Laboratoire d'analyses
Agro-alimentaire et des eaux

Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

LICENCE ÈS SCIENCES ET TECHNIQUES

« Eau et Environnement »

Intitulé :

Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz

• **Réalisé par :** **Melle. Hafsa TOURAB**

• **Encadré par :**

Pr. Khadija EL HARIRI : FST Marrakech, Département des Sciences de la Terre.

Pr. Ali BOULARBAH : FST Marrakech, Département de Biologie.

Dr. Brahim FAIK : Laboratoire d'Analyses Agro-alimentaires et des Eaux.

Soutenu : Le 20/02/2013

• **Devant le jury composé de :**

- **Pr. Khadija EL HARIRI** : FST Marrakech, Département des Sciences de la Terre.
- **Pr. Ali BOULARBAH** : FST Marrakech, Département de Biologie.
- **Pr. Abdellah Ait ADDI** : FST Marrakech, Département des Sciences de la Terre.

2012-2013

Sommaire

Résumé.....5
Liste des abréviations :.....6
Liste des figures :.....7
Liste des tableaux :.....10
INTRODUCTION :.....11

Chapitre 1: CONTEXTE DE L'ETUDE, PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

A- PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE.....13
I- CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....13
II- CADRE CLIMATOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....17
B- PRESENTATION DE L'ETUDE:.....29
I- PROBLEMATIQUE :.....29
II- OBJECTIF :.....31
C- PRESENTATION DU LABORATOIRE D'ANALYSES AGRO-ALIMENTAIRE ET DES EAUX :.....32
1- PRESENTATION DU LABORATOIRE :.....32
2- DIAGRAMME FONCTIONNEL DU LABORATOIRE :.....33

Chapitre 2: PARAMETRES ETUDIES ET METHODES D'ANALYSES

A- TRAVAIL DE TERRAIN.....36
1- LE CHOIX DES SITES.....36
2-METHODOLOGIE ET CONDITIONS DE PRELEVEMENT.....40
1- Méthodologie :.....40
2- PARAMETRE DE MESURE *in-situ* :.....41
B- TRAVAIL DE LABORATOIRE :.....42
1- Analyses chimiques.....42
2- Analyses Biologiques.....42

Chapitre 3: ANALYSES ET INTERPRETATION DES RESULTATS

I- Résultats et discussion :.....52
1- Paramètres physique-chimique :.....52
2- Paramètres bactériologiques.....57
II- Analyse en composantes principales (ACP).....61
1. Qualité bactériologique des eaux.....62
2. Qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de puits contrôlés :.....64
Conclusion :.....72

A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager, et me conseiller.

A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni de leurs connaissances pour satisfaire mes interrogations.

A mes parents ; Latifa et Abdellatif, ma grande mère, ma chère Mina

Mon frère Younes et mes sœurs

A mon oncle Abdeljabar et à tous ma famille.

En témoignage de l'amour et de l'affectation qui me lient.

A madame El Hariri

A ma chère Farida

A mon frère Mohamed

A ma chère Zineb

A tous mes professeurs

A tous mes amis…

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d'**ALLAH** et de certaines personnes :

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements ainsi que ma 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 ma gratitude pour l'intérêt et le soutien qu'ils m'ont généreusement accordé, en particulier tous les enseignements du département des sciences de la terre de la faculté des sciences et technique de Marrakech.

Mes remerciements s'adressent à mes encadrants : Pr. **Khadija El HARIRI**, Pr. **Ali BOULARBAH** ainsi qu'au docteur **Brahim FAIK** pour avoir dirigé mon projet de fin d'étude. La confiance et le soutien, qu'ils m'ont accordés, m'ont permis de mener à bien ce travail.

J'exprime ma gratitude aux Professeurs : Mr El Mehdi SAIDI, Mr Ali BACHNOU, Mr JAFFAL et Mr AGOUSSINE et malgré leurs occupations, m'ont bénéficié de leurs conseils et critiques judicieux.

Aux membres du jury qui ont daigné laisser leurs multiples occupations pour se donner la peine d'examiner ce travail, nous leur sommes infiniment reconnaissants. Leurs critiques et suggestions contribuerons certainement à rehausser la valeur scientifique de ce travail.

Mes remerciements s'adressent à Mlle **Zineb BENSAFIR**, pour avoir enrichi mes recherches dans le cadre de ce projet de fin d'étude.

Enfin je remercie tous les professeurs de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech et en particulier ceux du Département des Sciences de la Terre.

Mots clés : eaux souterraines, paramètres physico-chimiques, bactériologies, contamination, Haouz, Marrakech.

Résumé

Les eaux souterraines de la plaine du Haouz constituent l'une des ressources les plus précieuses en eau potable et d'irrigation de la région.

Cependant, la qualité de ces ressources se dégrade en permanence compte tenu de l'anthropisation due aux nombreux foyers de pollution. Tous ces facteurs amplifient les risques de contamination.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines en référence avec des normes marocaines et internationales de qualité.

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus ainsi à partir des mesures et des analyses effectuées sur les différentes eaux prélevées, ont montré que les valeurs de la conductivité ainsi que les fortes teneurs en chlorures représentent l'agent principal à fort impact sur la qualité de certains puits. Le pH est relativement neutre excepté pour les deux sites, celui d'Oulmess et de Souihla. En revanche, les teneurs en Nitrites et en Ammonium sont négligeables. Quant à la demande chimique en oxygène, elle ne dépasse pas 30 mg/l et reste conforme aux normes marocaines et internationales fixées pour l'eau potable.

En ce qui concerne la contamination bactérienne des eaux souterraines, on constate que les eaux de la plaine du Haouz présentent deux catégories distinctes dont 50% des eaux analysés ont une excellente qualité (catégorie 1) et 50% ont une bonne qualité (catégorie 2).

Liste des abréviations :

ABHT : Agence du Bassin Hydraulique de Tensift
ACP : Analyse en Composante Principale
ASR : Anaérobies Sulfuto-réducteurs
BAR : Bactéries Aérobies Revifiable
BEA : Gélose à la Bile, à l'Eusculine et à l'Azide de Sodium
BLBVB : Bouillon Lactosé Bilé au vert Brillant
CF : Coliformes Fécaux
Cl : Chlorure
CND : Conductivité
CT : Coliformes Totaux
DBO : Demande Biochimique en Oxygène
DCO : Demande Chimique en Oxygène
DO : Oxygène Dissous
FSTG : faculté des sciences et techniques de Guéliz
GPS : Global Positing System
HACCP : Hazards Analysis Critical Control Point
NM : Norms Marocaines
NH_4 : Ammonium
NO_2 : Nitrite
OMS : Organisation Mondial de la Santé
ONEM : Observatoire National de l'Environnement du Maroc;
ONEP : Office National d'Eau Potable
PCA : Plat Count Agar
pH : potentiel d'hydrogène
SB : Slanetz et Bartley
SF : Streptocoques Fécaux
SO_4 : Sulfate
TSN : Tryptone Sulfite Néomycine
TTC : Chlorure de Triphényl le 2, 3, 5 Tétrazolium
UFC : Unité Formant Colonie
VMA : Valeur Maximale Admissible

Liste des figures :

- Figure 1: Situation géographique du bassin hydraulique de Tensift par rapport au Maroc **http://www.cartograf.fr/les-pays-le-maroc**.
- Figure 2: Carte des principales nappes de la zone d'action de l'ABHT illustrant les limites de la nappe du Haouz (ABHT)
- Figure 3: Carte géologique du bassin du Haouz. AA' BB' CC' et DD' sont respectivement les Coupes géologique effectuées dans le bassin du Haouz. (M. Sinan 2000)
- Figure 4 : Coupe lithologique du forage profond 800/53 dans le Haouz Central (M Sinan, 2000)
- Figure 5 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'Agriculture du Commerce et des Forêts, 1951)
- Figure 6 : Evolution de la Température minimale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)
- Figure 7 : Evolution de la Température maximale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)
- Figure 8: Evolution de la Température moyenne mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)
- Figure 9 : Evolution spatio-temporelle des précipitations dans la plaine du Haouz (ABHT 2010-2011)
- Figure 10: Evolution de l'humidité mensuelle à 21heures en pourcentage dans la station de Takerkoust (ABHT)
- Figure 11: Evolution de l'évaporation totale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)
- Figure 12 : Carte simplifié du réseau hydraulique de la plaine du Haouz
- Figure 13: Coupe lithologique type du forage captant la nappe phréatique du Haouz (F2692/53).
- Figure 14: Schéma piézométrique général de l'aquifère mioplioquaternaire.
- Figure 15: Evolution de la profondeur de la nappe entre 1986 et 2002 (Limam, 2002).
- Figure 16: Coupes géologiques montrant l'extension Nord-Sud de la nappe phréatique étudiée depuis Tassaout jusqu'à Chichaoua (Sinan 2000)
- Figure 17: Paramètres intervenant dans la recharge de la nappe (Sinan et Bouidrine, 2007).

- Figure 18 : Paramètres intervenant dans la pollution de la nappe phréatique
- Figure 19 : Population urbaine et rurale dans la Province d'El Haouz (Azili, 2007)
- Figure 20 : Schéma type d'un laboratoire d'analyse microbiologique
- Figure 21 : Diagramme fonctionnel du laboratoire
- Figure 22 : Localisation des points d'eau objet d'étude sur la carte de Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4 Séries 502 ;(MapInfo)
- Figure 23: Superposition des logs stratigraphiques simplifiés des sondages et les points d'eau contrôlés dans le bassin du Haouz avec la carte hydrologique (Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du basin du Haouz (Maroc)) Carte de Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4 Séries 502 ;(MapInfo et Adobe Illustrator)
- Figure 24 : L'oxymètre
- Figure 25 : Sonde piézométrique
- Figure 26 : schéma du principe de la technique de culture sur membrane
- Figure 27 : Photo représentant l'aspect du milieu PCA
- Figure 28: Schéma de la technique de dilution décimale
- Figure 29 : Schéma montrant la procédure d'identification de la boite de Pétri
- Figure 30 : photos expliquant le mode opératoire de la culture sur milieu PCA.
- Figure 31 : Schéma du principe de la manipulation
- Figure 32 : photo montrant l'aspect de la boite de Pétri après incubation
- Figure 33 : Etapes de réalisation de la manipulation
- Figure 34 : Schéma de l'öse
- Figure 35 : a. Aspect du milieu avant utilisation. b. Aspect après incubation
- Figure 36 : Etapes de la réalisation du test de confirmation
- Figure 37: photos montrent l'aspect du milieu SB avant utilisation et après son utilisation
- Figure 38: Etapes de réalisation de la manipulation de confirmation
- Figure 39 : Photos montrent l'aspect avant et après utilisation
- Figure 40: Evolution spatiale du pH dans la plaine du Haouz
- Figure 41: Evolution spatiale de la conductivité dans la plaine du Haouz

- Figure 42 : Evolution spatiale de la température dans la plaine du Haouz
- Figure 43: Teneurs en Chlorure des eaux des puits analysées
- Figure 44 : Teneurs en Sulfate des eaux des puits analysées
- Figure 45 : Evolution de l'Oxygène dissous dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 46: Evolution de la demande chimique en oxygène dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 47 : Evolution d'Ammonuim dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 48: Evolution des nitrites dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 49 : Evolution spatiale des bactéries aérobie revivifiables à 22°C et à 37°C dans les points du réseau de contrôle des eaux souterraines de la plaine du Haouz
- Figure 50 : Evolution spatiale des coliformes dans les points du réseau de contrôle des eaux souterraine de la plaine du Haouz
- Figure 51 : Variation de nombre de colonies streptocoques fécaux par 100 ml dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 52: Variation des nombres des bactéries anaérobie sulfuto-réducteurs par 20ml dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe
- Figure 53 : Projection des variables bactériologiques sur le plan F1 et F2
- Figure 54 : projecton des individus sur le plan factoriel
- Figure 55: projecton des variables sur le plan factoriel
- Figure 56 : projecton des individus sur le plan factoriel
- Figure 57 : projecton des variables sur le plan factoriel
- Figure 58 : projecton des individus sur le plan factorielle
- Figure 59 : projecton des variables sur le plan factoriel
- Figure 60 : projecton des individus sur le plan factorielle
- Figure 61 : carte de qualité des eaux souterraines de la plaine du Haouz Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques d'un indicateur idéal de contamination fécale (Rose et al. 2004)

Tableau 2 : Tableau de critères des sites choisis

Tableau 3 : Méthodes des analyses chimique utilisées

Tableau 4 : Tableau des paramètres de potabilité bactériologique des eaux

Tableau 5 : Matrice de corrélation (Person (n))

Tableau 6 : tableau de qualité des eaux de puits de la plaine du Haouz dans le réseau de contrôle

INTRODUCTION :

La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation et la mauvaise qualité de l'eau peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS) la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais aussi l'usage de cette eau.

Dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie. Elle peut véhiculer en particulier de nombreux micro-organismes, bactéries, virus et protistes de tout genre, qui y vivent et s'y développent.

Les organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau sont très nombreux et variés. Leur présence est toujours liée à une pollution fécale de celle-ci. Cependant, il est difficile de les mettre en évidence, d'une part, parce qu'ils sont trop nombreux pour faire l'objet d'une recherche spécifique, et d'autre part, parce que leur identification demeure souvent difficile voire impossible (virus). De plus, leur durée de vie dans l'eau est parfois très courte.

L'analyse bactériologique est donc un outil incontournable de l'enquête sanitaire, car il permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Elle permet également de contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement.

Le présent rapport contribue à l'identification et la quantification de certains foyers de pollution d'origine fécale à partir des données collectées et traitées sous le SIG.

Ceci permettra par la suite d'élaborer l'inventaire du degré de pollution des ressources en eau souterraine et l'élaboration d'un plan d'action pour la protection de ses ressources hydriques et la valorisation des déchets.

Pour atteindre cet objectif, le rapport sera subdivisé en trois chapitres :

- ✓ Dans un premier chapitre nous présenterons le contexte d'étude et la problématique de la zone fait objet d'étude.
- ✓ Le deuxième sera consacré aux paramètres et méthodes d'analyses.
- ✓ Dans le dernier nous exposerons les résultats obtenues lors de la recherche.

CHAPITRE 1 :
CONTEXTE DE L'ETUDE, PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

A- PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I- CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE

1- SITUATION GEOGRAPHIQUE

La plaine du Haouz fait partie du bassin hydraulique de Tensift, qui se situe au centre Ouest du Maroc. (fig.1)

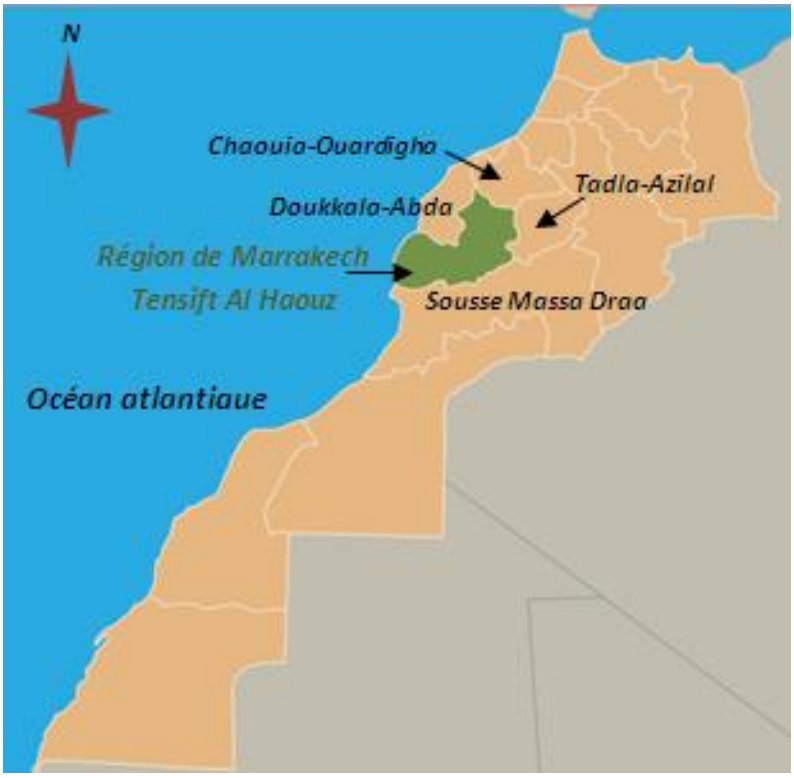


Figure 1: Situation géographique du bassin hydraulique de Tensift par rapport au Maroc

http://www.cartograf.fr/les-pays-le-maroc.

La plaine du Haouz est limitée au Nord par le massif des Jebilets et au Sud par la chaîne du Haut Atlas. Elle s'étend sur une superficie de 6.000 km² environ avec une altitude qui diminue progressivement de 900 m au Sud à 300 m au Nord. Elle est allongée en direction E-W entre la chaîne du Haut-Atlas au Sud et le massif des Jebilets au Nord. (fig.2)

Cette carte établie par l'Agence du bassin hydraulique du Tensift montre bien les limites de la nappe du Haouz par rapport au bassin Hydrologique de Tensift.

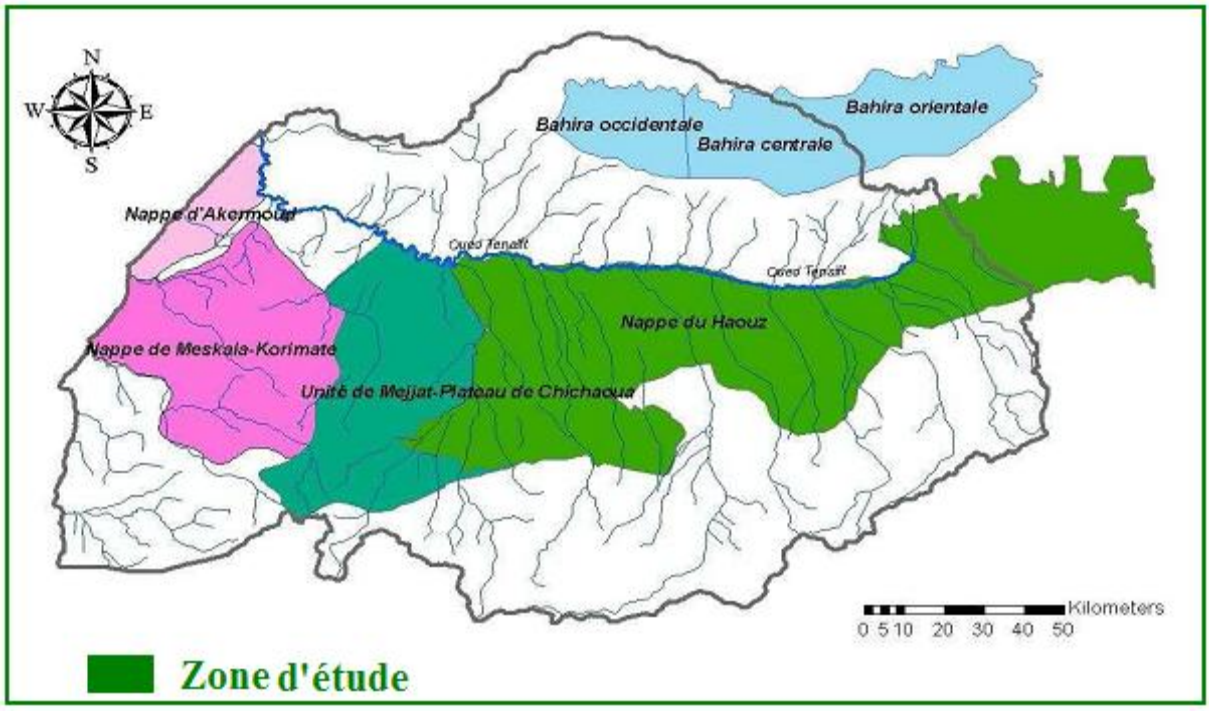


Figure 2: Carte des principales nappes de la zone d'action de l'ABHT illustrant les limites de la nappe du Haouz (ABHT)

2- CONTEXTE GEOLOGIQUE

En général, l'aquifère est contenu dans les dépôts alluviaux quaternaires, détritiques ou graveleux, à porosité d'interstice. La limite de cette nappe coïncide au Nord, à 10 km de Marrakech, avec l'oued Tensift et au Sud s'étend jusqu'à 30 km de Marrakech. (fig.3)

Le Haouz de Marrakech (ou Haouz central) est une cuvette de sédiments, dans laquelle se sont accumulés d'importantes formations détritiques, durant le Tertiaire et le Quaternaire, résultant de l'érosion de la chaîne du Haut-Atlas mise en place lors de l'orogenèse atlasique. Ces formations reposent en discordance sur un substratum constitué d'un socle hercynien qui affleure à la faveur des massifs paléozoïques des Jebilets et des Guemassa (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-éocène à l'Ouest. **(Sinan. 2000)** (fig.3).

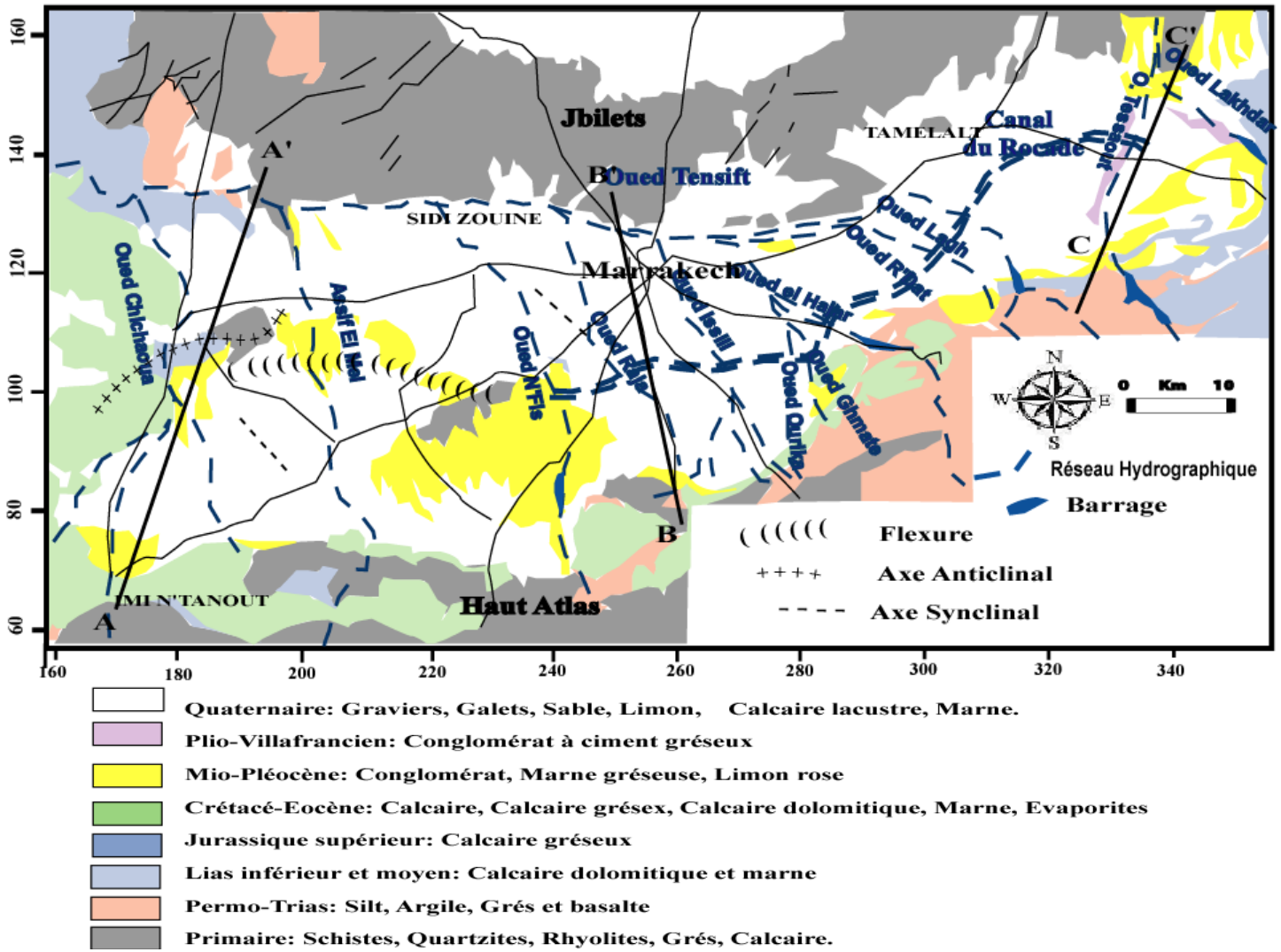


Figure 3: Carte géologique simplifié du bassin du Haouz. AA' BB' et CC' sont respectivement les Coupes géologique effectuées dans le bassin du Haouz. (Sinan, 2000) modifié

Le bassin sédimentaire du Haouz d'origine tectonique, a reçu au Néogène et au Quaternaire d'importants dépôts détritiques continentaux et fluviatiles issus de l'érosion du massif du Haut Atlas. Ces dépôts reposent sur des formations allant du Primaire au Tertiaire.

