

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Abes Laghror – Khenchela-

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie

OPTION :

Gestion intégrée des ressources en eau et développement durable

Thème

Synthèse hydrochimique des eaux du bassin semi-aride de F'kirina

Présenté Par Ouanes Meyada

(Ingénieur d'état en Ecologie forestière et environnement)

Devant le Jury

Promoteur: Dr. HOUHA BELGACEM M.C.A (université Abes Laghror de Khenchela

Président:

Examineur :

Année universitaire 2011/2012

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Abes Laghror – Khenchela-

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie

OPTION :

Gestion intégrée des ressources en eau et développement durable

Thème

Synthèse hydrochimique des eaux du bassin semi-aride de F'kirina

Présenté Par Ouanes Meyada

(Ingénieur d'état en Ecologie forestière et environnement)

Devant le Jury

Promoteur: Dr. HOUHA BELGACEM M.C.A (université Abes Laghror de Khenchela

Président:

Examineur :

Année universitaire 2011/2012

Remerciements

Ce mémoire est le fruit de la contribution d'une volonté et c'est ainsi que nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à :

DIEU tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'étude afin que nous puissions en arriver là.

Nos gratitudee à D^r HOUHA Balgacem, notre promoteur, qui nous a encadré et guidé le long de ce travail avec ces aides morales et financières..., son soutien, ses encouragements, ses conseils et ses orientations très utiles, sans oublier son esprit critique, sa forte méthodologie, sa tendresse, sa gentillesse et surtout sa patience, nous vous prions de bien croire à nos profonds et sincère respects, nous vous disons mille mercis.

Nos remerciements vont également au :

Le président de jury pour nous avoir l'honneur d'accepter de présider le jury.

Examineur pour avoir accepté d'être l'examineur de ce modeste travail

Nos sincères remerciements à :

Tous nos enseignants au cours des années de notre étude sans exceptions, notamment :

M^r HOUHAMDI., M^r BEN OUNIS., M^r BOULABAYAZ., M^r VALLES., M^{elle} DALLAA., et...

Aux responsables de l'ADE Ain el Beida et l'hydraulique d'Oum el Bouaghi: M^r MAZIAN ..., qui ont su faire preuve de patience et de sympathie par le chaleureux accueil et leurs aides lors de nos séjours.

Tous les ingénieurs d' ANRH de Constantine, ainsi que : M^r HOCINE....sans oublier nos enseignant M^r Chakhab et ses collègues dans l'ADE et STEP de kenchela pour son soutien.

La direction de la station météorologique d'Oum el Bouaghi.

Le directeur et le personnel de l'ADE de F'kirina.

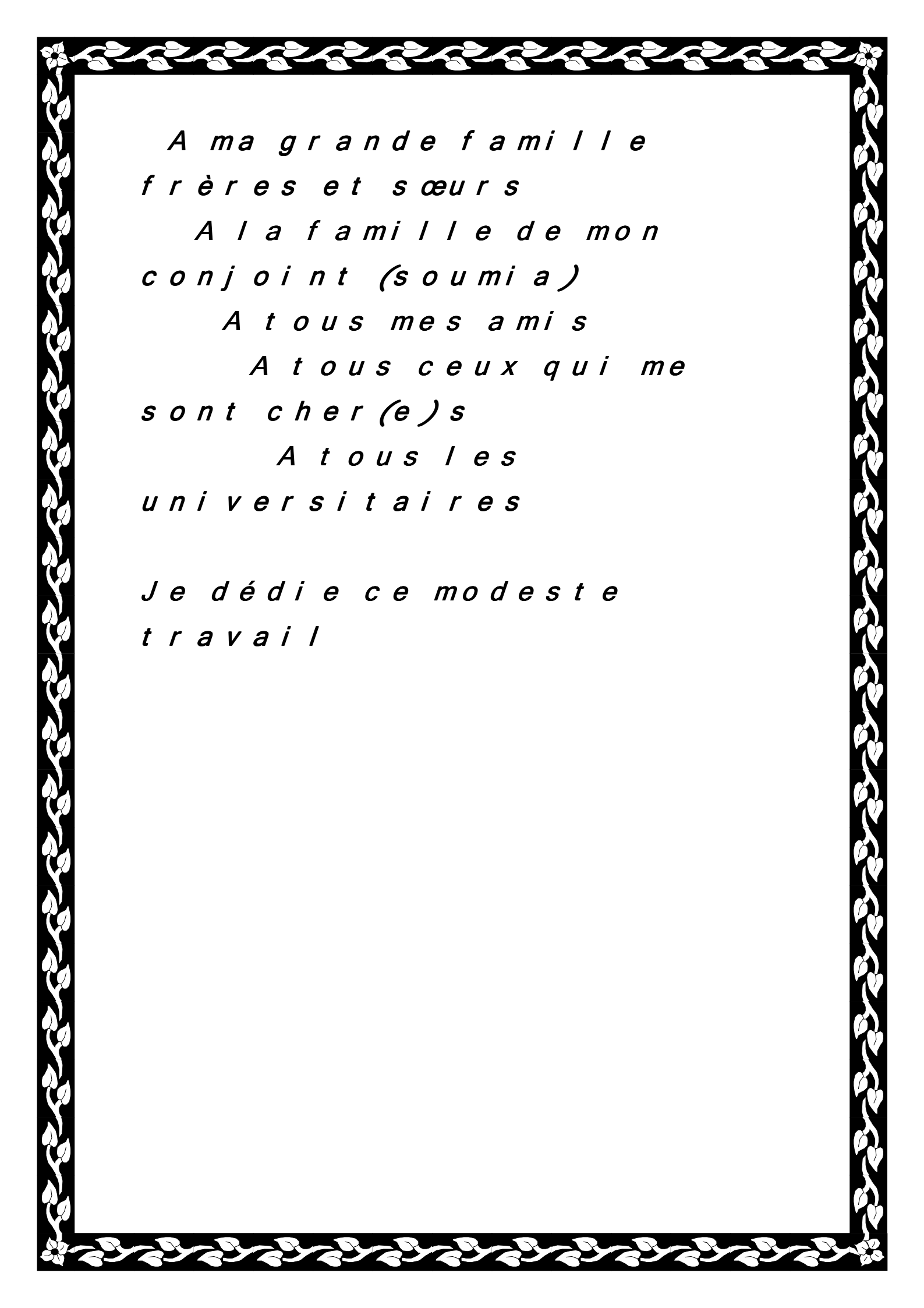
Le personnel de la bibliothèque de Kenchela, Constantine, Batna, Oum el Bouaghi.....

