



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
MARRAKECH



OFFICE NATIONALE DE L'EAU POTABLE
DIRECTION REGIONALE DE MARRAKECH
MAROC

LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES : EAU&ENVIRONNEMENT

RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDES

Par : Asmae Baqloul

Sous le thème :

« Hydrochimie et qualité des eaux destinées à l'alimentation en eaux potables de la ville El Kelaa des Sraghna »

ENCADREE PAR :

- ❖ Mr. Benkaddour A.
- ❖ Mr. Boutaib M.

SOUTENU LE 07/06/2016 DEVANT LE JURY :

- ❖ Mr. Benkaddour A.
- ❖ Mme. El Hariri k.

DEDICACE

En témoignage d'affection et de respect, je dédie ce modeste travail :

- A mes parents pour leurs grands sacrifices
- A mes frères et mes sœurs pour leurs considérables contributions à l'aboutissement de ma formation.
- A mes meilleurs amis(es)...

LISTE DES ABREVIATIONS

- ONEE : Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau potable
- ONEP : Office National d'Eau Potable
- ABHT : Agence du Bassin Hydraulique du Tensift
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- EDTA : Acide éthyle Diamine Tétra acétique
- BI : Balance Ionique
- VRM : Valeur recommandée maximale
- $\mu\text{s/cm}$: Micro siemens par centimètre
- CEP : Collecte d'Eau Pluviale
- GEMS : Global Environmental Monitoring System

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme générale de l'ONEE	11
Figure 2 : Situation géographique de la province d'EL kelaa des Sraghna	12
Figure 3 : Carte du CEP relatives à différentes lames de pluie	13
Figure 4 : Diagramme climatique de la ville d'El Kelaa des Sraghna	14
Figure 5 : Carte géologique de la province El Kelaa des Sraghna	16
Figure 6 : Schéma des forages alimente la zone d'EL KELAA des Sraghna	21
Figure 7 : Situation des forages concernés par l'étude	22
Figure 8 : Photo de pH-Mètre	25
Figure 9 : Conductimètre	26
Figure 10 : Photo de Turbidimètre	27
Figure 11 : Titrage par KMnO4	28
Figure 12 : Photo du spectrophotomètre du laboratoire de l'ONEE-Branche eau	33
Figure 13 : Variation des teneurs en Mg et Ca	39
Figure 14 : Variation des teneurs en K et Na	40
Figure 15 : Variation des teneurs en Cl	41
Figure 16 : Variation de la teneur en SO4	41
Figure 17 : Variation de la teneur en NO3	42
Figure 18 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines et de surfaces d'El Kelaa Sraghna	44
Figure 19 : projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux souterraines et de surface d'El Kelaa des Sraghna	45

SOMMAIRE

	Remerciement	
I.	INTRODUCTION.....	8
II.	Cadre général.....	9
	II.1. Présentation de l'ONEE-Branche eau	10
	II.1.1. Bref historique.....	10
	II.1.2. Mission assurée par l'ONEE.....	10
	II.1.3. Axes stratégiques.....	10
	II.1.4. Organigramme.....	10
	II.2. Zone d'étude.....	11
	II.2.1. Situation géographique	12
	II.2.2. Climatologie.....	13
	a. Pluviométrie.....	13
	b. Température.....	14
	c. Vent	14
	d. Insolation-évaporation.....	14
	e. Humidité.....	15
	II.2.3. Cadre géologique.....	15
	II.2.4. Hydrologie	16
	II.2.5. Hydrogéologie.....	17
III.	Matériels et méthodes.....	18
	III.1. Origine de données des analyses.....	19
	III.1.1. Eaux superficielles.....	19
	III.1.2. Eaux souterraines.....	19
	III.2. Echantillonnages.....	23
	III.1.1. Conservation des échantillons.....	23
	III.1.2. Agent de conservation.....	23
	III.1.3. Flacons de prélèvement.....	23
	III.1.4. Réfrigération filtration et Identification.....	24

III.3. Analyses physico-chimiques.....	24
III.3.1. Température.....	24
III.3.2. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	24
III.3.3. Conductivité.....	25
III.3.4. Turbidité.....	26
III.3.5. Dosage des chlorures.....	28
III.3.6. Dosage de l'oxygène dissout	29
III.3.7. Titre hydrométrique =dureté totale.....	29
III.3.8. Ion de Calcium Ca ²⁺	30
III.3.9. Ion Magnésium Mg ²⁺	30
III.3.10. Détermination de l'alcalinité de l'eau.....	31
III.3.11. Essaie d'agressivité au marbre.....	31
III.3.12. Dosage des sulfates.....	32
III.3.13. Dosage des nitrites dans L'eau par l'alphaNphtylamine.....	32
III.3.14. Dosage des Nitrates.....	32
IV. Résultats et discussion.....	34
IV.1. Qualité des analyses.....	35
IV.2. Interprétation des paramètres analysés.....	38
IV.2.1. Température.....	38
IV.2.2. Le potentiel hydrogène.....	38
IV.2.3 Conductivité.....	38
IV.2.4. Les cations.....	39
a. Le calcium et magnésium.....	39
b. Le sodium et potassium.....	40
IV.2.5. Les anions.....	41
a. Les chlorures.....	41
b. Les sulfates.....	41
c. Les nitrates.....	42
IV.3. Détermination des facies chimiques.....	42
IV.2.1. Le diagramme de Piper.....	43
IV.2.1. Le diagramme de Schoeller Berkaloff.....	43
V. Conclusion générale.....	46
VI. Annexe.....	47
VII. Bibliographie.....	49

REMERCIEMENTS

Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet a favorisé son aboutissement.

Tout d'abord, je tiens à exprimer mon gratitude, si grande qu'elle puisse être, à mes chers parents pour tous leurs sacrifices qu'ils ont consenti et le soutien qu'ils m'ont prodigué tout le long de ma vie.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements dans un premier temps ainsi que toute mes reconnaissance à mes encadrant Monsieur A. BENKADDOUR et Monsieur M. Boutaib qui m'ont fait bénéficier de leurs savoir-faire, de leurs conseils appréciables, de leurs disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je tiens aussi à remercier très vivement Monsieur le Directeur de L'ONEE d'El Kelaa des Sraghna pour son accord de passer le stage au sein de Laboratoire de L'ONEE à El Kelaa des Sraghna, mes remercies vont également à Monsieur Louarad, qui ma bien encouragé, et à tout le personnel de L'ONEE pour les précieuses et confortables conditions.

Mes vifs remerciements sont aussi adressés non seulement comme devoir mais par grand respect et gratitude profonde à mes chers professeurs et notre responsable de filière EE Mme bourgoini.

Je désire remercier aussi toutes les personnes avec lesquelles j'ai eu le plaisir de collaborer et qui ont a pu par la même occasion m'aider durant toute la durée d'apprentissage.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un bien rare, elle ne doit contenir en quantité dangereuse ni micro-organismes ni substances chimiques nocifs à la santé, elle doit, être, aussi agréable que les circonstances le permettent. En effet, la détérioration de la qualité des eaux pose de sérieux problèmes surtout dans les régions à ressources hydriques limitées.

Ministère de l'Energie des Mines, de l'Eau et de l'Environnement a insaturé dans chaque région du pays des organismes comme l'office Nationale de l'Eau Potable (O.N.E.P) pour surveiller la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines. L'un de ses rôles est, en général, de contrôler périodiquement les qualités physico-chimique et bactériologique de l'eau et de faire un dépistage de tout phénomène accidentel de pollution.

La préservation de la qualité de l'eau, fait l'objet d'une attention particulière à l'échelle mondiale. Il existe un réseau de surveillance international depuis 1977. Ce réseau s'inscrit dans le cadre du système mondial de surveillance continue de l'environnement (GEMS. Water).

Pour l'eau, le 'GEMS water ' a été mis au point par le programme des nations unis pour l'environnement le 'PNUE' en collaboration avec l'organisation Mondiale de la santé (l'O.M.S), et l'organisation Météorologique Mondial. A l'aide de ce réseau international, plus de 50 paramètres sont évalués pour fournir des données sur la qualité de l'eau de boisson, à usage agricole et industriel.

Le présent stage de fin d'études effectué, pendant 5 semaines, au sein de l'Office Nationale de l'Eau Potable (ONEE-Branche eau) d'El Kelaa des Sraghna et plus précisément dans la station de traitement des eaux potables. L'objet principal de ce stage consiste à une étude hydro chimique. Cette dernière est basée sur la détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau de surface ainsi que celle souterraine.

Le présent travail porte uniquement sur :

- ✓ La qualité des eaux souterraines et de surface ;
- ✓ la caractérisation des faciès chimiques de ces eaux ;
- ✓ la détermination des sources, potentielles, de pollutions;



CADRE GENERAL

II.1.1 BREF HISTORIQUE

L'Office Nationale de l'Eau Potable (ONEP) a été créé en 1972 par le dahir 1-72-103 du safar 1392. Cet office est devenu après sa fusion avec l'Office National de l'Electricité (ONE), l'Office National d'Electricité et de l'Eau potable (ONEE-Branche eau), le projet de fusion a été matérialisé par le décret de 12 Avril 2012 et entré en vigueur le 23/04/2012.

L'ONEE est un établissement semi-public à caractère commercial et industriel, il est doté de l'autonomie financière et soumis au contrôle du ministère des finances et sous la tutelle du Ministère de l'équipement. L'ONEE-branche eau est un acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement au Maroc.

II.1.2 LES MISSIONS ASSUREES PAR L'ONEE-BRANCHE EAU SONT:

- Planification de l'approvisionnement en eau potable (AEP) à l'échelle nationale
- Production de l'eau potable
- Distribution de l'eau potable pour le compte des collectivités locales
- Gestion de l'assainissement liquide
- Contrôle de la qualité des eaux

II.1.3 LES REFERENCES LES AXES STRATEGIQUES ONEE :

- Pérenniser, Sécuriser et renforcer l'AEP en milieu urbain
- Généraliser l'accès à l'eau potable en milieu rural
- Rattraper le retard en matière d'Assainissement l

II.1.4 ORGANIGRAMME

La direction générale de l'ONEE se trouve à rabat (DG), chaque région à une Direction Régionale (DR).

Les différentes directions régionales sont :

- ✚ DR1 : Direction Régionale Agadir ;
- ✚ DR2: Direction Régionale Tensift Al Haouz à Marrakech ;
- ✚ DR3: Direction Régionale à Khouribga ;
- ✚ DR4: Direction Régionale Nord Ouest à Kenitra ;

- ✚ DR5: Direction Régionale Centre Nord à Fès ;
- ✚ DR6 : Direction Régionale à Oujda ;
- ✚ DR7: Direction Régionale Centre Sud à Meknès ;
- ✚ DR8: Direction de Province Saharienne a Laayaune.