Les formations géologiques qui constituent le bassin sédimentaire du Haouz sont :

- Le socle primaire formé essentiellement de séries schisteuses redressées et modelées par l'orogénie hercynienne, et qui a connu un premier cycle d'érosion dès la fin du paléozoique,
- Les couvertures secondaires et paléogènes déposées en discordance sur une topographie restée très irrégulière. Ces formations qui affleurent en bordure de l'Atlas, plongent vers le Nord pour disparaître très rapidement à l'exception des formations du Permo-Trias plus largement distribuées,
- Les formations post-Eocène à caractère continental déposées juste après les premiers mouvements de l'orogénie tertiaire, qui ont provoqué l'individualisation d'un grand fossé de subsidence au niveau du Haouz,
- Les formations néogènes et quaternaires formées des matériaux de comblement de l'avant-fosse de l'Atlas. Le comblement de ce fossé a eu lieu en parallèle avec les phénomènes de surrection de l'Atlas et de subsidence. (fig.4)

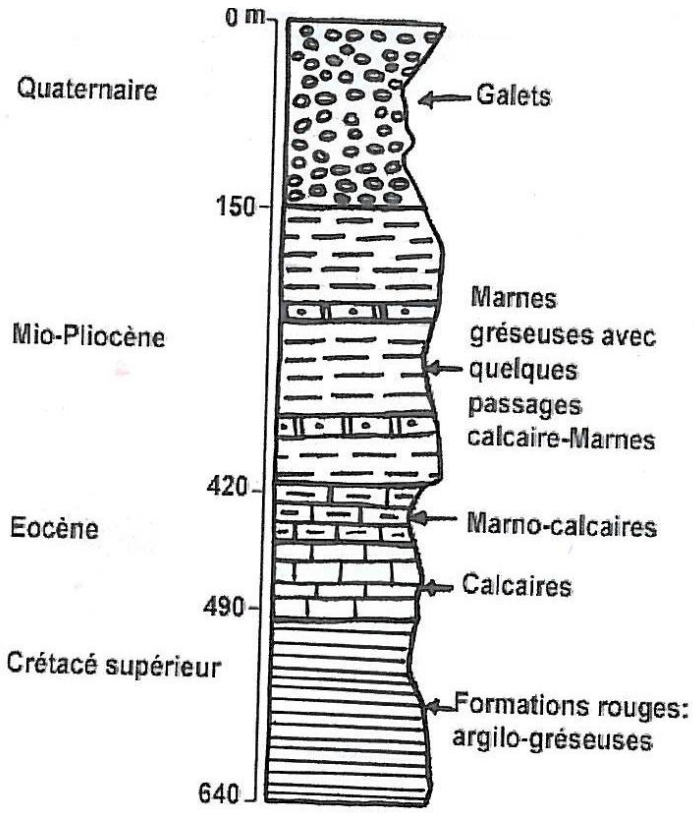


Figure 4 : Coupe lithologique du forage profond 800/53 dans le Haouz Central (Sinan, 2000)

3- PEDOLOGIE

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 : rouge, brun, châtain et gris, avec des textures limono-argileuses, limoneuses ou limono-sableuses. (fig.4)

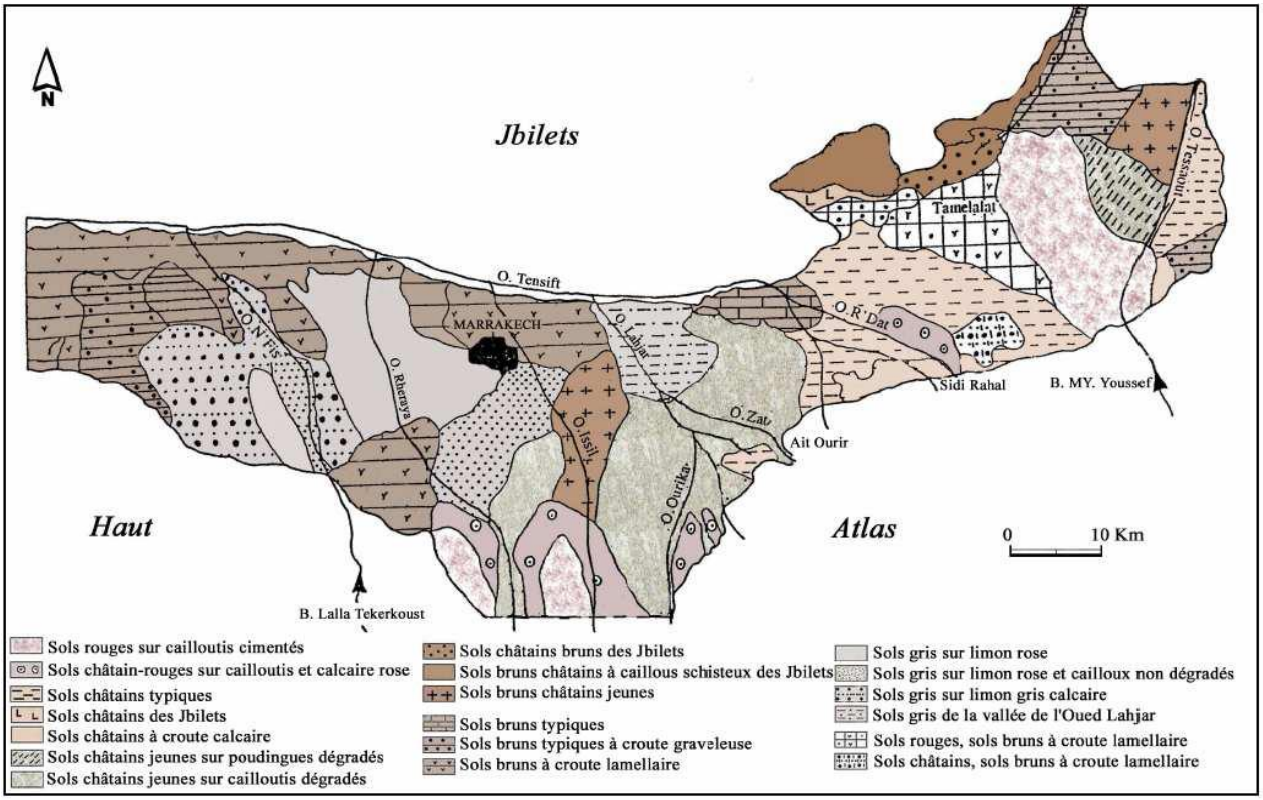


Figure 5 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'Agriculture du Commerce et des Forêts, 1951)

II- CADRE CLIMATOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

1- CLIMATOLOGIE

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type aride à semi-aride à influence océanique près des côtes. En raison de son étendue et de son relief, la région se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre, ainsi, le climat est continental de type aride dans le Haouz et semi humide en montagne.

a- Température :

La variation de la température est en régime régulier et peut atteindre en maximum jusqu'à 45°C (2010-2011), et en minimum jusqu'au 1,8 °C (2010-2011) à Takerkouste.

A l'échelle de 10 ans, les contrastes de températures sont remarquables en raison de variations journalières, saisonnières ou annuelles. A Takerkouste, la température moyenne annuelle calculée pouvant varier de 9,6°C (janvier 2008-2009) à 33,4 °C (juillet 2006-2007) (figures 6, 7 et 8)

À Sidi Rahal la température varie de 3,8 °C **(**mars 2009-2010) à 44,2 °C (juillet 2009-2010). Les moyennes mensuelles oscillent entre 9,8 °C (juin 2008-2009) et 31,4 °C (juillet 2006-2007). (Annexes I)

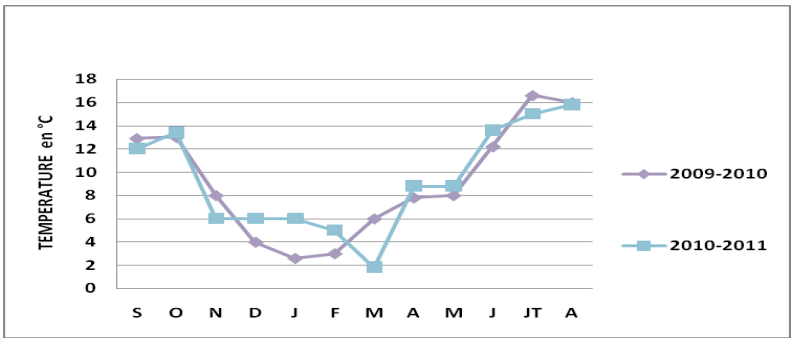


Figure 6 : Evolution de la Température minimale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)

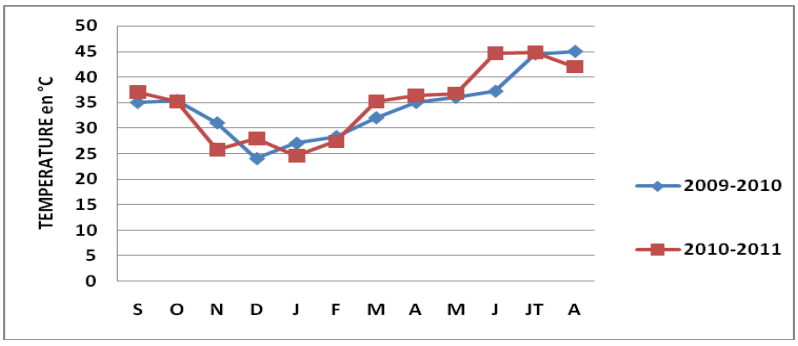


Figure 7 : Evolution de la Température maximale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)

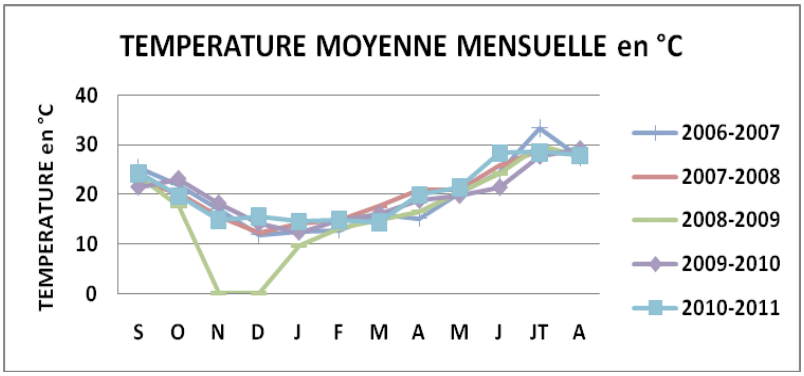


Figure 8: Evolution de la Température moyenne mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)

b- Pluviométrie :

Les mesures de la pluie montrent qu'il y'a une variation irrégulière de pluies (figure 9).On constate que:

- ☑ La pluviométrie varie en fonction de l'altitude des stations. Les stations avec des hautes altitudes présentent une pluviométrie très importante qui peut atteindre 166,2 mm (entre 2010-2011)
- ☑ les mois les plus humides sont : Mars, Avril et Mai.
- ☑ Les mois les plus secs sont : Juillet et Août

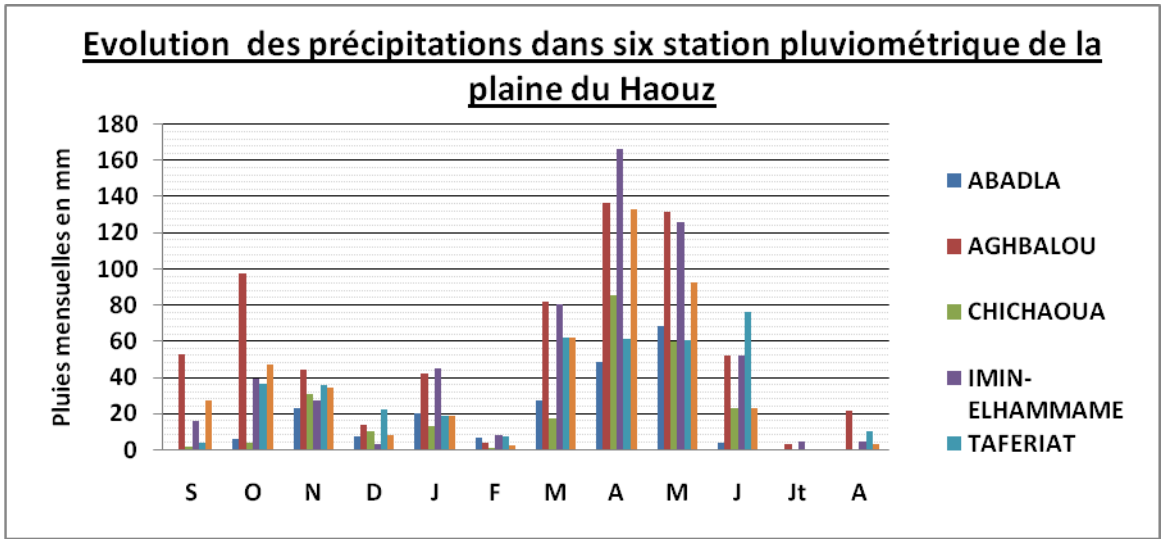


Figure 9 : Evolution spatio-temporelle des précipitations dans la plaine d'Al Haouz (ABHT 2010-2011)

c- L'humidité :

D'après les mesures de l'humidité réalisées par l'ABHT, on déduit que celle-ci est moins importante de juin à septembre et élevée pendant les mois d'octobre à juin. (Figure 10)

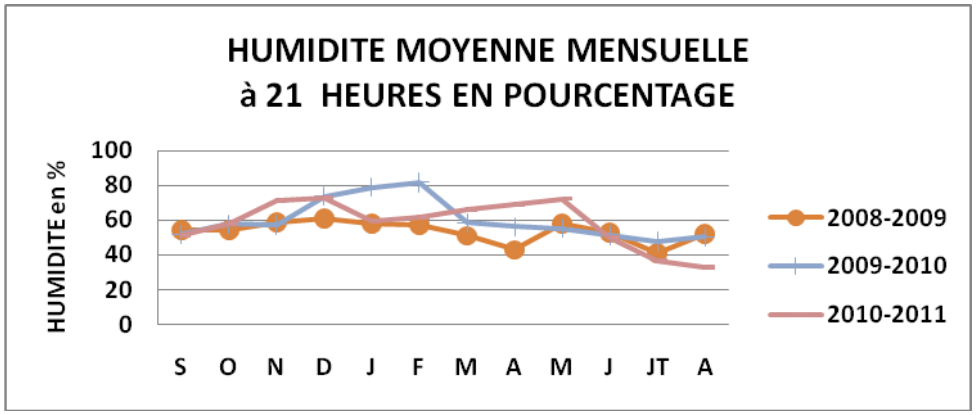


Figure 10: Evolution de l'humidité mensuelle à 21heures en pourcentage dans la station de Takerkoust (ABHT)

d- L'évaporation :

D'après l'ABHT l'évaporation moyenne est de l'ordre 1490,9 ml/an entre 2009-2010 et de 1971,7 ml/an entre 2010-2011 pour la station de Takerkouste.

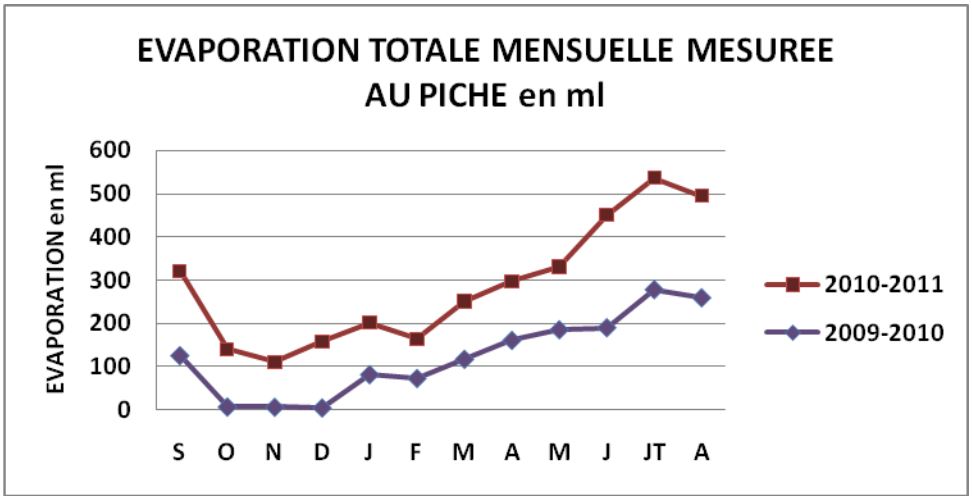


Figure 11: Evolution de l'évaporation totale mensuelle dans la station de Takerkouste (ABHT)

L'évaporation est donc favorisée dans les zones de basse altitude et en général elle est influencée par les années sèches. De même elle est plus importante de juin à septembre et moins importante d'octobre à juin.

En général, la plaine du Haouz est caractérisée (El Kahil, 2012) par un climat continental de type aride à semi-aride, par une faible pluviosité, une forte évaporation et des températures moyennes pouvant atteindre 47,6 °C dans la station de Sidi Rahal et 48,2 °C à Takerkouste. Par conséquent, l'hydrologie peut être influencée par le climat. (ABHT 2012)

2- HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

2-1- HYDROLOGIE

L'ensemble des précipitations 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, Reghaya 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. (fig.12)

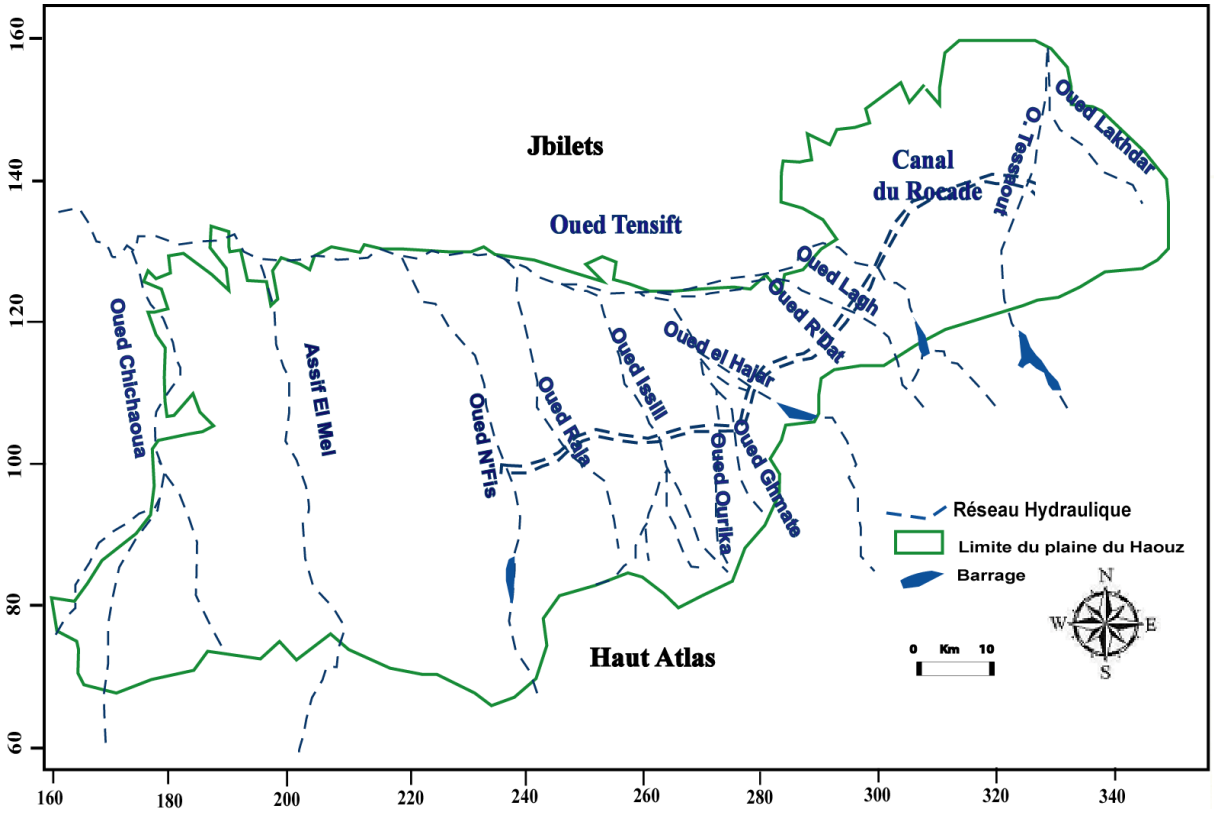


Figure 12 : Carte simplifié du réseau hydraulique de la plaine du Haouz

2-2- HYDROGEOLOGIE

a- Description :

Parmi les différentes nappes existantes, l'unique nappe qui présente une réelle importance dans la plaine du Haouz est la nappe phréatique du Haouz. 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 et conglomérats plio-quaternaires ayant une hétérogénéité complexe, tant horizontale que verticale. (fig.13)

Cette complexité est à l'origine de la variation des caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe. (fig14)

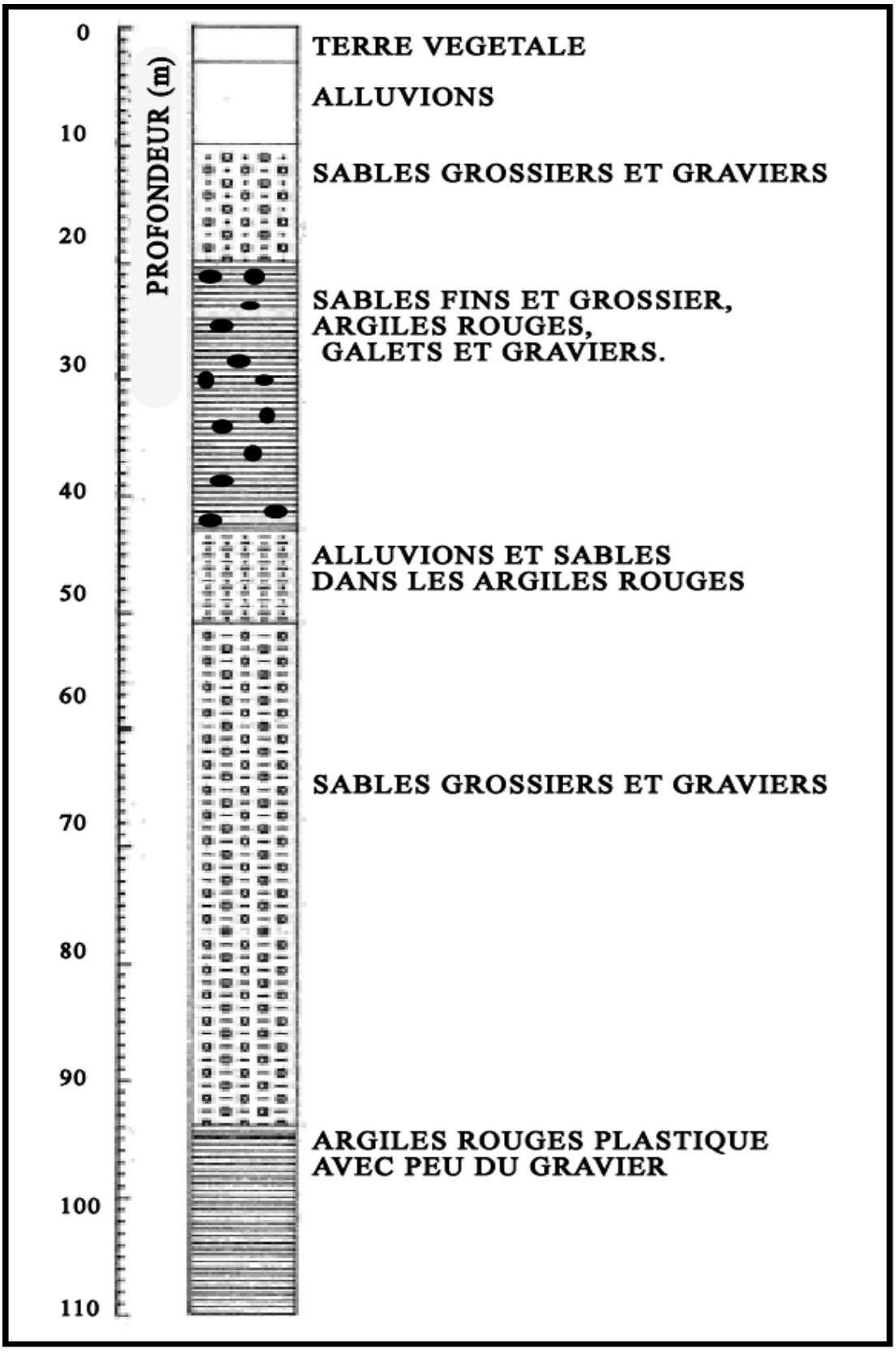


Figure 13: Coupe lithologique type du forage captant la nappe phréatique du Haouz (F2692/53).