Enfin, nous remercions tous qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

D é d i c a c e s

*A l a m é m o i r e d e m e s
p a r e n t s p o u r e u x j e p r i e
D i e u l e t o u t p u i s s a n t
d ' a c c u e i l l i r m o n p è r e
d a n s s o n v a s t e p a r a d i s e t
d ' é x p r i m e r m a p r o f o n d e
r e c o n n a i s s a n c e à M a m è r e
q u i s ' a t t e n d l e r é s u l t a t
d e s a b o n n e é d u c a t i o n*

*A m a p e t i t e f a m i l l e
(m o n é p o u x H a l i m q u i o n t
s u p p o r t é m e s
p r é o c c u p a t i o n s e t m o n
s t r e s s e t p o u r t o u s l e
s o u t i e n e t
l ' e n c o u r a g e m e n t q u ' i l
m ' a v a i t d o n n é ; m o n f i l s
A h m e d d j a w a d q u e
D i e u l e g a r d e)*



*A ma grande famille
frères et sœurs*

*A la famille de mon
conjoint (soumia)*

A tous mes amis

*A tous ceux qui me
sont cher(e)s*

*A tous les
universitaires*

*Je dédie ce modeste
travail*

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
<i>Chapitre 1: Les ressources hydriques naturelles</i>	
1.1. Cycle de l'eau dans la nature.....	3
1.1.1. les précipitations.....	3
1.1.2. Le ruissellement.....	3
1.1.3. L'infiltration.....	4
1.1.4. L'évapotranspiration.....	4
1.1.5. En définitive.....	4
1.2. Eaux naturelles (Origine et caractéristique générales).....	4
1.2.1. Eaux superficielles.....	7
1.2.2. Eaux souterraines.....	8
<i>Chapitre 2: Aperçu géographique</i>	
2.1. Situation géographique.....	10
2.2. La topographie de la région.....	10
2.3. Le cadre géologique.....	14
2.4. La population.....	14
2.5. Le climat.....	14
2.6. Ressources hydriques.....	14
2.7. Assainissement	15
Conclusion	15
<i>Chapitre 3 : étude géologique</i>	
Introduction.....	16
3.1. TRIAS.....	18
3.2. CRETACE INFERIEUR.....	19
3.2.1. Turonien.....	19
3.2.2. Sénonien.....	19
3.3. EOCENE.....	19
3.3.1. Lutétien inférieur et supérieur – yprésien et thanétien.....	19
3.4. MIOCENE	19
3.4.1. Miocène inférieur: burdigalien-helvetien.....	19
3.4.2. Pontien.....	19

3.5. PLIOCENE.....	19
3.6. QUATERNAIRE.....	20
3.6.1. Ecailles de la CHEBKA des SELLAOUA.....	20
3.6.2. Zone de transition.....	20
3.6.3. Zone saharienne septentrionale.....	20
Conclusion.....	23

Chapitre 4 : Etude climatique

Introduction.....	24
4.1. La température.....	24
4.2. la pluviométrie.....	25
4.2.1. Nombre de jours de pluie.....	26
4.3. Evaporation.....	26
4.4. la gelée.....	27
4.5. L'humidité.....	27
4.6. Le vent.....	28
4.7. La grêle.....	30
4.8. La neige.....	30
4.9. La rosée.....	31
4.10. L'orage	31
4.11. Le brouillard.....	32
4.12. Indice d'aridité.....	33
4.13. Synthèse climatique.....	34
4.13.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	34
4.13.2. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger.....	34
4.14. Le climagramme de quotient pluviométrique d'Emberger	35
4.15. Le bilan hydrique	37
4.15.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)	38
4.15.1.1. ETR selon la formule de Turc.....	38
4.15.1.2. L'ETR selon la C.W .Thornthwaite.....	38
4.15.2. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)	39
4.15.2.1. D'après la formule de C.W .Thornthwaite.....	39
4.15.3. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)	40
4.15.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite.....	41
4.15.5. Estimation du bilan d'eau.....	41

4.15.5.1. Les différentes composantes du bilan.....	42
4.15.5.1.1. Ruissellement.....	42
4.15.5.1.2. Estimation de la lame d'eau infiltrée.....	43
Conclusion	44
<i>Chapitre 5 : étude hydro chimique</i>	
Introduction	45
5.1. Résultats des analyses de l'eau.....	45
5.1.1. Les paramètres physico-chimiques.....	46
5.1.1.1. La température (°C)	47
5.1.1.2. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)	47
5.1.1.3. Conductivité électrique (CE)	47
5.1.1.4. Minéralisation.....	48
5.1.2. Etude analytique des éléments chimiques	49
5.1.2.1. Les bicarbonates (HCO_3^-).....	49
5.1.2.2. Les sulfates (SO_4^{2-})	50
5.1.2.3. Les nitrates (NO_3^-).....	51
5.1.2.4. Les chlorures (Cl^-).....	52
5.1.2.5. Le calcium (Ca^{2+}).....	53
5.1.2.6. Carte de magnésium (Mg^{2+})	55
5.1.2.7. Carte de sodium (Na^+).....	56
5.1.3. Etude des rapports caractéristiques.....	57
5.1.3.1. Rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$	57
5.1.3.2. Rapport $r \text{Ca}^{2+}/r \text{SO}_4^{2-}$	57
5.1.3.3. Rapport $r \text{Na}^+/r \text{Cl}^-$	58
5.1.4. Faciès chimiques des eaux	59
5.1.4.1. Répartition graphique.....	59
5.1.4.1.1. Diagramme de Piper.....	59
5.1.4.1.2. Diagramme de Diagramme Schoeler Berkloff.....	61
5.1.4.1.3. Classification de Richard.....	69
5.1.4.1.3.1. Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards.	71
Conclusion.....	72
Conclusion générale.....	73
Bibliographie.....	75

