

A graphic of a rolled-up scroll with the word 'Sommaire' written in a bold, serif font in the center.

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : L'eau souterraine	
1 .1. Introduction.....	3
1.2. Qu'est – ce qu'une nappe ?.....	4
1.3. Type des nappes	5
1.3.1. Nappe libre	5
1.3.2. Nappe captive	5
1.3.3. Nappe semi captive.....	5
1.4. Qu'est-ce qu'une aquifère.....	6
Chapitre 2 : Qualité des eaux souterraines	
2.1. Introduction.....	8
2.2. Qualité physico-chimique.....	8
2.2.1. Les paramètre physique.....	9
2.2.1.1. Températu	9
2.2.1.2. Turbidité.....	10
2.2.1.3. PH.....	10
2.2.1.4. La conductivité électrique	11
2.2.1.5. Couleur.....	12
2.2.1.6. Odeur.....	12
2.2.2. Les paramètres chimiques.....	13
2.2.2.1. Ions majeurs	13
• Lescations.....	13

❖ <i>Calcium</i>	13
❖ <i>Magnésium</i>	13
❖ <i>Sodium</i>	13
❖ <i>Potassium</i>	14
• Les anions.....	14
❖ <i>Sulfate</i>	14
❖ <i>Chlorure</i>	14
❖ <i>Nitrates et composés azotés</i>	15
❖ <i>Alcalinité</i>	16
2.2.2.2. Les éléments en trace	16
• Fer	16
• Nitrite.....	16
• Manganèse.....	17
• Arsenic.....	17
• Zinc.....	17
• Argent	17
• Aluminium	17
• Sulfure d'hydrogène	17
• Le cuivre.....	18
• Le fluor	18
2.2.2.3. Dureté	18
2.2.2.4. Oxygène dissous	18
• Oxygène.....	18
• DBO, DCO.....	19
2.2.3. Représentation graphique des résultats d'analyses.....	20
2.2.3.1. Le diagramme de Piper	20
2.2.3.2. Le diagramme de Scholler-Berkaloff	21
2.2.3.3. Le diagramme de STIFF.....	22
2.3. Qualité microbiologique des eaux souterraines.....	23

Chapitre 3 : Les normes de la qualité des eaux souterraines

3.1. Introduction.....	24
3.2. Substances chimiques dont la présence dans l'eau de boisson.....	25
3.3. Substance et paramètre de l'eau de boisson.....	25
3.4. Substances inorganiques.....	26
3.5. Eau destinée à l'irrigation.....	26
3.5.1. Conductivité	27
3.5.2. SAR.....	28
Conclusion Générale.....	31



Introduction
Générale

L'eau est une ressource indispensable à la vie. D'habitude, quand les personnes pensent à propos des sources d'eau, ils pensent à des rivières et des cours d'eau; en d'autres mots, eaux de surface. Mais, de toute l'eau douce utilisable dans le monde, approximativement 97 % est de l'eau souterraine.

Selon les Nations Unis, 10 millions de kilomètres cubes d'eau sont trouvés sous terre. United States Géologique Survey dit qu'il y en a environ 4,2 millions kilomètres cubes d'eau moins de 0,8 kilomètres de la surface de la terre.

Au fur et à mesure que les ans s'écoulent, la population s'accroît en s'accéléralant, augmente de plus en plus ses besoins unitaires en eau, pour elle même et pour toutes ses activités tel que l'agriculture, l'industrie, ect. Ceci car l'eau est une ressource indispensable à la vie.

L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, est fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines. Le traitement d'une eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. Voilà pourquoi il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent (Myrand, 2008).

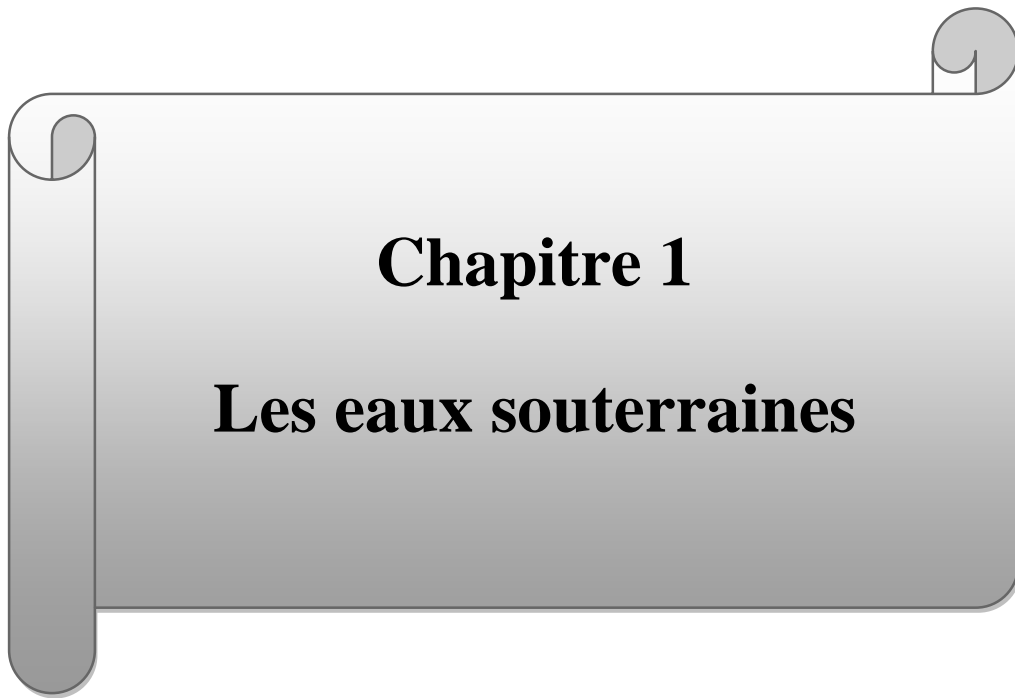
Les Agences de l'eau et le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ont souhaité harmoniser, moderniser et enrichir le système d'évaluation de la qualité des cours d'eau et mettre en place pareillement, un système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines qui puisse rendre compte de leur spécificité tout en restant cohérent avec le système mis au point pour les eaux superficielles (Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines SEQ ; Rapport de présentation 2003) et ainsi que certaines activités reliées au transport et à l'industrie ont contribuées à la contamination des eaux souterraines notamment par les produits pétroliers et l'utilisation massive d'engrais et de pesticides à des fins d'embellissement de propriétés privées et publiques est également un risque potentiel de contamination pour la nappe phréatique.

Le but de ce travail est de faire une synthèse bibliographique sur la qualité des eaux souterraines en générale. Le mémoire présenté est structuré comme suit :

En premier on commence par une introduction générale sur l'eau dans le monde

Le chapitre premier est consacré aux eaux souterraines

Le deuxième chapitre traite la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines. Enfin le troisième chapitre traite les normes des eaux souterraines d'AEP et d'Irrigation en Algérie et dans les autres pays du monde. Le travail est clôturé par une conclusion.



Chapitre 1

Les eaux souterraines

1.1. Introduction

Les glaciers représentent la plus grande réserve en eau douce de la planète (tableau N°01).