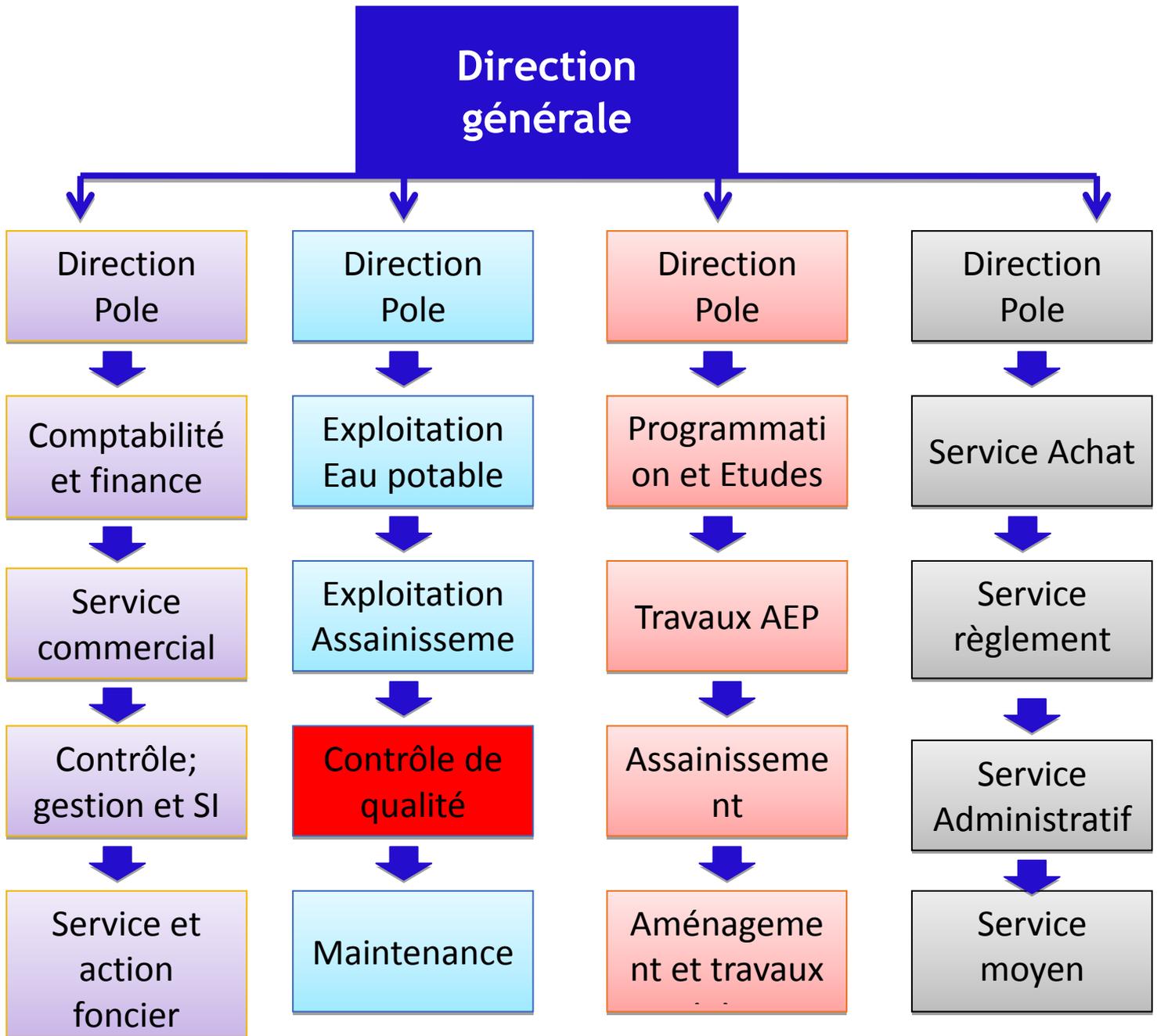


FIGURE 1 : ORGANIGRAMME GENERAL DE L'ONEE (ONEE, 2012)

II.2.2 CLIMATOLOGIE

Les conditions climatiques de la région d'El Kelaa des Sraghna sont caractérisées par un climat continental et aride, où les influences sahariennes sont sensibles, les précipitations sont souvent faibles et irrégulières et les températures sont élevées en été.

a. Pluviométrie

La pluviométrie enregistrée dans la ville d'El Kelaa des Sraghna varie durant l'année. L'hiver se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été, les précipitations record sont enregistrées au mois de mars ; elles sont de 40mm en moyenne. Par ailleurs, le mois juillet est le mois le plus sec, avec seulement 1mm de moyenne.

La moyenne des précipitations annuelles est de 278 mm à la ville d'El Kelaa des Sraghna.

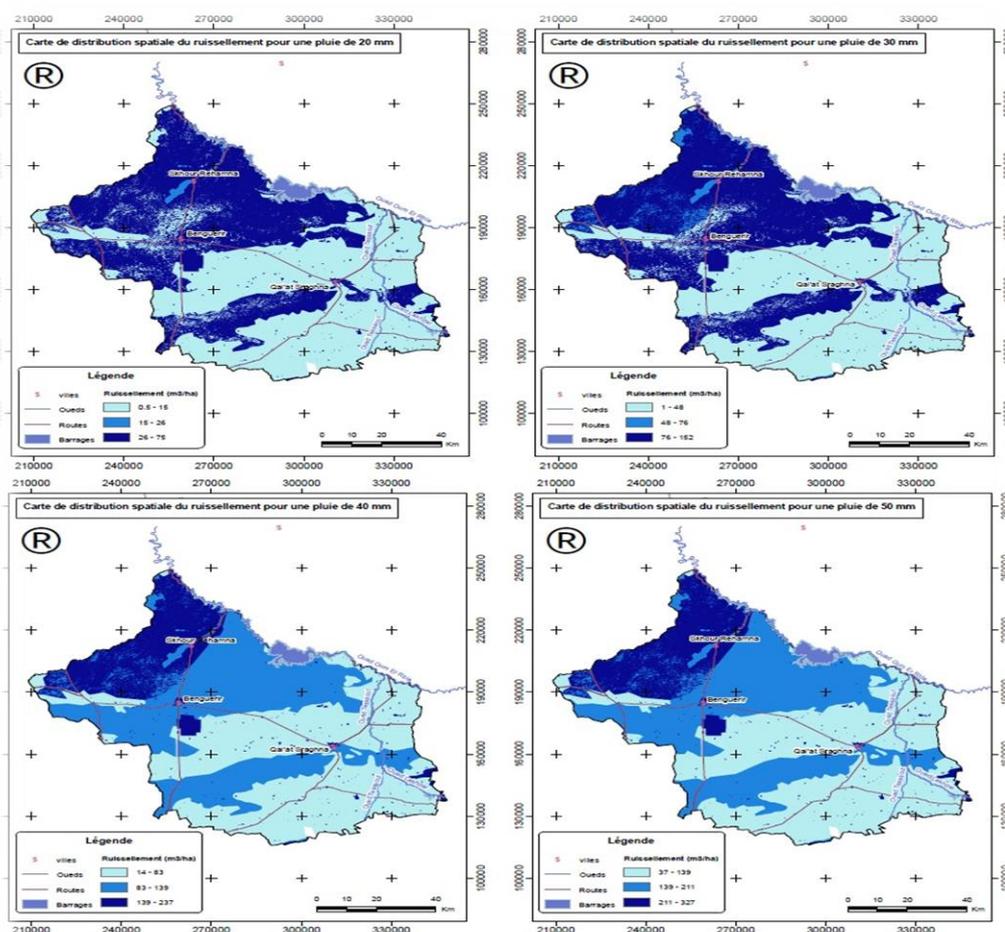


FIGURE 3 : COLLECTES D'EAU PLUVIALE RELATIVES A DIFFERENTES LAMES DE PLUIE (ABHT, 2012)

b. Température

La ville d'El Kelaa des Sraghna est caractérisée par des températures variables au cours de l'année et au cours de la journée. Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de l'ordre de 10.8 °C, et le mois le plus chaud est celui d'Aout avec une température moyenne de 28.7 °C. En moyenne la température à la ville d'El Kelaa des Sraghna est de 19.1 °C

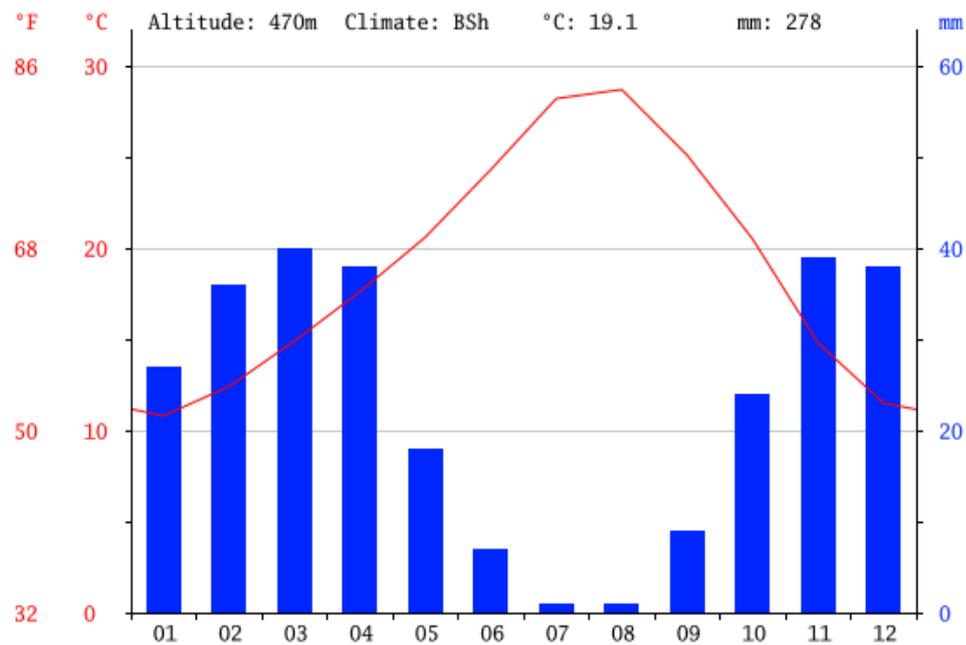


FIGURE 4 : DIAGRAMME CLIMATIQUE DE LA VILLE D'EL KELAA DES SRAGHNA (ONEE, 2012)

c. Vent

Les vents dominants dans cette région soufflent du nord au nord-est en hiver et de l'ouest en été. Les vents desséchants de type Chergui de direction SE et NE sont fréquents en été et provoquent d'importantes élévations de température.

d. Insolation - évaporation

Vu sa situation géographique et son climat, la région jouit d'un bon ensoleillement durant toute l'année. Le nombre de jours d'ensoleillement dépasse les 300 jours par an. L'évaporation moyenne annuelle mesurée à l'évaporimètre de Piche est de 270mm, les extrêmes mensuels sont de 93 mm en Décembre et de 400 mm en aout.

e. Humidité

La région d'El Kelaa des Sraghna est caractérisée par une humidité relative dépassant en moyenne 73% au mois de janvier et de l'ordre de 33 % au mois de juillet.