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure 1 : cycle de l'eau dans la nature	03
Figure 2 dimensions de diverses particules présentes dans les eaux naturelles.....	05
Figure 3 : Disponibilité et répartition de l'eau douce sur terre	06
Figure 4 : la nappe libre et la nappe captive	09

CHAPITRE II :

Figure 5 : situation des hauts plateaux constantinois.....	11
Figure 6 : limites administratives	12
Figure 7 : Extrait de la carte topographique	13

CHAPITRE III :

Figure 8 : carte géologique de F'kirina	17
Figure 9: Carte géologique de Nord-Est algérien	18
Figure 10 : Coupe géologiques dans le bassin de F'kirina	22

CHAPITRE IV :

Figure 11 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (1995-2010).....	24
Figure 12 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (1995-2010).....	25
Figure 13 : Diagramme des moyennes de nombre de jours de pluies de la période (1995/2010).....	26
Figure 14 : Diagramme des moyennes mensuelles de la hauteur totale de la période (1995-2010).....	27
Figure 15 : Diagramme des moyennes mensuelles des nombres des jours des gelées de la période(1995/2010).....	27
Figure 16: Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (1995-2010).....	28
Figure 17 : Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents (m/s) de la période (1995-2010).	28

Figure 18 : Diagramme des moyennes mensuelles de la direction des vents (°) de la période (1995-2010).	29
Figure 19 : Diagramme des moyennes mensuelles de nombre des jours de sirocco (m/s) de la période (1995- 2010).	29
Figure 20 : La rose des vents correspondant à la région d'étude	29
Figure 21 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (1995-2010).	30
Figure 22 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (1995-2010).	30
Figure 23 : Diagramme des moyennes du nombre de jours de rosée de la période (1995-2010).	31
Figure 24 : Diagramme des moyennes des nombres de jours d'orage de la période (1995-2010).	32
Figure 25 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de brouillard de la période (1995-2010)	32
Figure 26: Abaque de l'indice d'aridité (MARTONNE).	33
Figure 27 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls {station O.E.B (1995-2010)}	34
Figure 28 : climagramme d'Embergie pour la commune de Fkirina.	36
Figure 29: évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle.	40
Figure 30: schéma explicatif du bilan.	42

CHAPITRE V :

Figure 31 : Carte d'inventaire des points d'eau 2011.	46
Figure 32 : carte de répartition spatiale de minéralisation.	48
Figure 33 : carte de la distribution des teneurs en bicarbonate dans les eaux souterraines du bassin de F'kirina	49
Figure 34 : carte de la distribution des teneurs en sulfate dans les eaux souterraine.	51
Figure 35 : carte de la distribution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines.	52
Figure 36: carte de la distribution des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines	53
Figure 37 : ... carte de la distribution des teneurs en calcium dans les eaux souterraines	54

Figure 38: carte de la distribution des teneurs en magnésium dans les eaux souterraines.....	55
Figure 39 : carte de la distribution des teneurs en sodium dans les eaux souterraines.....	56
Figure 40 : Courbe de variation du rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$ dans la nappe de F'kirina.....	57
Figure 41 : Courbe de variation du rapport $r \text{Ca}^{2+}/r \text{SO}_4^{2-}$ dans la nappe de F'kirina...	58
Figure 42 : Courbe de variation du rapport $r \text{Na}^+/r \text{Cl}^-$ dans la nappe de F'kirina.....	58
Figure 43 : Diagramme des analyses des eaux de surface du bassin versant de F'kirina.....	60
Figure 44 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P1-P11).....	62
Figure 45 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P12-P22).....	63
Figure 46 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P23-P33).....	64
Figure 47 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P34-P44).....	65
Figure 48 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P45-P55).....	66
Figure 49 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P56-P66).....	67
Figure 50 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P67-P77).....	68
Figure 51: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin Selon la méthode du SAR.....	70
Figure 52: Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de F'kirina.....	71

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau 1 : classification des éléments rencontrés dans l'eau	04
---	----

CHAPITRE IV

Tableau 2: l' ETR selon la formule de turc	38
Tableau 3: ETR selon la C.W Thornthwaite	38
Tableau 4 : bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'Oum Elbouaghi (1995-2010.....)	41
Tableau 5 : La lame d'eau ruisselée pour la station d'Oum El Bouaghi	43
Tableau 6 : La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique.....	43
Tableau 7 : les composantes du bilan hydrologique	43

Introduction générale

L'eau représente la vie, dont on est sensé la protéger contre toutes formes de pollution pour assurer sa pérennité. L'eau représente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio économique, depuis l'aube de l'humanité.

La pollution de l'eau dans nos villes est d'autant plus préoccupante car l'eau peut être considérée comme le milieu récepteur final de toutes formes de pollution. Ces milieux récepteurs sont les eaux superficielles telles que les lacs, les étangs et les cours d'eaux ainsi que les aquifères. Cependant, ce ne sont ni les sources de pollution ni l'ampleur et encore moins la nocivité des polluants mis en jeu, qui rendent le problème de pollution de l'eau crucial.