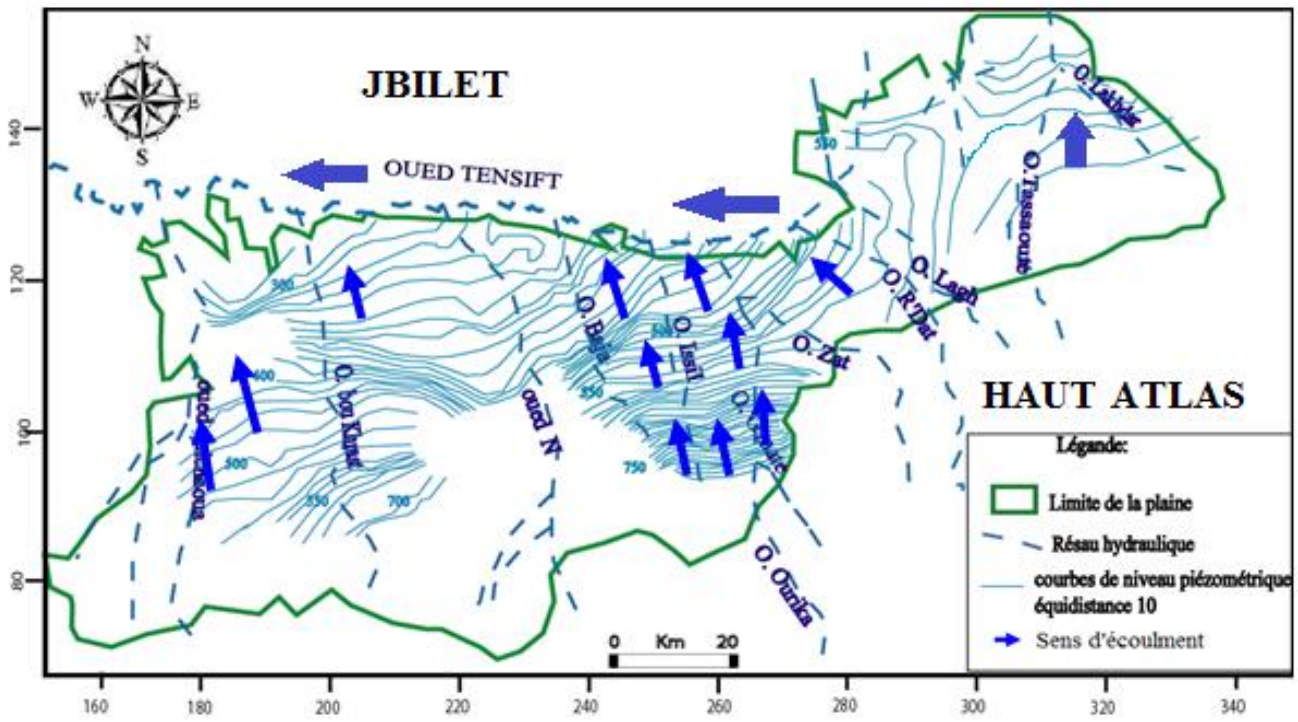


Figure 14: Schéma piézométrique général de l'aquifère mioplioquaternaire.

b- Alimentation :

La percolation directe des eaux de pluie peut, en raison de la faible pluviométrie et de l'imperméabilité des terrains limoneux, être tenue comme négligeable. L'alimentation de la nappe provident plutôt du sous-écoulement des oueds (1440 l/s) et de l'infiltration des eaux lors des crues le long des lits (6300 l/s).

Ainsi La nappe s'écoule du Sud vers le Nord au Sud de Marrakech, puis de l'Est vers l'Ouest au Nord de Marrakech, selon l'axe de l'oued Tensift. Les terrains sont moyennement transmissible hydrauliquement (T= 6.10^{-3} m^2/s).

La limite de cette nappe coïncide au Nord, à 10 Km de Marrakech, avec l'oued Tensift et Sud s'étend au Sud jusqu'à 30 Km de Marrakech. (ONEM et ABHT)

c- Profondeur de la nappe :

La surface libre de la nappe s'équilibre en moyenne à une profondeur de 5 à 10 m le long des oueds et à 20 m ailleurs. Cette profondeur a enregistré une baisse maximale de l'ordre de 20 m de profondeur entre la période allant de 1986 jusqu'à 2002 engendrée par la surexploitation au niveau des zones de pompage, notamment des zones agricoles et puits utilisés pour l'alimentation en eau potable. (ONEM) (Fig.15)

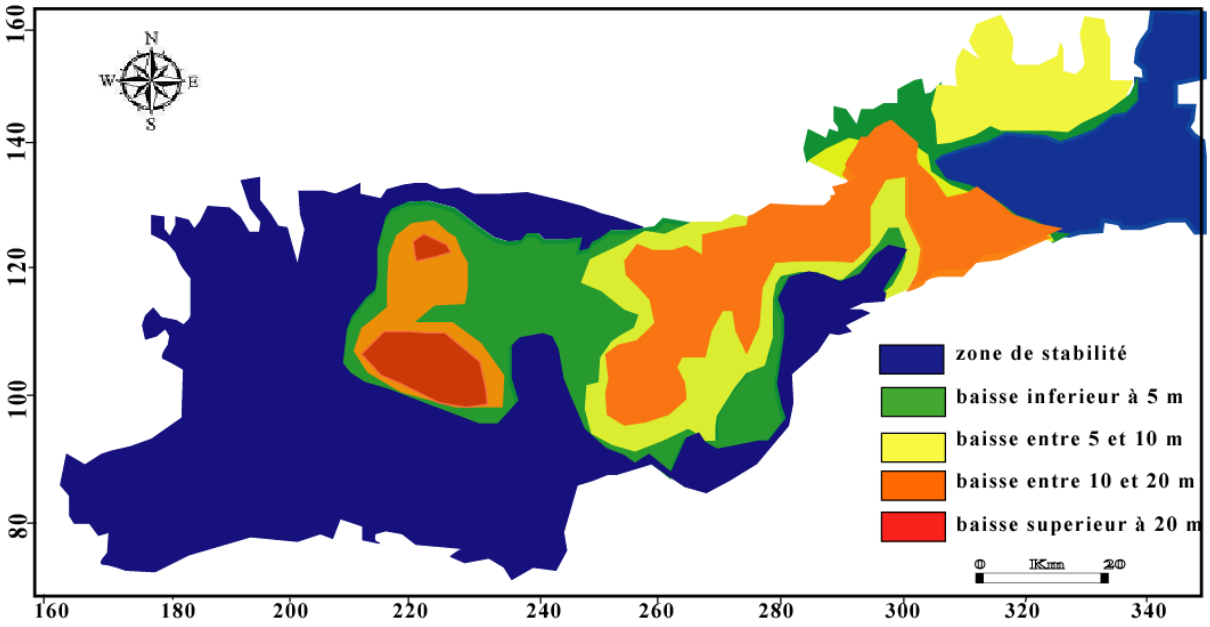


Figure 15: Evolution de la profondeur de la nappe entre 1986 et 2002 (Limam, 2002).

d- Perméabilité des formations aquifères :

Les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe sont très variables et reflètent la complexité de la structure profonde de la plaine et de la variabilité lithologique des formations plio-quaternaires (Beauchamp et Petit, 1983 ; Sinan, 1986). Des chenaux correspondant à d'anciens lits d'oueds sont constitués par des formations à galets, graviers et sables où la perméabilité est plus forte et se révèlent donc plus propices aux écoulements souterrains.

Les formations continentales sont très hétérogènes et de perméabilité très variable. La perméabilité moyenne diminue au fur et à mesure que la profondeur augmente, les faciès devenant de plus en plus argileux.

Les eaux de la nappe phréatique circule pratiquement dans la partie supérieure du remplissage continental, c'est-à-dire dans les formations du Pliocène et du Quaternaire remaniées par les oueds atlasiques (Fig. 16). Cette couche utile a une épaisseur moyenne de 40 mètres. Elle s'amincit vers le Nord (10 à 20 m) et s'épaissie vers le Sud pour atteindre 70 m (www.eau-tensift.net).

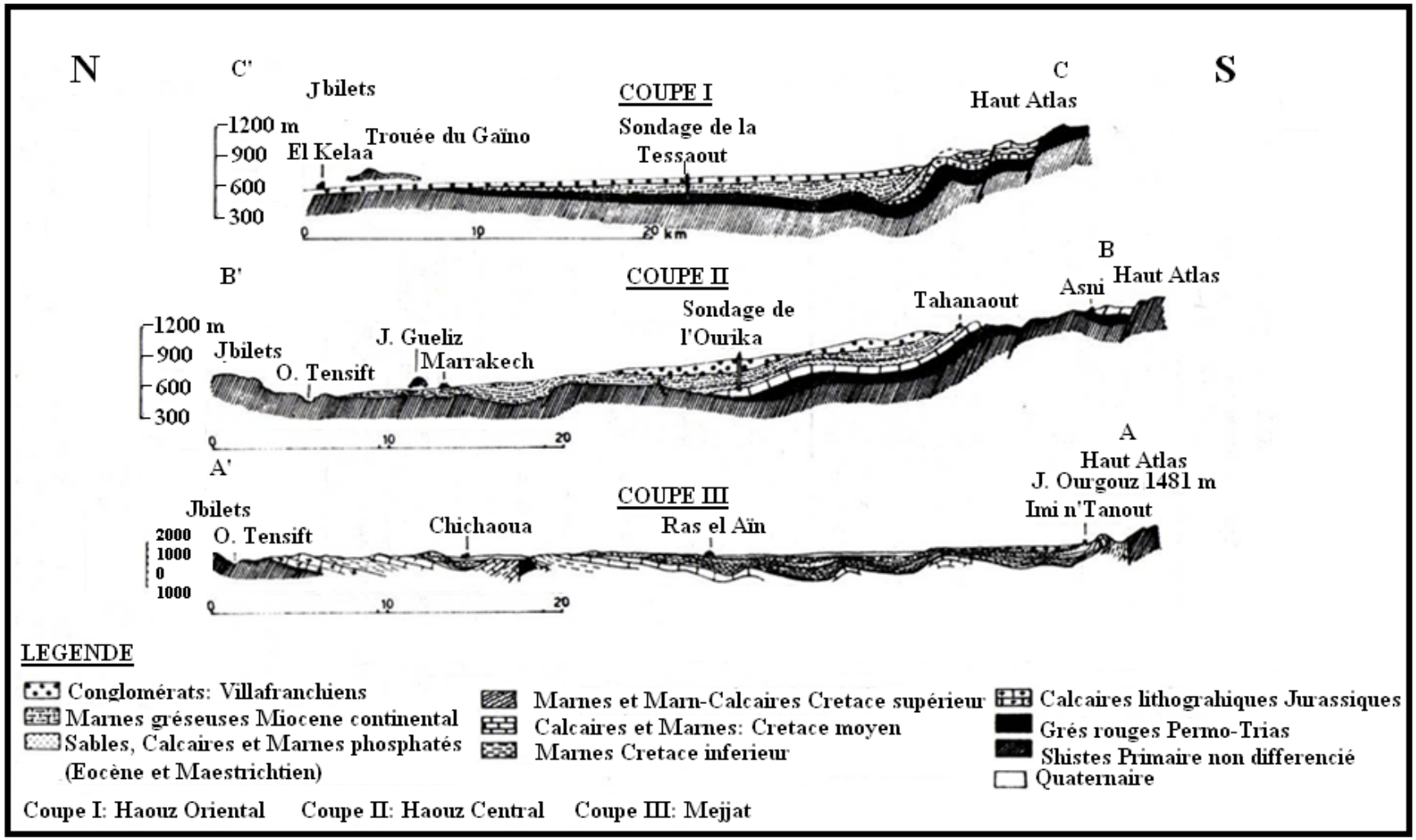


Figure 16: Coupes géologiques montrant l'extension Nord-Sud de la nappe phréatique étudiée depuis Tassaout jusqu'à Chichaoua (Sinan 2000)

e- Vulnérabilité de la nappe :

La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être affectée par la pollution en provenance de la surface du sol. (Fig.17)

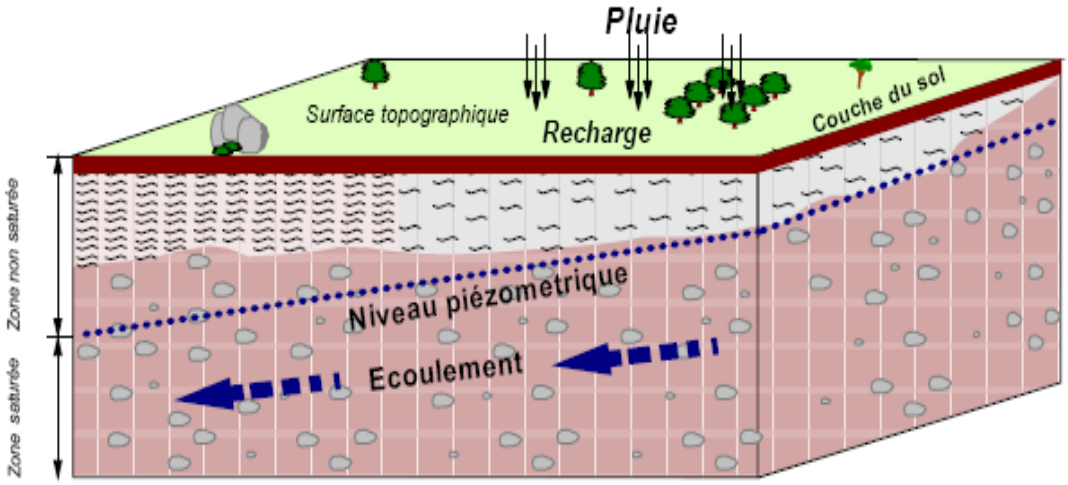


Figure 17: Paramètres intervenant dans la recharge de la nappe (Sinan et Bouidrine, 2007).

Plusieurs paramètres interviennent donc dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol, notamment:

- la recharge de la nappe (par les précipitations, les cours d'eau (fig.12), l'infiltration des eaux d'irrigation, etc.)
- La nature et l'épaisseur du sol. (fig.3, 4, 13 et 16).
- Les caractéristiques (lithologie, perméabilité, etc.) de la zone non saturée ;
- La profondeur de l'eau par rapport au sol; (Fig.14 et 15)

En plus des raisons géologiques ils interviennent aussi d'autres critères naturel et entropiques telle que (Fig.18) :

- Naturel :
  - L'accroissement démographique et la densité de populations (Fig.16 et 17);
  - Evaporation intense et la faible pluviométrie (voir climatologie)….;
  - Les catastrophes naturel telle que : Les inondations ; et la Sécheresse
- L'accroissement entropique ;
  - Accroissement industriel

- Accroissement agricole et touristique

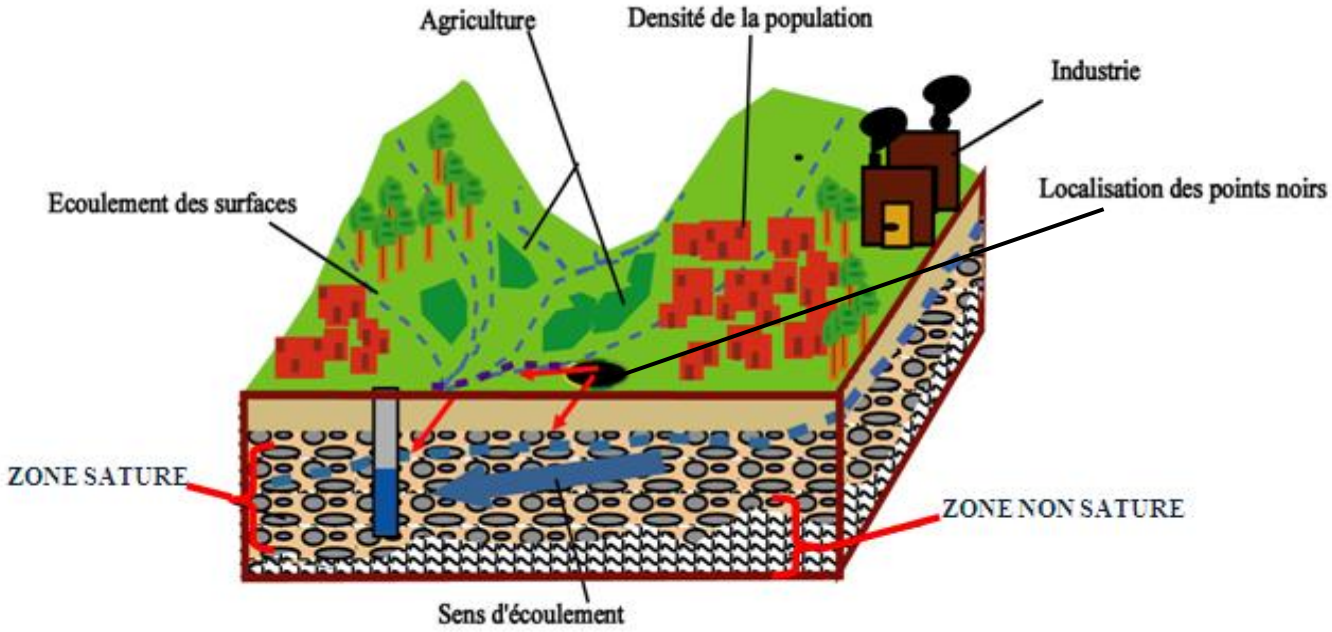


Figure 18 : Paramètres intervenant dans la pollution de la nappe phréatique

f- Exploitation de la nappe :

L'exploitation peut être de type traditionnel moyennant des puits ou des khettaras, ou de type moderne par pompages, privés ou publics (irrigation ou alimentation en eau potable), et par des puits ou des forages.

g- Qualité des eaux :

D'après l'étude **"Typologie de la qualité des ressources en eau du bassin de Tensift Al-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation " (Smaij, -2010-2011)**

- ***Qualité des eaux de surface :***

La période des basses eaux, est caractérisée par des eaux de surface de qualité très mauvaise. Seul 40% des points d'eau sont caractérisés par des eaux de qualité bonne à moyenne (Station Aghbalou, Station Tafiriat, Station Sidi Rahal, Aval rejet Ait Ourir, Aval mine Guemassa, Station M'Ramer), Station Houdjan, Station Igrounzar, Station Zelten). Les autres sont mauvaises à très mauvaises. Les paramètres de déclassement de la qualité des eaux de ces derniers points sont les teneurs élevées en Ammonium, les Coliformes fécaux, Phosphore total, DCO, DBO et l'absence d'oxygène dissous. (*Tableau a annexesII)* **(Smaij 2010/2011)**

- ***Qualité des eaux souterraine***

La qualité des eaux de la nappe du Haouz est globalement bonne. Les points caractérisés par une qualité globale de l'eau sont principalement situés à l'aval des villes et centres urbains ; deux points dans la zone d'Azzouzia à Marrakech, le puits de l'école des mines, le forage de l'ONEP à Chichaoua, et un puits à la M'Zoudia caractérisé par sa proximité l'industrie de cimenterie (*Tableau .b dans les annexesII*). **(Z. Smaij 2010/2011)**

Généralement, les eaux de la plaine sont de bonne qualité, mais néanmoins vulnérables à la pollution par les écoulements en surface, du fait que la nappe est située à une faible profondeur et de la perméabilité moyenne des terrains.

h- Indicateurs de contamination bactérienne:

La détection de tous les microorganismes pathogènes potentielle est très difficile et incertaine en raison de :

- La très grande variété et diversité des microorganismes pathogènes
- L'inexistence de méthodes standardises et rapides pour la détection de tous ces microorganismes pathogènes.

Cependant l'évolution et la surveillance en routine de la qualité microbiologique des eaux est basé sur le concept de germes dits indicateurs de contamination n'ont pas nécessairement un caractère pathogène, qui leur présences indiquent l'existence d'une contamination d'origine fécale et leur abondance est une indication du niveau de risque de présence des microorganismes pathogènes.

Un bon indicateur de contamination est par définition une espèce ou group de bactéries qui présente certaines caractéristique d'un indicateur idéal et qui sont reprises au tableau suivant :

Tableau 1. Caractéristiques d'un indicateur idéal de contamination fécale (Rose et al. 2004)

Propriété	**Caractéristique d'un indicateur**
Pathogénicité	Pas pathogène
Occurrence	Présent en même temps que les pathogènes, absent en l'absence de contamination fécale
Survie	Taux de survie similaire à celui des pathogènes
Reproduction	Ne se reproduit pas dans les eaux naturelles
Inactivation	Inactivé par les différents traitements de manière similaire aux pathogènes
Source	La seule source dans les eaux naturelles est la contamination fécale
Coût	Méthodes de détection peu onéreuses, rapides et faciles à mettre en œuvre.

Parmi ces indicateurs de contamination l'étude s'y porté uniquement sur les indicateurs les plus utiles pour estimer la pollution fécale généralement ce sont :

- ✓ **Flore mésophile totale à 22°C et à 37°C :** Toute bactérie aérobie, levure et moisissure, capable de former des colonies dans un milieu de culture nutritif gélosé. Le dénombrement des germes totaux concerne surtout les bactéries aérobies mésophiles revivifiables après 72 h d'incubation à 30°C dans un milieu.
- ✓ **Les coliformes:** sont des entérobactéries (bacilles gram négatif, asporulés, glucose positif, oxydase négatif, nitrate réductase positif, anaérobies facultatifs) qui fermentent le lactose avec production de gaz à 30°C. Il s'agit d'un groupe disparate non défini sur le plan taxonomique qui comprend les genres *Escherichia* (avec les espèces *coli, Intermedium, freudii), Citrobacter, Enterobacter et Klebsiella).*

  Les **coliformes fécaux**, donc d'origine intestinale, sont des coliformes qui fermentent le lactose avec production de gaz à 44°C On les assimile souvent aux **coliformes thermotolérants**. Ex : *E. coli*: Bactéries coliformes et qui produisent également l'indole à partir du tryptophane
- ✓ **Les streptocoques fécaux** ou encore **Entérocoques intestinaux** résistent beaucoup aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains streptocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les méningites. Elles sont capables de réduire le chlorure de triphényl le 2, 3, 5 tétrazolium (TTC) en formazane.
- ✓ **Anaérobies sulfuto-réducteurs** (Clostridia) : Micro-organismes anaérobies formant des spores et sulfito-réducteurs, appartenant à la famille des Bacillacés et au genre Clostridium.