II.2.3 GEOLOGIE

La zone de Sraghna se trouve dans la région de Marrakech-Haouz. Cette zone est caractérisée par le socle primaire, essentiellement constitué de séries schisteuses très redressées, modelées par l'orogénie hercynienne et qui a connu dès la fin du Paléozoïque un premier cycle d'érosion.

Les couvertures secondaires et paléogènes, déposées en discordance sur une topographie restée très irrégulière, n'apparaissent toutefois qu'en bordure de l'Atlas. Plongeant vers le Nord, elles disparaissent très rapidement, à la seule exception du Trias, ou plutôt du Permo-Trias, plus largement distribué.

Cette lacune, mise en évidence par forages profonds, a eu pour effet de faire directement reposer sur les terrains primaires des sédiments post-éocènes de caractères continentaux et dulçaquicoles, et cela juste après que les premiers mouvements de l'orogénie tertiaire aient provoqué l'individualisation, au niveau du Haouz, d'un grand fossé de subsidence.

Ce fut un bassin d'origine tectonique, induit par le jeu de deux grands systèmes de failles et de flexures

- ✓ le premier, longeant la montagne à la limite sud de la plaine
- ✓ le second, prenant par son orientation SW-NE le Haouz en diagonale, et bien marqué en surface par la flexure d'Assoufid.

Dès lors ont pu se succéder en parallèle les phénomènes de surrection de l'Atlas, de comblement de son avant-fosse par accumulation des matériaux arrachés à la chaîne et de subsidence. Ils ont conduit à la mise en place, entre la montagne et les jbillets, de formations néogènes et quaternaires discordantes sur le substratum.

Ce remplissage, venu sur un paléo-relief très différencié, se caractérise par de fortes variations de puissance, parfois brutales. Évaluée à plusieurs centaines de mètres aux confins de l'Atlas, l'épaisseur du remplissage diminue toutefois progressivement vers le Nord pour s'annuler au niveau du Tensift où le socle primaire réapparaît.

FIGURE 5 : GEOLOGIE DE LA PROVINCE EL KELAA DES SRAGHNA (ABHT, 2006)

II.2.4 HYDROLOGIE

Sur le plan hydrologique, l'Oued Gaino représente pratiquement l'unique écoulement important traversant la ville d'El kelaa des Sraghna. Il s'agit d'un petit oued intermittent qui pénètre dans la dépression de la Bahira par le seuil d'El kelaa des Sraghna. La superficie du bassin versant de l'oued Gaino est d'environ 146km².

En aval de cette ville, l'oued Gaino prend une direction vers le nord-ouest en devenant de moins en moins marqué et se perd dans les champs agricoles. En période des crues, cet oued débouche dans la dépression de Sed El Mesjoun.

II.2.5 HYDROGEOLOGIE

La nappe de la Bahira est allongée d'Est en Ouest, la plaine de la Bahira s'insère entre le massif des Jbilet au Sud et les plateaux des Rehamna et du Gantour au Nord et s'étend sur une superficie d'environ 5000 km²:

La zone d'action de l'ABHT n'en compte que 3000 km² renfermant les parties occidentales et centrales de la bahira.

Au niveau de la Bahira occidentale et centrale, l'aquifère a une puissance moyenne de 50m avec une productivité variable et liée au degré de fracturation. Les ouvrages d'exploitation produisent de débits oscillant entre quelques litres à la seconde à plus de 50 L/s.

Les infiltrations des eaux de pluies et du ruissellement des eaux provenant des Jbilet, estimés à 33 Mm³ par an, constituent la principale composante de la recharge naturelle. Les sorties sont constituées des pompages répartis à raison de 9 Mm³ pour l'alimentation en eau potable et 28 Mm³ pour l'irrigation. (Sahili.E, 1996)

La nappe est exploitée surtout au niveau de champ captant des Khoualka et N'Zletlaadem où l'on observe une tendance à la pièce depuis 1974, date de l'accroissement des prélèvements. Cette baisse s'est amplifiée à partir de 1985 atteignant, en moyenne, une valeur de 0.35 m/an au niveau de la Bahira occidentale et environ 1m/an au niveau de la Bahira centrale. (Débat National sur l'eau .2006)



MATERIEL ET METHODES

III.1 ORIGINE DE DONNEES DES ANALYSES

Les données des analyses utilisées dans ce travail proviennent de l'ONEE.

L'approvisionnement en eau potable de la ville d'El Kelaa des Sraghna est assuré actuellement à partir des eaux superficielles et des eaux souterraines :

III.1.1 EAUX SUPERFICIELLES

Les eaux superficielles destinées à l'approvisionnement en eau potable de la ville d'El Kelaa des Sraghna sont issues de l'Oued Lakhdar et mobilisées par le complexe hydraulique Hassan 1 –Sidi Driss.

Les eaux brutes sont acheminées gravitairement par le canal Rocade sur lequel se dresse une prise alimentant la station de débouage ($Q = 100 \text{ L/s}$), cette dernière alimente actuellement la station de traitement de la ville d'El Kelaa des Sraghna, d'une capacité nominale de 90 L/s . via une conduite en BP DN 500 et DN 400 sur un linéaire respectivement de 14.46 km et 11.74 km.

La capacité nominale de la station de traitement de la ville d'El Kelaa des Sraghna a été portée en 2011 à 90 L/s , après la mise en service d'un nouveau module de traitement de 40 L/s .

L'ONEE-branche eau projette une deuxième extension de la station de traitement en 2018 pour porter sa capacité nominale de traitement à 150 L/s .

III.1.2 EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines destinées à l'approvisionnement en eau potable de la ville d'El Kalaa des Sraghna proviennent de 7 forages captant les eaux profondes de la nappe d'Al Bahira (Fig. 7) :

- N° IRE 1185/36 ;
- N° IRE 1755/45 ;
- N° IRE 1935/45 ;
- N° IRE 1905/45 ;
- N° IRE 1938/45 ;
- N° IRE 5/211 ;
- Chtaiba N° IRE 1/202.

Après avoir tari, l'exploitation du forage N° IRE 1394/45 a été arrêtée abandonné.

Les eaux issues des forages de la nappe d'Al Bahira et la station de traitement sont acheminées vers 4 réservoirs de stockage semi-enterrés d'une capacité globale de 6.000m³ {2.500+2.000+1.000+500m³} qui assurent la desserte du réseau de distribution d'eau de la ville, dont le linéaire global s'élève à environ 280 km.

Le réseau de distribution d'eau potable couvre la totalité des quartiers de la ville. Le taux de branchement actuel à ce réseau est de 99%.

Forage N° IRE	1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba
Date de réalisation	1993	1982	2001	1998	2001	2003
Date de mise en service	1996	1986	2002	2001	2004	2009
Profondeur totale (m)	280,00	58,00	115,00	538,00	258,00	300,00
Niveau statique	-	39,00 m/sol	36,00 m/sol	48,00 m/sol	87,00 m/sol	71,40 m/sol
Condition d'exploitation:						
- Débit d'exploitation	21 l/s	7 l/s	5 l/s	30 l/s	35 l/s	26 l/s
-HMT/sol	150 m/sol	64 m/sol	-	-	115 m/sol	130 m/sol
- Côte calage de la crépine	98 m/sol	52 m/sol	64 m/sol	112 m/sol	133 m/sol	143 m/sol
Débit équipé	25 l/s	8 l/s	8 l/s	30 l/s	20 l/s	22 l/s

TABLEAU1 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES FORAGES EQUIPES (ONEE, 2012)