Avec environ 23% des stocks, les eaux souterraines couvrent la quasi-totalité des volumes restants. Les rivières et les lacs ne représentent que 0,3% des stocks. Contrairement aux glaciers, les nappes constituent une réserve relativement disponible pour l'homme. Elles sont en outre souvent mieux protégées que les eaux de surface (rivières et lacs) et forment à ce titre une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable (voir tableau 1).

Tableau N°01 : Répartition des réserves en eau de la planète

	Stock (km3)	% du total	% du totale eau douce
Océans	1 350 000 000	97,41	-
Glaciers	27 500 000	1,984	76,632
Eaux souterraines	8 200 000	0,592	22,8503
Mers intérieures	105 000	0,00758	-
Lacs d'eau douce	100 000	0,00722	0,2787
Sols	70 000	0,00505	0,195
Air	13 000	0,00094	0,0362
Rivières	1 700	0,00012	0,0047
Biosphère	1 100	0,00008	0,0031

Source : d'après Marsily, 1995.

Contrairement aux eaux de surface confinées à quelques canaux (les cours d'eau) et dépressions (les lacs), l'eau souterraine est omniprésente dans le sous-sol. Elle y remplit les interstices entre les particules du sol ou encore les crevasses et les fissures du roc. La formation de nappes d'eau souterraines ou « nappes phréatiques » résulte de l'accumulation d'eau infiltrée depuis la surface du sol suite, par exemple, à un épisode de pluie (1). **3**

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. L'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique; l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval (Myrand, 2008).

Dans le milieu poreux, on considère deux types d'eau :

- l'eau de gravité, entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens. Elle représente la fraction mobile dans le sol et contribue aux transferts de matière en solution et en suspension.
- l'eau de rétention immobilisée au cours de l'infiltration par les pores fins et très fins. Il est alors possible de considérer l'eau absorbée par la roche qui est retenue très énergiquement et n'est pas disponible pour les racines (Duchaufour, 1995 ; Alexander, 1977), et L'étude de l'écoulement en milieu poreux a fait l'objet de nombreux travaux (De marsily, 1981 ; Castany, 1982 ; Musy, 1991).

1.2. Qu'est – ce qu'une nappe ?

La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an.

1.3. Type des nappes :

1.3.1. Nappe libre :

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

Les nappes situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables.

1.3.2. Nappe captive :

Sont comprises entre deux couches géologiques imperméables qui confinent l'eau sous pression. Celle-ci peut jaillir dans des forages dits artésiens.

Les nappes captives sont souvent profondes de quelques centaines de mètres voire plus. Elles se renouvellent plus lentement. Leur alimentation provient pour partie de la zone affleurant de l'aquifère (2) et elles bénéficient d'une protection naturelle, représentée par la formation géologique imperméable sus-jacente. Elles sont de ce fait peu vulnérables aux pollutions de surface.

1.3.3. Nappe semi captive :

Le toit ou le substratum (ou de les deux) de la nappe sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau (ou de pression) avec la nappe superposée ou sous-jacente appelé drainante. Ce phénomène implique une nappe semi captive (Castany, 2008).

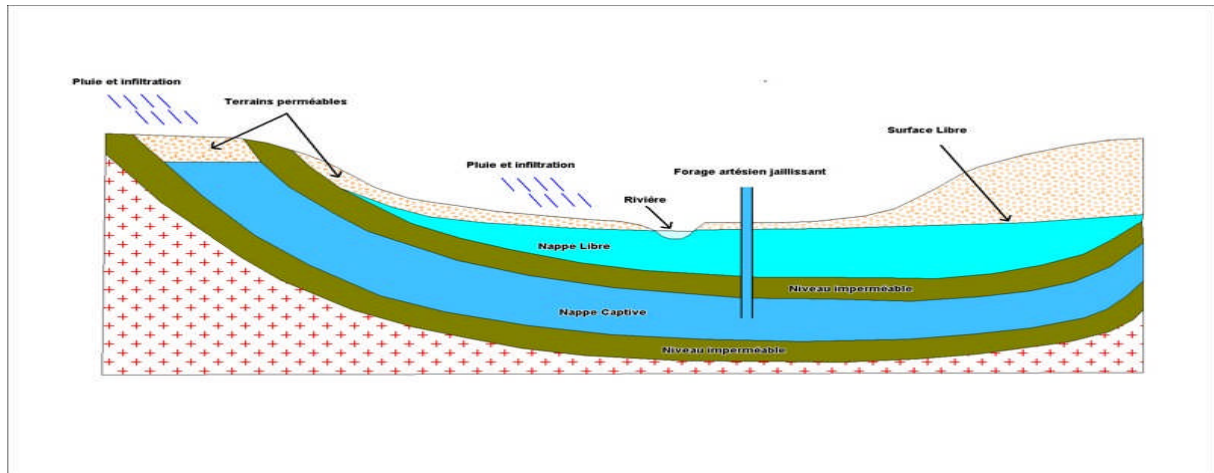


Figure N°01 : schéma des nappes libres et captives

1.4. Qu'est-ce qu'un aquifère :

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide (Castany, 1979).

Ils sont des couches de roches qui sont trouvés sous le sol et sont composés de roches perméables, du gravier, du sable ou d'argile d'où l'eau peut être extraite.

Les différents types de roches et du sol peuvent garder les montants différent d'eau, cependant les régions poreux (ou les espaces). Quand les espaces sont assez grandes pour contenir des quantités utilisables d'eau, il est appelé une aquifère. Grands particules comme sable ou gravier grossier peuvent garder plus d'eau que sable ou argile fin, parce que les espaces entre les particules de gravier sont plus grandes que les espaces entre les particules du sable fin. Alors, on peut dire que gravier a plus de porosité, ou habilité de garder d'eau, qu'argile.

Il y en a deux types de aquifères : des aquifères confinés et des aquifères libres. Toutes les aquifères se trouvent sur une couche imperméable d'argile ou de soubassement. Une aquifère confiné a aussi une couche d'argile ou de soubassement en dessus d'elle-même, une aquifère libre n'a pas cette couche. Certaines roches sont suffisamment poreuses ou fissurées pour contenir de l'eau. Ces aquifères sont généralement composés de deux zones :

- une zone non saturée comprenant le sol et la partie supérieure de la roche aquifère. Dans cette zone, l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores de la roche ;

- une zone saturée dans laquelle les interstices de la roche sont complètement saturés d'eau. Cette eau contenue dans la roche prend le nom de nappe. Contrairement aux idées reçues,

les eaux souterraines sont donc contenues dans les interstices (souvent microscopiques) de la roche et ne forment pas de vastes lacs ou rivières souterraines (excepté dans les aquifères karstiques).

