des nappes. Dans ce contexte, (Levi-Menzi et al., 1992) ont constaté que le rejet des margines dans les milieux aquatiques entraîne une diminution de la concentration en oxygène dissous. Les composés phénoliques s'oxydent facilement par l'oxygène du milieu en subissant ainsi une ionisation, ce qui rend le milieu irrespirable avec une asphyxie de toute vie aquatique.

Une analyse des teneurs en polyphénols des eaux des puits des deux sites de la région de Ghmat est nécessaire pour apprécier le degré de contamination par ce type de polluant.

↳ Les polyphénols :

Résultats d'analyse :

L'analyse des polyphénols dissous dans les eaux des puits du premier site d'étude de Jemâa Ghmat montre qu'il y a une contamination des puits P₃, P₅, P₆ et P₇. Les eaux de ces puits présentent des teneurs qui dépassent largement la norme marocaine de potabilité des eaux (0,01mg/l) ; elles oscillent entre 1.76mg/l et 7.47mg/l. Les puits P₁, P₂ et P₄ présentent des valeurs nulles en polyphénols ; ils ne sont pas contaminés (Fig. 31). Les teneurs en polyphénols des eaux des puits P₈ et P₉ du deuxième site de Skoum sont nettement plus élevés et pouvant atteindre 5,27mg/l (Fig. 31).

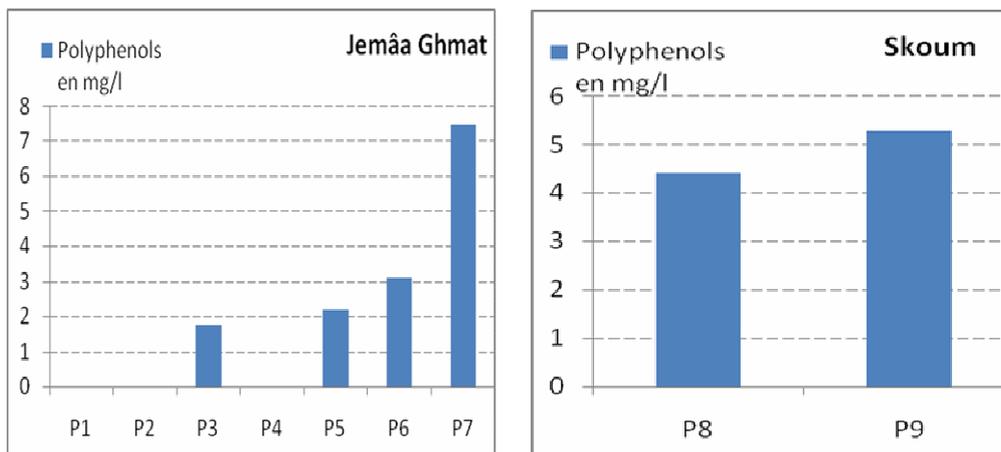


Figure 31 : Teneurs en polyphénols dans les eaux des puits analysés dans la région de Ghmat

Interprétation des résultats :

L'absence des polyphénols dans les puits P₁ et P₂ est expliquée par l'emplacement des puits en amont hydraulique par rapport à l'huilerie H₁.

Les fortes concentrations en polyphénols enregistrées au niveau des puits P₆ et P₇ sont dues à leur emplacement en aval hydraulique par rapport à l'huilerie H₁.

Les puits P₃ et P₅ présentent des concentrations moyennes en polyphénols de H₁ ceci est expliqué par l'effet de dilution des eaux souterraines générée par l'alimentation de la nappe par l'oued Ghmat à l'Est.

L'absence des polyphénols dans le puits P₄ pourrait être due à la grande distance (environ 300m) qui le sépare de l'huilerie H₁.

Les puits P₈ et P₉ sont contaminés par les polyphénols, bien qu'ils ne sont pas situés à l'aval hydraulique de H₂. Cette contamination pourrait être due aux rejets directs des margines par de nombreuses huileries situées au sud de notre secteur d'étude. Ces rejets des margines se fait de manière non contrôlée dans la nature et surtout dans un réseau de sagaia qui les fait véhiculer jusqu'à proximité des puits échantillonnés.

De plus, la zone d'étude se caractérise par des dépressions remplies d'alluvions fines, limoneuses (ORMVH, 1978), donc par un sol non saturé et assez perméable facilitant l'infiltration des margines vers la zone saturée de l'aquifère ici considéré. Ce phénomène d'infiltration devient encore plus manifeste en raison de l'abondance des unités de trituration dans cette région qui élaborent annuellement des volumes énormes de margines.

A la lumière de ces constatations, il apparaît claire qu'une grande partie de ces polyphénols provient de l'infiltration des margines vers les eaux souterraines.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les variations entre les teneurs en polyphénols détectées dans les puits situés près de l'huilerie, on distingue :

- la profondeur de la nappe par rapport au sol ;
- le sens d'écoulement de la nappe ;
- le nombre des huileries situées à proximité des puits ;
- la nature des bassins de stockage : lorsqu'ils sont en béton de ciment et en absence de tout épandage direct des margines sur le sol, l'infiltration de ces derniers, vers les eaux souterraines sera nulle. Dans le cas inverse, l'infiltration sera importante ;
- la distance séparant les puits de l'huilerie.