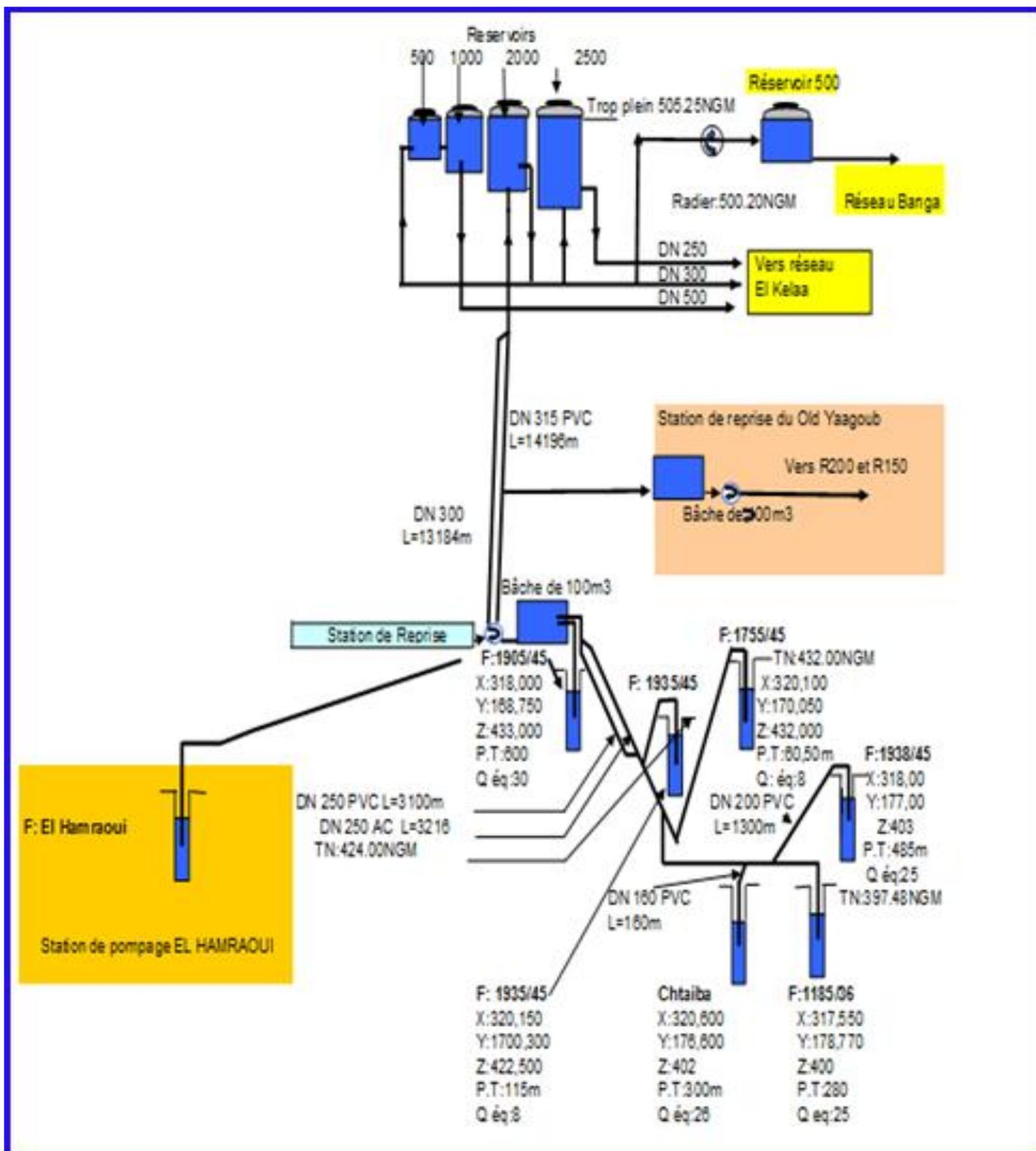


FIGURE 6 : SCHEMA DES FORAGES ALIMENTANT LA ZONE D'EL KELAA DES SRAGHNA (ONEE-BRANCHE EAU, 2012)



- ▲ F 1185/36
- ▲ F.Chtaiba
- ▲ F 1938/45
- ▲ F 1755/45
- ▲ F 1935/45
- ▲ F 1905/45

FIGURE 7 : LOCALISATION DES FORAGES CONCERNES PAR LA PRESENTE ETUDE

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération qui doit être faite avec un très grand soin, les résultats analytiques et leur interprétation dépendent énormément de la manière de prélèvement et le conditionnement de l'échantillon, l'échantillon doit être homogène est obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

III.2.1 CONSERVATION DES ECHANTILLON

La plupart des eaux sont susceptibles de se modifier plus au moins rapidement par des réactions chimiques (oxydo-réduction, précipitations, évaporations.....etc.) biologiques (l'activité des micro-organismes). Les modifications peuvent avoir lieu entre l'instant de prélèvement et l'analyse. La nature et les vitesses de ces réactions peuvent facilement modifier les concentrations par rapport au moment de prélèvement ce qui signifie que la conservation de l'échantillon n'a pas été respectée, et à cause des variations qui peuvent affecter les échantillons d'eau pendant le transport, certains paramètres sont analysés immédiatement sur terrain tels que : PH, conductivité, Turbidité.

III.2.2 AGENTS DE CONSERVATION:

Certains composés chimiques peuvent être stabilisés par l'addition de réactifs chimiques avec des doses adéquates dans flacon juste après le prélèvement ; ces réactifs peuvent être des acides, des bases, des sels, des solvants organiques etc.

Les agents de conservations sont choisis de telle manière à ne pas interférer avec le paramètre à doser. Pour ne pas risquer de diluer l'échantillon, les réactifs de fixation sont utilisés à des concentrations assez élevées de manière que seulement des petits volumes soient ajoutés à l'échantillon, il est aussi impératif d'utiliser des agents de conservations d'une pureté maximale possible pour éviter une éventuelle contamination de l'élément à doser, en particulier en analyse des métaux à l'état de traces.

III.2.3 FLACONS DE PRÉLÈVEMENT:

Le type et la préparation des flacons de prélèvement sont très importants parce que le flacon peut contaminer l'échantillon à analyser (verre borosilicaté pour l'analyse du bore) ou réagir avec l'eau à analyser (adsorption des métaux).

Pour l'analyse des métaux à l'état de traces, les flacons doivent être nettoyés rincés à l'eau, à l'acide nitrique puis à l'eau distillée, pour l'analyse des phosphates, de la base des détergents, il est recommandé de ne pas utiliser des détergents pour éviter la contamination.

Pour l'analyse des micropolluants organiques, les flacons doivent subir un traitement spécifique selon les paramètres à analyser.

Pour le Carbone organique, les flacons sont décontaminés à haute température 400°C pour les pesticides, les flacons sont traités au mélange sulfochromique ou lavés par un détergent de laboratoire, rincés à l'eau distillée puis rincés avec le solvant d'extraction.

III.2.4 REFRIGERATION FILTRATION ET IDENTIFICATION:

Il est recommandé de maintenir l'échantillon à une température inférieure à celle du moment de remplissage, cette opération n'est efficace que si elle est appliquée immédiatement après le prélèvement de l'échantillon.

Plusieurs échantillons exigent durant le transport, les caisses calorifugées à une température de 0 à 10°C. Pour cela les préleveurs doivent disposer d'une glacière destinée à cet usage, comportant et des sacs de réfrigération, ainsi qu'une caisse comportant toute la verrerie et les réactifs nécessaires pour la

Réalisation des analyses sur place. et puis identification des échantillons en les étiquetant conformément Numéro d'identification , code du point de prélèvement date et heure de prélèvement , paramètre demandé , fixateur utilisé , N° de mission , certains paramètres nécessitent une filtration au moment de prélèvement tels que : Fe , oxygène dissous .

III.3 LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

III.3.1 TEMPERATURE

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociation. Elle agit aussi sur la conductivité électrique, le pH, elle permet la connaissance de l'origine des eaux souterraines ainsi que les éventuels mélanges. La mesure de la température peut être effectuée soit par un thermomètre à mercure gradué ou l'aide d'un pH-mètre. Elle est exprimée en degré Celsius (°C).

III.3.2 POTENTIEL D'HYDROGENE (PH)

◆ Principe :

La mesure peut être, soit colorimétrique, soit électrométrique. il doit être faite sur place, et elle est importante dans le calcul de l'agressivité d'une eau ou de son pouvoir incrustant. La nature de la mesure effectuée au laboratoire est électrométrie qui exige des électrodes de verre fragiles et des solutions tampons pour l'étalonnage.

◆ Etalonnage

On étalonne un ph-mètre avec des solutions tampon. Selon les mesures que l'on va effectuer, on étalonne soit par une solution de pH=4 pour faire des mesures en milieu acide puis par une solution de pH=7 et enfin par une solution de pH=9 pour faire des mesures en milieu basique

◆ Utilité :

L'utilité de la mesure de PH d'eau est la détermination de l'agressivité d'Eau.

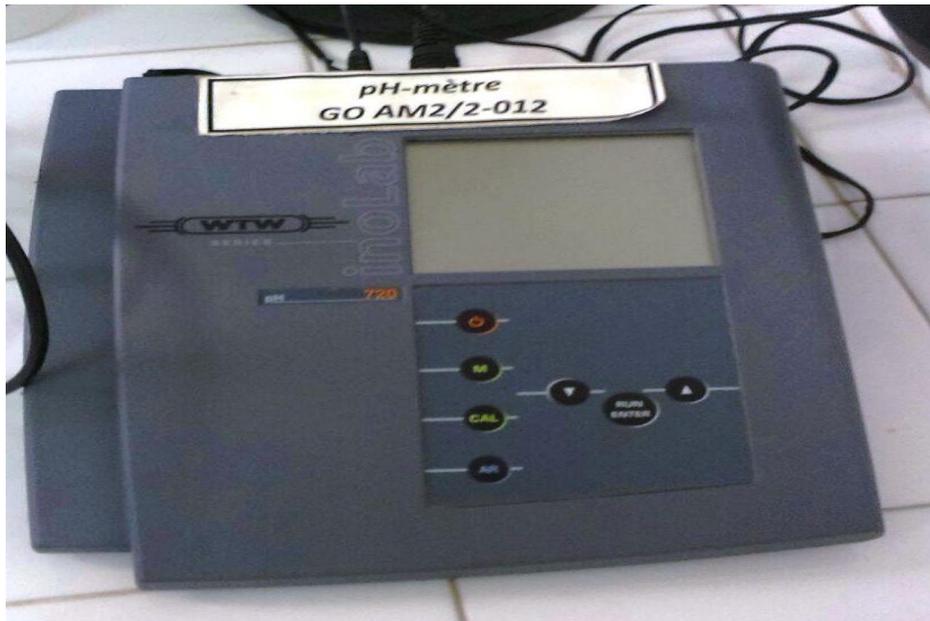


FIGURE 8 : PH-METRE

III.3.3 CONDUCTIVITE :

◆ Définition :

La conductivité électrique permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

◆ Mode opératoire :

Avant de faire la mesure, il faut d'abord étalonner l'appareil on utilise un étalon qui a une conductivité connue, puis on met l'électrode dans un flacon contenant de l'eau après agitation, ensuite on lit le résultat marqué dans l'écran de l'appareil.

◆ Appareillage :

Conductimètre

NB : le conductimètre donne aussi la température de l'eau.

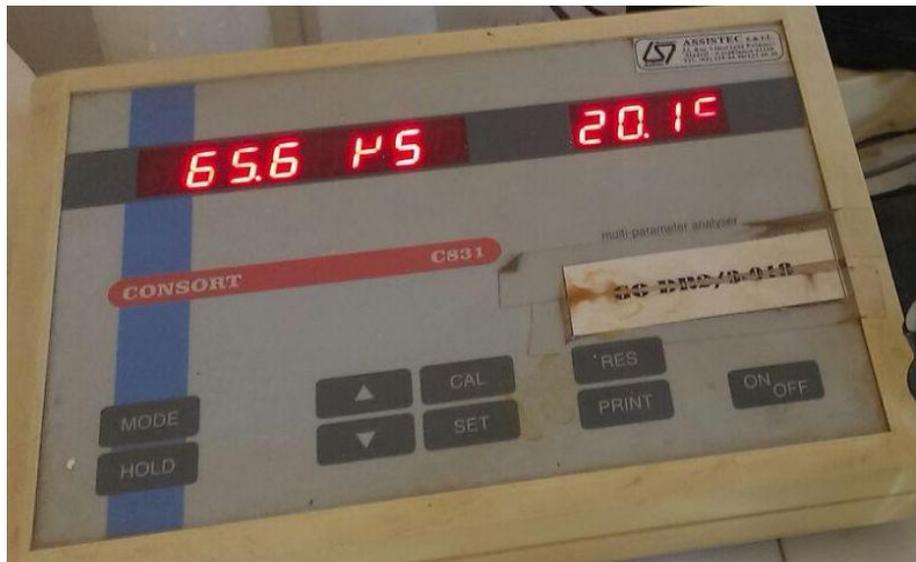


FIGURE 9 : CONDUCTIMETRE

III.3.4 LA TURBIDITE :

◆ Définition :

La turbidité se définit comme "l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon," cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon.