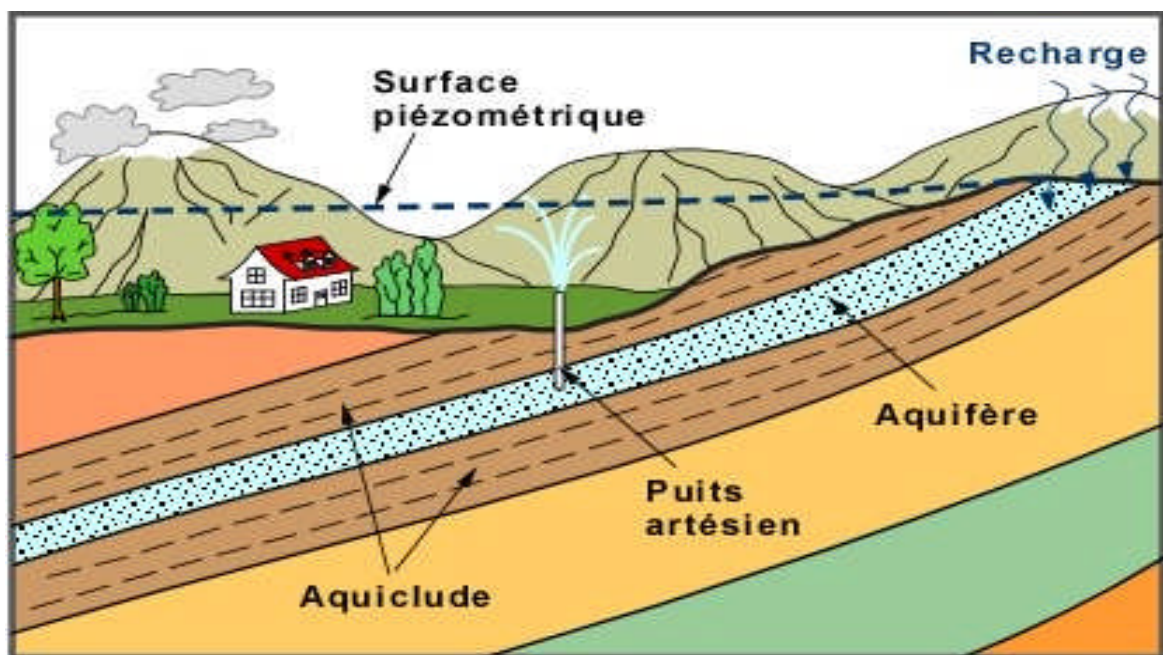


Figure N°02 : Schéma d'une aquifère



Chapitre 2

Qualité des eaux souterraines

2.1. Introduction :

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (Travi, 1993).

Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité et exempte de micro-organismes pathogènes. Celle-ci demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent en affecter la qualité et la rendre impropre à toute fin. L'épandage et le stockage de sels de déglacage (sels de voirie), les fuites de réservoirs d'essence, les débordements d'installations septiques et l'usage d'engrais et de pesticides sont quelques exemples de sources de contamination susceptibles d'affecter les eaux.

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l) (3). La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation.

2.2. Qualité physico-chimique :

L'attention est attirée sur le fait qu'une évaluation ponctuelle des eaux peut ne pas refléter la qualité globale d'une nappe souterraines ou d'une masse d'eau (3).

Les analyses physico-chimiques d'eau souterraine font référence à toutes les actions de détermination d'une valeur sur un échantillon, qu'ils s'agissent d'analyses, de mesures, d'observations, etc... Faites en laboratoire ou sur le site de la station de mesure.

Les informations relatives aux résultats d'analyse sont fournies par l'organisme chargé de l'analyse, et communiquées sous la responsabilité de l'organisme producteur de données qui confirme ou non le résultat au regard de la connaissance et du contrôle du processus de Production de la donnée et qui s'engage ou pas sur la vraisemblance et la représentativité de la donnée par rapport au milieu où a été réalisé le prélèvement (Sandre ,2011).

2.2.1. Les paramètre physique :

2.2.1.1. Température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages .Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liée à la température (conductivité notamment).De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet celle ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (Rodier,1984). Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

2.2.1.2. Turbidité

Certains paramètres physico-chimiques relatifs à la filtration, notamment la turbidité et le pH, sont parfois mesurés lors des études de détection des oocystes dans des échantillons environnementaux.

La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes (4).

L'appréciation du niveau quantitatif élevé de ces matières mesure le degré de turbidité. Il est également indiqué que les matières en suspension de dimensions inférieures à ces tailles sont celles qui jouent un rôle important dans le transfert des métaux (Rodier et al, 1996).

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques.....). Les désagréments causés par la turbidité auprès des usages est relative : certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des microorganismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes (4).

2.2.1.3. PH :

Le pH appelé encore potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions H_3O^+ dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau. Il a été rapporté que le pH (Kuhn et al, 2002) et la turbidité sont parmi les facteurs qui peuvent affecter la sensibilité de l'IMS (Di Giovanni et al, 1999), dont le facteur le plus important est la concentration en anhydride carbonique lié à la minéralisation (Rodier 1996) et dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966. Bermond, 1973). Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes (Marsily, 1995).

L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption (Kemp et al, 1992).

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau .Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et al, 1996).

2.2.1.4. La conductivité électrique :

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration....

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod,1985. Rodier,1984).Et elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée une quantité de sels dissous très importante (Rodier 1996) et elle donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau(X à 25°C)

Comme la température, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration

La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physico-chimique de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

Tableau N°02 : quelque indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	Minéralisation
Conductivité < 100	Minéralisation très faible
100< Conductivité<200	Minéralisation faible
200<Conductivité<300	Minéralisation moyenne
300<Conductivité<600	Minéralisation moyenne accentuée
600<Conductivité<1000	Minéralisation importante
Conductivité<1000	Minéralisation élevée

2.2.1.5. Couleur :

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 1976).

2.2.1.6. Odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel, cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation. Mais il ne permet pas d'apprécier des variations de moins de 30% des teneurs des substances ayant une odeur. Il présente sur le test de saveur l'avantage de pouvoir être pratiqué sur l'eau brute et d'être moins fatigant pour les opérations (Rodier, 1976).

2.2.2. Les paramètres chimiques :

2.2.2.1. Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions :

Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes (5).

- Les Cations :

❖ **Calcium** : Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc (Rodier, 1976).

❖ **Magnésium** : Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre.

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (Rodier, 1976).

❖ **Sodium** : Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.

Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^{2+} , par le processus d'échange de bases (Rodier, 1976).

❖ **Potassium** : Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (Rodier, 1976).

• Les anions :

❖ **Sulfate** : Mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite.

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte...

La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (Peck, 1970).

❖ **Chlorure** : La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer, ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire. La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium.

Selon les normes marocaines, la concentration en cet élément ne devrait pas dépasser les 300 mg/l (Bremond et Vuichard, 1973). Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (Humbert et Pommier, 1988 in Tarik, 2005).

❖ *Nitrates et composés azotés* : Les nitrates (NO_3^-) font partie du cycle de l'azote

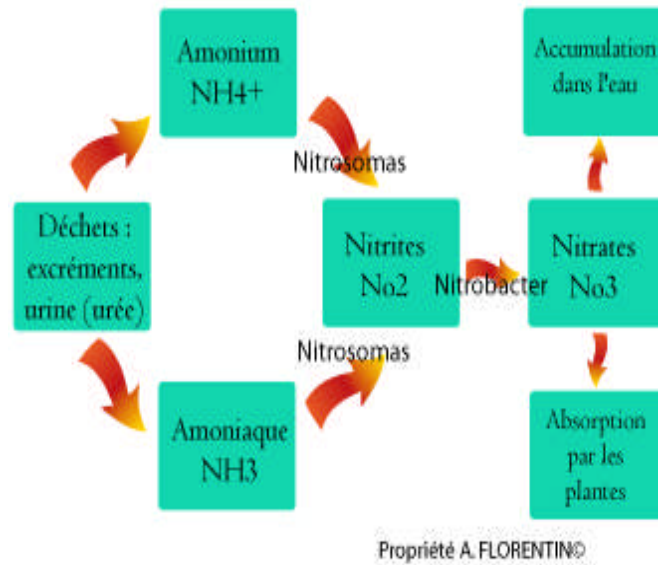


Figure N°03 : Cycle de l'azote

Le réservoir principal d'azote est l'atmosphère. Au niveau des eaux naturelles, l'azote provient essentiellement des pluies ($1 < c < 3\text{mg/l}$) et du drainage des sols.