B- PRESENTATION DE L'ETUDE:

I- PROBLEMATIQUE :

Dans la plaine du Haouz les eaux souterraines constituent les ressources les plus importantes en eau puisque elles constituent :

- une source d'usages domestiques et d'irrigation, notamment l'irrigation et l'alimentation en eau potable ;
- Une ressource plus accessible pour les populations périurbaines de la région de Marrakech.

Cependant, ces eaux de nappe peu profondes (5 à 20 m), sont soumises à des pollutions d'origines diverses en raison des épandages des ordures ménagères, des eaux usées sur le sol et des carences d'hygiène ainsi que du manque ou des altérations au niveau du réseau d'assainissement.

Selon le recensement général de 2004, la population de la Province s'élève à 484312 habitants dont 36% urbains. La densité démographique est de 73 habitants/km^2.

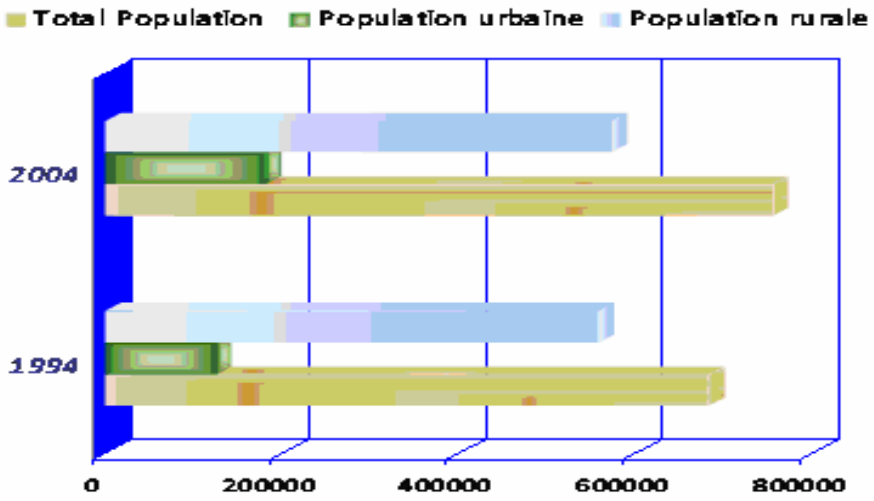


Figure 19 : Population urbaine et rurale dans la Province d'El Haouz (Azili, 2007)

La croissance démographique et l'augmentation des activités humaines, agricoles et industrielles fait que leurs déchets constituent de plus en plus un réel danger sur l'environnement.

La dispersion des douars, le coût et le contexte géologique sont des causes, entre autres, des problèmes d'installation d'un système d'assainissement, raison pour laquelle les habitants des douars se dirigent vers la défécation et l'urination, et rejettent les eaux domestiques dans la nature, ce qui entraîne un véritable problème d'hygiène et environnemental.

Les eaux usées sont aléatoirement déversées dans des Oueds ou infiltrées dans la nappe ou rejetées dans le sol.

L'état de l'assainissement rural dans la Plaine du Haouz est critique, ce qui engendre des problèmes sanitaires dans les douars et affecte négativement l'environnement. Ainsi le volume des eaux usées dans la Province d'Al Haouz est de l'ordre de 5350876 m^3 /an **(Water management consulting, 2008)** qui sont utilisées pour l'irrigation des champs agricoles ou sont rejetées dans des oueds ou directement dans le sol.

Les déchets solides sont de l'ordre de 287,09 tonnes/j **(Water management consulting, 2008)** et constituent des points noirs ou des décharges sauvages. Il est à noter qu'aucune décharge contrôlée n'existe dans la Province.

Dans les douars l'absence d'un réseau d'assainissement oblige les habitants à creuser des« fosses », dans lesquelles sont évacuées les eaux usées et les rejets fécaux. Ces fosses sont

malheureusement mal construites ou carrément inexistantes et l'évacuation s'effectue alors directement dans le milieu naturel.

Les problèmes sanitaires qui se posent dans notre situation sont en relation avec la mauvaise qualité des eaux usées, le manque d'un traitement adéquat peut provoquer des problèmes de santé publique et aussi être néfastes pour l'environnement. De même ces eaux peuvent s'infiltrer et atteindre la nappe et entraîner sa contamination.

Le contexte environnemental mondial considère toute décharge sauvage non contrôlée comme étant une source de pollution et menace pour l'environnement.

Les déchets solides rejetés, sont dispersés dans presque toute la plaine, surtout dans les centres où la population est importante.

Ceux qui sont prioritaires à l'élimination sont à proximité des Oueds et au sud de la Plaine situés sur la nappe du Haouz **(Water management consulting, 2008).**

82 % des déchets produits à Marrakech sont des déchets ménagers et le reste est produit par les secteurs hospitalier et industriel. L'ensemble de ces déchets fait l'objet d'une unique collecte (pas de séparation des déchets dangereux ou recyclables). La répartition des déchets selon leur origine est la suivante:

- Ordures ménagères : environ 125.000 t/an soit 82%
- Déchets industriels : environ 27.000 t/an soit 18%
- Déchets hospitaliers : environ 750 t/an soit 1% **(les déchets solides et leurs impacts sur l'environnement de la ville de Marrakech (Maroc)).**

Donc pour pouvoir protéger la santé de l'Homme et d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), il faut:

- que l'eau destinée à l'alimentation en eau potable soit de bonne qualité,
- éviter toutes sources de pollutions des eaux,

II- OBJECTIF :

Ce travail de recherche, qui s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'études de licence en sciences et Techniques Eau et Environnement, a pour objectif général le contrôle de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz.

C- PRESENTATION DU LABORATOIRE D'ANALYSES AGRO-ALIMENTAIRE ET DES EAUX :

1- PRESENTATION DU LABORATOIRE :

Le Laboratoire d'Analyse Agro-alimentaire et des Eaux est mis en service depuis le mois Avril 2006, il est implanté à Marrakech, Rue Abou Baker SEDDIQ- IM. BAHIA. Quartier industrielle.

Ce laboratoire assure et contrôle:

◊ la qualité (par rapport à une norme) qui ce soit Bactériologique, Chimique et ou Physique des :

* aliments (frais, conserve, semi-conserve),
* eaux,
* produits cosmétiques.

◊ l'évolution de la qualité des matières premières,

De même il assure l'accompagnement HACCP:

☑Qualité des opérations de transformation ou de préparation, la recherche et la maîtrise des éventuels points critiques (HACCP),

☑Efficacité des traitements antimicrobiens de conservation, d'emballage ou de nettoyage etc.

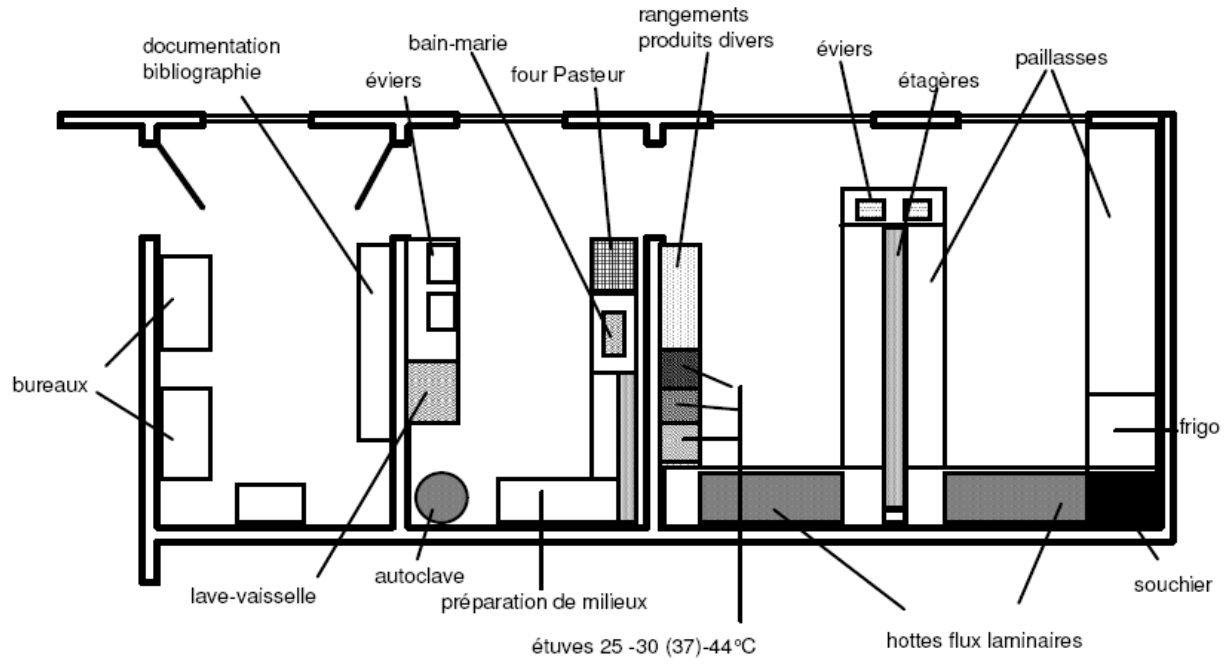


Figure 20 : Schéma type d'un laboratoire d'analyse microbiologique

2- DIAGRAMME FONCTIONNEL DU LABORATOIRE :

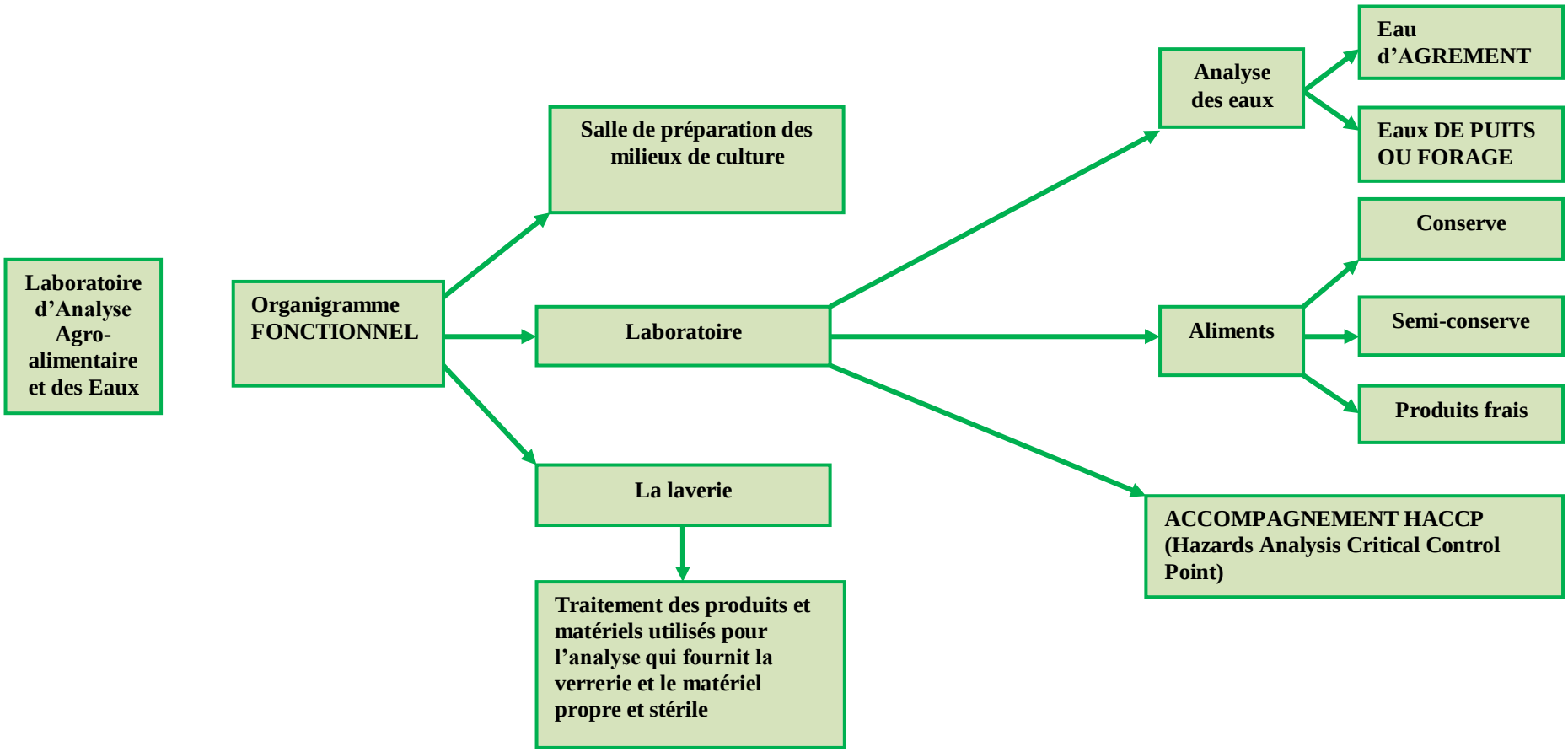


Figure 21 : Diagramme fonctionnel du laboratoire

La plaine du Haouz fait partie du bassin hydrologique de Tensift. Elle se caractérise par sa situation dans le centre du Maroc qui est très anthropisé en raison à la fois de la densité de sa population mais aussi l'intensité de ses activités industrielles et agricoles.

La qualité des eaux et le fonctionnement écologique des rivières de ce bassin font l'objet de multiples études pluridisciplinaires. Des travaux sur la qualité physicochimique et microbiologique des eaux ont été entrepris dans le cadre de ce projet de fin d'études. Ils se justifient par la forte vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine qui restent particulièrement sensibles aux problèmes de contamination microbiologique en raison de :

- la faible profondeur des niveaux piézométriques ;
- la propriété de la porosité de la zone non saturée ;
- la recharge de la nappe qui s'effectue à partir des précipitations, par l'infiltration des eaux des oueds, et d'irrigation ;
- les rejets liquides et solides ainsi que les rejets massifs des eaux usées domestiques, particulièrement dans les douars implantés sur la plaine ;

Cette vulnérabilité est d'autant plus contraignante compte tenu que ces eaux se substituent à l'eau potable.

CHAPITRE 2 :
PARAMETRES ETUDIES ET METHODES D'ANALYSES

A- TRAVAIL DE TERRAIN

1- LE CHOIX DES SITES

- Afin d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraine de la plaine du Haouz, des échantillons d'eau souterraine sont prélevés puis soumis à des analyses bactériologique et physico-chimique.
- Les prélèvements ont été sélectionnés d'une façon précise et bien répartie le long de la plaine depuis l'oued Tassaout vers l'oued Chichaoua.
- Pour l'échantillonnage, nous avons choisi, soigneusement 18 puits. Le **Tableau 2** et **les figures 22 et 23** montrent leur emplacement exact par rapport à la plaine du Haouz.

  Ces puits se trouvent à proximité des écoulements de surface et au niveau des zones d'activité industrielles, urbaines, et dans les Douar près des rejets liquides et ou solides. Ces points sont généralement utilisés pour la boisson, la baignade et l'irrigation, et ne sont pas soumises à des traitements adéquats avant usage.

  La localisation des points de mesure sur la carte de Marrakech-Demnate est établie à l'aide du logiciel MapInfo en tenant compte des coordonnées prise par le GPS –Global Positing system- lors de l'échantillonnage de même pour établir la qualité de la carte nous avons utiliser le logiciel Adobe Illustrator 10. (*Tableau2)*

Tableau 2 : Tableau de critères des sites choisis

Nom de site	Localisation	N° de puits	Coordonnée			Type d'usage	Type d'ouvrage	Type de protection	cuvelage
			Latitude	Longitude	Altitude				
Souihla (Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture)	au centre	P1	N 31°38.315'	W 008°02.50'	396	Irrigation et alimentation des cheptels	F	regard de protection	+
		P2	N 31°38.300'	W 008°01.43'	389		F	regard de protection	+
	à la sortie	P3	N 31°38.000'	W 007°01.20'	400		F	périmètre de protection	+
Douar ben Rahmoun	Ferme	P4	N 31°41.770'	W 007°58.504'	410		P	-	+
	Maison	P5	N 31°41.937'	W 007°58.327'	416	domestique	P	margelle (2m)	+
	Hammam	P6	N 31°42.207'	W 007°58.069	427	baignade	P	protéger	+
	Station Total Eau de Forage	P7	N 31° 42.207'	W 007°58.074'	449		P	margelle (0,3m)	+
	Hammam Hay el Hassani	P8	N 31°42.207'	W 007°58.071'	487	baignade	P	protéger	+
Talaghte	Villa	P9	N 31°37.543'	W 007°55.965'	590	irrigation	F	regard de protection	+
Attaouia	Centre de Qualification Agricole	P10	N 31°50.262'	W 007°18.331'	610	Irrigation et alimentation des cheptels	F	regard de protection	+
	SebtLkhamassa	P11	N 31°52.634'	W 007°12.509'	584	Domestique et irrigation	P	-	-
	Oulad Ali Joumouaa	P12	N 31°52.634'	W 007°12.770'	598		P	-	+
	Bou Agrabe	P13	N 31°38.724'	W 008°01.318'	432		P	-	+
Guéliz	Faculté des Sciences et Techniques	P14	N 31°37.249'	W 008°02.362'	452	irrigation	F	regard de protection	+
Chichaoua	BLAD	P15	N 31°30.562’	W 008°75.769	325	Domestique et irrigation	P	margelle (1,6 m)	+
JamâaGhmat	près de l'oued Ghmat à proximité de l'huilerie	P16	N 31°21,870'	W 007°47.235'	753		P	margelle (40 cm)	+
Ourika	Oulmess près de l'oued Ourika	P17	N 31°17,193'	W 007°42.172'	1175	AEP	P	périmètre de protection	+
Sidi Ghanem	à proximité des zones industrielles et au niveau du bled	P18	N 31°38.724'	W 008°03.378'	440	Domestique et irrigation	P	regard de protection	+

N stat: niveau statistique P: puits pH: potentiel d'hydrogène N° P: Numéro du puits

P E: profondeur d'eau F: forage CND: Conductivité

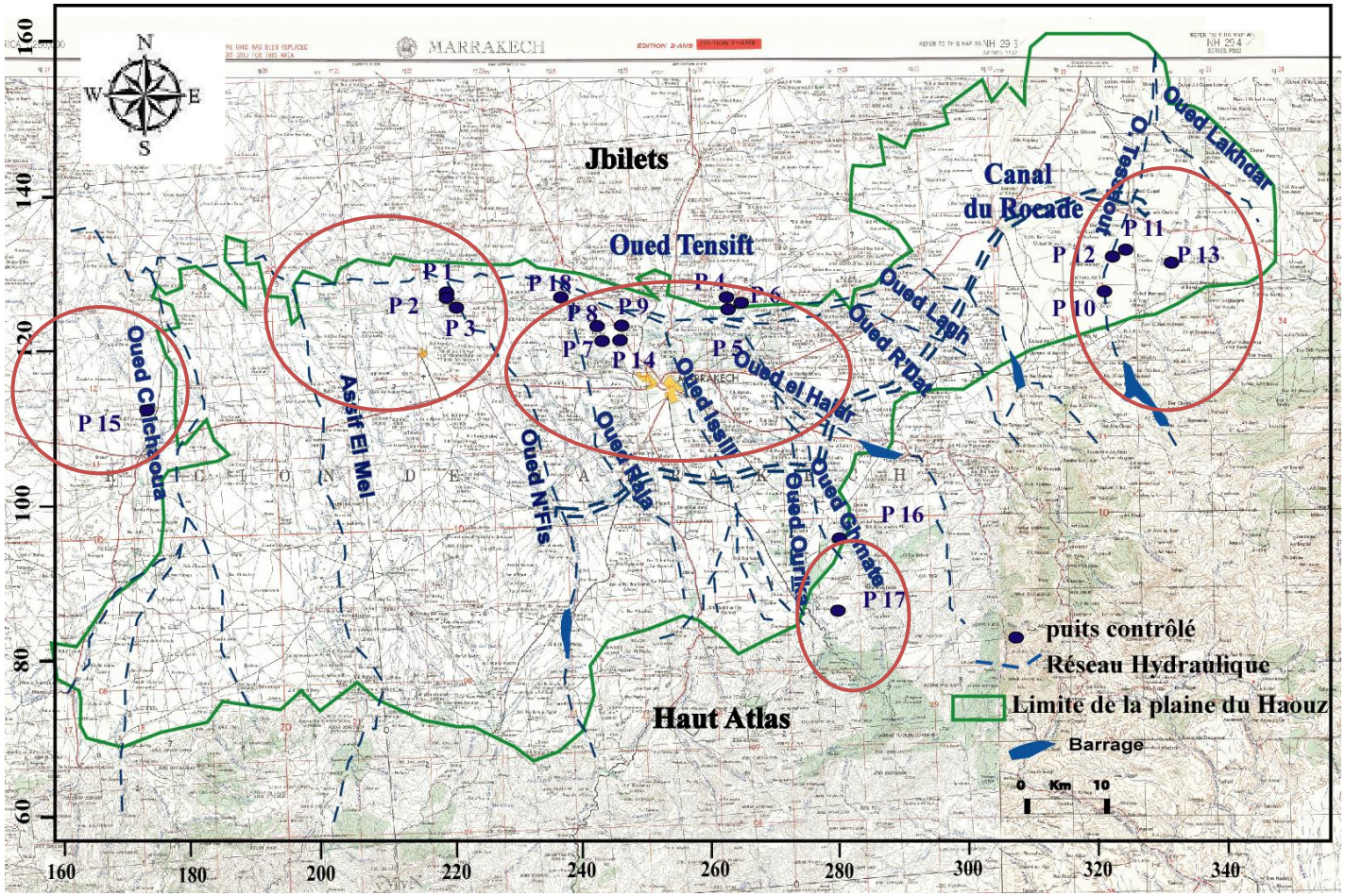


Figure 22 : Localisation des points d'eau objet d'étude sur la carte de Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4 Séries 502 ;(MapInfo)

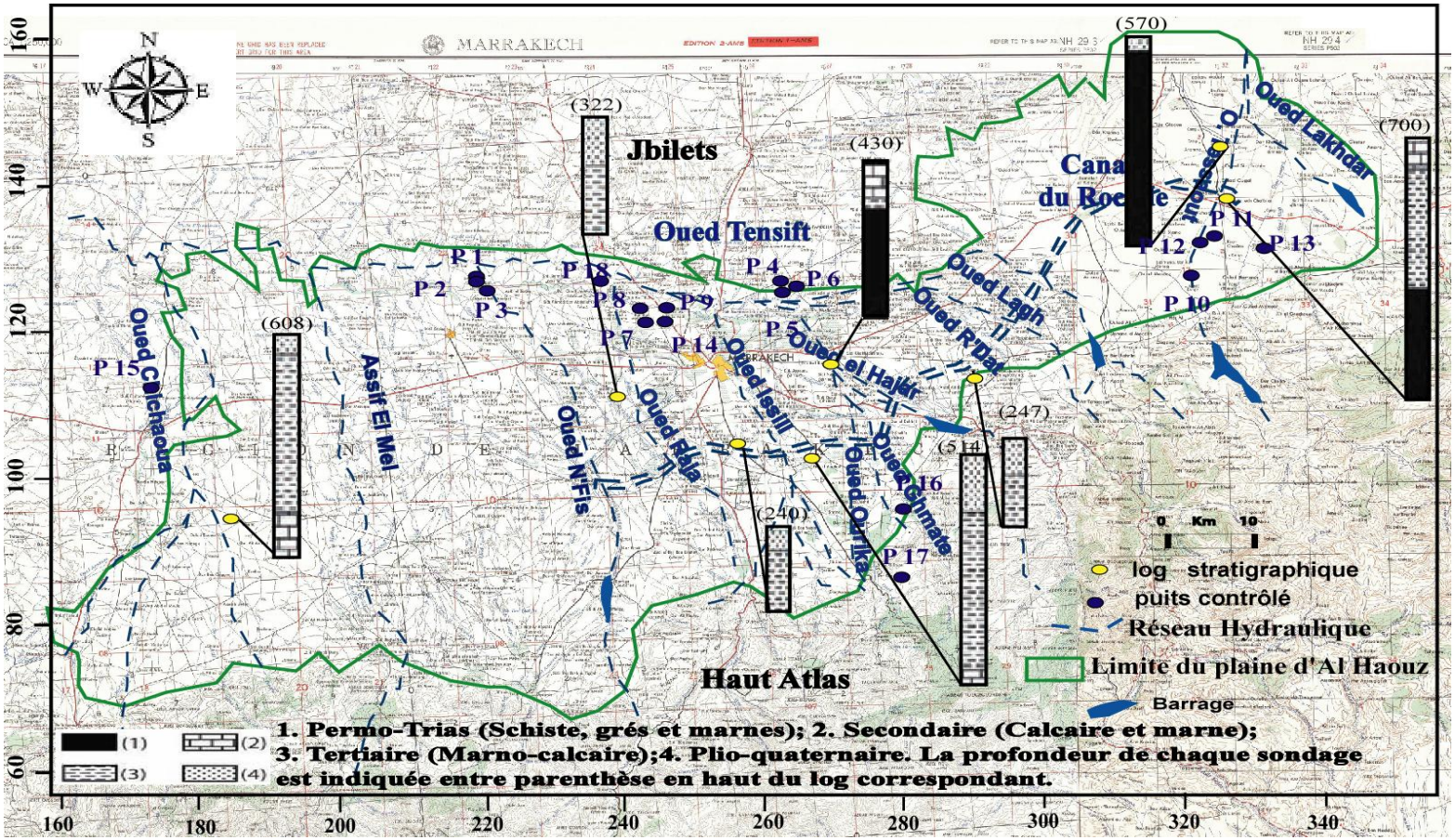


Figure 23: Superposition des logs stratigraphiques simplifiés des sondages et les points d'eau contrôlés dans le bassin du Haouz avec la carte hydrologique (Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du basin du Haouz (Maroc)).