◆ Principe :

Il existe deux types de méthode de mesure de la turbidité basée sur deux phénomènes physiques distincts, l'effet TYNDALL et les phénomènes d'absorption lumineuse.

L'effet Tyndall : un liquide turbide s'éclaire lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, par diffraction par les particules en suspension, et l'intensité de la lumière diffractée.

Les éléments en suspension dans un liquide absorbent certaines radiations. Cette absorption dépend du nombre des particules, de leur forme de leur taille, de l'épaisseur de liquide traversé et de la longueur d'onde de la radiation incidente.

◆ Objectif :

Déterminer la matière en suspension existée Dans l'échantillon.

◆ Appareillage :

Turbidimètre

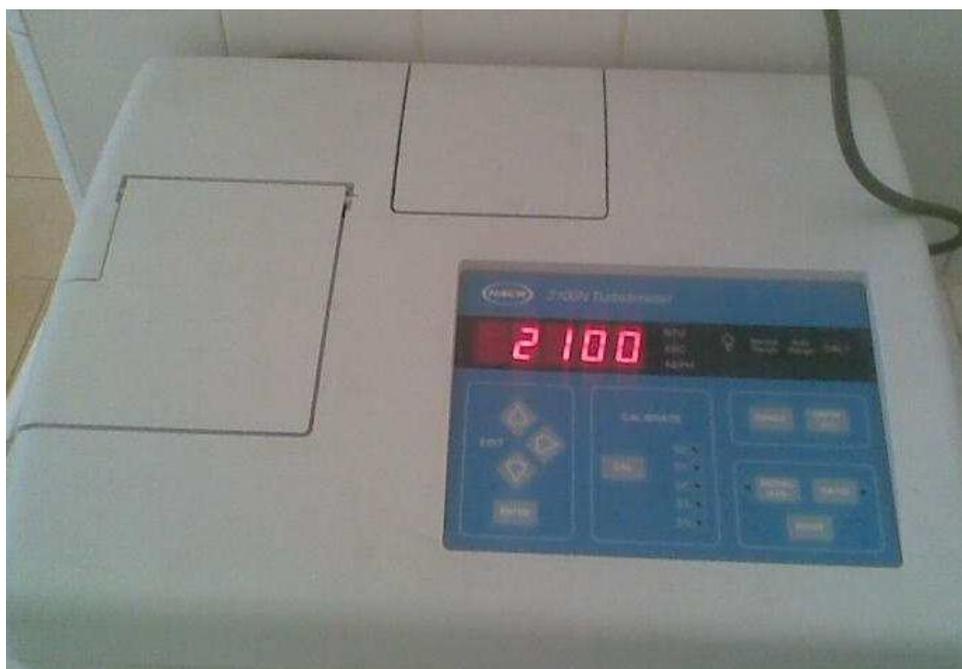


FIGURE 10 : TURBIDIMETRE

III.3.5 L'OXYDABILITE=MATIERES ORGANIQUES OXYDABLES EN MILIEU ACIDE

◆ Principe :

On chauffe à 100°C l'eau à analyser avec une solution de permanganate de potassium KMnO_4 à titre connu, après on titre avec une solution de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ afin de déterminer la quantité de KMnO_4 qui n'a pas été réduite.

◆ Mode opératoire :

Dans un ballon rodé on introduit 100 ml d'eau à analyser avec 2 ml d'acide sulfurique concentré et 10 ml de KMnO_4 (N/100) après le ballon est placé au bain marie

(13 min à 100°C), ensuite on ajoute des goûtes $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ jusqu'à la décoloration totale. La titration se fait par KMnO_4 (0.01) jusqu'à l'obtention d'une faible teinte rose. Le résultat est exprimé (prise de 100ml), l'Oxydabilité en O_2 (mg/l) = $V_{\text{tombé}} \cdot 0.8$



Figure 11 : Titrage par KMnO_4

III.3.6 DOSAGE DES CHLORURES

◆ Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu acide par les nitrates mercuriques en présence d'un indicateur de pH.

◆ Mode opératoire :

Dans un Erlenmeyer on introduit successivement 100ml d'un échantillon, 0.5ml d'un indicateur de pH, acide nitrique (N/3) jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune franc et on titre par une solution de nitrates mercurique jusqu'à l'apparition d'une teinte violette.

◆ Résultat :

$$[Cl] = V_{\text{tombé}} \cdot 35.5 \text{ (mg/l)}$$

III.3.7 DOSAGE DE L'OXYGENE DISSOUT (METHODE DE WINKLER) :

◆ Principe :

Cette technique repose sur l'oxydation de l'hydroxyde manganéux dans une solution fortement alcaline, par acidification en présence d'un iodure. L'hydroxyde manganique formé une fois dissous et il se dégage de l'iode libre en quantité équivalente à celle de l'oxygène initialement dissous dans l'échantillon. La titration de cet iode s'effectue par les thiosulfates de sodium (N/50) en utilisant l'amidon comme indicateur interne.

◆ Mode opératoire :

- ✓ Remplir complètement une bouteille de 250 par l'échantillon.
- ✓ Introduire à l'aide d'une pipette 2 ml de solution de sulfate manganéux
- ✓ Ajouter 2 ml de réactif aux iodures alcalins et à l'acide de sodium.
- ✓ Lorsque la partie supérieure du liquide s'est complétement clarifiée, enlever le bouchon et ajouter 2ml d'acide sulfurique concentré tout au fond de la bouteille.
- ✓ Transvaser une prise d'essai de 100 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer.
- ✓ La titration s'effectue par la solution de thiosulfates de sodium 0.02N jusqu'à obtention de coloration paille, claire.
- ✓ Ajouter 0,5 ml de l'amidon jusqu'à l'obtention d'une couleur bleue.

◆ Résultat :

$$✓ O_2 \text{ (mg/l)} = \text{Tombé} \cdot 1.6$$

III.3.8 TITRE HYDROMETRIQUE = DURETE TOTALE :

◆ Définition :

C'est une caractéristique très importante. Elle est due aux ions bivalents ; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Sr^{2+} , libres ou associés. Ces métaux sont associés au HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ... la dureté peut être très bénéfique sur la santé si on respecte les normes.

◆ Mode opératoire : titration complexométrique :

La titration se fait sur un échantillon de 25ml au quel est ajouté 5 ml de solution tampon et une pointe de spatule d'indicateur coloré (Noir Erichrome). La titration est réalisée à

l'aide d'une solution EDTA (0.02N).on maintenu la titration par EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu.

Pour la préparation de la solution de complexons II 0.02m ; on dissout 7.445g de complexons III dans l'eau distillée et on complète à 1 litre à 20°C)

◆ **Résultat :**

Pour 100ml d'échantillon, $TH = a * 1.6 \text{ méq/l}$.

NB : nombre de ml de complexons (0.02M) en ml.

III.3.9 ION DE CALCIUM Ca^{2+} :

◆ **Définition :**

Suivant la roche avec laquelle l'eau était en contact, les eaux de sources, souterraines et superficielles contiennent des sels Ca^{2+} .

◆ **Principe :**

La titration se fait par complexométrie.

◆ **Mode opératoire :**

Pour une prise de 25 ml d'échantillon on ajoute l'eau distillée jusqu'à l'obtention de 100 ml, puis on ajoute 5 ml de la solution tampon, et une petite pointe de spatule d'indicateur (calcon) et on titre par la solution complexométrique (EDTA) jusqu'au virage de rose à bleu.

◆ **Résultat :**

Pour 100 ml d'eau : $[Ca^{2+}] = a * 1.6 \text{ (méq/l)}$

NB : le volume introduit de la solution complexométrique en ml

III.3.10 ION MAGNESIUM Mg^{2+} :

◆ **Définition :**

L'origine de cet ion est le résultat de contact entre l'eau avec des roches dolomitiques.

$[Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}] \text{ (en méq/l.)}$

III.3.11 DETERMINATION DE L'ALCALINITE DE L'EAU :

◆ Définition :

Généralement l'alcalinité est due à la présence des ions; carbonates CO_3^{-2} bicarbonates HCO_3^- et Hydroxydes OH^- .

TA : titre alcalimétrique correspond à la neutralisation des ions CO_3^{-2} en HCO_3^- en réagissant avec un acide fort.

Avec : $\text{TA} = \text{OH}^- + 1/2 \text{CO}_3^{-2}$

TAC : titre alcalimétrique complet, égale à la somme de OH^- , CO_3^{-2} et HCO_3^- ; ce titre correspond à la neutralisation de toutes ces formes par un acide fort.

◆ Principe :

L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution titrée acide et en présence de phénophtaléine pour TA et l'hélianthine pour TAC.

◆ Mode opératoire :

A une prise de 100 ml d'échantillon, on ajoute 2 gouttes de phénophtaléine s'il y a pas de coloration rose le titre TA=0, s'il y a une coloration rose on titre avec HCl (0.1N) jusqu'à disparition de la coloration.

Pour le titre TAC on titre avec HCl (0.1N) jusqu'au virage de jaune orange.

◆ Calculs : (1 méq/l = 5 °F)

Calcul de la concentration des ions : CO_3^{-2} , HCO_3^- et OH^-

N.B : le TA et le TAC sont exprimés en degrés français.

III.3.12 ESSAI D'AGRESSIVITE AU MARBRE :

◆ Principe :

On établit le pouvoir dissolvant d'une eau à l'égard du marbre en déterminant l'augmentation de l'alcalinité et du pH.

◆ Mode opératoire:

On remplit un flacon de 250 ml par l'échantillon sur le lieu du prélèvement sans laisser aucun vide on ajoute un barreau magnétique et à l'aide d'une spatule on ajoute environ 0.25 g de marbre pulvérisé on bouche hermétiquement et on maintient l'agitation 3h, après on laisse reposer l'échantillon pendant toute une nuit. Ensuite, on filtre un volume de 100 ml

qui va servir pour mesurer l'alcalinité totale et la partie non filtrée pour la mesure de pHs. Les résultats obtenus seront notés ; pHs et TACs.

Si $TACs < TAC$, l'eau est incrustante ;

Si $TACs > TAC$, l'eau est agressive.

III.3.12 DOSAGE DES SULFATES :

◆ Principe :

Dans un volume d'acide chlorhydrique contenant de chlorure de baryum les ions sulfates se précipitent en cristaux des sulfates de baryum mesurables par transmission à la spectrophotométrie.