Les causes de la pollution de l'eau sont nombreuses et variées, les plus connues sont celles liées à l'activité humaine et notamment :

- L'urbanisation, par la forte consommation de l'eau qu'elle engendre, qui entraîne la production d'une quantité considérable d'eau usée surtout domestique. Ainsi l'utilisation des cours d'eau comme dépotoir de déchets ou encore comme lieux de vidange des fosses septiques engendre une pollution par les excréta.
- L'industrialisation est l'une des causes majeures de la pollution de l'eau dans nos villes surtout en absence des dispositions pour traiter les effluents liquides ou gazeux avant leur rejet dans le milieu naturel.
- Les autres causes de pollution de l'eau sont liées à la mauvaise gestion des eaux usées et au mauvais drainage de certaines villes.

Les principales manifestations de la pollution de l'eau sont d'ordre physico-chimique, bactériologique, biologique, épidémiologique ou (éco) toxicologique.

Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.

L'Algérie dispose d'une grande capacité de réception avec seize grands bassins versants, comme le bassin versant de F'kirina qui appartient au bassins versants des hautes plateaux Constantinois.

Introduction générale

La région d'étude (la plaine de F'kirina) se situe au Sud-est de la ville d'Oum El Bouaghi à l'Est Algérien. Cette plaine s'étale sur une superficie de 342.08 km². L'étude proposée a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, climatique, avec une synthèse hydrochimique des ressources en eau de la région.

Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace?

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté la méthodologie suivante:

1. Généralité sur l'eau comportera à expliquer les eaux souterraines.
2. Un aperçu géographique de la région de F'kirina;
3. Une étude du cadre géologique consistera à définir les formations aquifères;
4. L'étude hydroclimatologique du bassin versant de F'kirina, qui permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les aquifères ;
5. L'étude hydrochimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps de ces faciès. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

1. Les ressources hydriques naturelles

1.1. Cycle de l'eau dans la nature

L'eau sous ses différents états suit dans la nature un vaste cycle que résume le schéma de la figure suivante (**figure 1**):

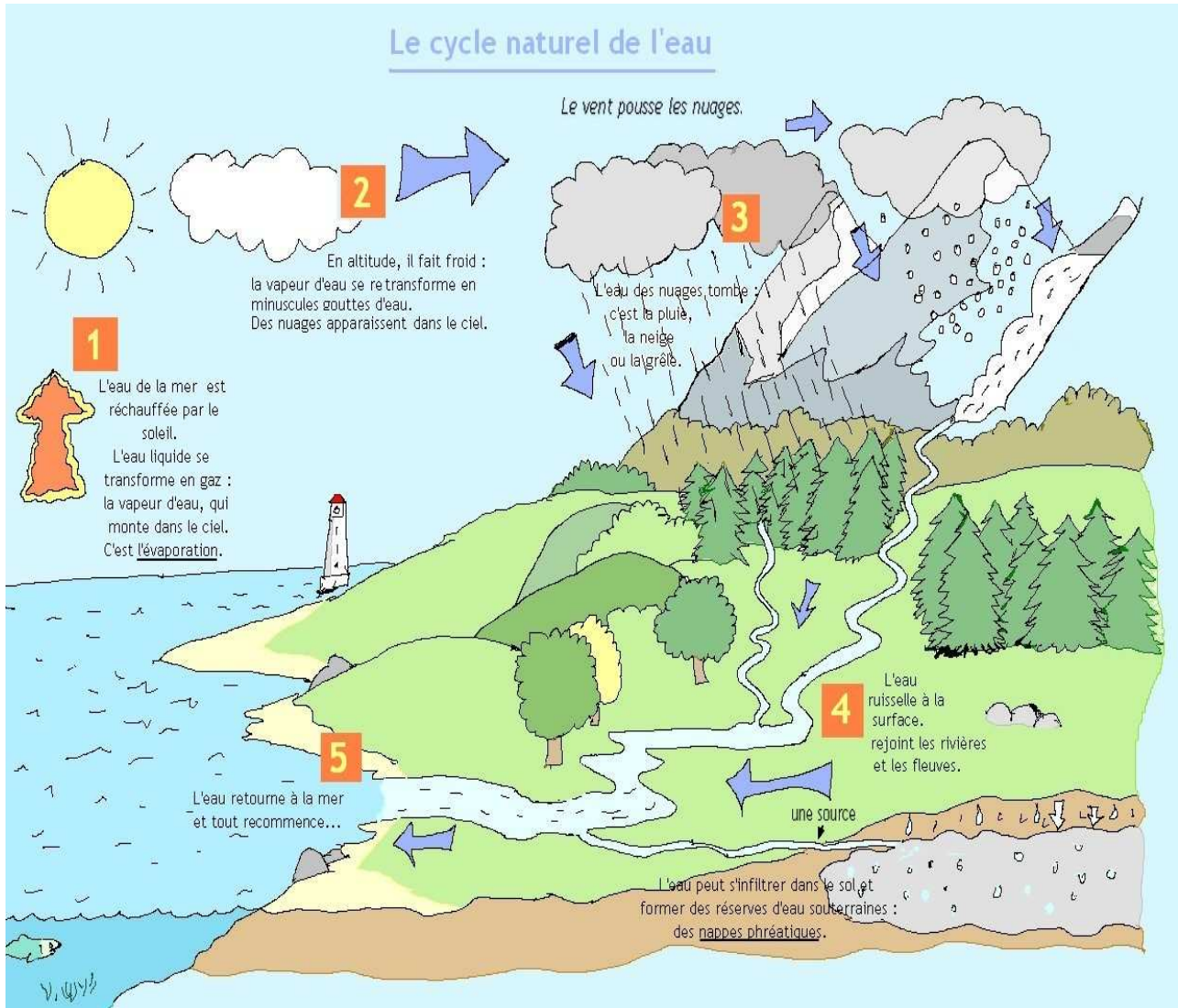


Figure 1: cycle de l'eau dans la nature

1.1.1. Les précipitations: la vapeur d'eau atmosphérique se condense en nuage qui engendre des précipitations sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Les précipitations, qui constituent l'origine de presque toutes nos réserves en eau douce, sont variables d'une région à l'autre suivant le climat et le relief qui sont des facteurs essentiels.