Carte de Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4 Séries 502 ;(MapInfo et Adobe Illustrator)

2- METHODOLOGIE ET CONDITIONS DE PRELEVEMENT

1- Méthodologie :

Pour déterminer la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz, nous avons procédé de la manière suivante :

- Une étude de terrain en vue de :

- relever les caractéristiques d'une vingtaine de puits exploités par les habitants (Localisation par GPS, relevé des niveaux statiques de la nappe, mesure des paramètres tels que l'oxygène dissous, la conductivité et de la température) ;
- prélever un nombre d'échantillons d'eau dans le but d'effectuer des analyses bactériologiques ainsi que des analyses physico-chimiques.

- Analyses au laboratoire :

- Les analyses bactériologiques ont été réalisées au LABORATOIRE D'ANAYSE AGRO-ALIMENTAIRE ET DES EAUX

✓ Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire des sciences de l'eau et d'environnement –unité d'hydrologie et d'analyse chimiques-.

Conditions du prélèvement

Echantillonnage d'eau pour les analyses bactériologiques

Les conditions essentielles à respecter pour le prélèvement sont d'abord le respect des règles d'asepsie et la non modification de la flore au cours du prélèvement et du transport d'échantillons.

Les manipulations effectuées au cours du prélèvement ne doivent en aucun cas être à l'origine d'une contamination, d'où : la nécessité d'utiliser des instruments stériles et de travailler dans des conditions stériles.

Certains instruments doivent être désinfectés sur les lieux du prélèvement. Le trempage dans l'alcool et le flambage sont parfois insuffisants car la température atteinte n'est pas assez élevée.

Il est nécessaire d'utiliser des flacons propres, secs, étanches, à col large stérilisés par autoclavage à 121°C pendant 30 min ou encore à usage unique et stériles.

Quand le prélèvement aseptique a été réalisé, il faut identifier immédiatement le produit avec une étiquette ou une référence.

Si l'échantillon doit être transporté, il faut réduire au maximum le délai avant l'analyse. Il est souvent nécessaire de réfrigérer le produit au cours de son transport; certains germes fragiles peuvent néanmoins disparaître au cours de cette réfrigération.

Lors de notre étude de terrain, nous avons prélevé 18 échantillons d'eau.

- **Echantillonnage d'eau pour analyses chimiques**

Le prélèvement des échantillons pour analyses chimiques est d'une grande importance puisque les résultats reflètent directement les caractéristiques chimiques de l'eau prélevée. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

2- PARAMETRE DE MESURE ***in-situ*** :

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

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

- On détermine la quantité d'oxygène absorbé par oxymétrie.

Figure 24 : L'oxymètre

- On mesure la variation des niveaux statistiques d'eau par une sonde piézométrique

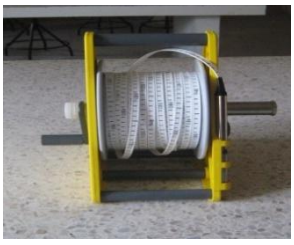


Figure 25 : Sonde piézométrique

B- TRAVAIL DE LABORATOIRE :

1- Analyses chimiques

Les analyses chimiques ont été réalisées par Mr Faissal AZIZ du laboratoire des sciences de l'eau et d'environnement unité Hydrologique et Analyses chimiques.

Les cinq échantillons d'eau sont soumis aux analyses chimiques selon les méthodes représentées dans le tableau 3 (P10, P11, P12, P13 et P14)

Tableau 3 : Méthodes des analyses chimique utilisées :

Elément	Méthodes d'analyses
Cl-	Norme AFNOR NFT 90-014
SO4	Norme NFT 90-040
NH4	Norme NFT 90-015
NO2	Norme NFT 90-015
DCO	Norme NFT 90-101

2- Analyses Biologiques

✓ **Méthode choisie :**

La méthode est dite indirecte il s'agit d'un dénombrement après culture sur un milieu solide, ou parfois sur milieu liquide. Pour le dénombrement des coliformes et les streptocoques fécaux la technique de filtration sur membrane a été utilisée.

Le principe de **la culture sur un milieu solide** est que chaque bactérie donne naissance après incubation à une colonie repérable macroscopiquement. L'unité est alors s'exprime en **UFC/volume** c'est-à-dire unité formant colonie par unité de volume.

Par contre **la culture en milieu liquide** consiste d'estimer la présence ou l'absence des microorganismes.

La technique de filtration sur membrane est une méthode utilisée dans le but de concentrer les microorganismes présents dans 100 ml de volume à travers une membrane poreuse de diamètre 0,45µm de diamètre. Les bactéries piégées à la surface de cette membrane sont mises en culture sur un milieu gélosé donné et pendant une durée précise.

Après incubation, comme dans le cas de la numération en milieu gélosé, on compte les colonies formées à la surface du filtre (Fig.26)

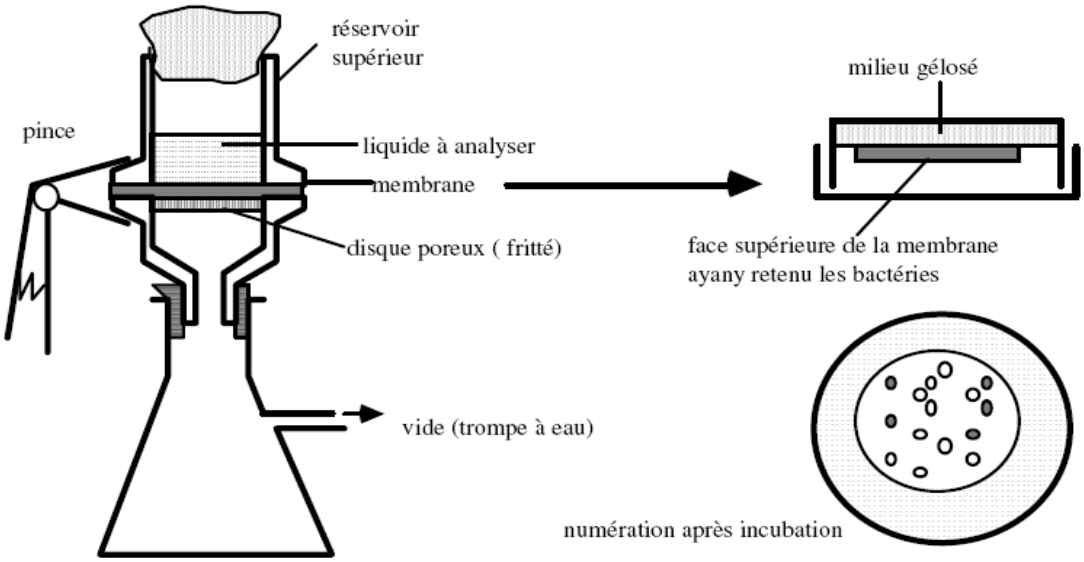


Figure 26 : schéma du principe de la technique de culture sur membrane

a- Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C:

Le dénombrement s'effectue dans La gélose glucosée à l'extrait de levure appelée par les Anglo-Saxons "Plate Count Agar" ou PCA (composition en Annexe). C'est un milieu de dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22 et à 37°C.

Figure 27 : Photo représentant l'aspect du milieu PCA

- A partir des suspensions mères on précède tout d'abord à préparer les dilutions décimales 1/10 et 1/100 en en utilisant l'eau distillée stérile (Figure28).
- à l'aide d'une pipette on prélève 1 ml (dite inoculum) de la suspension mère et on l'ensemence dans des boites de Pétri stériles.
- Le milieu de culture PCA est rajouté par la suite ;
- Après homogénéisation, une série de boites de Pétri est incubée à 22°C pendant 72H et l'autre série à 37°C pendant 48H.

- On identifie immédiatement chaque boite avec une étiquette ou une référence qui porte le nom de l'échantillon, la dilution décimale, le milieu utilisé, la date et l'heure du prélèvement (Figure 29).

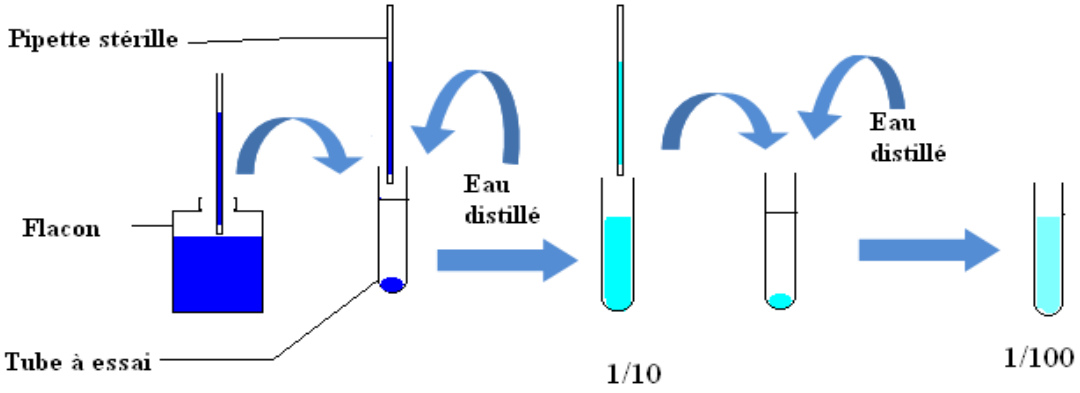


Figure 28: Schéma de la technique de dilution décimale

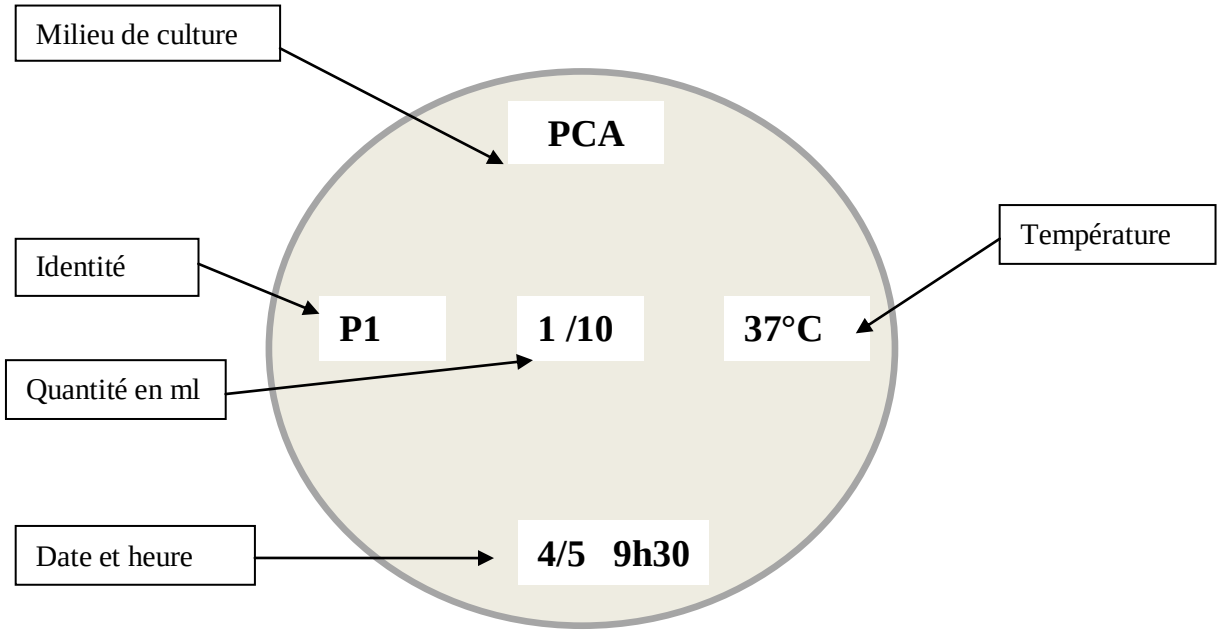


Figure 29 : Schéma montrant la procédure d'identification de la boite de Pétri

Figure 30 : photos expliquant le mode opératoire de la culture sur milieu PCA.

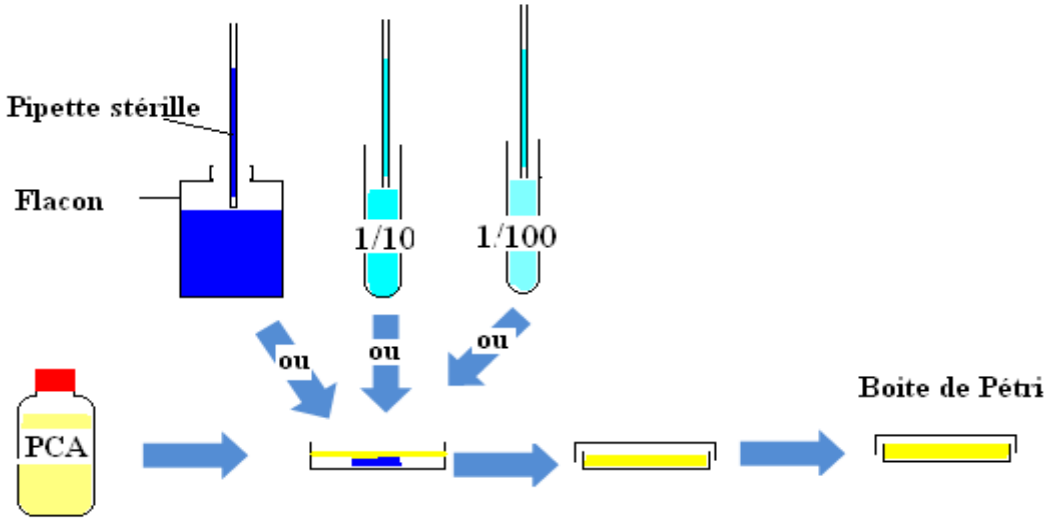


Figure 31 : Schéma du principe de la manipulation

Pour le dénombrement des bactéries, on tient compte uniquement des boites qui contiennent un nombre de colonies entre 15 et 300.

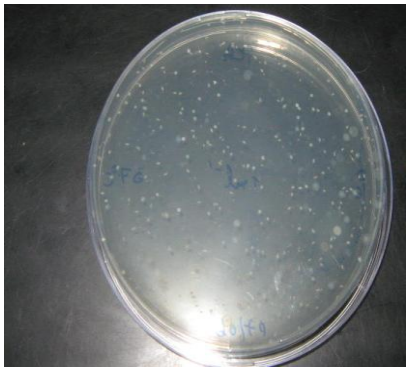


Figure 32 : photo montrant l'aspect de la boite de Pétri après incubation

Pour calculer le nombre des cellules X contenues par 1ml d'eau on compte les colonies dans chaque boite et on multiplie par l'inverse de la dilution utilisé suivant la relation:

$$X(en\ \frac{UFC}{ml}) = Nombre\ de\ colonies * (\frac{1}{dilution})$$

b- Dénombrement des coliformes :

Test présomptif :

Le dénombrement des coliformes s'effectue dans la gélose lactosée au Tergitol 7 auquel on a rajouté le TTC (chlorure 2-3-5tréphényl tétrazolium) en utilisant la technique de filtration sur membrane (fig.33). (Composition en Annexe III).

Le Tergitol 7 inhibe la croissance des bactéries à gram positif et favorise la croissance des coliformes.

- Les boites sont incubées pendant 24H à 44°C pour la recherche des coliformes fécaux et à 37°C pour la recherche des coliformes totaux.

  - Les colonies jaunes à orangé à l'intérieur d'un halo jaune visible sous la membrane qui indique l'acidification du lactose (virage du bleu de bromothymol)
  - Colonies rouges : réduction du TTC en formazan insoluble
  - Les autres germes qui présentent des colonies entouré d'un halo bleu ne fermentent pas le lactose.
  - Dans notre cas le puits Talaghte (P10), présente une anomalie : on a trouvé que la boite de Pétri incubé à 44°C contient une coliforme fécal mais par contre on ne trouve aucune dans celle correspond au coliformes totaux.
  - Le test de confirmation sera réaliser sur les colonies qui ont acidifié le milieu (colonies jaune à orangé qui fermante le lactose et produise le gaz)

- Les résultats sont exprimer en UFC/100ml.

Figure 33 : Etapes de réalisation de la manipulation

Test confirmatif :

En utilisant le milieu dite BLBVB c'est-à-dire le Bouillon Lactosé Bilé au vert Brillant c'est un milieu sélectif des coliformes:

- ✓ La bile par son fort pouvoir tensio-actif lié à la présence de sels biliaires inhibe la plupart des germes qui ne sont pas d'origine intestinale.

- ✓ Le vert brillant inhibe les bactéries gram positif. Les tubes sont préalablement munis d'un petit tube à essai renversé (dite cloche de DURHAM) destiné à piéger la formation éventuelle de gaz.

A l'aide d'une öse (fig.34) on prélève une colonie isolé d'une boite positif (colonies jaune à orongé) est inoculée alors dans un tube de BLBVB (composition en Annexe III) avec cloche.

Après incubation à 44°C pendant 48h s'il y a production de gaz (BLBVB) on peut confirmer la présence des coliformes fécaux.

Figure 34 : Schéma de l'öse

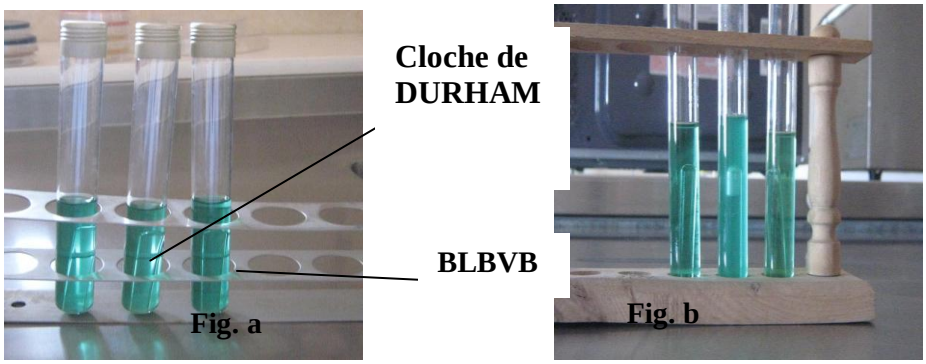


Figure 35 : a. Aspect du milieu avant utilisation b. Aspect après incubation

Figure 36 : Etapes de la réalisation du test de confirmation

c- Démembrement des streptocoques fécaux :

Test présomptif :

Le milieu Slanetz et Bartley (SB) est un milieu de dénombrement des streptocoques fécaux. Il contient l'azide de sodium qui inhibe les grams négatifs et sélectionne les Streptocoques. La réduction du TTC donne une coloration rouge aux bactéries.

Comme pour les coliformes on utilise la technique de filtration sur membrane mais la culture se fait sur le milieu de culture SB et l'incubation se fait à 44°C pendant 28 à 48h.

Les Entérocoques donnent des colonies de taille moyenne, roses ou rouges.

Les Bacillus peuvent pousser et donner le même aspect de colonies, mais de taille plus importante pour cela ce test est aussi suivi d'un test de confirmation.

Figure 37: photos montrent l'aspect du milieu SB avant utilisation et après son utilisation

Test de confirmation:

La confirmation des résultats est réalisée par utilisation de la gélose à la bile, à l'eusculine et à l'azide de sodium (BEA).C'est un milieu utilisé pour l'isolement et le dénombrement des entérocoques et spécialement les entérocoques intestinaux.

- La bile de bœuf empêche la croissance des bactéries à gram positif
- L'eusculine provoque l'inhibition des bactéries contaminants à gram négatif
- Les entérocoques hydrolysent l'eusculine en glucose et en ensculétine, ce dernier composé forme un complexe noir en présence des ions ferriques apporté par le citrate de fer.

- à l'aide d'une pince on prélève la membrane filtrante qui contient les microorganismes puis on remplace uniquement le milieu SB par BEA (composition en Annexe III).
- L'incubation est réalisée à 44°C pendant 28h à 48h.

Figure 38: Etapes de réalisation de la manipulation de confirmation

Si les colonies deviennent noires on dit qu'ils sont des entérocoques sinon il s'agit donc des *Bacillus.*

d- Dénombrement des bactéries Anaérobies Sulfuto-réducteurs

La gélose Tryptone-Sulfite-Néomycine (TSN (composition en Annexe III)) est destinée au dénombrement, à 46°C, des microorganismes sulfuto-réducteurs dans certaines denrées animales ou d'origine animale :

- ✓ La présence simultanée de Néomycine et de Polymyxine B rend le milieu inhibiteur vis-à-vis des entérobactéries.
- ✓ La Néomycine inhibe la croissance de la plupart des souches de *Clostridium bifermentans*.
- ✓ Les microorganismes sulfito-réducteurs réduisent le sulfite en sulfure provoquant, avec le citrate ferrique, un précipité noir de sulfure de fer autour des colonies.

En utilisant la culture dans un milieu liquide on prélève 1ml de l'échantillon et on le fait ensemencer dans le tube contenant19 ml de milieu). Après homogénéisation, le milieu est incubé à 46°C pendant 37h.

Le TSN est le milieu qui donne les meilleurs résultats quantitatifs et qualitatifs pour la numération ou l'isolement de *Clostridium perfringens*. Ce germe donne des colonies entourées d'une auréole noire caractéristique.

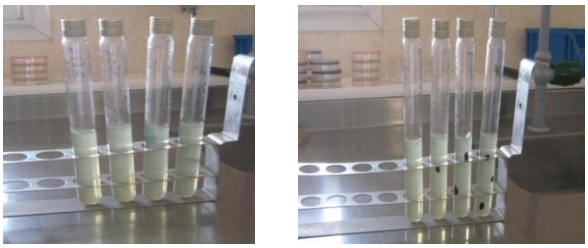


Figure 39 : Photos montrent l'aspect avant et après utilisation

Dans cette partie de travail, après avoir effectué des mesures sur le terrain et au laboratoire, on s'est essentiellement intéressé à la détermination des cartes de localisation des puits qui font objet de cette étude pour donner une idée sur le contexte géologique pédologique et même par rapport aux écoulements de surface afin de déterminer la relation entre les données géologique et le degré de contamination bactériologique des eaux souterraine . 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 suivie des différents paramètres étudiés.