IV-Analyse en composantes principales (ACP)

Cette analyse multidimensionnelle des données est une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques (dans notre cas, les résultats des analyses chimiques). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances chimiques entre les différentes eaux et/ou les différents pôles d'acquisition de la minéralisation.

Au cours de ce travail, une analyse statistique (ACP) a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel XLSTAT. Les données portent sur l'ensemble de deux sites de la région de Ghmat. Neuf variables ont été traitées, à savoir les ions majeurs (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, NH₄⁺ et KMN0₄).

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation. Les coefficients de corrélation entre les éléments sont reportés dans le tableau 4.

	Na	Ca	K	Mg	NO3	Cl	SO4	PO4	MnO4	HCO3	PP
Na	1										
Ca	-0,767	1									
K	-0,199	-0,024	1								
Mg	0,732	-0,913	-0,098	1							
NO3	-0,380	-0,039	0,016	0,058	1						
Cl	-0,191	-0,178	0,035	0,359	0,620	1					
SO4	0,810	-0,843	0,193	0,718	0,015	0,014	1				
PO4	0,334	-0,662	-0,174	0,586	0,556	0,138	0,577	1			
MnO4	-0,256	0,288	0,496	-0,093	-0,279	-0,051	-0,315	-0,408	1		
HCO3	0,676	-0,892	-0,132	0,833	0,085	0,124	0,769	0,699	-0,442	1	
PP	-0,128	-0,113	-0,482	-0,001	0,674	0,130	-0,047	0,604	-0,650	0,184	1

Tableau 4 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux souterraines de Ghmat

L'analyse de cette matrice de corrélation montre qu'il s'est établi une bonne corrélation entre :

- Les sulfates et le sodium
- Les bicarbonates et le magnésium
- Les bicarbonates et les sulfates
- Les sulfates et le magnésium
- Le magnésium et le sodium

On ne retient que les deux premiers axes principaux puisqu'ils expriment 68.33% de la variance totale.

L'analyse des variables montre que (fig.32) :

- **Le facteur 1** exprimant 44.51 % de l'inertie totale, est essentiellement bien corrélé avec les variables : les bicarbonates, le magnésium, les sulfates, le sodium, les orthophosphates et le calcium. C'est le pôle des minéralisations, il est en bonne partie issu de l'interaction eau-roche.
- **Le facteur 2** exprime 23.83% de l'inertie totale du nuage, il est caractérisé par les nitrates et les polyphénols.

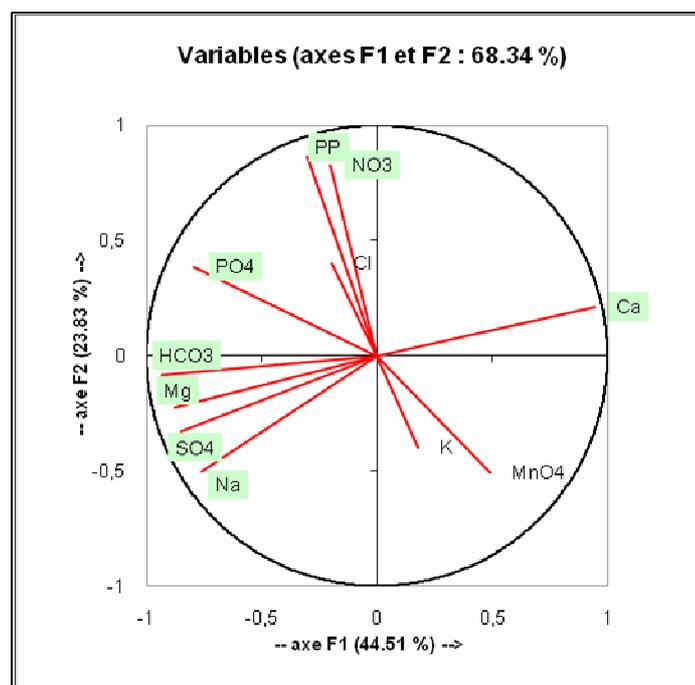


Figure 32 : Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 des eaux souterraines de Ghmat