1.1.2. Le ruissellement: parvenue sur le sol, une partie des précipitations s'écoule à sa surface vers le réseau hydrographique et les étendues d'eau libre (lacs, mers), c'est le ruissellement de surface.

1.1.3. L'infiltration: une partie des précipitations pénètre dans le sol et dans le sous sol où elle alimente les eaux souterraines constituant le stock d'eau du sol et les réserves des nappes aquifères.

1.1.4. L'évapotranspiration: c'est la somme des pertes par transformation de l'eau en vapeur. On distingue deux composantes: l'une constituée par le retour direct de l'eau dans l'atmosphère (phénomène physique), et l'autre constituée par la transpiration des plantes.

1.1.5. En définitive, il existe une circulation de l'eau analogue à celle que provoquerait un gigantesque appareil distillatoire. Le cycle se trouve donc fermé, ce qui se traduit par un bilan globale exprimant l'égalité des pertes et des gains:

Précipitations=ruissellement+évaporation+infiltration

1.2. Eaux naturelles (Origine et caractéristique générales)

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes) des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs rivières) et des eaux de mer.

Pour satisfaire ses propres besoins et en particulier pour la production d'eau potable, l'homme a recours essentiellement aux ressources d'eaux douces (eau souterraines et de surface), l'eau de mer s'avérant difficilement utilisable, dans la mesure où les dispositifs de dessalement conduisent à des coûts de production très onéreux, voire prohibitifs.

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais "pure"; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels ruisselle. Ces éléments peuvent être présents dans l'eau sous les trois états (gaz, liquide, solide), posséder un caractère minéral ou organique parfois toxique et, à l'état particulière, avoir les dimensions très variables comme l'indique la **figure 2**.

Une classification très succincte des éléments rencontrés dans l'eau permet d'établir **le tableau 1**

Nous procédons ci après à une analyse de l'origine et des caractéristiques générales des ressources d'eaux douces utilisées à des fins de production d'eau pour la consommation humaine.

Tableau1- classification des éléments rencontrés dans l'eau	
Etat ou forme des éléments dans l'eau	Nature des éléments
Matière en suspension	Sables, argiles, boues diverses. Roches en débris, matières organiques, minérales, et végétales. Débris divers insolubles.
Matière en émulsion	Matières organiques colloïdales. Huiles minérales, goudrons, suies

	pétrole, argiles colloïdales.
Matières organiques solubilisées	Tourbes, déchets végétaux, matières azotées. Produits de synthèse organique soluble, etc.
Sels minéraux	Carbonates, calcium Bicarbonates magnésium Sulfates, } de sodium Chlorures, potassium Nitrates, etc. ammonium etc.
Gaz	Oxygène, azote, gaz carbonique, ammoniac, parmi les principaux.
Organismes vivants d'origine végétale, animale, bactérienne et virale.	

Dimension de la particule

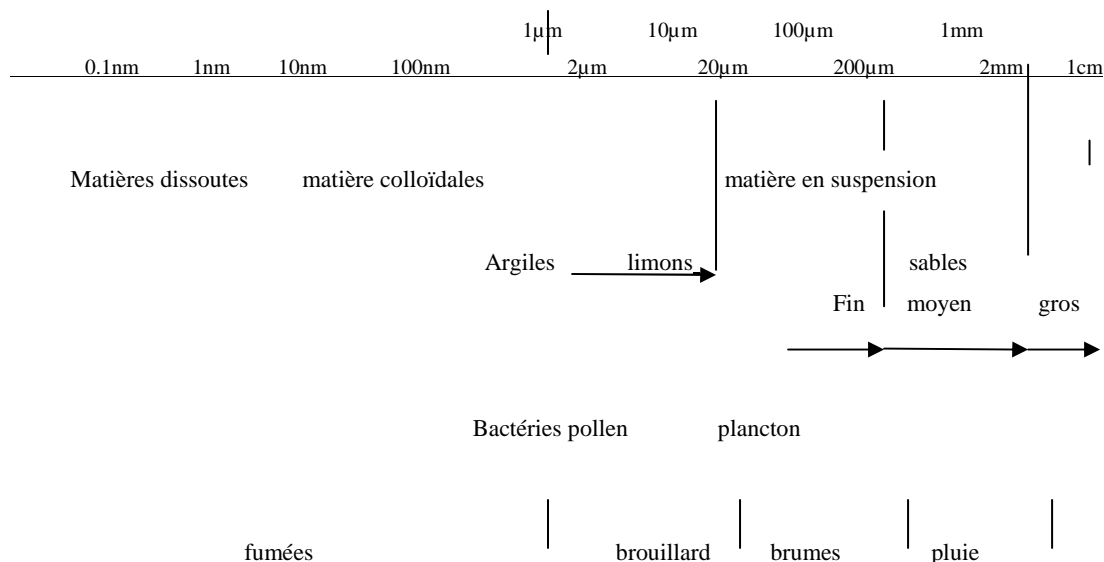
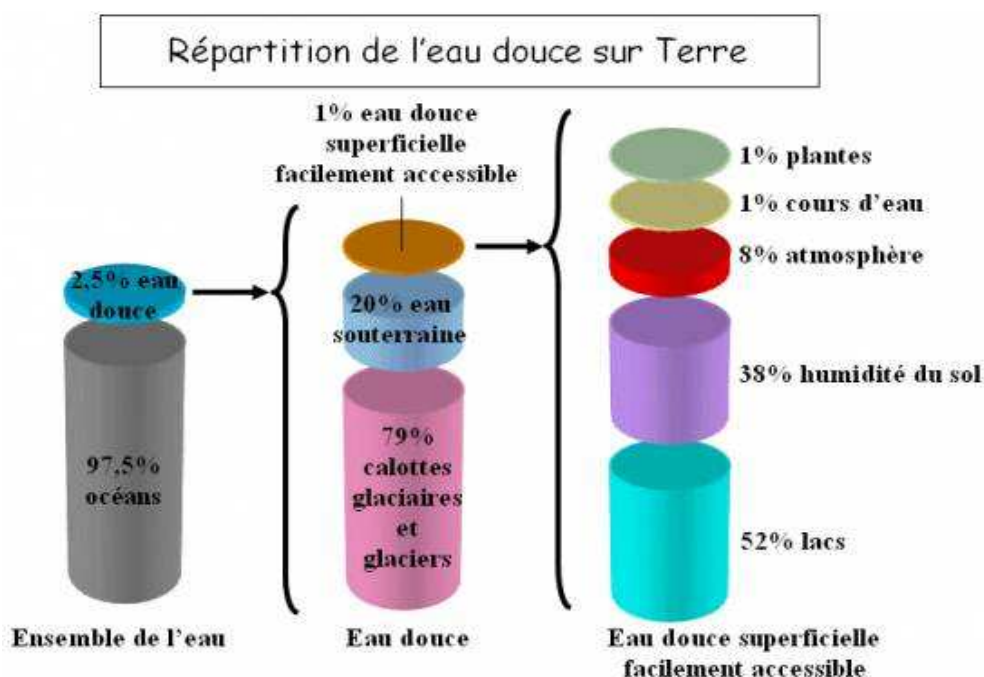