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des micro-organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformé par des bactéries aérobies en nitrates (nitrification). Si conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et fixer sur les argiles et humus.

L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matière organique présente et aux conditions de milieu.

Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épurations ou plus simplement de latrines et fosse septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates.

L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. En effet, les nitrates absorbés avec l'eau sont réduits en nitrates dans l'intestin et se fixent sur l'hémoglobine, diminuant ainsi le transfert d'oxygène.

L'échelle de concentration en nitrate des eaux souterraines s'étend sur une large gamme. Une eau souterraine dont le milieu permet la dénitrification peut être exempte de nitrates. Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques, des engrais de synthèse ou naturels (Samak, 2002), elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Bengoumi et al, 2004).

Et en milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture, (Chapman et al, 1996).

- ❖ **Alcalinité** : L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau souterraine. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement.

2.2.2.2. Les éléments en trace :

- Fer :

Très répandu, le fer se classe au 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelque mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l (Rodier, 1976).

- Nitrite :

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 1976).

- Manganèse :

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries (Rodier, 1976).

- Arsenic :

L'arsénié est assez largement réparti dans la biosphère : les roches ignées en contiennent de 1 à 10 mg/kg. Les phosphates naturels 20 mg/kg les charbons 45 mg/kg et les pyrites 5 à 6 g/kg. Il se présente principalement sous forme du sulfure (Rodier, 1976).

- Zinc :

Le zinc se trouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minérale le plus répandu est le sulfure de zinc qui contient également du fer, du calcium, du manganèse et de l'arsenic. Les teneurs en zinc plus important dans les eaux à PH faible (Rodier, 1976).

- Argent :

L'argent est présent dans de nombreux minérales, le plus souvent sous forme de sulfure, c'est un sous produit de l'extraction du cuivre, du plomb et du zinc (Rodier, 1976).

- Aluminium :

La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium (coagulant). Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer.

D'après l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieurs à 0.2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une concentration de la coloration de l'eau par le fer.

- Sulfure d'hydrogène :

L'hydrogène sulfuré est un toxique majeur par inhalation. Dans les eaux, la présence de ce gaz et de sulfures est susceptible de provenir soit d'eau usée, soit de pollutions industrielles (Rodier, 1976).

- Le cuivre :

Le cuivre se présente dans la nature sous forme de minérale de cuivre natif. De minerais oxydés ou sulfurés, à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique (Rodier, 1976).

- Le fluor :

Le fluor dans les eaux souterraines est l'apatite présente dans les bassins phosphatés, et la fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons. Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées.

C'est essentiellement le temps de contact entre roche et eau souterraine, ainsi que contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode.

Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires. Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2mg/l.

2.2.2.3. Dureté :

Dureté de l'eau semble venir de ce qu'il était dur de laver avec une telle eau.

Sauf exception très particulière, la dureté à un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Rodier, 1976).

2.2.2.4. Oxygène dissous :

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau, la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

Alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous saturée. En effet, la forte présence de matières organiques dans l'eau souterraine permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

- Oxygène :

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau. L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau souterraine.

- DBO, DCO :

La DBO exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. D'après CHAPMAN et al. (1996), la DBO₅ des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l.

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique, d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium.

2.2.3. Représentation graphique des résultats d'analyses :

Les résultats d'analyse physico-chimique sont présentés sous formes de diagrammes qui autorisent une interprétation aisée. On distingue plusieurs types de diagrammes

2.2.3.1. Le diagramme de Piper :

Il permet de présenter sur un même schéma un grand nombre d'analyse qui peuvent être comparées visuellement de façon simple. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont % de mg/l (5).

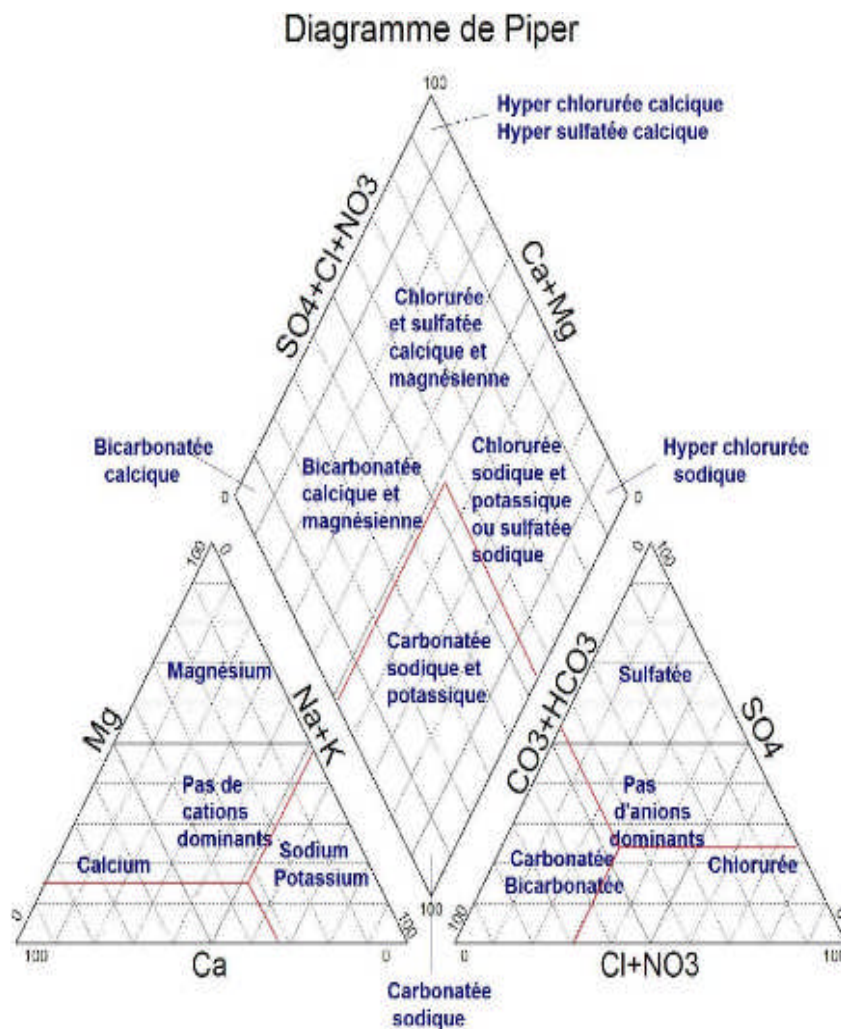


Figure N°04 : Diagramme de Piper

2.2.3.2. Le diagramme de Scholler-Berkaloff :

Ne permet pas présenter un nombre important d'analyses, mais autorise une comparaison quantitative des analyses : l'unité utilisée n'est plus un rapport (%) mais le meq/l ou. Les échelles de valeur sont graduées dans les deux unités (5).