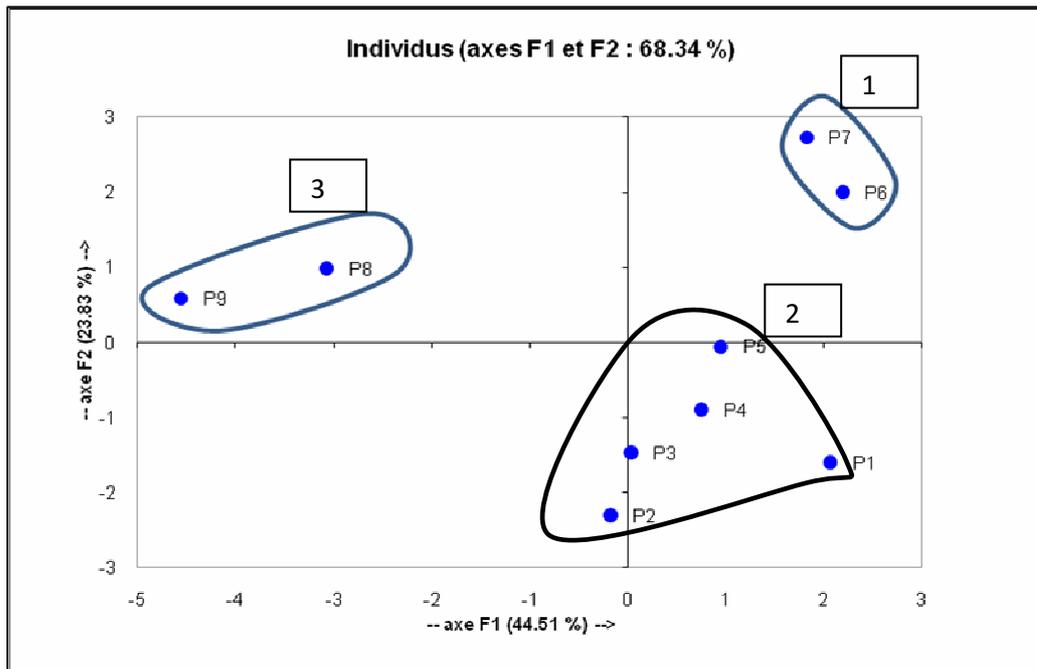


Figure 33 : Projection des Puits analysés dans la région de Ghmat sur le plan factoriel F1-F2

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en trois groupes (fig. 33) :

- **premier groupe** (les puits P₆ et P₇) : moins minéralisé et le plus contaminés par les polyphénols ;
- **deuxième Groupe** (Les puits P₁, P₂, P₃, P₄ et P₅) : moins minéralisés et caractérisé par des faibles teneurs en polyphénols ;
- **troisième groupe (les puits P₈ et P₉)** : le plus minéralisé ; très riche en magnésium, calcium, sodium, bicarbonate, sulfate et les orthophosphates, et moins riche en polyphénols.

L'analyse par composante principale nous a permis de confirmer les résultats précités à partir les analyses physico-chimiques.

Conclusion générale

Le travail entrepris dans le cadre de notre stage de fin d'étude est une contribution selon une optique physico-chimique à l'étude de l'impact des margines sur les eaux de la nappe phréatique mio-plioquaternaire de la région de Ghmat au sud de Marrakech.

Ces eaux souterraines représentent une ressource précieuse très sollicitée par la population rurale dans cette région du Haouz central, les activités anthropiques et domestiques liés aux habitations font que les eaux souterraines sont exposées à différentes sources de pollution et en particulier aux activités croissantes des huileries.

L'étude de la qualité physico-chimique des eaux de nombreux puits de Jemâa Ghmat et de Skoum de la région de Ghmat montre deux faits remarquables :

- une augmentation des teneurs en bicarbonates et en magnésium dans les eaux et qui dépassent largement les normes d'eau potable suggérées par l'OMS ;
- les eaux souterraines des deux sites révèlent selon le diagramme de Schöller Berkloff un seul faciès bicarbonaté magnésien.

Les données analytiques obtenues montrent par ailleurs, un impact très net des margines sur les eaux souterraines qui se traduit par une réelle contamination en polyphénols de la plupart des eaux des puits analysés. En effet la teneur en polyphénols obtenue dans les eaux peut atteindre 7,47mg/l, la matière organique et aussi présente en proportion non négligeable dans ces eaux.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de corroborer les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques.

L'infiltration des margines vers les eaux souterraines est régie par plusieurs facteurs (la profondeur de la nappe, la distance séparant les puits des huileries, les pluies qui accélèrent le processus de l'infiltration à travers le sol et d'autres activités anthropiques locales qui déterminent le degré de contamination de ces eaux en polyphénols.

Références bibliographique

ABOURIDA A., 2007: Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection, Isotopie, SIG et Modélisation. Thèse Univ Cadi Ayyad- Faculté des sciences Semlalia.197p.

ACHAK M., 2010: Essais de traitement des rejets liquides issus d'une huilerie d'olive moderne (margines) par différents procédés : coagulation-floculation, adsorption, infiltration-percolation, phyto-épuration. Univ Cadi Ayyad- Faculté des Sciences Semlalia

AFNOR, 1983: Association française de normalisation : installation classées pour la protection de l'environnement, Paris, France.

AKHAL A., 2007: Impact des margines sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines à Tamsloht et Tnine Ourika.

AMBROGGI R. et Thuile G., 1952 : Les plaines et les plateaux du domaine marginal de l'Atlas : Haouz de Marrakech. Hydrogéologie du Maroc. Notes & M. Serv. Géol. Maroc.N°97, pp.223-233.

CAMURATI F., LANZANI A., ARPINO A., RUFFO C. AND FEDELI E., 1984: Le acque di vegetazione della lavorazione delle olive: tecnologia ed economia di recupero di sottoprodotti. Riv. Ital. Sostanze Grasse, 61, pp. 283- 292.

COCHET A., HAZAN R. et MONITION L., 1965 : le Haouz de Marrakech bassin représentatif d'une zone aride au contact d'une haute chaîne montagneuse : Le Haut Atlas de climat subhumide.

http://www.cig.ensmp.fr/-iahs/redbooks/a066/iahs_066_0564.pdf.