Figure 2: dimensions de diverses particules présentes dans les eaux naturelles

Si la quantité globale d'eau douce disponible chaque année sur l'ensemble de la planète est importante, localement les situations sont très contrastées car l'eau douce est répartie de manière très inégale sur notre globe. Dans certaines régions, l'eau coule d'abondance, pour le régal des riverains, dans d'autres cependant la sécheresse domine.

Dans une région donnée du globe, l'eau disponible en terme de flux dépend du bilan entre les quantités d'eau précipitées et les quantités d'eau évaporées, la différence entre les deux représentant l'écoulement. Ce facteur est essentiel pour comprendre la répartition de l'eau sur les différents continents. Il n'est pas le seul : le régime des pluies l'est également (figure 3).



Le monde de la soif

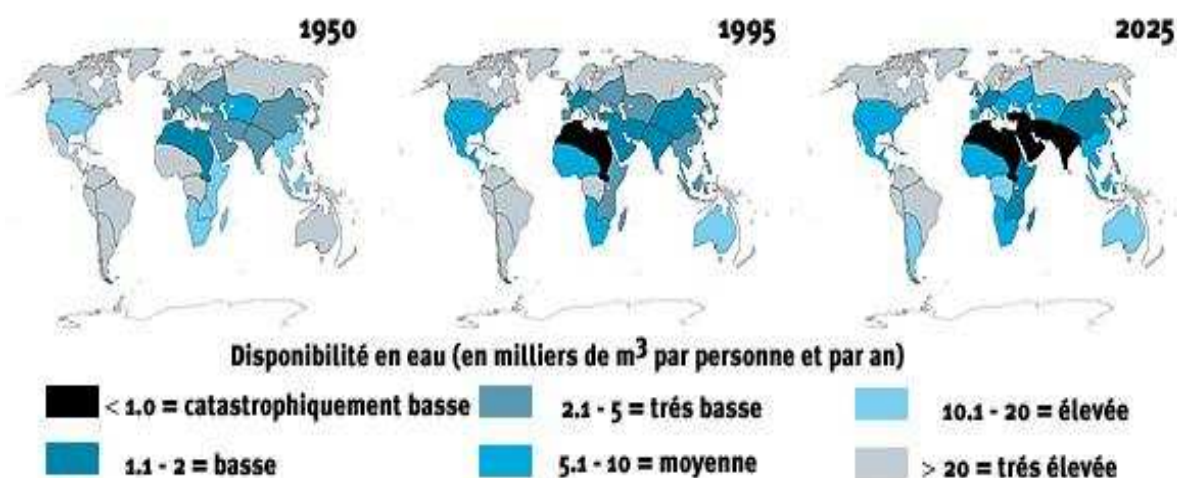


Figure 3 : Disponibilité et répartition de l'eau douce sur terre

1.2.1. Eaux superficielles

Elles sont constituées par toutes les eaux circulent ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais, malheureusement, fragile et vulnérable, qui doit être protégées contre les divers facteurs de pollution qui la menacent. Ces facteurs résultent, pour la plupart, de l'activité humaine et industrielle, mais aussi de processus naturels (eutrophisation) qui peuvent dégrader la qualité de l'eau.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants ou hydrologiques. Au cours de son cheminement, l'eau dissout et se charge des différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (oxygène, gaz carbonique, azote)

Ce qui caractérise les eaux superficielles 5 ce sont :

- Les variations saisonnières (car climatique) et, à degré moindre, journalière des paramètres physiques: température, turbidité, et coloration. Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdale peuvent être importantes, tout en étant aléatoires, suite à des pluies soudaines, des orages et des pollutions accidentelles.
- Le développement plus ou moins important de phytoplancton (algues), de zooplancton et, dans certaines conditions, d'une vie aquatique intense;
- La présence fréquente de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux après leur mort;
- La fragilité de la ressource, très vulnérable à la pollution urbaine, industrielle et agricole. On y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale (métaux lourds, sulfures) ou organique (hydrocarbure, phénols, solvants, pesticides, herbicides, etc.) pouvant avoir un caractère toxique ainsi que des substances azotées et phosphatées à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

Sur le plan bactériologique, ces eaux de surface sont contaminées plus ou moins par des bactéries (dont certaines pathogènes) et des virus. D'une manière générale, on doit considéré que les eaux de

surface sont très rarement utilisables pour les besoins industriels et, a fortiori, pour la production d'eau potable à l'état brut, elles doivent être soumises à des traitement de purification qui dans certains cas peuvent être particulièrement sophistiqués.