◆ Mode opératoire :

Dans un erlenmyer de 250ml on introduit 100ml d'échantillon (on dilution est obligatoire si la concentration de SO_4^{2-} est supérieur à 80mg/l) on ajoute 5 ml de réactif d'acide chlorhydrique et une spatule (environ 0.5 g) des cristaux du chlorure de baryum, l'agitation doit être maintenu exactement une minute après l'ajout de spatule de chlorure de baryum et par la suite on effectue la mesure par le turbidimètre 60 secondes après, à la longueur d'onde 546nm.

III.3.13 DOSAGE DES NITRITES DANS L'EAU PAR L'ALPHANPHTYLAMINE :

◆ Principe :

L'acide sulfanilique en milieu acide en présence de Naphtylamine forme avec les ions NO_2^- un composé diazoïque de couleur allant de rose faible au rose rubis, dont l'intensité est proportionnel à la quantité de nitrites.

◆ Appareillage:

Spectrophotomètre

III.3.14 DOSAGE DES NITRATES :

◆ Principe :

L'échantillon pour lequel on fait le dosage des nitrates est fixé par un acide fort pour que les nitrates ne transformes pas en nitrites, donc Avant de doser les nitrates, l'échantillon doit être neutralisé à l'aide d'une solution NaOH ou HCl si nécessaire.

La colonne est remplie par une solution de NH_4CL diluée pour garder la colonne hors de la période d'utilisation.

◆ Mode opératoire :

Diluer 1 ml d'échantillon cinquante fois dans un erlenmeyer ajouter 1.1ml de NH₄Cl concentrée mélanger et introduire la solution dans la colonne. Récupérer 25 ml dans un bêcher et jeter le, Remplacer le bêcher par la fiole et récupérer le reste de l'échantillon (25ml exactement). le passage des premier 25ml assurer la séparation des échantillons entre eux et le lavage de la colonne ajouter rapidement après la réduction 0,4ml de réactif sulfanilique , Laisser agir pendant 4min.

Ajouter ensuit 0,4ml de dichlorohydrate de N-(1-naphtylo) éthylène diamine (NED) ,10 min après effectuer la lecture au spectrophotomètre :

◆ Le résultat : (NO₃⁻) en mg/l = (la lecture *4.43*Fd) /1000.

Fd= Facteur de Rendement=50

◆ Appareillage :



Figure 12 : Photo du spectrophotomètre du laboratoire de l'ONEE-Branche eau.

◆ Autres paramètres

On possède aussi à la mesure de la quantité de quelques éléments chimiques à savoir ; le Fer, le Manganèse, l'Aluminium à l'aide des comparateurs.

IV

RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 QUALITE DES ANALYSES

Les données des analyses utilisées dans ce travail concernent 6 points d'échantillonnages pour les eaux souterraines et 1 point d'échantillonnage pour les eaux de surface. Les différents sites d'échantillonnage sont représentés sur la figure 7. Les résultats des analyses sont consignés dans les tableaux 2 et 3.

		1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba	Eau de surface
Paramètre	Unité							
Calcium	mg/L	158	145	146	132	94	99	64
Magnésium	mg/L	23	29	13	25	31	46	18
Sodium	mg/L	98	94	86	85	122	117	42
Potassium	mg/L	33	2	33	3	22	22	2
Chlorures	mg/L	197	167	202	154	190	183	59
Sulfates	mg/L	241	205	223	165	210	243	119
Nitrates	mg/L	12	16	25	13	15	13	3
Nitrites	mg/L	0	0	0	0	0	0	0

Tableau2 : les analyses chimiques des éléments majeurs des eaux souterraines et de surface

		1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba	Eau de surface
Paramètre	Unité							
Température De L'Eau	°C	24	22	24	23	26	27	20
pH sur Terrain	unités Ph	7	7	8	7	7	7	8
Conductivité Sur Place	µs/cm à 20°C	1499	1175	1378	1080	1215	1325	560
Turbidité Sur Place	NTU	2	3	2	1	2	4	26
TAC SUR Place	méq/L	5	5	5	5	4	4	3
Dureté Totale Sur Place	méq/L	10	10	9	7	8	9	5
Oxydabilité	mg O2/L	1	1	1	1	1	1	1

Tableau3 : les analyses physico-chimiques des eaux souterraines et de surface

Il faut analyser la fiabilité des résultats des analyses des eaux prélevées aux niveaux des différentes forages avant de traiter et d'interpréter ces analyses. La méthode qu'on va utiliser et la balance ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques). En réalité cette égalité est rarement obtenue. De façon générale. La différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non doses ou à d'éventuelle erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif formule:

$$BI = \left(\frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right) \cdot 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques, cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques à cause de la présence d'éventuels anions non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

- ✓ Excellentes lorsque $BI < 5\%$
- ✓ Acceptables lorsque $5\% \leq BI < 10\%$,
- ✓ Douteuse lorsque $BI \geq 10\%$

	Points d'échantillonnage	Somme anions (meq/l)	Somme cations (meq/l)	Balance ionique (%)
Eau souterraine	1185/36	2.53	9.25	5.17
	1755/45	7.14	9.02	11.5
	1935/45	8.41	8.67	1.52
	1905/45	8.41	8.11	-1.57
	1938/45	7.84	8.97	6.77
	Chtaiba	7.96	9.48	8.73
Eau de surface	S	2.96	4.22	17.48

Tableau4 : Résultats des calculs des balances ioniques des éléments majeurs

Les analyses douteuses avec des BI $\geq 10\%$, sont enregistrées dans le forage 1755/45, et au niveau de l'échantillon de surface, Il est caractérisé par une conductivité faibles ($<1000 \mu\text{s/cm}$). Tandis que les analyses acceptables à bonnes sont enregistrées au niveau de 5 forages : chtaiba, 1938/45, 1185/36, 1935/45,1905/45. Ils représentent une conductivité supérieure à $1000 \mu\text{s/cm}$.

Plus les eaux sont minéralisées plus les analyses sont de bonne qualité (BI $\leq 10\%$). Ceci peut s'expliquer par l'effet amplificateur des incertitudes pour les eaux moins minéralisées. Ainsi, l'erreur s'exprime plus facilement dans une eau qui présente une minéralisation faible et elle est moins importante quand l'eau est d'une minéralisation élevée. Le calcul de la balance ionique en pourcentage met donc en relief les erreurs.

IV.2 INTERPRETATION DES PARAMETRES ANALYSES

IV.2.1 Température de l'eau

L'étude de la température a montré que les valeurs moyennes de la température dans les sept sites sont comprises entre 20°C et 26°C . La variabilité remarquée doit être due en partie aux régimes des circulations des eaux souterraines et probablement au gradient géothermique (différence de profondeurs d'un point à un autre).

IV.2.2 Le potentiel hydrogène:

Le pH constitue un facteur limitant pour les processus d'épuration (nitrification, précipitation du phosphore, survie des bactéries,.....) d'où l'importance de contrôler ce facteur. Généralement le pH des eaux échantillonnées au niveau des forages est compris entre 7 et 8 ; donc les eaux sont plus ou moins neutres.

IV.2.3 La conductivité électrique:

Les résultats obtenus montrent que les eaux souterraines ont une conductivité comprise entre 1080 et $1500 \mu\text{S/cm}$ et il est de l'ordre de $560 \mu\text{S/cm}$ pour l'échantillon de surface. En générale, la conductivité de l'eau est relativement moyenne.

		1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba	eau de surface
Conductivité Sur Place	$\mu\text{s/cm}$ à 20°C	1499	1175	1378	1080	1215	1325	560
Minéralisation équivalente	(mg/l)	1049.3	822.5	964.6	756	850.5	927.5	392

IV.2.4 Les cations

➤ Le Calcium et Magnésium

	1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba	eau de surface
Ca	157,92	145,1	146,4	132,3	93,8	98,6	64,13
Mg	23,35	29,18	13,3	25,4	31,2	45,7	17,75

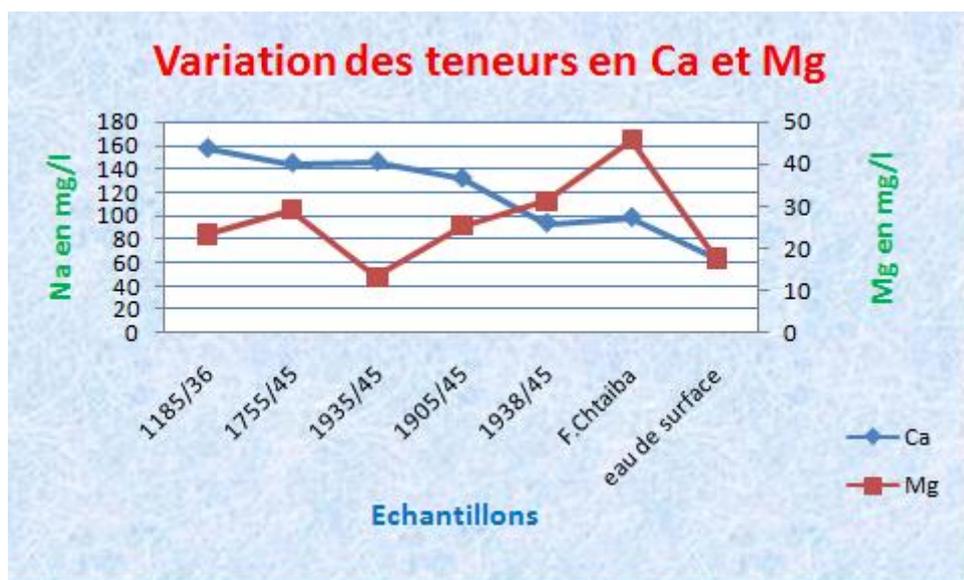


Figure 13 : Variation des teneurs en Mg et Ca en mg/l

La teneur en Magnésium augmente arrivant jusqu'à 40 mg/l, elle est extrême pour le forage Chtaiba alors qu'elle est la plus faible pour le forage 1935/45. Le calcium varie d'un échantillon à l'autre avec des écarts importants de 160 mg/l, l'échantillon de surface présente une teneur inférieure à celle des échantillons de l'eau souterraine. Les valeurs de calcium des forages : 1185/36, 1755/45, 1935/45 et 1905/45 se dépassent les normes. On peut expliquer par la composition géologique de ces forages par la présence du calcaire.