CHAPITRE 3 :
ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

I- Résultats et discussion :

1- Paramètres physique-chimique :

Remarque :

Les puits de Talaghte, Attaouia, Sebt Lkhamassa, Oulad Ali Joumouaa, Bou Agrabe et FSTG sont respectivement les puits P9, P10, P11, P12, P13 et P14.

Les eaux d'alimentation humaine doivent satisfaire aux exigences de qualité spécifiées en annexe IV (grille de la qualité de l'eau définit par l'Arrêté conjoint du Ministre de l'Equipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement).

a- pH :

Figure 40: Evolution spatiale du pH dans la plaine du Haouz

Le pH constitue un facteur limitant pour les processus d'épuration (survie des bactéries, nitrification, précipitation du phosphore,…) d'où l'importance de contrôler ce facteur. Généralement le pH des eaux échantillonnées au niveau des puits des sites d'études est compris entre 6,1 (source Oulmes) et 7,57 (puits de SebtLkhamassa) (pH légèrement neutre).

La qualité de ces eaux est excellente sauf pour les deux forages de Souihla et la source Oulmess qui sont de mauvaise qualité de point de vue potentiel d'hydrogène puisque ces eaux présentent un pH inférieur à la valeur admissible pour les eaux d'alimentation en eau potable (valeur supérieure à 6,5 et inférieure à 9,2).

b- Conductivité :

La conductivité électrique constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux. Elle dépend de la concentration des ions et de la température.

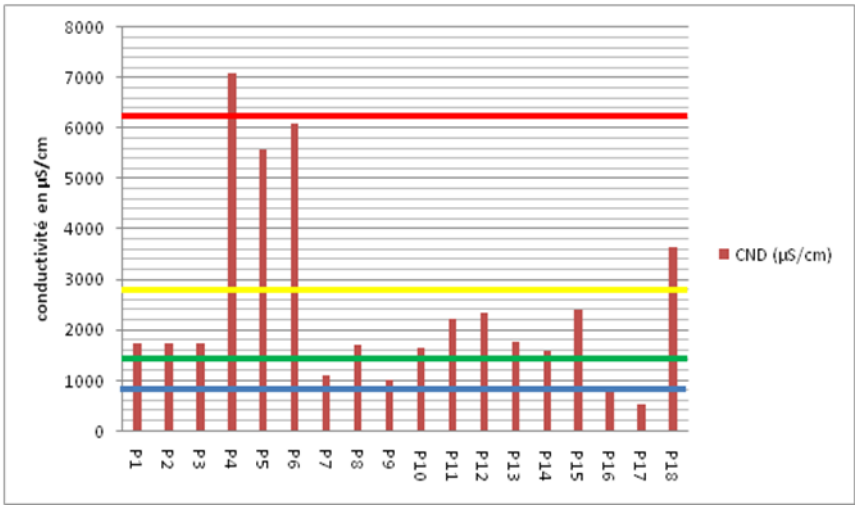


Figure 41: Evolution spatiale de la conductivité dans la plaine du Haouz

La quasi-totalité des valeurs de conductivité présentées par les puits est inférieure à la valeur maximale recommandée (1300µs/cm) par l'ABHT (ABHT, 2007) sauf pour les puits P6, P4, P5 et P18.Cela est expliqué du fait que ces puits se situent à la proximité de l'Oued Tensift.

La conductivité oscille entre 552µs/cm et 7100µs/cm dont le maximum est enregistré au niveau du Douar ben Rahmoun et le minimum au niveau de la source Oulmess situé en amont de la vallée de l'oued d'Ourika, par contre Ben Rahmoun est un Douar implanté au niveau du rive droite de l'oued Tensift ce qui explique des valeurs de conductivité plus élevées au niveau des eaux souterraines. (Fig.41)

c- Température

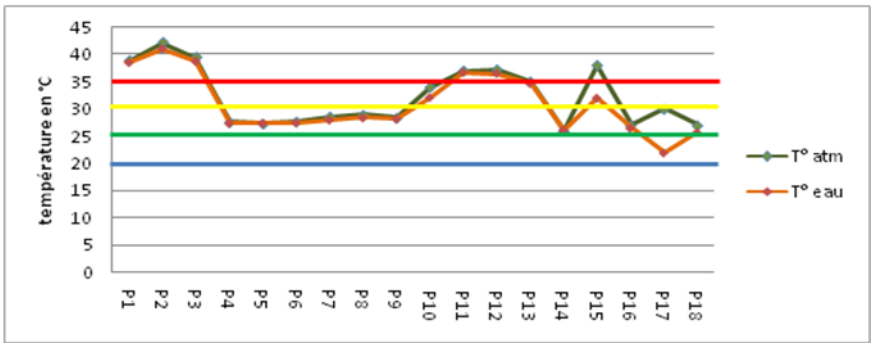


Figure 42 : Evolution spatiale de la température dans la plaine du Haouz

L'étude de la température a montré que les valeurs moyennes de la température dans les différents sites sont comprises entre 22°C et 37,8°C (fig.42).

On constate une nette différence de pont de vue de la e la qualité de ces eaux:

- Seul le puits P17 qui présente une qualité excellente (Oulmess) ;
- Les puits P4, P5, P6, P7, P8, P14, et P16 sont de bonne qualité ;
- Les deux puits P10 et P13 sont de qualité moyenne;
- Les puits P1, P2, P3, P11 et P12 sont de mauvaise qualité.

d- Chlorure :

Généralement les teneurs en chlorure des eaux de la région étudiée varient entre 106,5mg/l et 525,4mg/l. Ces eaux dépassent **la norme marocaine de potabilité des eaux (200mg/l).**

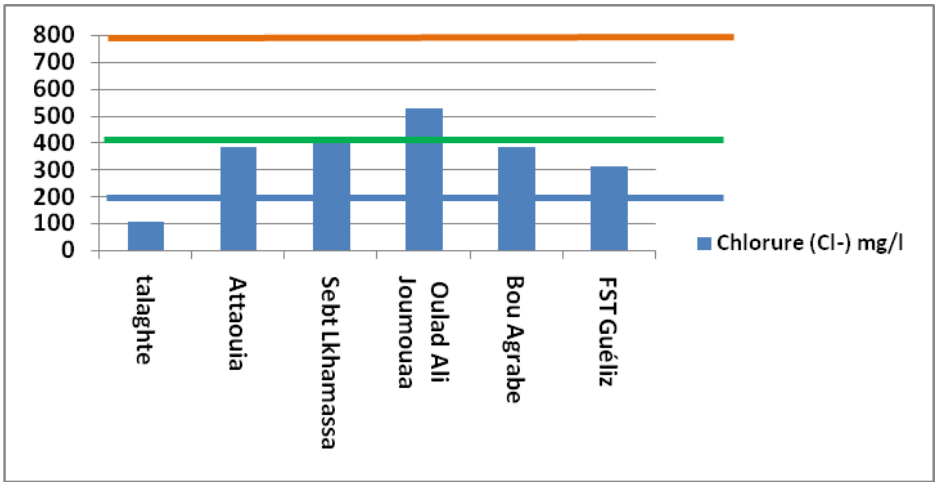


Figure 43: Teneurs en Chlorure des eaux des puits analysées

- Le puits 13 (Oulad Ali Joumouaa) et le seul puits qui présente une qualité moyenne. Ceci s'explique par sa situation à proximité de l'Oued Tasseout. En plus, le sens d'écoulement des eaux est orienté du Sud vers le Nord ce qui explique la qualité détériorée de ce puits.
- Les P11, P12 et P14 ont une qualité bonne.
- Seul le puits P10 qui a une excellente qualité.

e- Sulfate :

Les teneurs en sulfates des eaux de puits des sites étudiés sont généralement faibles puisqu'elles oscillent entre 27,5 et 62,4mg/l. Or, ces valeurs respectent la norme marocaine de potabilité des eaux (valeurs inférieures à 250 mg/l).

Donc les eaux échantillonnées sont d'excellente qualité.

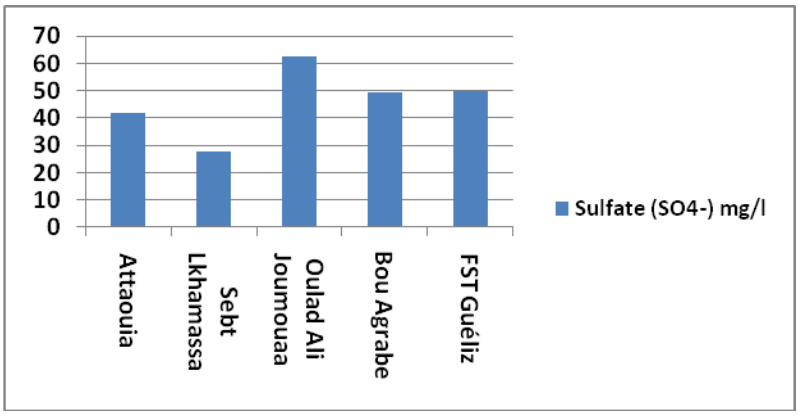


Figure 44 : Teneurs en Sulfate des eaux des puits analysées

f- Oxygène dissous DO:

- Les teneurs en oxygène varient entre 3,3mg/l au niveau du puits P3(forage du Souihla) et 6,18mg/l au niveau du puits P8 (Hay Hassani).
- Les teneurs en oxygènes sont généralemnt inférieures à 7mg/l . 30% des eaux échantillonées représentent des eaux de bonne quaalité et 70% sont d'excellente qualité (fig.44)

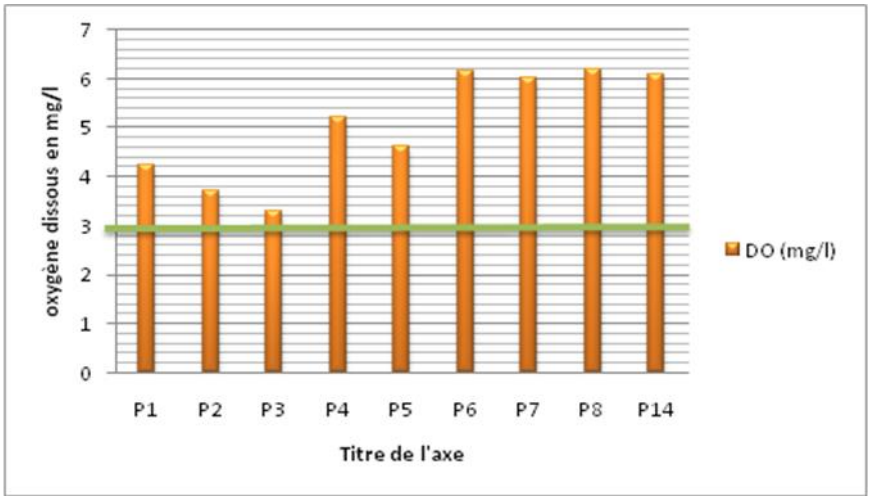


Figure 45 : Evolution de l'Oxygène dissous dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

g- Demande chimique en Oxygène (DCO):

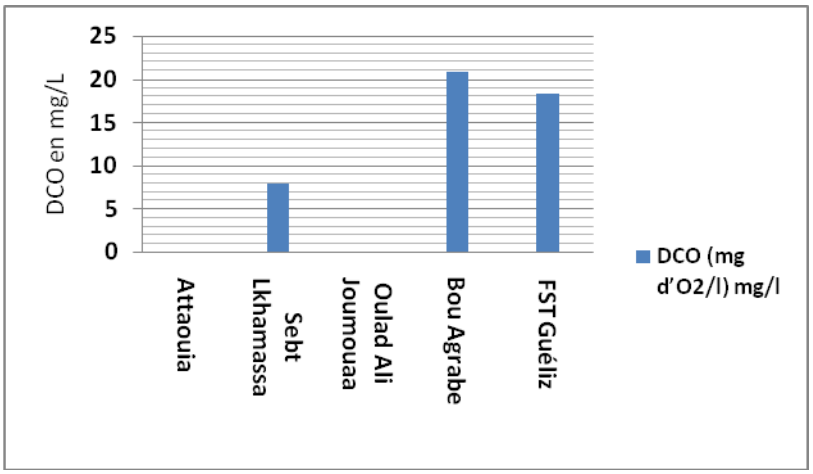


Figure 46: Evolution de la demanène chimique en oxygène dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

- Les valeurs oscillent entre 0mg/l (Attaouia et Ouled Ali Joumoua) et 20,848mg/l (Bou Agrabe). (fig.46)
- Toutes les eaux analysées représentent des eaux d'excellente qualité, puisque la demande chimique en Oxygène ne dépasse pas les normes marocaines (c'est-à-dire valeur inférieure à 30mg/l).

h- Ammonium et Nitrite :

- **Ammonium :**

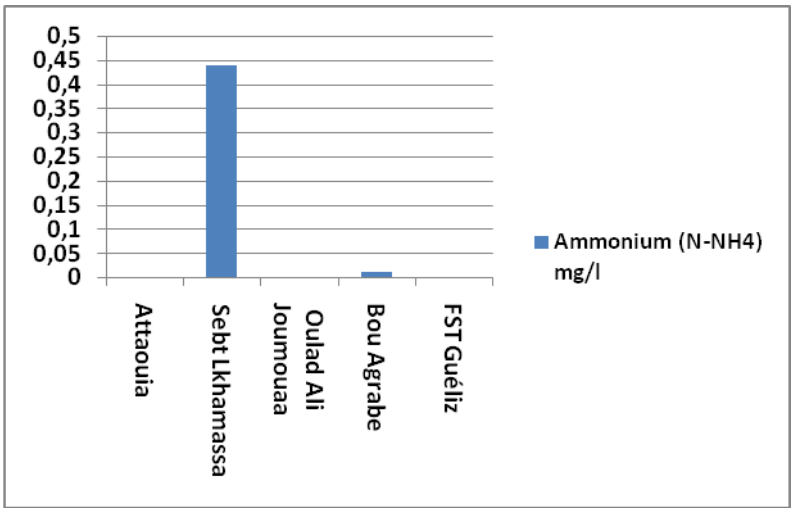


Figure 47 : Evolution d'Ammonuim dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

Les teneurs en Ammonium présentes dans les eaux souterraines analysées varient très peu : entre 0mg/l et 0,438 (Fig.47). Ces valeurs sont très faibles par rapport à la valeur maximale admissible en Ammonium indiquée par la norme marocaine (ONEP, 2006-VMA : 0,5mg/l). Donc ces eaux présentent une qualité bonne voire excellente. (fig.47)

- **Nitrite :**

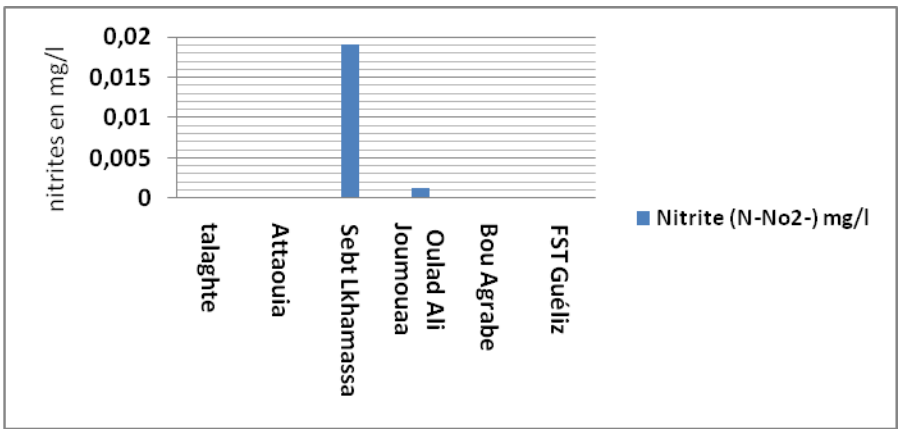


Figure 48: Evolution des nitrites dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

- Même remarque que celle de l'Ammonium, les teneurs en nitrites ne dépassent pas la norme marocaine (ONEP, 2006-VMA : 0,5mg/l). Donc ces eaux représentent des eaux de bonne qualité à excellente.
- Les valeurs en nitrite varient peu et on constate que seuls les deux puits P11 et P12 possèdent une faible quantité en nitrite par contre les autre puits sont généralement purs. (fig.48)

2- Paramètres bactériologiques

a- Charge mésophile totale :

- La charge mésophile totale n'est pas un paramètre d'appréciation de la qualité bactériologique mais quand même peut ne renseigne sur le degré de potabilité des eaux et tout produits alimentaire.
- Par conséquent, une eau potable est une eau qui vérifie les critères de potabilité figurant dans le tableau 4.

Tableau 4 : Tableau des paramètres de potabilité bactériologique des eaux

Recherches Pratiques	Méthodes utilisées	Valeurs indicatives
Bactéries aérobies revivifiables à 22°C/ml	**NM 03-7-005**	**< 100 (recommandée)**
Bactéries aérobies revivifiables à 37°C/ml	**NM 03-7-005**	**< 20 (recommandée)**
Coliformes totaux /100ml	**NM 03-7-003**	**< 10**
Coliformes fécaux /100ml	**NM 03-7-003**	**0**
Streptocoques fécaux /100ml	**NM 03-7-006**	**0**
Spores de Bactéries anaérobies sulfuto-réductrices/20ml	**PNM ISO 6461-2**	**1**

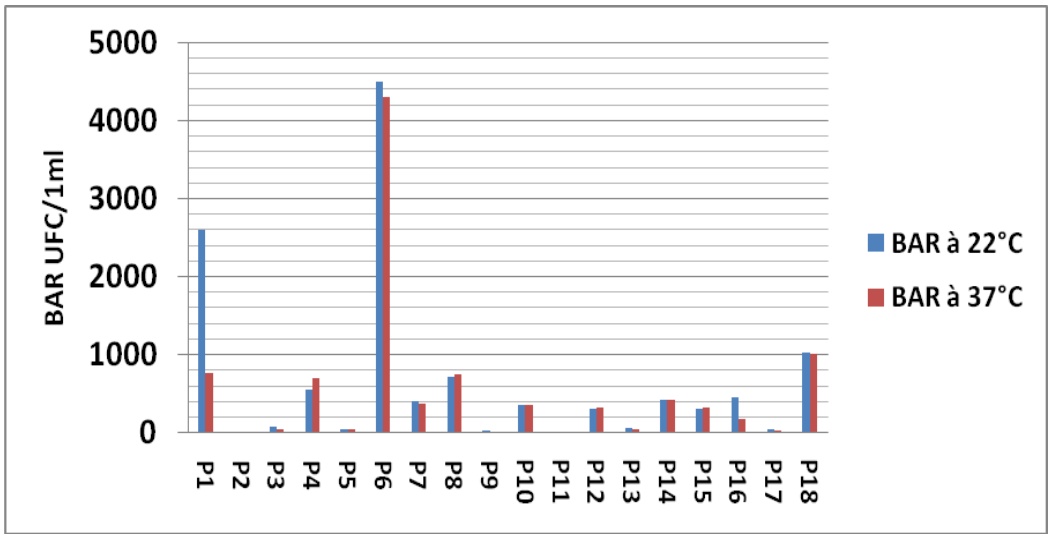


Figure 49 : Evolution spatiale des bactéries aérobie revivifiables à 22°C et à 37°C dans les points du réseau de contrôle des eaux souterraines de la plaine du Haouz

- **Bactéries aérobies revivifiables à 22°C:**

Le dénombrement de la charge mésophile totale à 22°C révèlent que le nombre des colonies revivifiables à 22°C varient de 10UFC/ml (au niveau du P2 et P11) à 4500UFC/1ml (au niveau du puits P6) (fig.49).

On constate que seul les puits P2, P3, P5, P9, P11, P13 et P17 qui sont potable puisque ils vérifient la condition de potabilité des eaux par contre les autre puits dépassent cette norme ce qui signifient alors que ces eaux ne sont pas potable.

- **Bactéries aérobies revivifiables à 37°C:**

Les nombres de bactéries aérobies revivifiables à 37°C varient entre 10 UFC/1ml (P2 et P11) et 4300UFC/1ml au niveau du P6. (fig.50)

A l'exception des puits P2, P9 et P11 tous les puits ne sont pas potables puisqu' ils dépassent la valeur recommandée(< 20)

b- Coliformes

Les eaux d'alimentation humaine doivent satisfaire aux exigences de qualité spécifiées en annexe IV.

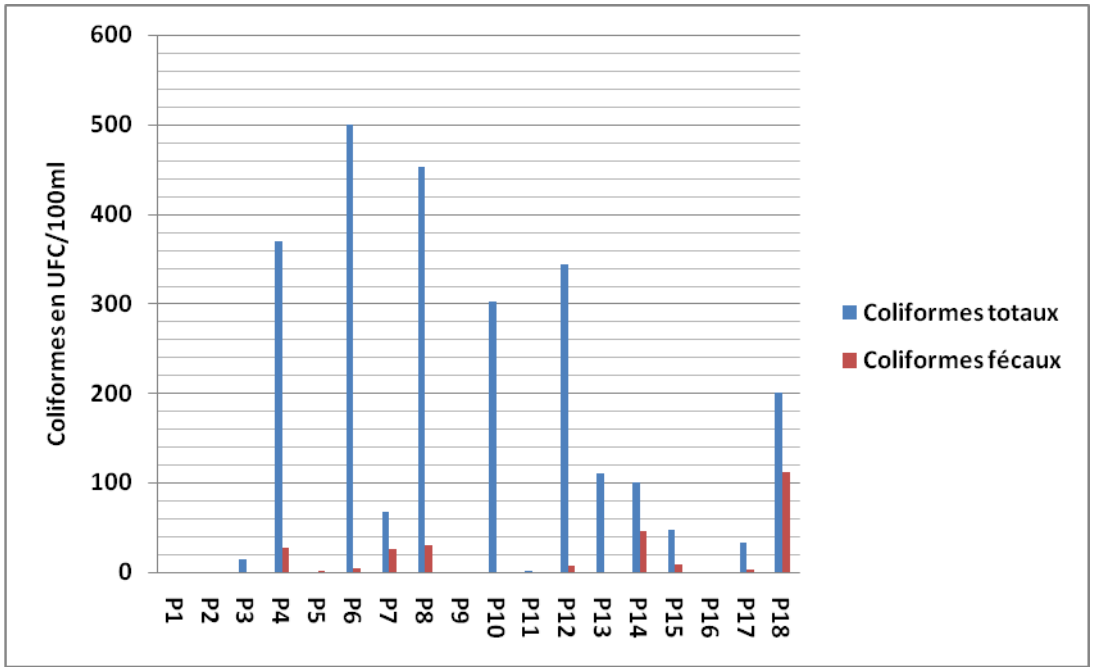


Figure 50 : Evolution spatiale des coliformes dans les points du réseau de contrôle des eaux souterraine de la plaine du Haouz

- **Coliformes totaux :**

les puits P1, P2, P3, P5, P9, P11, P12, P14, P16 et P19, et qui représentent 50% des puits, ont donc une excellente qualité puisque ils ne dépassent pas la norme (valeurs guide inférieure à 20UFC/100ml) et les autres puits représentent 50% sont alors de qualité bonne,leurs valeurs oscillant entre 47 et 500UFC/100ml.(fig.50)

- **Coliformes fécaux :**

Les nombres des coliformes fécaux varient de 0UFC/100 ml à 112UFC/100 ml ce qui signifiet que les eaux de puits présentent une qualité bonne à excellente.