1.2.2. Eaux souterraines

Les eaux qui ne sont ni réévaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et le sous-sol pour s'y accumuler et constituer les eaux souterraines.

La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et en particulier de leur structure et topographie qui déterminent le type de réservoirs aquifères appelés nappes, et du mode de circulation souterraine.

Selon les conditions géologiques, on peut distinguer différents types de nappes: nappes libres (limité par une couche imperméable à sa surface inférieure, mais reste libre sur sa surface supérieure), nappes captives (confiné) (formation saturée limitée par deux couches imperméables qui restreignent les mouvements de l'eau. (**Figure 4**).

Les eaux souterraines issues des nappes captives et superficielles sont des ressources en eau exploitées par l'homme pour divers usages. La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité. Cependant cette qualité peut être altérée lorsque des substances extérieures entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables voire toxiques qui rendent l'eau souterraine impropre et toxique pour divers usages notamment pour l'usage eau de boisson.

L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines. Dans les pays en développement, obtenir de l'eau saine pour la consommation humaine est devenu un sérieux problème du fait d'un manque de protection de l'environnement. L'approvisionnement non permanent en eau potable par le réseau de distribution nationale a conduit les populations à recourir aux eaux souterraines. (Matini et al. 2009).

Remarque: 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 (définition de Margat et Castany). 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.

Une **nappe** est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique (Margat et Castany).

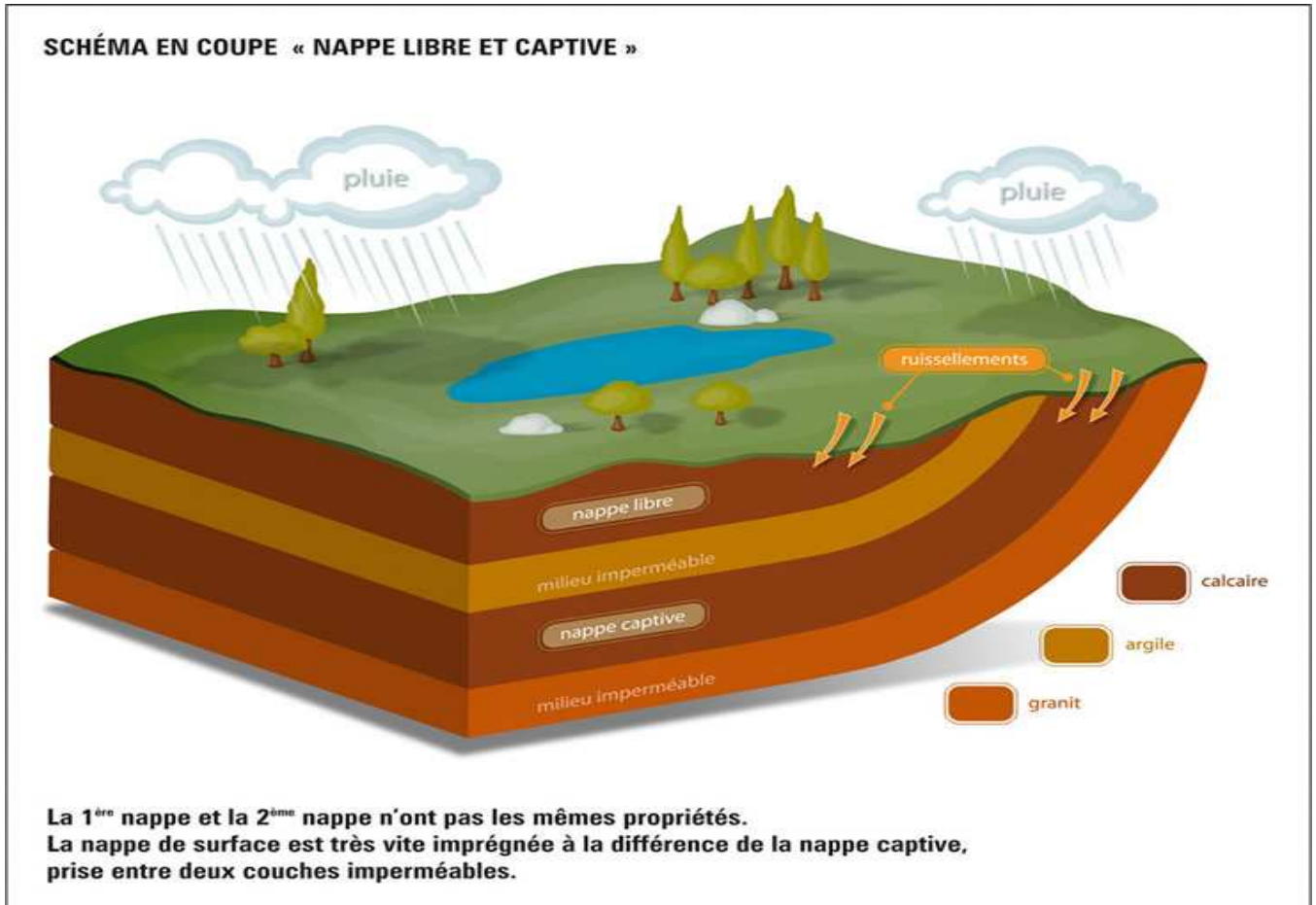


Figure 4 : la nappe libre et la nappe captive

2. Aperçu géographique

2.1. Situation géographique

La commune de F'Kirina représente une partie des hautes plaines constantinoises à 900 m d'altitude au dessus du niveau de la mer, elle s'étend sur une superficie de 342.08 km² (**figure 5**).