DERDABI M ; BELLAACHIA A., 2008: L'hydrogéologie et hydrochimie des eaux de la nappe phréatique de la région de Tnine Ourika.

EL ALAOU A., HAJHOUI Y., 2010: L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz , mémoire de LST, Faculté des sciences et Techniques Marrakech 47p.

FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A., Borja, R. 1992: Use and treatment of olive mill wastewater: current situation and prospects in Spain. Grasas y Aceites, 43, pp.101-106.

HANIFI S., 2009 : les margines : étude de la diversité du produit de l'industrie oléicole et conduite d'essais de valorisation agronomique, pp.34 .

KACEM L., 2010 : Impact des fosses toutes eaux sur les eaux de la nappe exploitée pour l'AEP au douar Skoum (CR Ghmat), mémoire LST Faculté des Sciences et Techniques Marrakech 49p.

MAESTRO DURAN R., BORJA PADILLA R., MARTIN A., FIESTAS DE URSINOS J. A., ALBA MENDOZA J., 1991 : Biodegradacion de los compuestos fenolicos presentes en el alpechin. Grasas y Aceites, 42, pp. 271-276.

RAZOKI B., 2001: Mise en place d'un système de gestion de bases de données pour la gestion des ressources en eaux souterraines de la plaine du Haouz (Meseta occidental, Maroc). Thèse Univ.Cadi Ayyad, Marrakech Maroc.

RODIER, J., 1984. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème édition: DUNOD, BORDAS, Paris 1365p.

SCANDIACONSULT International, 1992 : Projet de gestion de l'environnement, Etude institutionnelle, juridique de la pollution. Rapport de consultant préparé par groupement SWEEP SCANDIACONSULT, Suède, Commandité par la Banque Mondiale.

SINAN M., MASLOUHI R., RAZACK M., 2003 : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc.

http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS11/TS11_3_sinan_et_al.pdf.

SINAN M., 2000 : Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatistique. Application a l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc).Thèse Univ. Mohammed V. Rabat, Maroc.pp.26-36.

SKERRATT G., AMMAR E. 1999 : The Application of Reedbed Treatment Technology to the treatment of effluents from olive oil mills. (Final report). Site web:

<http://www.staffs.ac.uk/schools/sciences/consultancy/cet/pubs/olive.pdf>

THOMSON, R.H. 1964: Biochemistry of phenolic compound. Editeur. Harborne, J.B. Academic Press. London.

Liste des figures

- Fig. 1 : L'extraction d'huile d'olive par pressage (Sekerrat, et Ammar, 1999)
- Fig. 2 : Contexte géographique et géologique de la plaine du Haouz (Razoki, 2001).
- Fig. 3 : Carte géologique simplifiée du bassin du Haouz (D'après Sinan, 2000).
- Fig. 4 : Colonne lithostratigraphique tirée du forage IRE : 3586/53 réalisé dans le secteur de Ghmat (Source : ABHT)
- Fig. 5: Colonne lithostratigraphique tirée du forage IRE : 3848/53 implanté dans le secteur de Ghmat (Source : ABHT).
- Fig. 6 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'agriculture du commerce et des forêts, 1951)
- Fig. 7 : Carte des systèmes hydrographiques du Haouz (Source, ABHT)
- Fig. 8 : Schéma piézométrique général de l'aquifère mio-plioquaternaire.
- Fig. 9 : Carte montrant l'emplacement du piézomètre IRE n°2701/53 (source, ABHT)
- Fig. 10 : carte de la vulnérabilité de la nappe phréatique du Haouz. (SINAN, 2000)
- Fig. 11 : Localisation des deux sites de Jemâa Ghmat et Skoum étudiés sur la carte topographique de Tahnaout au 1/50000^{ème}
- Fig.12 : Image satellite montrant l'emplacement des puits choisis par rapport à l'huilerie H₁ considérée dans le premier site de Jemâa Ghmat
- Fig.13 : Image satellite montrant l'emplacement des puits choisis par rapport à l'huilerie H₂ considérée dans le deuxième site de Skoum.
- Fig. 14 : La conductivité dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 15 : Piézométrie de Jemâa Ghmat (Nov. 2010)
- Fig. 16 : Piézométrie de Skoum (Nov. 2010)
- Fig. 17 : Teneurs en nitrates dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 18 : Teneurs en potassium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 19 : Teneurs en sodium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 20 : Teneurs en Chlorure dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 21 : Teneurs en bicarbonate dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 22 : Teneurs en magnésium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 23 : Teneurs en calcium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 24 : Teneurs en sulfates dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 25 : Teneurs en orthophosphates dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 26 : Teneurs en permanganate de potassium dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 27 : Diagramme de Piper des eaux des puits de Jemâa Ghmat
- Fig. 28 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux des puits de Jemâa Ghmat
- Fig. 29 : Diagramme de Piper des analyses des eaux des puits P₈ et P₉ de Skoum
- Fig. 30 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux des puits de Skoum
- Fig. 31 : Teneurs en polyphénols dans les eaux des puits analysées dans la région de Ghmat
- Fig. 32: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 des eaux souterraines de la région Ghmat
- Fig. 33: Projection des Puits analysés dans la région de Ghmat sur le plan factoriel F1-F2

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition des margines (Fiestas, 1981 ; Hamdi, 1993)

Tableau 2 : les caractéristiques physiques du piézomètre IRE n°2701/53.