D'ailleurs environ 72% des puits sont d' excellente qualité , leurs valeurs étant inférieures à 20UFC/100ml. 38% des puits, présentent une bonne qualité , leurs valeurs oscillant entre 26 et 200UFC/100ml.(fig.50)

- **Streptocoques fécaux :**

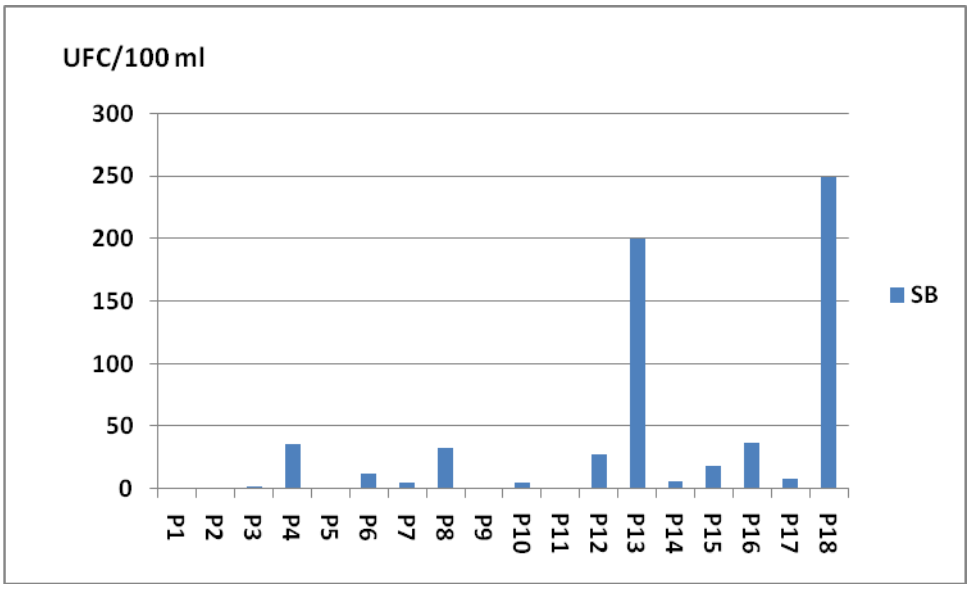


Figure 51 : Variation de nombre de colonies streptocoques fécaux par 100 ml dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

Le dénombrement des streptocoques montre que le puits P18 est très chargé en streptocoques fécaux et représente un nombre égal à 200UFC/100ml (puits se situant à Sidi Ghanem -zone industrielle-). Par contre, les puits P1, P2, P5, P9 et P11 sont conformes à la norme de potabilité ils ont donc un nombre nul par unité de volume.

Généralement la qualité est bonne à excellente:

- 66,66% des eaux sont d'excellente qualité ;
- 44,44% de ces eaux sont de bonne qualité.

c- Anaérobie Sulfuo-réducteurs

Le dénombrement des anaérobies sulfuto-réducteurs (ASR) montre que le puits P18 est très chargé en ASR et représente un nombre égale à 71UFC/20ml (puits se situe à Sidi Ghanem) (fig.52)

Les puits P1, P2, P3, P5, P9 et P11 conforment à la norme de potabilité (tableau 4) ils ont donc un nombre nul par unité de volume.

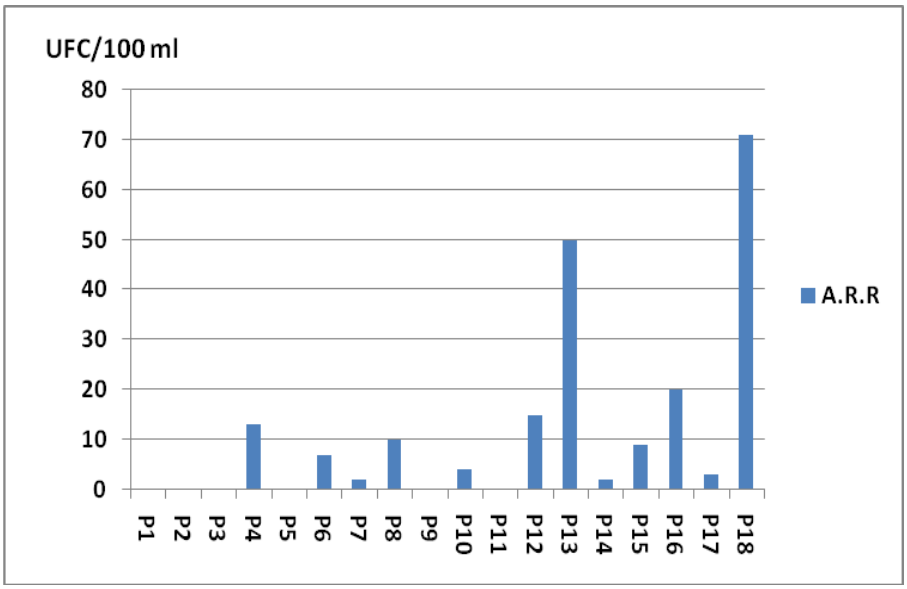


Figure 52: Variation des nombres des bactéries anaérobie sulfuto-réducteurs par 20ml dans les points du réseau de contrôle de la qualité des eaux de la nappe

Généralement seule les deux puits P2 et P12 qui sont potable de point de vue bactériologique puisque ces deux puits représentent les valeurs guide des normes de potabilité figurant dans le tableau 4.

II- Analyse en composantes principales (ACP)

L'impact des différentes sources de pollution diffuse ou ponctuelle sur la qualité des eaux souterraines dans la plaine du Haouz a été contrôlé par des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Les résultats obtenus ont été traités par la méthode factorielle et linéaire qui traite les données numérique (ACP : Analyse en composante principale).

Cette méthode permet de mettre en évidence les différentes ressemblances entre tous les paramètres étudiés appelés variables et les différents puits contrôlés qui correspondent aux individus.

Cette analyse a été réalisée en utilisant le logiciel Xlstat version 2007.

1. Qualité bactériologique des eaux

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits faisant objet de l'étude sont résumés dans le tableau c en annexes. En effet, la quasi-totalité de ces puits sont contaminés par des bactéries d'origine fécale.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation selon leurs particularités bactériologiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de contamination. Les coefficients de corrélation entre les éléments sont reportés dans le tableau suivant. Tableau 5

Tableau 5 : Matrice de corrélation (Person (n) :

Variables	BAR 22°C UFC/ml	BAR 37°C UFC/ml	CT UFC/100ml	CF UFC/100ml	SF	ASR
BAR 22°C UFC/ml	**1**	0,926	0,482	0,055	-0,006	0,023
BAR 37°C UFC/ml	0,926	**1**	0,637	0,127	0,043	0,079
CT UFC/100ml	0,482	0,637	**1**	0,259	0,168	0,231
CF UFC/100ml	0,055	0,127	0,259	**1**	0,664	0,704
SF	-0,006	0,043	0,168	0,664	**1**	0,986
ASR	0,023	0,079	0,231	0,704	0,986	**1**

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

- Les bactéries aérobies revivifiables à 22°C et les bactéries aérobies revivifiables à 37°C ;
- Les bactéries aérobies revivifiables à 37°C et les coliformes totaux ;
- Les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ;
- Les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réducteurs

On ne retient que les deux premiers axes principaux puisqu'ils expriment 83.38% de la variance totale.

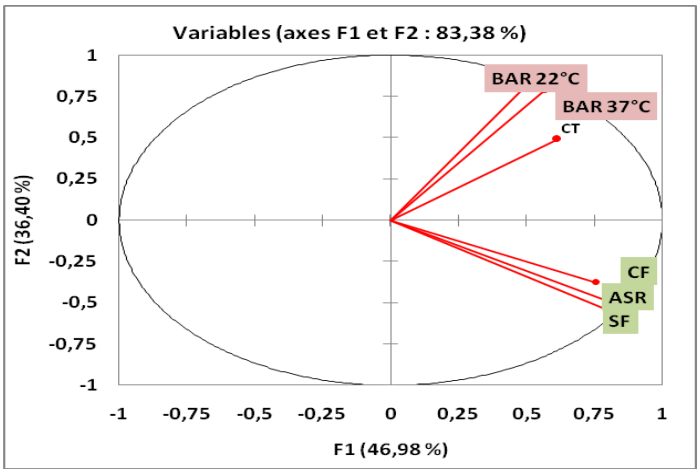


Figure 53 : Projection des variables bactériologiques sur le plan F1 et F2

L'analyse des variables montre que:

- **Le facteur 1** exprimant 46.98 % de l'inertie totale, est essentiellement bien corrélé avec les variables : coliformes fécaux, streptocoques fécaux et anaérobies sulfuto-réducteurs. C'est le pôle de contamination bactérienne d'origine fécale.

- **Le facteur 2** exprime 36.40% de l'inertie totale du nuage, il est caractérisé par les bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C. (fig.53)

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.54) :

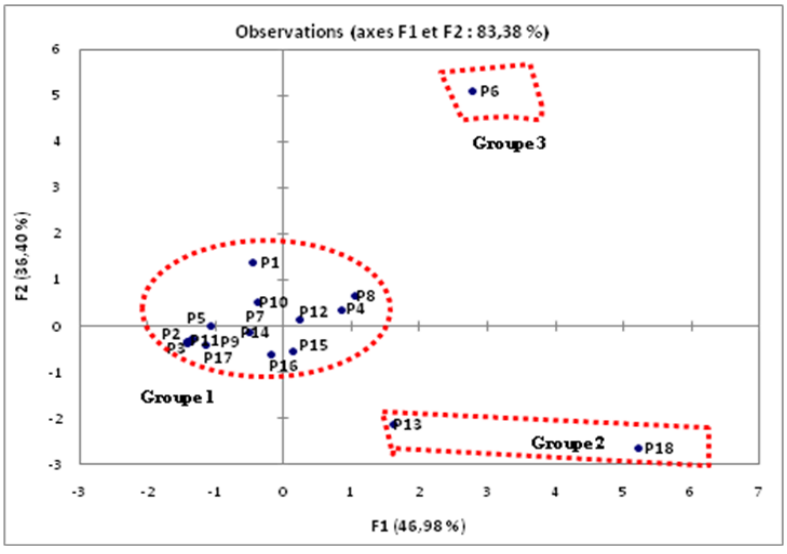


Figure 54 : projecton des individus sur le plan factoriel

- **Premier groupe** : faiblement contaminés et moins chargé en bactéries;
- **Deuxième Groupe**: faiblement chargés en bactéries et contaminé ;

- **Troisième groupe** : fortement chargé en bactérie et contaminé ;

  L'analyse par composante principale nous a permis de confirmer les résultats précités à partir des analyses bactériologiques.

2. Qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de puits contrôlés :

Nous cherchons alors d'établir la relation entre les paramètres physiques, chimiques et bactériologiques afin de déterminer la qualité des eaux des puits P10, P11, P12, P13 et P14 :

En suivant le même raisonnement on a :

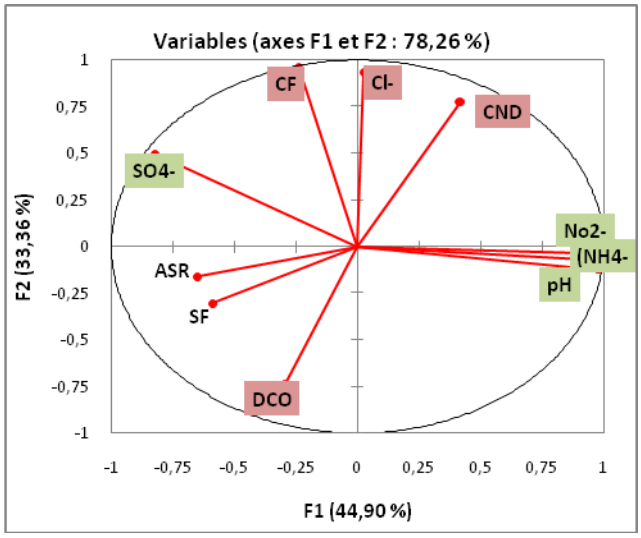


Figure 55: projecton des variables sur le plan factoriel

- **Le facteur 1** exprimant 44. 9 % de l'inertie totale, il est très bien corrélé positivement avec les variables : pH, NH_4^+ et NO_2^-, et bien corrélé négativement avec la variable : SO_4^{2-}

- **Le facteur 2** exprime 33.36% de l'inertie totale du nuage, est essentiellement très bien corrélé positivement avec les variables : coliformes fécaux, chlorures et conductivité et bien corrélé négativement avec la variable DCO.

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.55) :

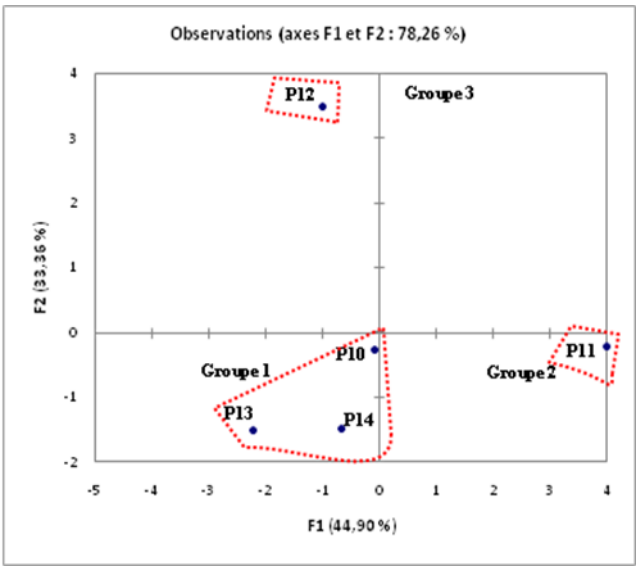


Figure 56 : projecton des individus sur le plan factoriel

- **Premier groupe** :

- Faiblement contaminés en coliformes fécaux.
- Faibles teneurs en chlorure et par conséquent, faible conductivité.
- Forte teneurs en DCO.
- Forte teneurs en sulfates.
- Quantité très faible en nitrites et ammonium avec un pH légèrement acide.

- **Deuxième Groupe**:

- Moyennement contaminé par les coliformes fécaux.
- Faible teneurs en chlorures et par conséquent faible conductivité.
- Faibles teneurs en DCO.
- Faibles teneurs en sulfates.
- Quantité importante en nitrites et ammonium avec un pH légèrement basique.

- **Troisième groupe**:

- Fortement contaminé par les coliformes fécaux
- Fortes teneurs en chlorures et par conséquent forte conductivité.
- Teneurs moyennes en sulfates.
- Quantités moyennes en nitrites et ammonium avec un pH légèrement neutre.

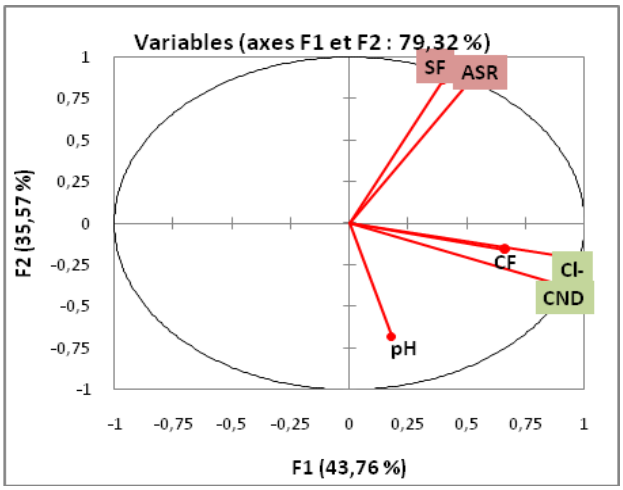


Figure 57 : projecton des variables sur le plan factoriel

- **Le facteur 1** exprime 43. 76 % de l'inertie totale du nuage, il est très bien corrélé positivement avec les variables : chlorure et conductivité.

- **Le facteur 2** exprimant 35.57% de l'inertie totale, est essentiellement très bien corrélé positivement avec les variables : streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réductrices

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en quatre groupes (fig.58) :

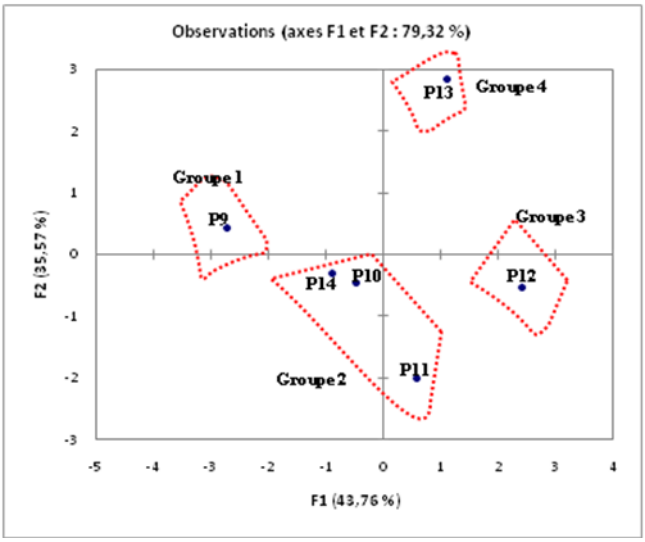


Figure 58 : projecton des individus sur le plan factorielle

- **Premier groupe** :

- Moyennement contaminé par les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réductrices.
- Faible teneurs en chlorure et par conséquent une faible conductivité.

- **Deuxième Groupe**:

- Faiblement contaminés par les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réductrices
- Teneurs moyennes en chlorures et par conséquent une conductivité moyenne.

- **Troisième groupe**:

- Faiblement contaminé par les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réductrices
- Forte teneurs en chlorures et par conséquent une forte conductivité.

- **quatrième groupe**:

- Fortement contaminé par les streptocoques fécaux et les anaérobies sulfuto-réductrices.
- Moyennement chloruré et par conséquent présente une conductivité moyenne.

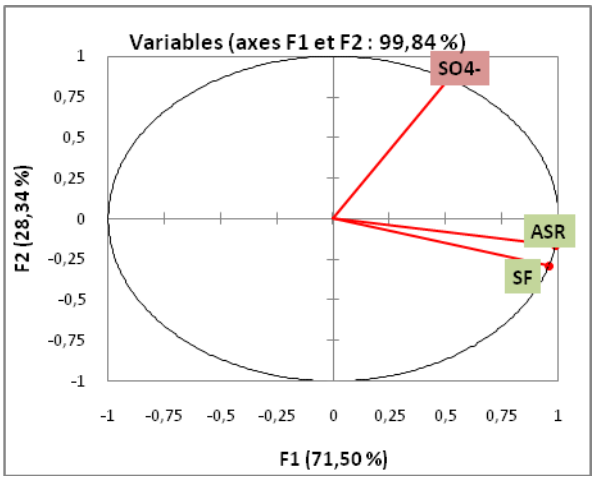


Figure 59 : projecton des variables sur le plan factoriel

- **Le facteur 1** exprimant 71. 5 % de l'inertie totale, est essentiellement bien corrélé avec la variable : sulfate SO_4^{2-}

- **Le facteur 2** exprime 28.34% de l'inertie totale du nuage, il est caractérisé par les streptocoques fécaux et anaérobies sulfuto-réducteurs.

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en quatre groupes (fig.59) :

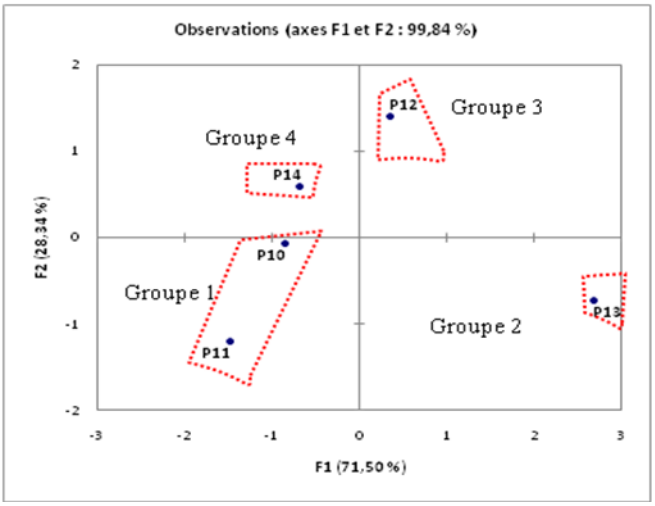


Figure 60 : projecton des individus sur le plan factorielle

- **Premier groupe**: faiblement contaminé par les streptocoques fécaux et anaérobies sulfuto-réducteurs avec une faible teneur en sulfates ;
- **Deuxième Groupe**: fortement contaminé avec une faible teneur en sulfate;
- **Troisième groupe**: moins contaminé et fortement chargé en sulfates;
- **Quatrième groupe** : faiblement contaminé et moins chargé en sulfates;

L'analyse par composante principale nous a permis de confirmer les résultats bactériologiques et physico-chimiques précités.

La carte figurant ci-dessous (figure 49) ainsi le tableau 6 résume le travail issu de la recherche sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la plaine du Haouz.

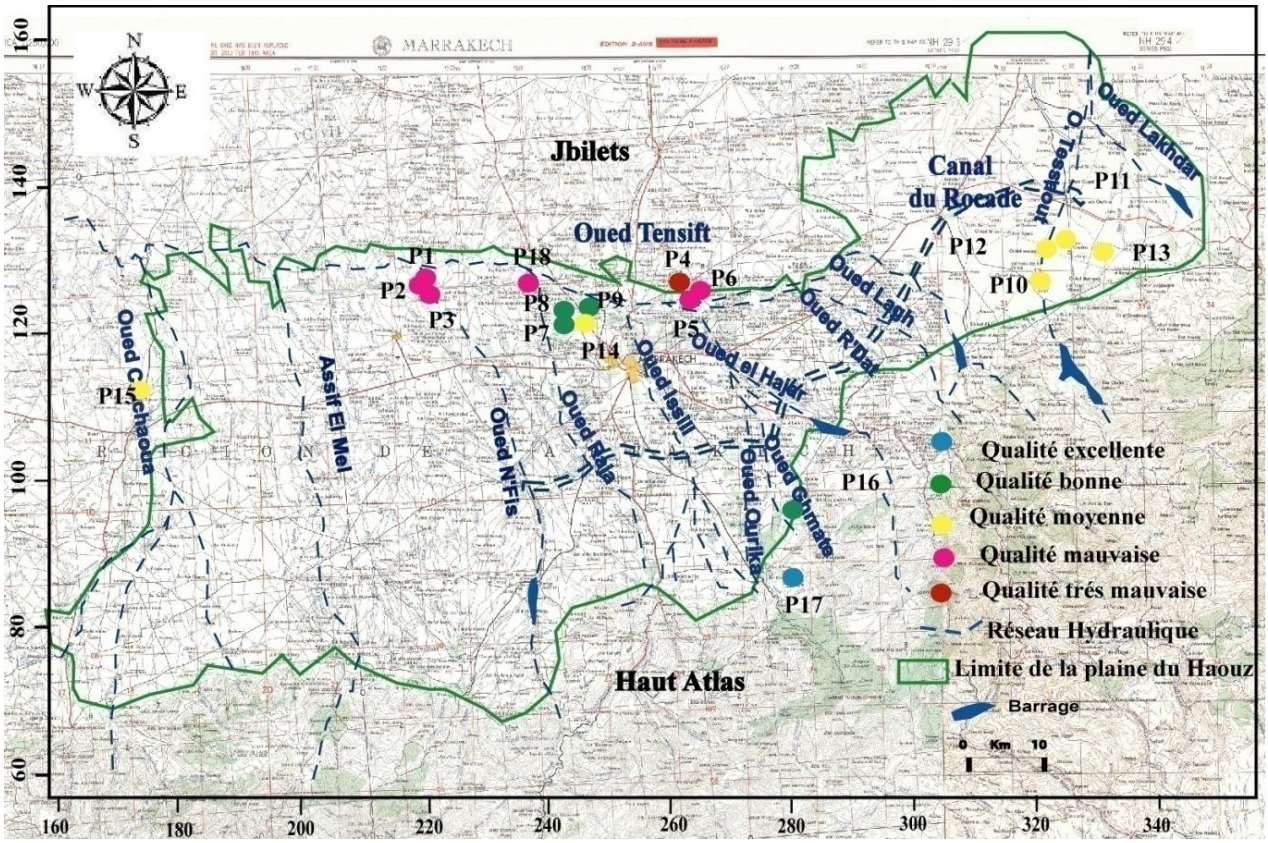


Figure 61 ; carte de qualité des eaux souterraines de la plaine du Haouz Marrakech-Demnate NH29-3 et NH29-4

L'analyse des résultats nous a permis de dire que la qualité globale des eaux souterraine dans le réseau du contrôle est généralement bonne à mauvaise pendant la période de la basse d'eau. Seul le puits d'Oulmess qui présente une excellente qualité en raison de sa situation en amont de la plaine 1175m d'altitude.