➤ Le Sodium et potassium

	1185/36	1755/45	1935/45	1905/45	1938/45	F.Chtaiba	eau de surface
K	2,64	2,4	2,8	3,08	1,94	1,745	2,36
Na	98,4	94,4	86	84,8	121,8	117	42,31

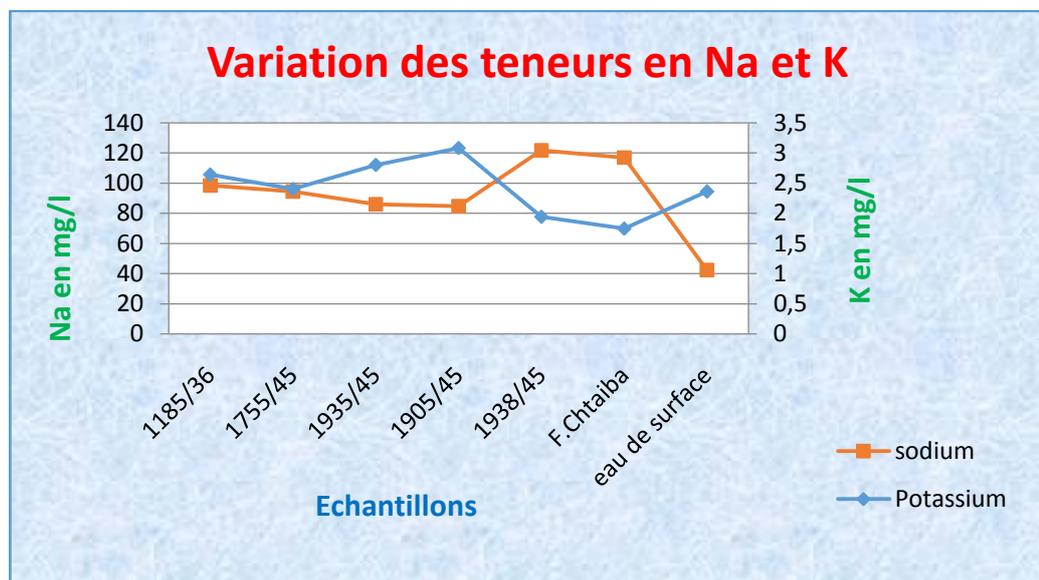


Figure 14 : Variation des teneurs en K et Na en mg/l

La teneur en Sodium la plus élevée est enregistrée au niveau du forage 1938/45 avec une légère augmentation par rapport à l'échantillon de surface.

Les valeurs du Potassium très faibles.

IV.2.5 Les anions

➤ Les chlorures

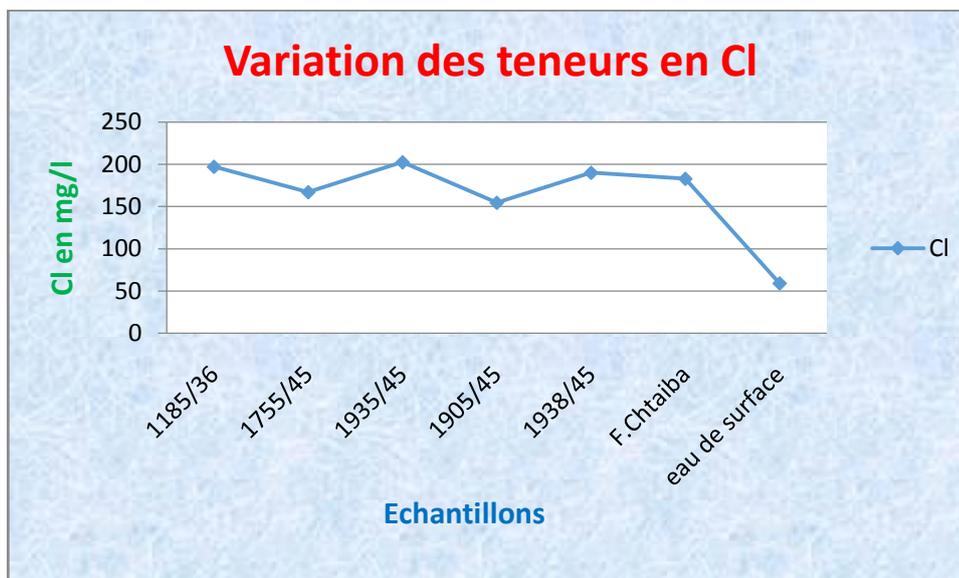


Figure 15 : Variation des teneurs en Cl en mg/l

La teneur en Cl augmente de l'ordre de 200 mg/l et elle est de l'ordre de 59 mg/l pour l'échantillon de surface qui est une teneur inférieure par rapport aux eaux souterraines.

➤ Les sulfates

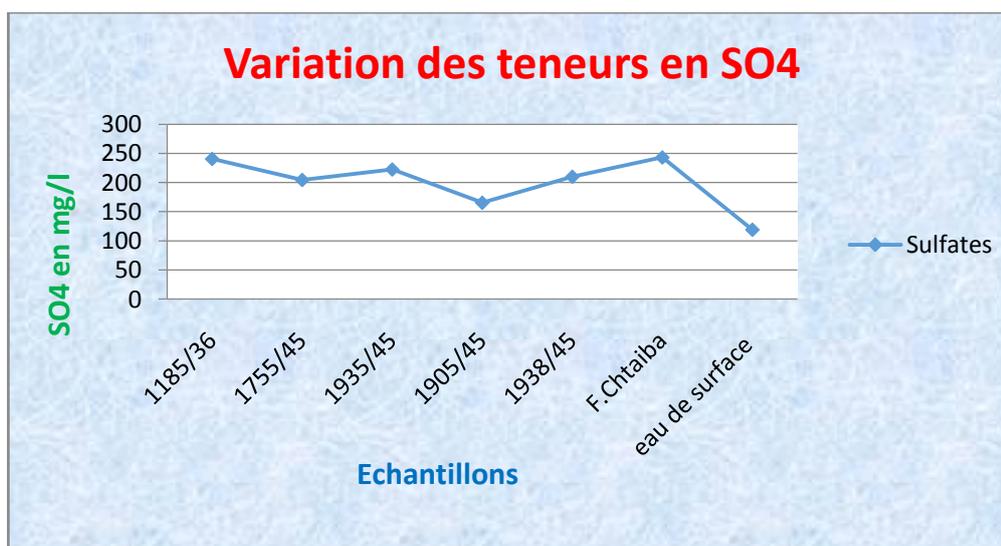


Figure 16 : Variation de la teneur en SO₄ en mg/l

Les sulfates présentent des teneurs élevées pour tous les échantillons, la plus élevée est enregistrée dans le forage F.Chtaiba.

➤ Les nitrates

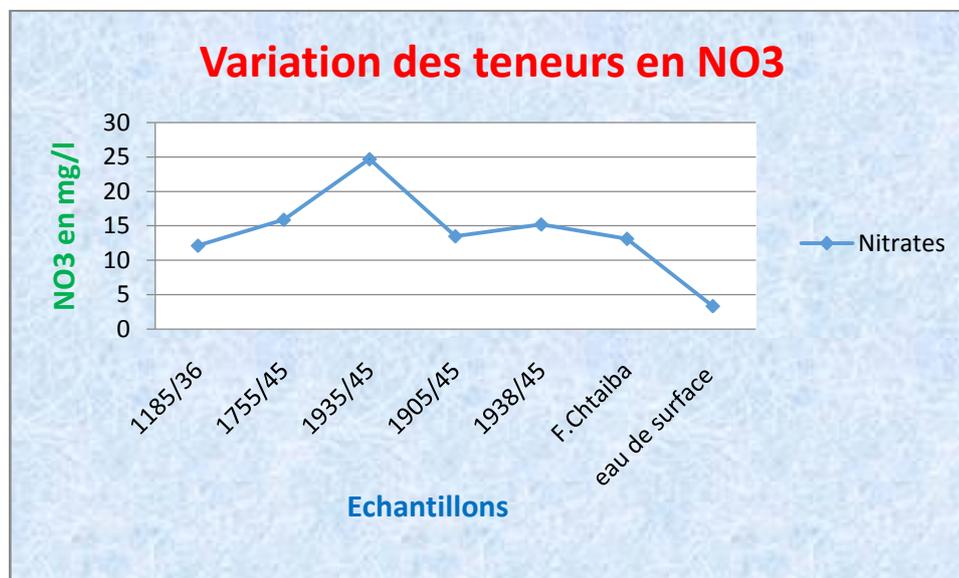


Figure 17 : Variation de la teneur en NO₃ en mg/l

Les fortes valeurs sont enregistrées au niveau du forage 1935-45 après le forage 1755-45 et les faibles valeurs sont au niveau d'échantillon de surface. Donc, la présence des fortes teneurs en nitrate dans le forage 1935-45 peut être expliquée par le fait que ce forage présente dans une ferme où on a essentiellement une activité agricole qui est caractérisée par une plantation de vigne où ils utilisent des engrais.

IV.2 DETERMINATION DES FACIES CHIMIQUES

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

Eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques.

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

- ✓ Le diagramme de Piper ;
- ✓ Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff ;

- ✓ Le diagramme de Stiff ;
- ✓ Le diagramme à coordonnées rayonnantes...

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

IV.2.1 Le diagramme de piper

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

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

IV.2.1. Le diagramme de schoeller Berkaloff

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

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

La projection de l'analyse relative à l'eau de surface de la région d'El Kelaa des Sraghna est représentée dans la figure 18 avec la couleur bleue. Cette eau est représentée dans le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, Ce faciès est le plus dominant dans la zone d'étude.

Les autres analyses concernent 6 analyses des eaux souterraines, ces eaux se répartissent aussi dans le faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésien. Elles ont une conductivité électrique toujours supérieure à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ce faciès est dû à l'interaction de l'eau avec les formations géologiques constituant le réservoir.