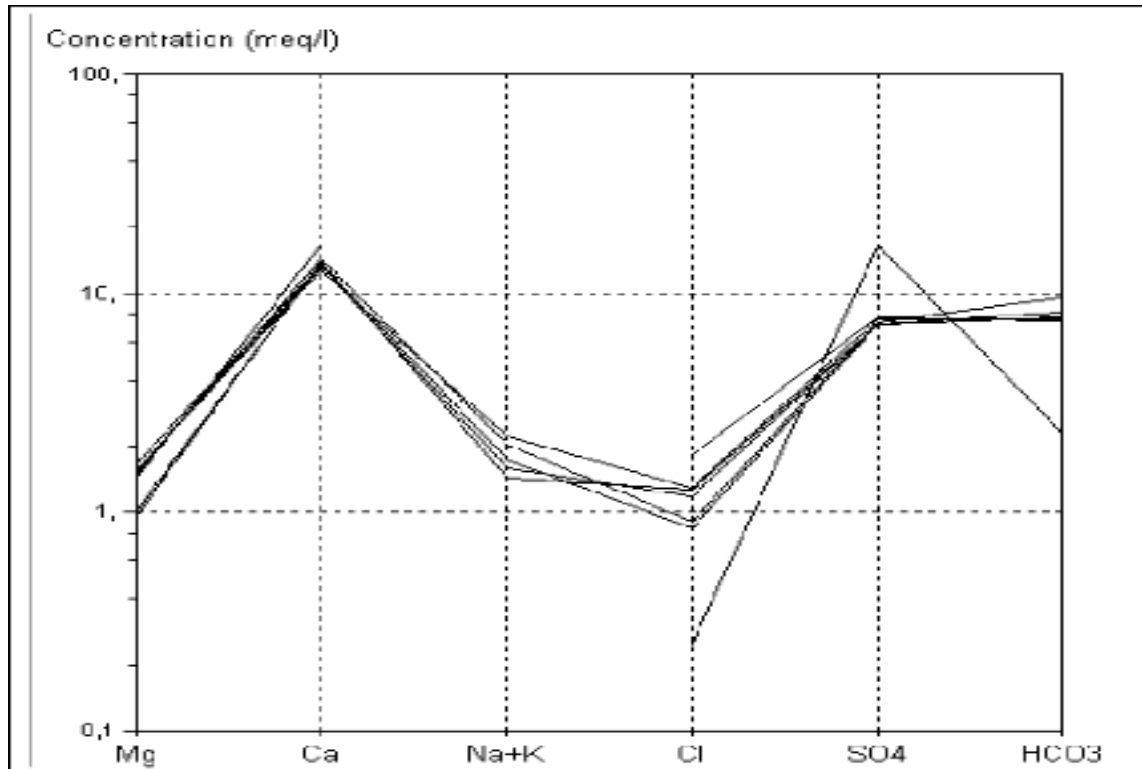


Figure N°05 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

2.2.3.3. Le diagramme de STIFF :

Très utilisé par les anglo-saxons, est semblable à celui de Scholler-Berkaloff quand à son intérêt. Les unités sont exprimées en meq/l.

Il est bien entendu possible de présenter les résultats sur des diagrammes plus classiques (5).

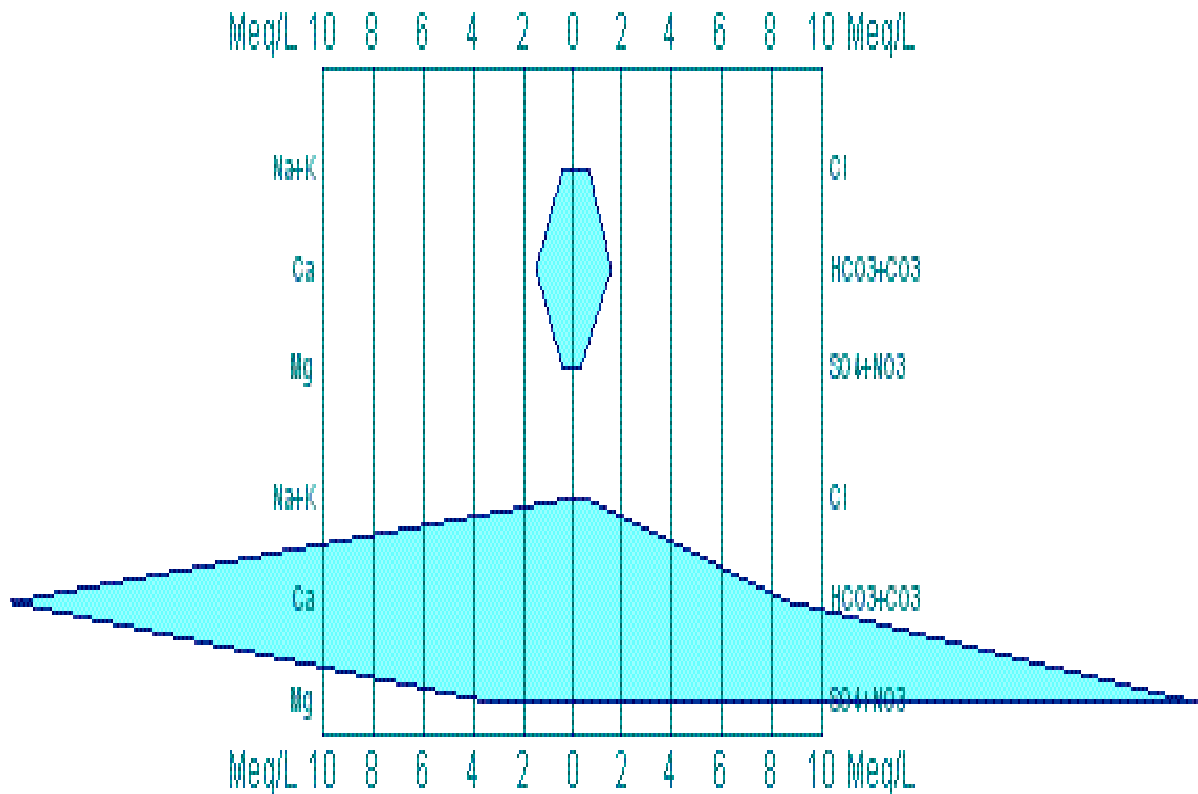


Figure N°06 : Diagramme de STIFF

2.3. Qualité microbiologique des eaux souterraines :

L'existence de microbes dans les eaux souterraines peut avoir plusieurs origines. Si certaines souches sont présentes à l'état naturel, d'autres proviennent en revanche de l'infiltration dans le sol de matières organiques provenant de fosses septiques, de décharges, d'épandages agricoles ou des réseaux d'assainissement.

Leur développement est toutefois limité par les conditions anaérobies qui sont généralement rencontrées en milieu souterrain. Il est à signaler que la vulnérabilité des aquifères de type karstique par rapport aux pollutions microbiologiques est plus forte car leur capacité épuratrice est souvent faible voire nulle (3).

A présent l'eau de la source respecte l'ensemble des exigences de qualité réglementaires et sanitaires elle peut être consommée sans restriction d'usage (Laziri et al, 2009).

et le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF), et *Clostridium perfringens* (CP) a été réalisé selon les techniques décrites par Rodier (1984).