Par contre le puits 4 est de mauvaise qualité puisque ce puits se caractérise par sa situation en aval de la plaine 410m d'altitude «sens d'écoulement des eaux directement vers le puits » à proximité de l'oued Tensift (ce qui explique la forte teneure en conductivité) d'une part au niveau d'une ferme c'est donc une zone des épandages d'autre part proche des effluents des eaux usées (manque d'un réseau d'assainissement et d'hygiène) (fig.51). On note ainsi que le niveau statistique de l'eau se situe même pas à 5m d'altitude et se qui aggrave la situation est que ce puits ne présente aucun type de protection.

Les puits P17, P7, P8, P9 et P10 présente une qualité bonne malgré que :

- le puits P17 se situe plus proche d'une huilerai et à proximité de l'oued Ghmat (on note que l'oued Ghmat est à sec le jour du prélèvement) de même ce puits et implanté au niveau d'une ferme.

- D’une manière générale les puits se situent à proximité de l’oued Tensift présentent donc une mauvaise qualité expliqué par la mauvaise qualité des eaux de ce oued;
- Qualité moyenne pour ce qui concerne les puits qui se situent à proximité de l’oued Tasseout et celle de Chichaoua de même le puits de la FSTG présente une qualité moyenne expliqué du fait que ce puits ce situe à proximité du Jbel Guéliz et proche de la station Shell ce puits et donc utilisé uniquement pour l’irrigation par contre les autre puits sont utilisé pour **l’alimentation en eau potable**, **l’élevage** et **l’irrigation** des périmètres agricoles.

Tableau 5 : tableau de qualité des eaux de puits de la plaine du Haouz dans le réseau de contrôle

N° de puits	CT UFC/100ml	CF UFC/100ml	SF UFC/100ml	CND (µS/cm)	pH	DO (mg/l)	(Cl-) mg/l	DCO (mg d'O2/l) mg/l	Qualité des eaux
P1	0	0	0	1760	6,26	4,25	-	-	Mauvaise
P2	0	0	0	1760	6,26	3,7	-	-	Mauvaise
P3	14	0	2	1758	6,29	3,3	-	-	Mauvaise
P4	370	27	36	7100	6,81	5,2	-	-	Très mauvaise
P5	0	1	0	5580	6,97	4,62	-	-	Mauvaise
P6	500	4	12	6110	6,76	6,15	-	-	Mauvaise
P7	67	26	5	1125	6,85	6,02	-	-	Bonne
P8	453	30	33	1726	6,91	6,18	-	-	Bonne
P9	0	0	0	1030	6,83	-	106,5	-	Bonne
P10	302	0	5	1650	7,03	-	383,4	0	Moyenne
P11	2	0	0	2220	7,57	-	411,8	7,818	Moyenne
P12	344	7	28	2340	6,9	-	525,4	0	Moyenne
P13	110	0	200	1768	6,89	-	383,4	20,848	Moyenne
P14	0	0	6	1614	6,98	6,07	312,4	18,242	Moyenne
P15	100	46	18	2410	7,05	-	-	-	Moyenne
P16	47	8	37	920	6,76	-	-	-	Bonne
P17	33	3	8	552	6,1	-	-	-	Excellente
P18	200	112	250	3660	6,82	-	-	-	Mauvaise

Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

Conclusion :

Le travail entrepris dans le cadre de ce projet est une contribution à l'étude de la qualité des eaux de la nappe phréatique mio-plioquaternaire de la plaine du Haouz.

Les eaux souterraines représentent une ressource précieuse très sollicitée par la population urbaine et périurbaine de la région Haouz. Les activités anthropiques et domestiques liées aux habitations font que les eaux souterraines sont exposées à différentes sources de pollution et en particulier aux activités croissantes des eaux usées et aux épandages des eaux d'irrigation.

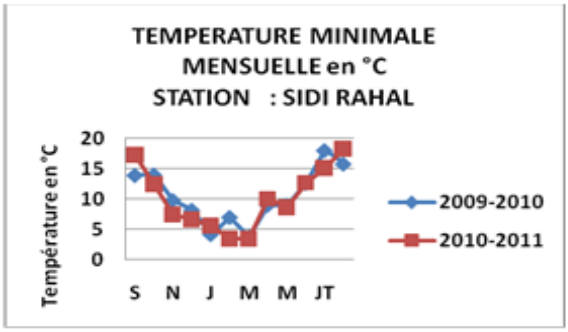
L'analyse de la qualité physico-chimique des eaux de certains puits de la plaine du Haouz permet de mettre en évidence les faits suivants :

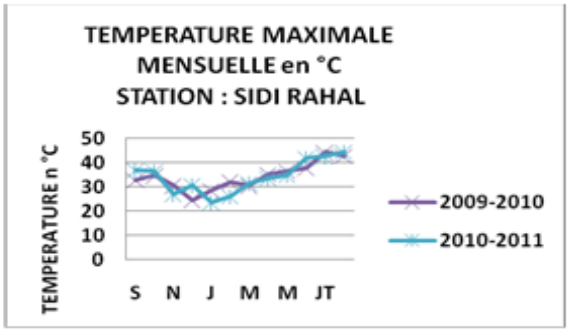
- une augmentation de la conductivité des eaux souterraines qui dépassent largement les normes d'eau potable suggérées par l'OMS (VMA inferieur a 1300µS/cm) pour la plupart des puits;
- les teneurs en chlorures (200mg/l) dépassent largement les normes marocaines. Celles-ci affectent directement la conductivité des eaux et par conséquent contribuent à la dégradation de leur qualité. (P10, P11, P12, P13 et P14)
- un faible pH au niveau des puits P1, P2, P3 et P17 qui contribue à la dégradation de leur qualité avec des teneurs élevée au niveau du P11.
- les teneurs en oxygène obtenue dans les eaux peuvent atteindre 3,3mg/l et par conséquent les eaux auront une qualité moyenne (P1, P2, P3 et P5).
- la matière organique et aussi présente mais en faible concentration.
- Les résultats des analyses montrent, qu'en général, il ne s'agit pas de contamination d'origine fécale. Cela explique du fait que les eaux de la nappe circulent dans des formations plio-quaternaires qui possèdent un pouvoir auto-épurant. Avec deux catégories à savoir la catégorie 1 : Excellente (P1 P2 P3 P5 P9 P11 P14 et P17) et la catégorie 2 : bonne (P4, P6 P7 P8 P10 P12 P13 P15 P16 et P18).

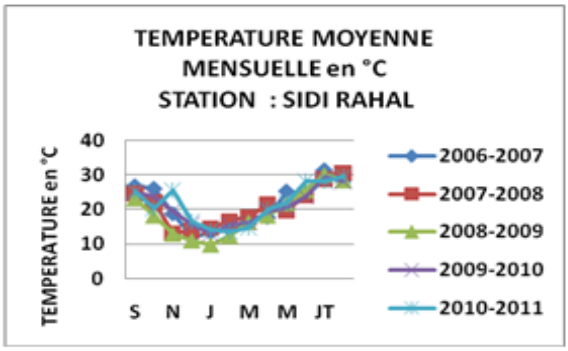
L’analyse en composantes principales (ACP) a permis de corroborer les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques.

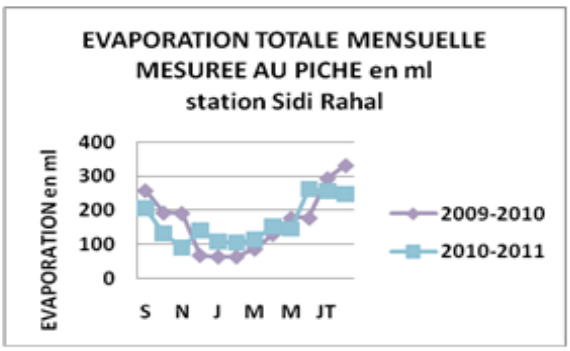
En effet, l’infiltration des eaux usées vers les eaux souterraines est régie par plusieurs facteurs (les formations géologiques, les écoulements de surface, la profondeur de la nappe, la distance séparant les puits des sources de pollution, les pluies qui accélèrent le processus d’’infiltration à travers le sol ainsi que d’autres activités anthropiques locales qui affectent le degré de contamination de ces eaux…).

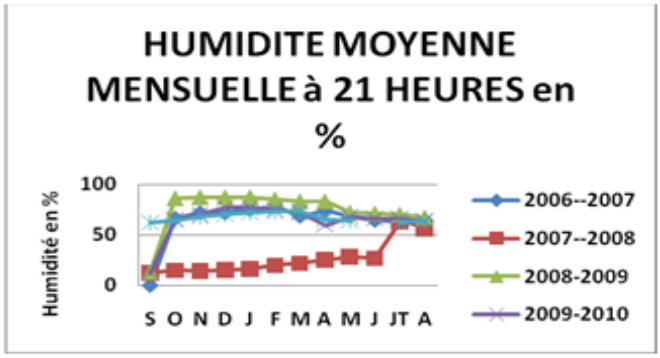
ANNEXES











Diagrammes : Evolution des Températures, Humidité et de l'évaporation dans la station de Sidi Rahal (ABHT 2010-2011).

ANNEXES II

Tableau a : Qualité globale des eaux des oueds dans le bassin de Tensift

(ZAKARIA SMAIJ 2010/2011)

N°_ IRE		Nom_ Station	Nom_Oued	DATE	O_2 Dissous mg/l	DBO_5 mg/l	DCO mg/l	NH^+_4 mg/l	P_Tot mg/l	CF/ 100 ml	Qualité Des eaux
53	1566	Station Imin El-Hmam	N'Fis	19/06/2009	9.2	0.6	19	0.02	0.172	700	Très Mauvaise
53	2089	Station Aghbalou	Ourika	20/06/2009	10.2	0,24	9.6	0.01	0.211	800	Bonne
52	1562	Station Tafiriat	Zat	23/06/2009	8.96	0.9	19	0.240	0.340	600	Moyenne
54	44	Station Sidi Rahal	Rdat	18/06/2009	8.92	1.1	29	0.028	0.066	460	Moyenne
54	1915	Aval Sidi Rahal	Rdat	18/06/2009	5.4	10.0	48	3.24	0.844	$3,2x10^4$	Très Mauvaise
53	3658	Aval rejet Amizmiz	Amizmiz	26/06/2009	0	180.0	355	88.00	8.64	$8x10^5$	Très Mauvaise
44	4197	Amont Marrakech	Tensift	12/06/2009	*A sec*						
44	4198	Aval Marrakech	Tensift	13/06/2009	0	209	470	68	9.30	$1,2x10^4$	Très Mauvaise
44	1675	Station Abadla	Tensift	11/06/2009	10.2	34.0	139	1,3	2.54	120	Très Mauvaise
43	189	Station Talmest	Tensift	02/07/2009	*A sec*						
63	1565	Station Tahanout	Reraya	17/06/2009	9.6	0.8	14	0.025	0.154	600	Bonne
54	139	Aval rejet Ait Ourir	Zat	24/06/2009	0.0	132	326	68.0	8.55	$3,8x10^6$	Très Mauvaise
53	2431	Station Sidi Hssain	Amizmiz	24/06/2009	*A sec*						
53	3660	Aval mine Guemassa	N'Fis	09/10/2009	**8.0**	**0.40**	**19.0**	**0.048**	**0.053**	**200**	Bonne
43	1285	Station Sidi Abdeljalil	S. Abdeljalil	02/07/2009	8.2	8.3	29	0.007	0.091	$1,2x10^5$	Très Mauvaise
43	1451	Station M'Ramer	M'Ramer	30/06/2009	7.84	0.97	38	0.235	0.058	350	Moyenne
52	628	Station Houdjan	Seksaoua	10/06/2009	9.2	0.7	29	0.081	0.013	0.000	Moyenne
52	1628	Aval Imintanout	Imintanout	10/06/2009	0	308	931	164	15.50	$1,2x10^7$	Très Mauvaise
52	451	Station Chichaoua	Chichaoua	11/06/2009	*A sec*						
52	1627	Aval rejet Chichaoua	Chichaoua	12/06/2009	6.2	24.0	86	14	2.27	0	Très Mauvaise
52	400	Station Igrounzar	Igounzar	01/07/2009	8.76	1.2	28	0.238	0.053	200	Moyenne
52	401	Station Zelten	Zelten	01/07/2009	6.8	1.5	24	0.181	0.348	500	Moyenne
51	111	Station Adamna	Ksob	29/06/2009	*A sec*						

Tableau b : Qualité des eaux de la nappe du Haouz

(ZAKARIA SMAIJ 2010/2011)

N°_ IRE		*Nappe*	*Nom_ point*	*DATE*	Conductivité µs/cm	CT mg/l	NO_3^- mg/l	NH_4^+ mg/l	MO mg/l	CF/ 100 ml	Qualité des eaux
44	*3828*	*Haouz*	*Puits Ben Rakouch*	*23/10/2009*	2140	298	153	0.021	1.30	1800	Très Mauvaise
44	*3823*	*Haouz*	*Puits My Abass Ben Thami*	*23/10/2009*	2140	529	111	0.032	0.52	600	Très Mauvaise
44	*3804*	*Haouz*	*Forage Haj Driss*	*23/10/2009*	990	192	3.34	0.020	0.39	0	Bonne
53	*3339*	*Haouz*	*Puits Agalou*	*24/10/2009*	970	148	22.8	0.048	1.30	700	Bonne
53	*2651*	*Haouz*	*Bir Zahid Brahim*	*24/10/2009*	790	105	8.84	0.009	0.73	20	Bonne
53	*2581*	*Haouz*	*Puits Ben Amar*	*23/10/2009*	705	63.8	6.66	0.033	1.30	80	Bonne
53	*2406*	*Haouz*	*Puits Begarra*	*26/11/2009*	745	105	7.60	0,005	<0,24	0	Bonne
53	*2027*	*Haouz*	*Forage Ghabet Echabab*	*23/10/2009*	865	153	16.9	0.013	1.30	0	Bonne
44	*1903*	*Haouz*	*Bir Ayboud*	*26/11/2009*	1025	163	8.76	0,005	0.64	0	Bonne
44	*1788*	*Haouz*	*Puits Ecole de Mine*	*23/10/2009*	1885	323	33.0	0.006	0.72	0	Moyenne
53	*1704*	*Haouz*	*Forage Douar Boukraker*	*26/11/2009*	703	116	7.71	0.057	0.83	0	Bonne
53	*1559*	*Haouz*	*Puits Commune Asni*	*22/10/2009*	365	11.7	6.53	0,005	0.26	0	Bonne
53	*1390*	*Haouz*	*Puits Med Ben Mahdi*	*24/10/2009*	625	21.3	6.78	0.048	0.33	80	Bonne
45	*1388*	*Haouz*	*F. ONEP Sidi Rahal*	*04/11/2009*	1070	258	17.7	0,005	1.00	0	Bonne
53	*967*	*Haouz*	*Forage ONEP Chichaoua*	*26/11/2009*	1640	188	22.4	0,005	1.02	0	Moyenne
52	*515*	*Haouz*	*Source Abainou*	*21/10/2009*	820	60.6	18.2	0,005		0	Bonne
44	*226*	*Haouz*	*Bir Chwafra*	*26/11/2009*	6440	1628	15.0	0.023	3.71	220	Très Mauvaise

ANNEXES III

PCA

Peptone	6 g
Extrait de levure	3 g
Gélose	15 g
Eau D	1000 ml

TTC

Peptone	10
Extrait de viande	5
Extrait de levure	6
Lactose	20
Tergitol 7	0.01
TTC	0.025
Bleu de bromothymol	0.05
Agar	13

BLBVB

Peptone pancréatique de caséine	10 g
Lactose	10 g
Bile de boeuf déshydratée	20 g
Vert brillant	13,3 mg
Eau D	1000 ml

TSN

Tryptone.	15,0 g
Extrait autolytique de levure	10,0 g
Sulfite de sodium	1,0 g
Citrate ferrique ammoniacal	0,5 g
Sulfate de Néomycine	50 mg
Sulfate de Polymyxine B	20 mg
Agar agar bactériologique	13,5 g

SB

Peptone trypsique de caséine	20 g
Extrait de levure	5 g
Na2HPO4	4 g
Azide de sodium	0,4 g
Chlorure de triphényl tétrazolium	0,1 g
Glucose	2 g
Gélose	10 g
Eau D	1000 ml

TSN

Peptone de caséine	15 g
Extrait de levure	10 g
Sulfite de sodium	1 g
Citrate de fer ammoniacal	0,5 g
Sulfate de polymyxine B	50 mg
Sulfate de néomycine	20 mg
Gélose	13,5 g
Eau D	1000 ml

BEA

- Tryptone	17,00 g
- Peptone pepsique de viande	3,00 g
- Extrait autolytique de levure	5,00 g
- Bile de boeuf bactériologique	10,00 g
- Chlorure de sodium	5,00 g
- Esculine	1,00 g
- Citrate ferrique ammoniacal	0,50 g
- Azide de sodium	0,15 g
- Agar agar bactériologique	13,00 g

ANNEXES IV

Grille de la qualité des eaux définie par l'Arrêté conjoint du Ministre de l'Equipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement n°1275-01 du 10 Chaabane 1423 (17 octobre 2002).

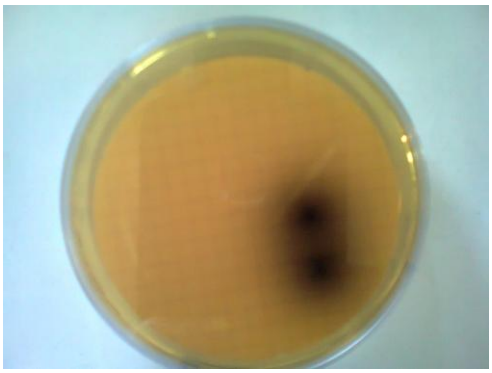
	Classe de qualité		Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
N°	Paramètre	unité					
	Organoleptiques						
1	Température	°c	<20	20-25	25-30	30-35	>35
2	Conductivité	µS/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-6240	>6240
3	PH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5->9,2	-
4	Chlorure (CI-)	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
5	O2 dissous	mg/l	>7	5 - 7	3 - 5	1 - 3	<1
6	DCO	mgO2/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
	Bactériologiques						
7	Coliformes fécaux	/100ml	<20	20-2000	2000-20000	<20000	-
8	Coliformes totaux	/100ml	<50	50-5000	5000-50000	>50000	-
9	Streptocoques. fécaux	/100ml	<20	20-1000	1000-10000	<10000	-

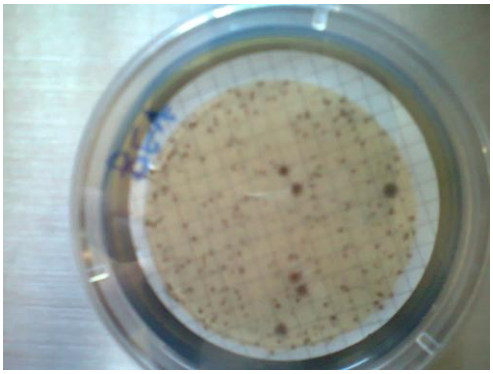
Photo des Etuves

ANNEXE V

Tableau c : Tableau de suivi des analyses bactériologique et physico-chimique:

N° de puits	BAR 22°C UFC/ml	BAR 37°C UFC/ml	CT UFC/100ml	CF UFC/100ml	SF UFC/100ml	ASR UFC/20ml	CND (µS/cm)	pH	DO (mg/l)	(Cl-) mg/l	(No2-) mg/l	(SO4-) mg/l	(NH4) mg/l	DCO (mg d'O2/l) mg/l
P1	2600	770	0	0	0	0	1760	6,26	4,25	-	-	-	-	-
P2	10	10	0	0	0	0	1760	6,26	3,7	-	-	-	-	-
P3	80	50	14	0	2	0	1758	6,29	3,3	-	-	-	-	-
P4	550	690	370	27	36	13	7100	6,81	5,2	-	-	-	-	-
P5	50	40	0	1	0	0	5580	6,97	4,62	-	-	-	-	-
P6	4500	4300	500	4	12	7	6110	6,76	6,15	-	-	-	-	-
P7	400	365	67	26	5	2	1125	6,85	6,02	-	-	-	-	-
P8	720	740	453	30	33	10	1726	6,91	6,18	-	-	-	-	-
P9	30	10	0	0	0	0	1030	6,83	-	106,5	-	-	-	-
P10	361	359	302	0	5	4	1650	7,03	-	383,4	0	42	0	0
P11	10	10	2	0	0	0	2220	7,57	-	411,8	0,019	27,5	0,438	7,818
P12	302	315	344	7	28	15	2340	6,9	-	525,4	0,0012	62,4	0	0
P13	59	38	110	0	200	50	1768	6,89	-	383,4	0,000555	49,16	0,0118	20,848
P14	415	420	0	0	6	2	1614	6,98	6,07	312,4	0,000926	49,83	0	18,242
P15	305	324	100	46	18	9	2410	7,05	-	-	-	-	-	-
P16	448	180	47	8	37	20	920	6,76	-	-	-	-	-	-
P17	42	24	33	3	8	3	552	6,1	-	-	-	-	-	-
P18	1030	1000	200	112	250	71	3660	6,82	-	-	-	-	-	-





Photos montrent l'aspect du milieu BEA après utilisation

Références bibliographiques :

- Biokar diagnostic microbiology 5th édition « chois et préparation des milieux de culture »
- Normes Marocaine NM 03.07.2001 qualité des eaux d'Alimentation Humaine.
- **M. Jaffel ; A. Kchikach ; A. Manar ; N. El Gouim** Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du bassin du Haouz (Maroc) réalisé par.
- **J. Louis** : « microbiologie alimentaire » contrôle microbiologique des aliments CUQ (université Montpellier 2 Polytech Montpellier)
- **Z. Smaij :** Typologie de la qualité des ressources en eau du bassin de Tensift Al-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation.
- **N. Fathi** 2010-2011 : Diagnostique du réseau d'assainissement de la ville de Marrakech : rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel
- **R. Harakat** et **A. Lazrak :** Impact des margines sur les eaux souterraines de la nappe phréatique de la vallée de Ghmat au sud de Marrakech (Maroc)
- Impact des fosses toutes eau sur les eaux de la nappe exploitée pour l'AEP du Douar Skoum 2009- 2010
- **A. Abourida** 2007: Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par Télédétection, Isotopie, SIG et Modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad- Faculté des sciences Semlalia.197p.
- **M. Achak**, 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. Universté Cadi Ayyad- Faculté des Sciences Semlalia
- Région Marrakech-Tensift Al Haouz « Plan de développement économique et social 2000-2004.

- **Ambrouggir et G. Thuile**, 1952 : Les plaines et les plateaux du domaine marginal de l'Atlas : Haouz de Marrakech. Hydrogéologie du Maroc. Notes & M. Serve. Géol. Maroc. N°97, pp.223-233
- Water management consulting 2008
- Les déchets solides et leurs impacts sur l'environnement de la ville de Marrakech (Maroc)
- **A. El Alaoui, Y. Hajhouji,** 2010: L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz, mémoire de LST, Faculté des sciences et Techniques Marrakech47p.
- **M. Sinan, 2000** : Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources sen eau des aquifères régionaux par couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatistique.
- **R.H. Thomson,** 1964: Biochemistry of phenolic compound. Editeur. Harborne, J.B. Academic Press. London.

Site web:

- http://www.staffs.ac.uk/schools/sciences/consultancy/cet/pubs/olive.pdf
- http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS11/TS11_3_sinan_et_al.pdf.
- http://www.google.co.ma/imgres?imgurl http://www.cartograf.fr/carte_maroc_fleuves_villes.gif&imgrefurl
- http://www.google.co.ma/imgres?imgurl
- http://www.vedura.fr/environnement/eau/eau-potable
- www.eau-tensift.net