Tableau 3 : Mesures de la conductivité et la Températures des eaux prélevées au sein des différents puits choisis dans les deux sites de Jemâa Ghmat et Skoum considérés dans ce travail

Tableau 4 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux souterraines dans la région de Ghmat

Liste des photos



Photos N°1 : l'analyse de permanganate de potassium dans les eaux des puits choisis



Photos N°2 : l'analyse des polyphénols dans les eaux des puits choisis



Photos N°3 : le rejet des margines dans la nature



Photos N°4 : la sonde électrique



Photos N°5 : la pollution des eaux de surface par les rejets des huileries (margines)



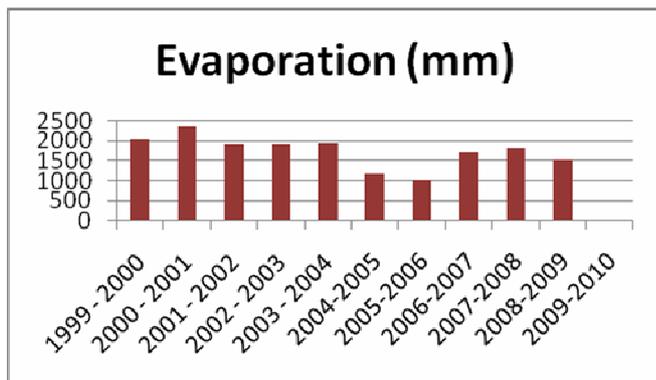
Liste des abréviations

ABHT	: Agence du bassin hydraulique du Tensift.
ORMVH	: Office régional de mise en valeur agricole du Haouz
OMS	: Organisation mondiale de la santé
ONEP	: Office national d'eau potable
EDTA	: Acide éthylènediaminetétraacétique
BI	: Balance ionique
GPS	: Global positioning System.
VRM	: Valeur recommandée maximale.
$\mu\text{s/cm}$: Micro siemens par centimètre.
mg/l	: Milligramme par litre
Ca	: Calcium
SO_4^{2-}	: Sulfates
Na^+	: Sodium
K^+	: Potassium
HCO_3^-	: Bicarbonates
NO_3^-	: Nitrates
pH	: potentiel hydrogène
KMnO_4^-	: Permanganate de potassium
Cl^-	: Chlorure

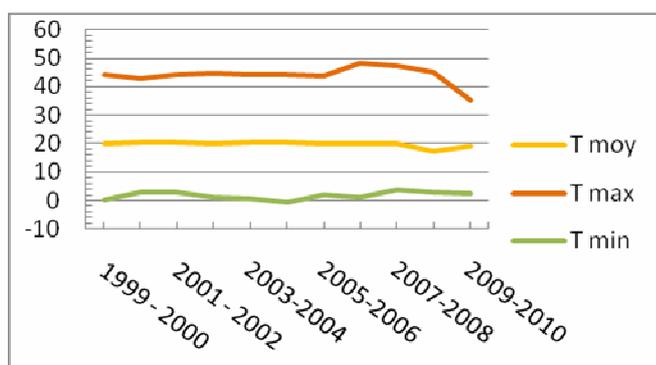
Les annexes

Annexe 1 :

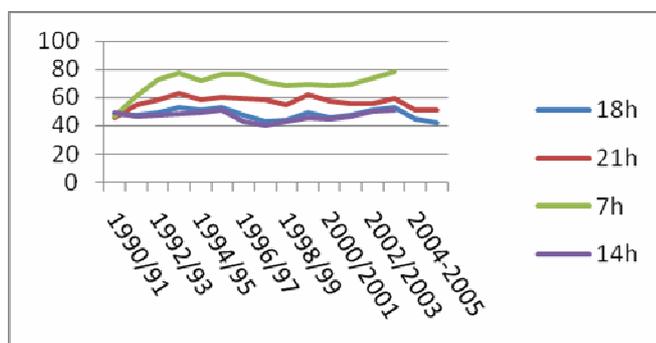
Variations climatiques de la région d'étude



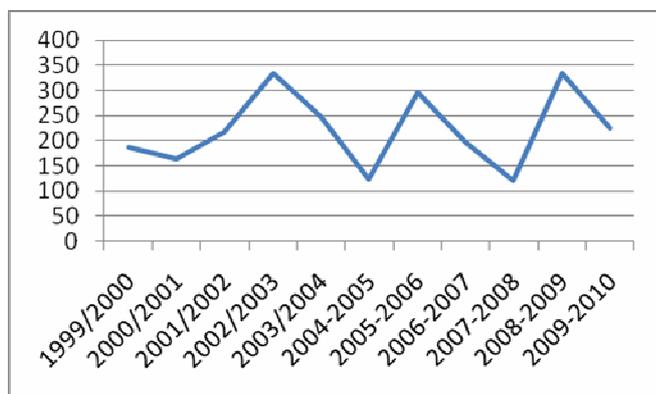
Evaporation moyenne annuelle au piche à la station du barrage Lalla Takerkoust (1999-2000 à 2009-2010, source ABHT)