Les organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau souterraine sont très nombreux et très variés. Leur présence est toujours liée à une pollution fécale de l'eau, de plus leur durée de vie dans l'eau est parfois très courte.



Chapitre 3

Les normes de la qualité des eaux souterraines

3.1. Introduction :

Les normes de qualité présentées dans les tableaux suivants font référence aux notons de substances dont la présence l'eau revêt une importance sanitaire et substance et paramètres pouvant donner lieu à des plaintes des utilisateurs issues de l'OMS. Néanmoins, dans les différents commentaires des directives de l'OMS, un nombre important de précautions et de dispositions sont prises pour monter que :

1-les valeurs indiquées doivent être utilisées en tenant compte du contexte local : structures des terrains, niveau de service local.

2-les circonstances exceptionnelles n'autorisent pas à respecter ces valeurs : guerre, catastrophe naturelle....

Aussi, il est indispensable de faire preuve de bon sens dans l'utilisation des ces normes.

Les tableaux suivants ont été construits à partir de la nomenclature de l'OMS. Les valeurs guides sont données d'après les Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2^{ème} édition 1994 OMS, et correspondent aux principaux paramètres retenus dans les normes de qualité d'eau de boisson. Les paramètres difficiles à mesurer et qui ne présentent pas de problème fréquents ne sont pas mentionnés. Il est cependant nécessaire de rester vigilant, notamment en zone urbaine ou industrialisée. Il est recommandé de contacter des personnes spécialisées en cas de problème spécialisées en cas de problème spécifique, et de se référer aux différents nomes qui proposent des valeurs guides d'éléments dangereux pour la santé non mentionnés dans cet ouvrage (5).

L'eau, élément vital s'il en est, est aussi agent efficace de transport et de dissémination de la pollution et des maladies (Lamy, 1995). C'est pourquoi nous devons prendre garde avec un soin extrême et une vigilance constante de sa qualité et de sa potabilité (Salamon, 2003).

La qualité de l'eau potable ou celui destiné à l'alimentation en eaux potables suscitent des inquiétudes pour la santé humaine dans des pays développés ou en voie de développement ; il devrait être exempté des impuretés et des agents pathogènes comme les bactéries (Alexander, 2008).

3.2. Substances chimiques dont la présence dans l'eau de boisson: (Rodier, 1976)

Tableau N°03 : Substance chimiques dont la présence dans l'eau de boisson revêt une importance sanitaire

Paramètres	Valeurs guide OMS (mg/l)	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Française (mg/l)	Les normes algériennes
Calcium	Pas de norme	100	100	75
Magnésium	Pas de norme	30	50	Pas de norme
Manganèse	0.5	0.02	0.05	
Nitrites	3	0.1	0.1	Pas de norme
Chlore	250	200	200	
Arsenic	0.01	0.05	0.05	0.05

Source : Rodier, 1976 et normes algériennes 1992

3.3. Substance et paramètre de l'eau de boisson :

Tableau N°04 : Paramètres physiques (organoleptiques)

Paramètre	Valeurs guide l'OMS	Les directives du conseil des communautés européennes	La réglementation Française	Les normes algériennes
Couleur	15 unités 15 mg/l pt	20 unités 20 mg/l pt	15 unités 15 mg/l pt	25 unités 25 mg/l pt
Gout et odeur	Acceptable	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	4 à 25 c°
Turbidité	5 NTU	4 Jackson	2 Jackson	5 NTU
température	Acceptable			

Source :Rodier, 1976

3.4. Substances inorganiques :

Tableau N°05 : Substances inorganiques

Paramètre	L'OMS	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Française (mg/l)	Les normes algériennes
Dureté (Ca ⁺ Mg ⁺)	Pas de norme	60 mg/l	15 degrés français	100 mg/l
Phosphate PO ₄ ⁻	Pas de norme	0.4 mg/l	0.4 mg/l	Pas de norme
Potassium k ⁺	Pas de norme	12 mg/l	12 mg/l	Pas de norme
Sulfates SO ₄ ²⁻	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	200 mg/l
Fer (fer)	0.3 mg /l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Oxydabilité	Pas de norme	2 mg/l d'O ₂	5 mg/l	Pas de norme
Oxygène	Pas de norme	75% les eaux	75% les eaux	5 mg/l
Dissous O ₂	norme	souterraines	Souterraines	
PH	<8	6.5 ≤ PH ≤ 9	6.5 ≤ PH ≤ 9	6.5 ≤ PH ≤ 9
Aluminium	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	Pas de norme
Sulfure (H ₂ S)	0.05 mg/l	Pas de norme	Pas de norme	
Chlorure	250 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	200 mg/l
Sodium (Na)	200 mg/l	200 mg/l	150 mg/l	Pas de norme

Source : Rodier, 1976

3.5. Eau destinée à l'irrigation :

Les eaux destinées à l'irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des terrains. Deux méthodes simplifiées permettent d'estimer l'aptitude de l'eau à l'irrigation, en fonction du type de sol.

3.5.1. Conductivité :

La mesure de la conductivité de l'eau permet de faire une estimation de sa minéralisation, et donc la quantité de sels dissous apportés au sol. Cette mesure est cependant incomplète car elle n'intègre pas le type de minéraux apportés.

Le tableau ci-dessous présente des classe d'aptitude de l'eau à irrigation, modifié d'après US Salinity laboratory, 1955.

Tableau N°07 : Conductivité et eau d'irrigation

Classe	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C	Remarque
C1	$0 < C < 250$	-faible minéralisation de l'eau - utilisation sur la plupart des cultures et des sols.
C2	$250 < C < 750$	-minéralisation moyenne -utilisation sur sols modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sels.
C3	$750 < C < 2250$	-eau salée -utilisation sur sols bien drainée et plantes tolérantes au sels . -contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire.
C4	$2250 < C < 5000$	-minéralisation forte. -utilisation non souhaitable en agriculture.

3.5.2. SAR :

Le diagramme de River Side est construit en croissant le SAR (Sodium Absorptions Ratio) calculé et la conductivité mesuré (figure n°7). Les expérimentaux sont reportés dans le diagramme, et l'indice croisé Cn-Sn est obtenu qui indique l'aptitude des eaux d'irrigation en fonction de cet indice croisé, modifié d'après US département of agriculture, 1994 (4).