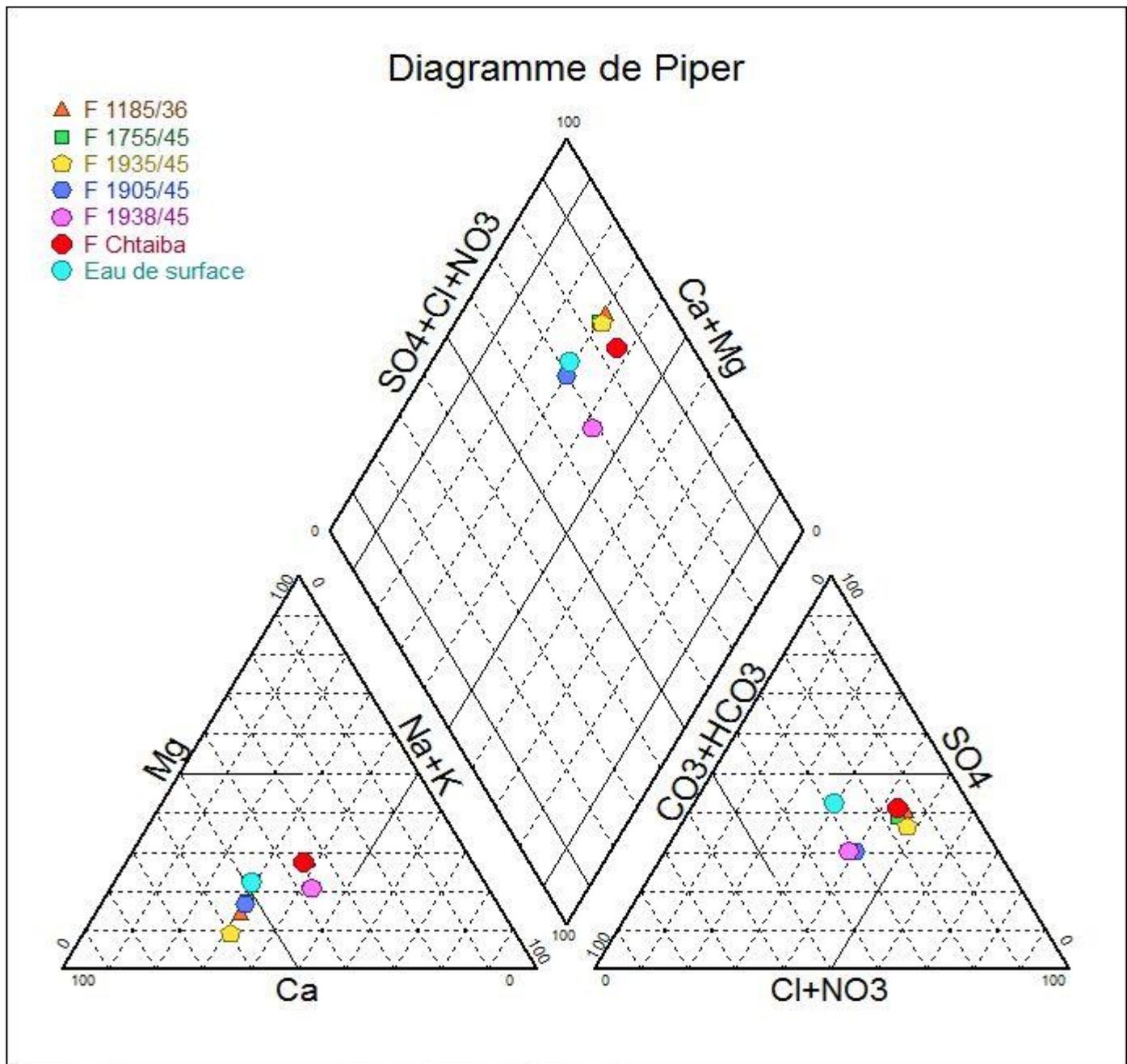


Figure 18 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines et de surface d'El Kelaa Sraghna

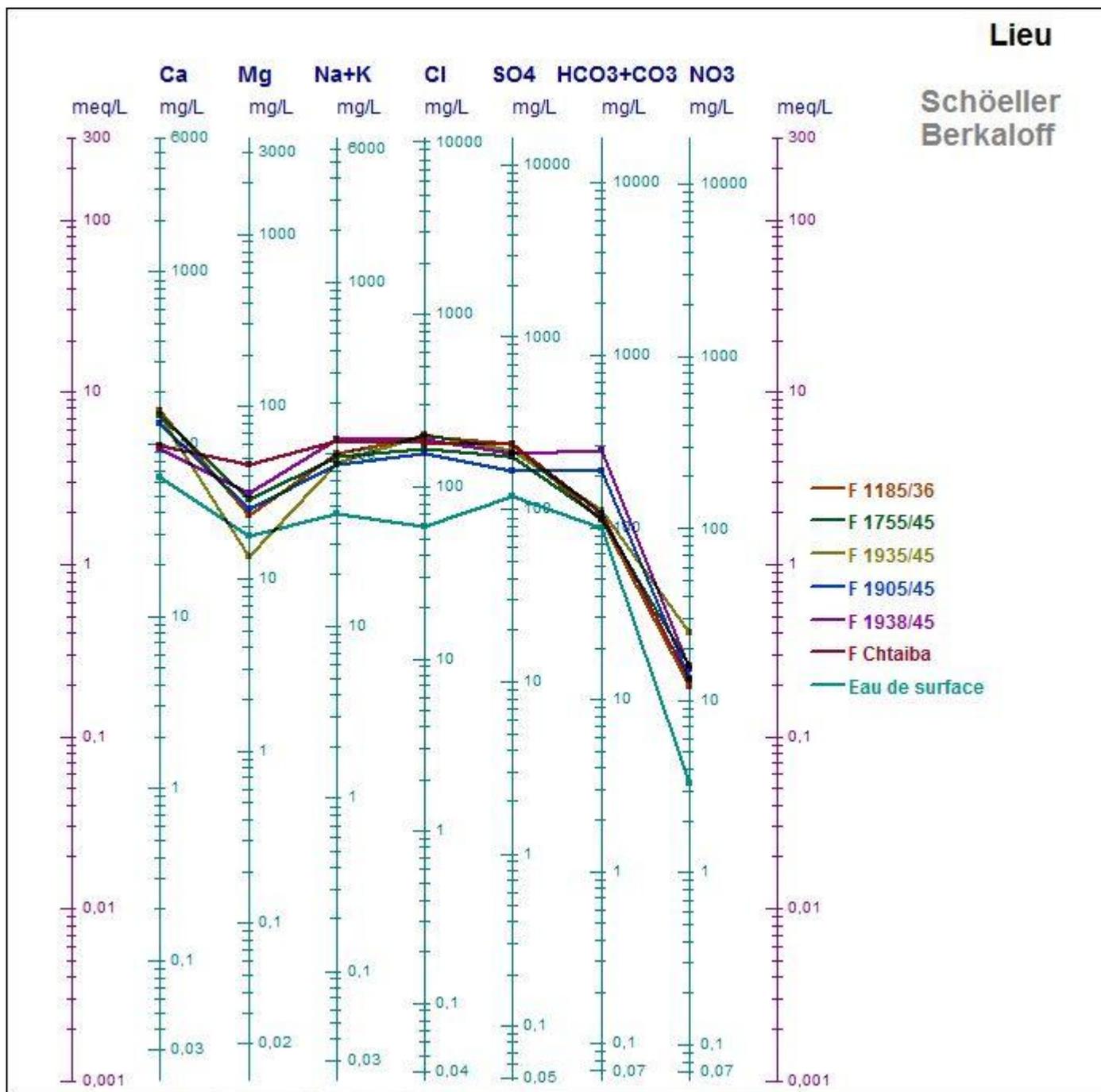


Figure 19 : projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux souterraines et de surface d'El Kelaa des Sraghna

CONCLUSION GENERALE

Les eaux souterraines constituent une ressource précieuse dans la région d'El Kelaa des Sraghna reconnue nationalement par sa production agricole considérable, ces eaux sont utilisées aussi dans l'alimentation des localités en eau potable surtout la ville d'El Kelaa des Sraghna moyennant des forages et puits. Cependant, cette ressource est soumise à une dégradation qualitative et quantitative continue, d'où la nécessité d'une surveillance continue de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

Le présent travail que j'ai effectué au sein de l'ONEE-branche eau- d'El Kelaa des Sraghna, qui est l'organisme responsable de l'approvisionnement en eau potable de la ville, consiste à analyser plusieurs échantillons issus de forages captant la nappe phréatique afin de déterminer la qualité de cette eau.

Les eaux analysées sont généralement de bonnes qualités et respectent les normes marocaines, sauf les échantillons des forages 1185/36, 1755/45, 1935/45 et 1905/45 qui montrent une teneur en Calcium dépassant les normes. Tous les échantillons appartiennent au faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésien, les teneurs en éléments majeurs sont presque identiques dans tous les échantillons. Comme la région d'El Kelaa des Sraghna est une région agricole, il faut faire attention à la pollution de la nappe par nitrates surtout dans les zones à abondance des fermes et parcelles.

ANNEXE

ANNEXE 1

Tableau des normes marocaines de potabilité des eaux

	PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Substances minérales	Nitrites	NO ₂ :mg/l	0,5
	Nitrates	NO ₃ :mg/l	50
	Arsenic	As : µg/l	10
	Baryum	Ba : mg/l	0,7
	Cadmium	Cd : µg/l	3
	Cyanures	CN : µg/l	70
	Chrome	Cr : µg/l	50
	Manganèse	Mn : mg/l	0,5
	Cuivre	Cu : mg/l	2
	Fluorures	F : mg/l	1,5
	Mercure	Hg : µg/l	1
	Plomb	Pb : µg /l	10
	Sélénium	Se : µg/l	10
	Bore	B: mg/l	0,3
Nickel	Ni : µg/l	20	
paramètres physico-chimiques	Potentiel hydrogène	Unités pH	6,5<pH<8,5
	Conductivité	µS/cm à 20°C	2700
	Chlorures	Cl:mg/l	750
	Sulfates	SO ₄ :mg/l	400
	Aluminium	Al : mg/l	0,2
	Ammonium	NH ₄ : mg/l	0,5
	Fer	Fe:mg/l	0,3
	Zinc	Zn: mg/l	3

- Référence :

Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau Potable –Branche Eau-
Débat National sur l'Eau. (2006) - ABHT. Rapport, 24p

RODIER J. (1996). L'analyse de l'eau. Edit. Dunod, 1965p.

SAHILI E. (1996). Problématique des rejets liquides et solides au niveau de la région hydraulique du Tensift, diagnostic, impact sur le milieu naturel, humain et proposition d'un plan d'action. Thèse d'ingénieur chef, Direction Générale de l'Hydraulique, Ministre des travaux publics, 178p

SMAIJ Z. (2011). Typologie de la qualité des ressources en eaux du bassin de Tensift Al-Haouz et cadre juridique de protection. Rapport de master Université Cadi Ayyad, Marrakech, 96p

ONEE, branche eau (2012) : Etude et suivi des travaux d'amélioration des rendements des installations de distribution d'eau potable aux centres de la direction régionale de l'ONEE/Tensift-branche eau. Rapport interne de l'ONEE - ville d'El Kelaa sraghna, 399p.

- Sites web :

<http://www.geojamal.com/2014/12/cartestopographiquesmaroc50000.html>

http://www.mapnall.com/fr/google/Google-Carte-g%C3%A9ographique-Province-dEl-Kela%C3%A2-des-Sraghna_1111528.html

http://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_de_l%27eau