Températures moyennes annuelles à la station du barrage Lalla Takerkoust (1999-2000 à 2009-2010, source ABHT)



Humidité relative moyennes annuelles à la station du barrage Lalla Takerkoust (1990-1992 à 2008-2009, source ABHT)

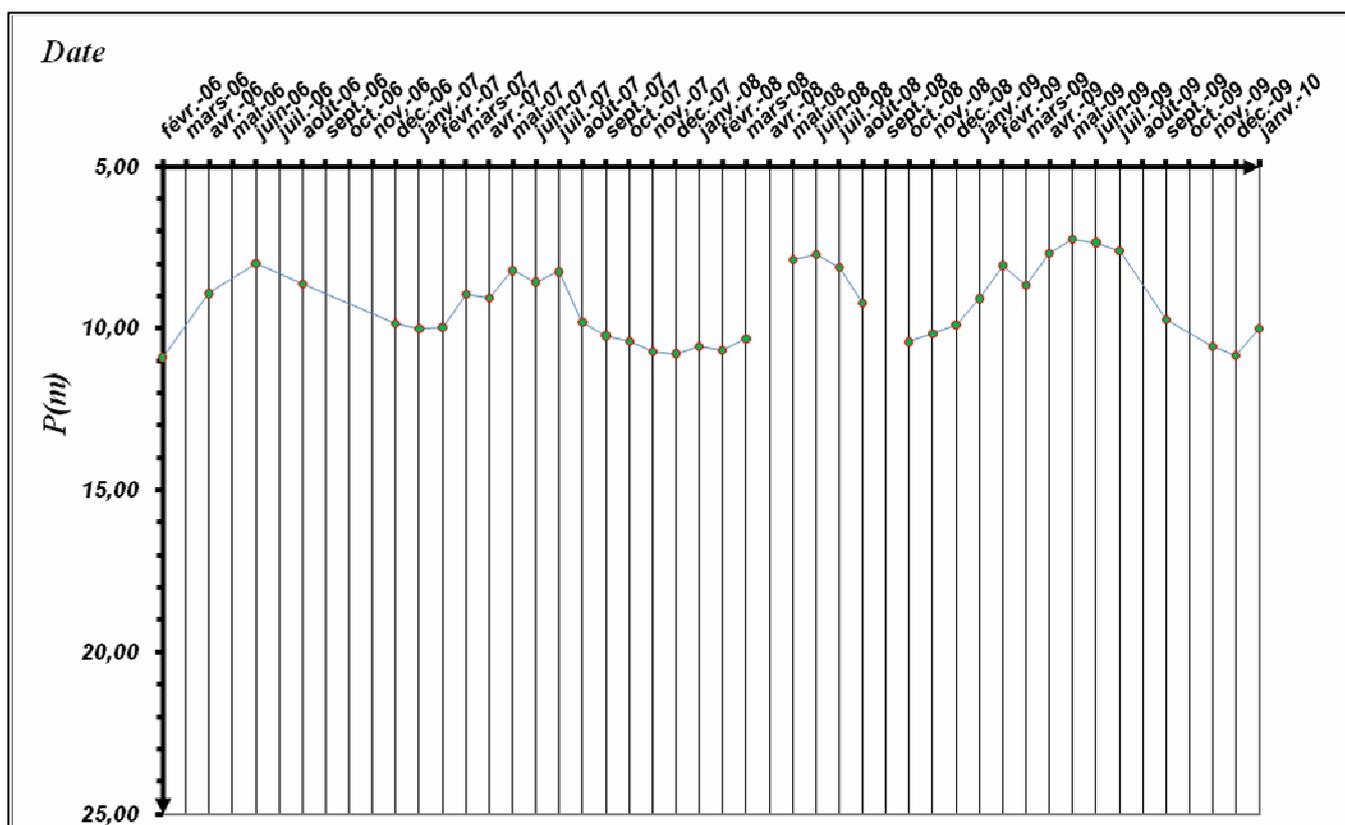
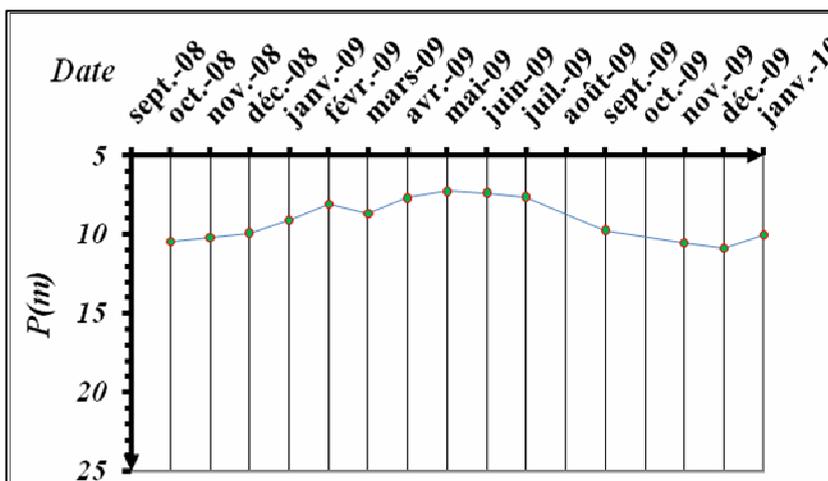