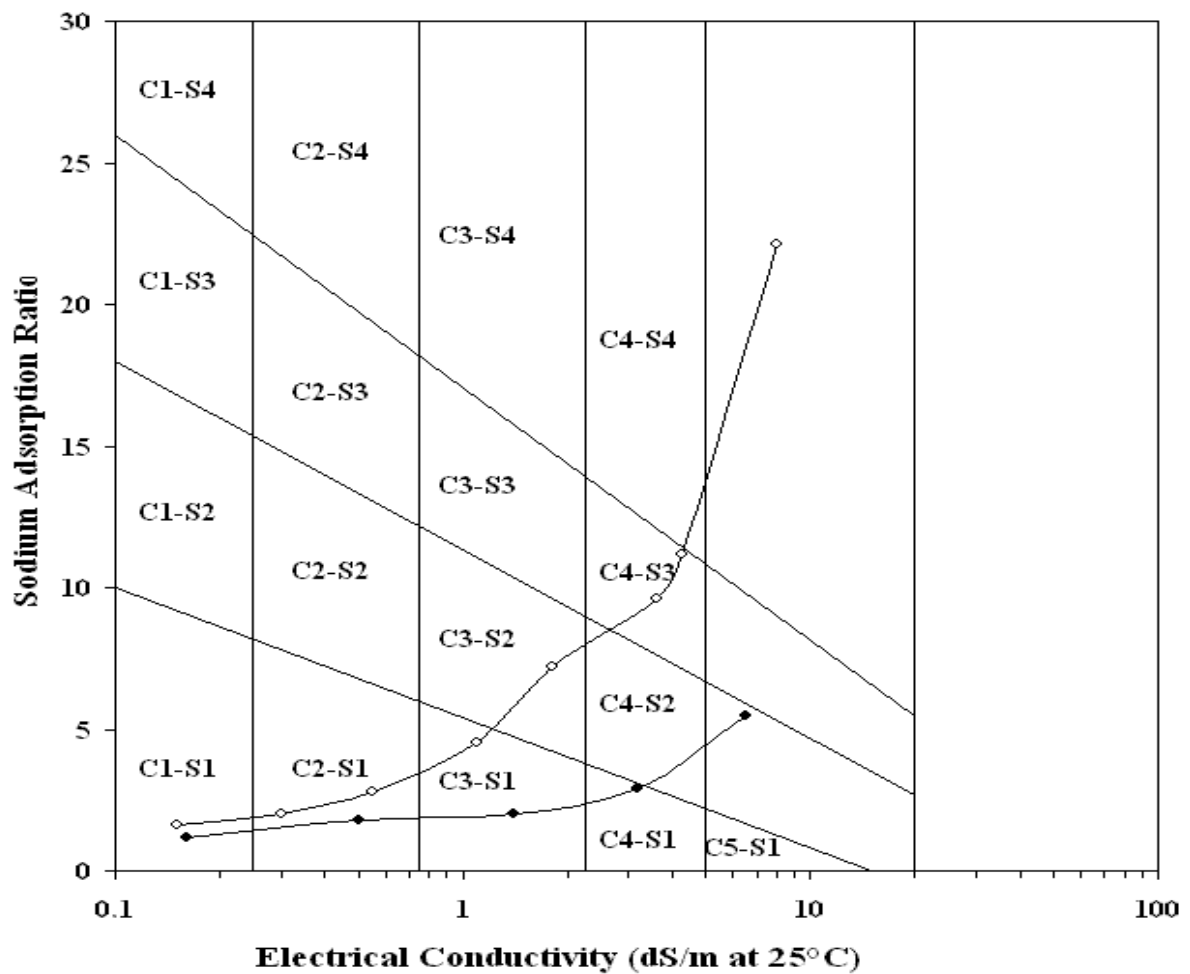
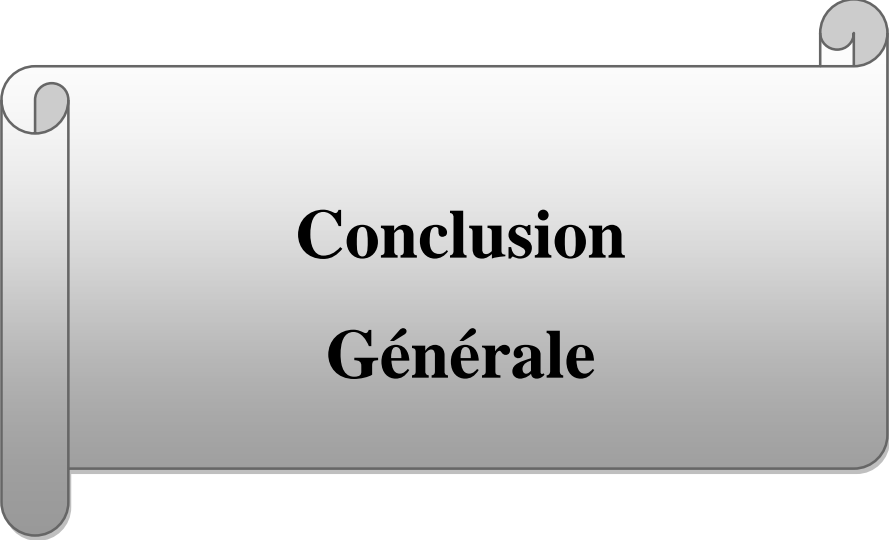


Figure N°07 : Diagramme de River Side

Tableau N°07 : Indice croisé SAR/Conductivité

Indice croisé SAR/Conductivité	Indication
C1-S1	-eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols.
C1-S2	-eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées. -le sol doit être bien drainées et lessivé
C1-S3	-le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajoute de matières organiques. -la teneur relative en Na peut être améliorée par la jonction de Gypse.
C1-S4	-eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables. -le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajoute de matières organiques. -la teneur relative en Na peut être améliorée par la jonction de Gypse.
C2-S1	-eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance eu sel.
C2-S2	-eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance eu sel. -sol grossier ou organique à bonne perméabilité.
C2-S3	-eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance eu sel. -sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques). -la jonction périodique de Gypse peu être bénéfique.
C2-S4	-eau ne convient généralement pas pour l'irrigation.

C3-S1	<p>-eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel.</p> <p>-sol bien aménagé (bon drainage).</p> <p>-contrôle périodique de l'évolution de la salinité.</p>
C3-S2	<p>-eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel.</p> <p>-sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage.</p> <p>-contrôle périodique de l'évolution de la salinité.</p> <p>-la jonction périodique de Gypse peut être bénéfique.</p>
C3-S3	<p>-espèces tolérantes au sel.</p> <p>-sol très perméable et bien drainé.</p>
C3-S4	<p>-eau ne convient pas l'irrigation.</p>
C4-S1	<p>-eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales.</p> <p>-peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol particulièrement bien drainé.</p>
C4-S2	<p>-eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales.</p> <p>-peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol particulièrement bien drainé</p>
C4-S3	<p>-eau ne convient pas l'irrigation.</p>
C4-S4	<p>-eau ne convient pas l'irrigation.</p>



**Conclusion
Générale**

Avant toute consommation d'eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico-chimique que microbiologique. La négligence de ce contrôle provoquerait l'apparition de maladies à transmission hydrique chez la population en cas de consommation d'eau polluée. Pour limiter des dépenses faramineuses en matière de santé lors d'apparition des maladies survenues suite à la consommation des eaux polluées il est nécessaire de lancer des campagnes de sensibilisation vis-à-vis la population vivante dans des conditions d'hygiène non conforme aux normes internationales.

Donc il est de ressort de toutes les instances concernées par le suivi et le contrôle de la qualité des eaux de mettre les bouchées doubles pour sauver les vies humaines.

Résumé

La connaissance de la qualité de l'eau est une condition primordiale permettant l'instauration d'un système de gestion qui contribuera à garantir l'approvisionnement en eau dans le futur.

Dans le cadre de ce travail, nous avons essayé de synthétiser des informations bibliographiques essentielles sur une étude de la qualité physico-chimique et microbiologiques des eaux souterraines en générale.

Ainsi que les normes internationales à respecter pour préserver cette denrée qui relève de l'avenir des générations futures. Car le siècle que nous vivons se repose sur la présence et l'utilisation rationnelle de l'eau.