Pluviométrie moyenne annuelle à la station du barrage Lalla Takerkoust (1999-2000 à 2009-2010, source ABHT)

Annexe 2 :

Fluctuations de la nappe alluviale de Ghmat au niveau de la piézométrie IRE2701/53

Les fluctuations de la nappe alluviale de Ghmat au niveau de la piézométrie IRE2701/53, d'Octobre 2008 à janvier 2010 (Source, ABHT)

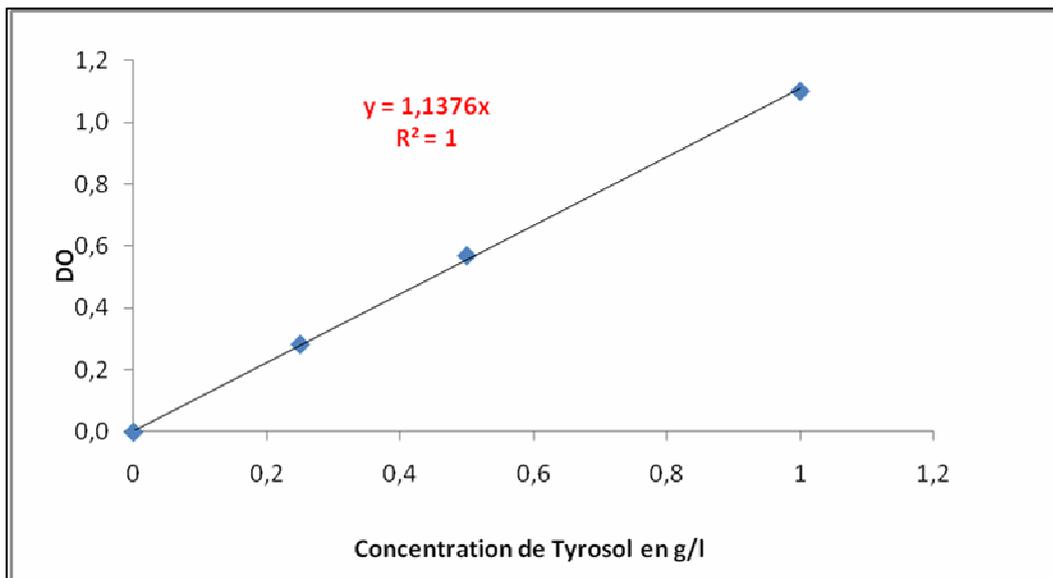


Les fluctuations de la nappe alluviale de Ghmat au niveau de la piézométrie IRE 2701/53, de Février 2006 à janvier 2010(source, ABHT)

Annexe 3 :

Réalisation de la gamme étalon

Concentration en g/l	0	0,287	0,595	0,552
DO à 765 nm	0	0,283	0,5695	1,102



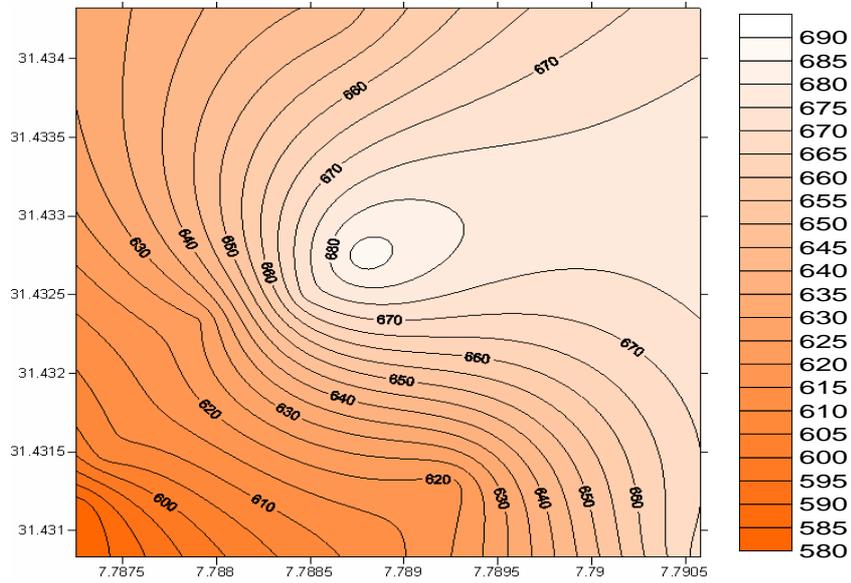
Annexe 4 :

Tableau de Bilan Ionique

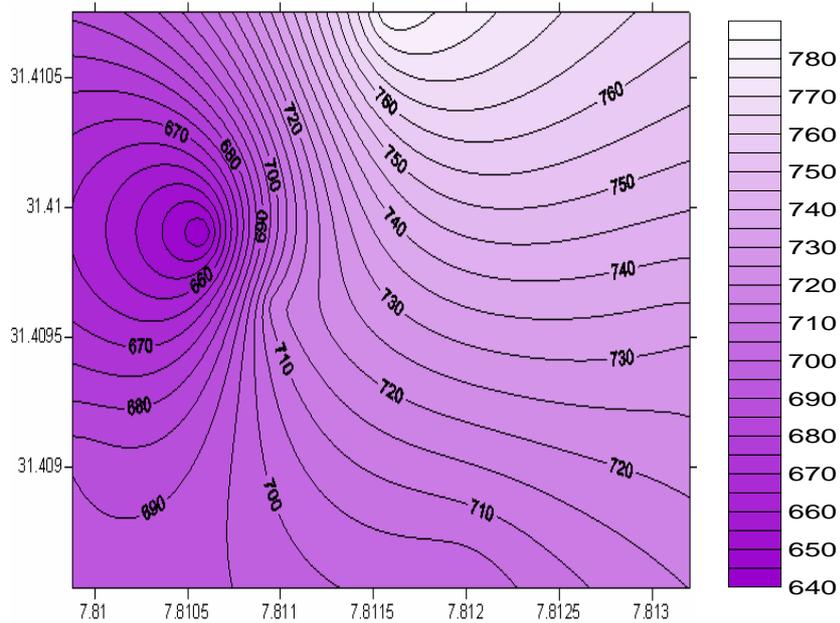
		Na ⁺ en mg/l	Ca ²⁺ en mg/l	K ⁺ en mg/l	Mg ²⁺ en mg/l	NO ₃ ⁻ en mg/l	Cl ⁻ en mg/l	So ₄ ²⁻ en mg/l	Po ₄ ³⁻ en mg/l	KMnO ₄ ⁻ en mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Polyphénols mg/l
Le 1er site : Jemâa Ghmat	P1	17,8	73,75	0	86,25	0,28	71	19,188	0,026	2,75	326,96	0
	P2	19,2	54,51	2	129,49	0,27	99,4	24,492	0,019	2,45	361,12	0
	P3	21,1	57,72	0	146,28	0,50	99,4	21,684	0,044	2,85	322,08	1,758
	P4	16,3	62,52	2	153,48	1,93	142	21,372	0,031	3,25	331,84	0
	P5	13,9	64,13	3	91,87	2,12	99,4	24,18	0,075	2,85	322,08	2,198
	P6	10,6	72,14	0	95,86	2,05	142	13,26	0,037	2,5	317,2	3,077
	P7	13,0	72,14	0	67,86	2,27	99,4	14,82	0,050	2,25	312,32	7,472
Le 2ème site : Skoum	P8	22,1	52,91	0	155,09	2,19	127,8	30,576	0,081	1,75	370,88	4,395
	P9	21,1	41,68	0	210,32	2,04	113,6	28,08	0,131	2,35	414,8	5,274

Annexe 5 :

Cartes de conductivité réalisées par Surfer de la région de Ghmat



La conductivité du premier site Jemâa Ghmat de la région de Ghmat



La conductivité du deuxième site Skoum de la région de Ghmat

Annexe 6 :

Profondeur de l'eau au niveau de 25 puits choisis dans la région de Ghmat

	Les puits	Les coordonnées			Profondeur en m
		X	Y	Z	
<u>1^{er} site :</u> <u>Jemâa Ghmat</u>	N1	31,4299	7,78991	765	6
	N2	31,4283	7,78986	763	3,2
	N3	31,42969	7,78988	760	4,1
	N4	31,43137	7,70926	744	4
	N5	31,4328	7,78877	742	5,4
	N6	31,43434	7,78865	747	4,8
	N7	31,4331	7,78846	752	5,3
	N8	31,43338	7,79047	745	3,4
	N9	31,43304	7,79247	747	4,6
	N10	31,43176	7,79173	750	3,5
	N11	31,43216	7,79288	752	6
	N12	31,43212	7,79358	753	3,5
	N13	31,4325	7,7904	753	4,3
	N14	31,42612	7,79438	764	6,4
	N15	31,42957	7,79167	754	5,8
	N16	31,43118	7,78726	753	4,1
	N17	31,42845	7,79298	767	4,4
<u>2^{eme} site:</u> <u>Skoum</u>	N18	31,40917	7,81531	795	10
	N19	31,40899	7,81291	789	10,8
	N20	31,40672	7,81306	789	11,8
	N21	31,40609	7,81366	789	11,7
	N22	31,41097	7,81149	783	11,3
	N23	31,41157	7,80927	784	16
	N24	31,41069	7,81019	786	11,2
	N25	31,41391	7,81106	780	11

Annexe 7 :

Tableau des normes marocaines de potabilité des eaux

Élément	Concentration maximale recommandée par les normes marocaine
Chlorures (Cl⁻)	200 mg/l
Sulfates (SO₄²⁻)	250 mg/l
Magnésium (Mg²⁺)	50 mg/l
Sodium (Na⁺)	150 mg/l
Potassium (K⁺)	12 mg/l
Nitrates (NO₃⁻)	50 mg/l
Bicarbonates (HCO₃⁻)	50 mg/l
Calcium (Ca²⁺)	100 mg/l
Permanganate de potassium (KMno₄⁻)	2 mg/l