Abstract

Knowledge of water quality is an essential condition for the establishment of a management system that will help ensure water supply in the future.

As part of this work, we tried to synthesize the essential bibliographic information on a study of the physico-chemical and microbiological quality of groundwater in general.

And international standards for preserving the food that falls within the future generations. As the century we live in is based on the presence and the rational use of water.

ملخص

معرفة نوعية المياه شرط أساسي لإنشاء نظام إدارة من شأنها أن تساعد على ضمان إمدادات المياه في المستقبل. كجزء من هذا العمل، حاولنا تجميع المعلومات الأساسية على دراسة نوعية الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه الجوفية في العام.

و القرن الذي نعيش فيه يقوم على أساس وجود والاستخدام الرشيد للمياه.



Liste des tableaux

Tableau N°01 : Répartition des réserves en eau de la planète.....	3
Tableau N°02 : quelque indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.....	12
Tableau N°03 : Substance chimiques dont la présence dans l'eau de boisson revêt une importance sanitaire.....	25
Tableau N°04 : Paramètres physiques (organoleptiques).....	25
Tableau N°05 : Substances inorganiques.....	25
Tableau N°06 : Conductivité et eau d'irrigation.....	26
Tableau N°07 : Indice croisé SAR/Conductivité.....	27



Liste des figures

Figure N°01 : schéma des nappes libres et captives.....	6
Figure N°02 : Schéma d'une aquifère.....	7
Figure N°03 : Cycle de l'azote.....	15
Figure N°04 : Diagramme de Piper.....	20
Figure N°05 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF.....	21
Figure N°06 : Diagramme de STIFF.....	22
Figure N°07 : Diagramme de River Side.....	28

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents MOHAMMED et HAYAT à mon frère OUSSAMA et mes sœurs FAHIMA et FAIZA.

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter ou rechigner. En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et par chacun pour me permettre d'atteindre cette étape incontournable de ma vie.

Avec toute ma tendresse.

Mes grands parents vivants et celle décédée KHADIDJA.

A mes oncles, tantes, cousins et cousines SALIM, ABDELHAK, BENAMAR, AYOUB, MOHAMMED, RAHIMA, NORIA, ANISSA, AMEL, FATIMA, KHADIDJA.

Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.

Affectueuse reconnaissance.

A mes amies AMINA.M, ASMA, AMINA.H ainsi que HAKIM et RABIE pour vos conseils qui ont marqué ma vie d'étudiante et toute la promo STE.

Farah.

Remercîment

Nous remercîe tout d'abord le bon DIEU, le tout puissant de nous avoir armé force de courage pour mener à terminer ce travail.

J'exprime ma très profonde gratitude à mes promoteurs M^{me} Adjim F et M^r Adjim M maitres de conférences au département d'hydraulique de la faculté de technologie .

Je remercîe également M^{elle} Fandi maitre de conférences au département d'hydraulique de la faculté de technologie pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Mes remercîments vont également à tous mes professeurs et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

References bibliographiques

ALEXANDER .P; Evaluation of ground water quality of Mubi town in Adamawa State,
B.R.G.M; Atlas hydrogéologique de l'Aisne, 1982.

BENGOUMI .M , TRAOURE. A, BOUCHRITI. N, BENGOUMI D et EL HRAIKI. A ;
Qualité de l'eau en aviculture .Revue trimestrielle d'information scientifique et technique –
Volume 3 – N°1 ; Maroc; pp 5-25, 2004.

BREMOND.R, VUICHARD. R ; Paramètres de la qualité des eaux, Documentation
Française, Paris, 1973.

CASTANY .G ; Principes et méthodes de l'hydrogéologie ,1979 . DUNOD.

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

De MARSILY.G ; Hydrogéologie quantitative. pp 215 ; Masson, Paris, 1981.

Di GIOVANNI .G.D, HASHEMI. F.H, SHAW. N.J, ABRAMS. F.A, Le CHEVALLIER
.M.W, ABBASZADEGAN; Detection of infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in
surface and filter backwash water samples by immunomagnetic separation and integrated cell
culture-PCR;Apply Environmental Microbiology; vol. 65. Pp 3427-3432,1999.

DUCHAUFOR. P ; Pédologie : sol, végétation, environnement. ; 4ème Edition ; Paris:
Masson, 323 p. (Abrégés), 1995.

DUSSART .B ; Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier-Villars ; ed ; Paris,
1966.

HCEFLCD : Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification. Etude
sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR dar CHAFAAI ; Cercle d'ELBROUGE ; Province de
Settat ; 201p, 2006.

KEMP .J.S, PATERSON. E, GAMMACK. S.M, CRESSER. M.S, Killham .K; Leaching of
genetically modified *pseudomonas fluorescens* through organic soils: influence of temperature,
soil pH and roots. Biology and fertility of soils; vol. 13, pp 218-224, 1992.

KUHN.R.C, Rock. C.M, Oshima. K.H; Effects of pH and magnetic material on
immunomagnetic separation of *Cryptosporidium* oocysts from concentrated water samples.
Applied and Environment Microbiology ; vol. 68 pp. 2066-2070, 2002

LAMY. M ; L'eau de la nature et des hommes. Collection « Scieteren »;Presse universitaire de Bordeaux ; France ; P 170, 1995.

LAZIRI.F ; Thèse de doctorat, Calculs urinaire marocains : Epidémiologie et exploration par l'analyse morpho-constitutionnelle ;p 181, 2009.

MARSILY. J.L; Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution; vol. 2, pp 1-15; WDSLEY, 1995.

MUSY. A, Soutter.M ; Physique du sol. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes ; Collection Gérer l'environnement ; 348 p, 1991.

MYRAND Diane. ing, M. Sc, GUIDE TECHNIQUE ; CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE POUR DES RÉSIDENCES ISOLÉES , 2008 .

PECK.H.D; Sulphur requirements and metabolism of microorganisms, 1970.

PESCOD.M.B; Design; operation and maintenance of waste water stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescodand Arar, 93-114, 1985.

RODIER .J, BAZIN .C, BROUTIN. J.P, CHAMBON. P, CHAMPSAUR. H, RODI .L ; L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer ; 8e édition. Paris: DUNOD ;1384 p, 1996.

RODIER. J ;L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris, 1984.

RODIER .J, l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8^{eme} édition ; pages (945 à1075), 1976.

SALAMON. J.N ; Danger pollution ; Collection « Scieteren » ; Presse universitaire de Bordeaux. Pessac; France ; Pp 46-47 2003.

SAMAKE .H ; Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001 ; 77p, 2002.

SANDRE: Dictionnaire des données ; Mesure de la qualité Mesure de la qualité des eaux souterraines des eaux souterraines, 2011.

SYSTEME D'EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : SEQ ; Rapport de présentation, 2003.

TARIK. A ; Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains

TRAVI Y ; hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal ,1993.



- 1- www.ec.gc.ca: Site Web d'Environnement Canada, 2006 (Mai 2013)
- 2- www.brgm.fr : site web : les eaux souterraines (Mai 2013)
- 3- <http://www.environnement.gouv.fr/rhon> : Les eaux souterraines (Mai 2013)
- 4- http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm : Santé Canada ; La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada 1995 (Mai 2013).
- 5- <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/prochure> (Mai 2013)