Elle se trouve à une distance de 55 km au sud-est du chef lieu de wilaya d'Oum El Bouaghi; à 40 km au Nord Est de Khenchela; , et à 18 km du siège de la Daïra de Ain Al Beidha . Traversée par la route nationale 80 qui permet la liaison de Oum El Bouaghi avec Khenchela .

Elle est limitée au Nord par Ain Beida, la commune de Zorg et la commune de Berriche, au Sud par La commune d'Oued Nini., à l'Est par la commune d' El d'jazia, et à l'Ouest par la commune d'Oum El Bouaghi et Ain Zitoun et au Sud Ouest par La commune de M'Toussa (willaya de Khenchla) (**figure 6,7**).

Elle est parmi les communes qui ont été construites depuis l'ère coloniale. Elle a été promu en tant que commune suite à la Division Administrative pendant l'Année 1974, puis en tant que Daïra en 1990 pour inclure Oued Nini, et le rassemblement secondaire Oum Al-Jamal, et y apparaisse aussi plusieurs MACHATI. Elle est considérée comme un secteur principalement rural agro-pastoral.

2.2. La topographie de la région:

La topographie joue un rôle déterminant dans la conception du réseau. F'Kirina se caractérise par son site plat sans aucun accident apparent avec des pentes faibles variant entre 1et 2%.

L'altitude moyenne est d'environ 850

La région de F'Kirina est constituée de formation ci-après du bas vers le haut on constate une couverture de terrain constitué essentiellement de calcite intercalant, des couches plus minces, de marne dure et d'argile.

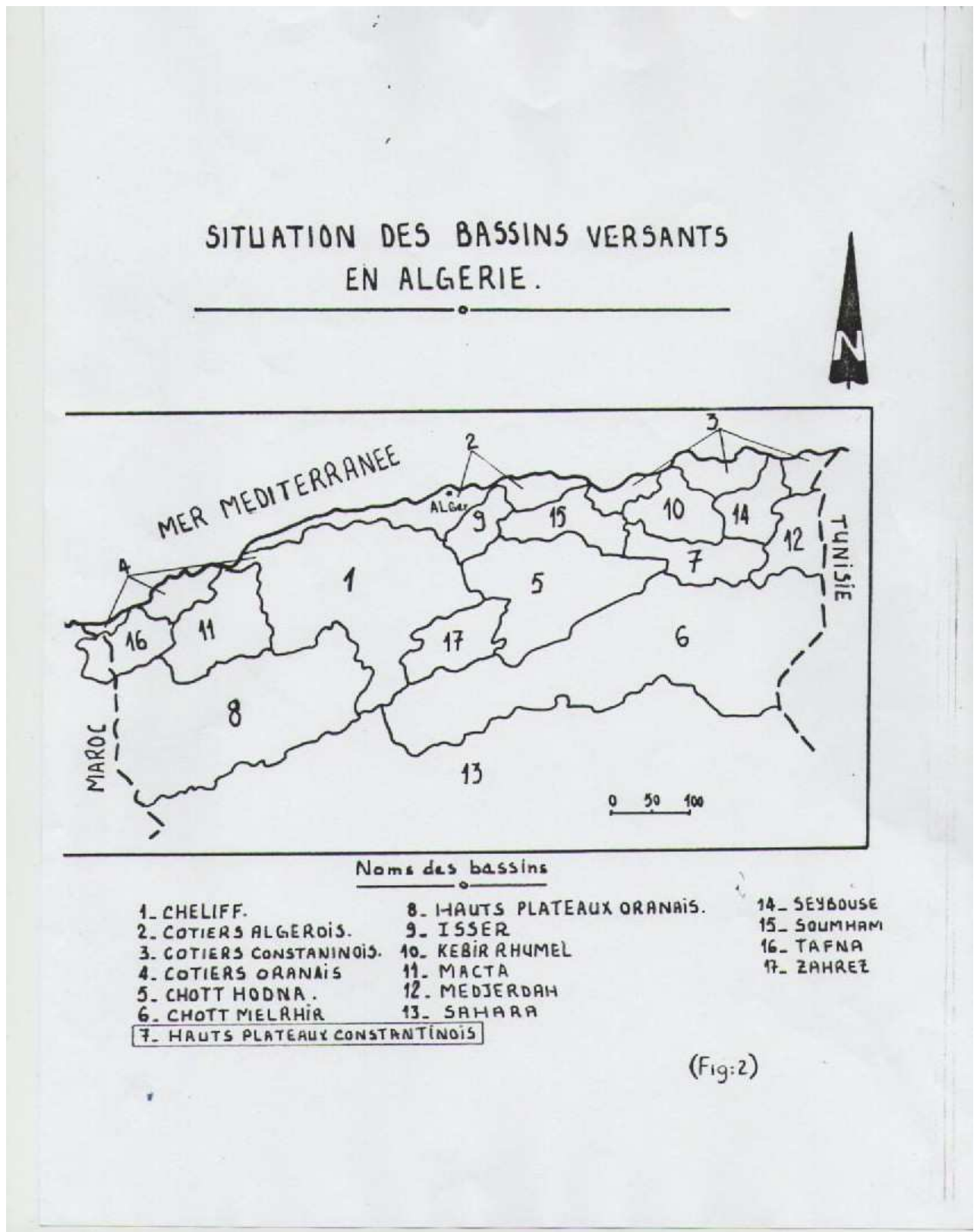


Figure 5 : situation des hauts plateaux constantinois

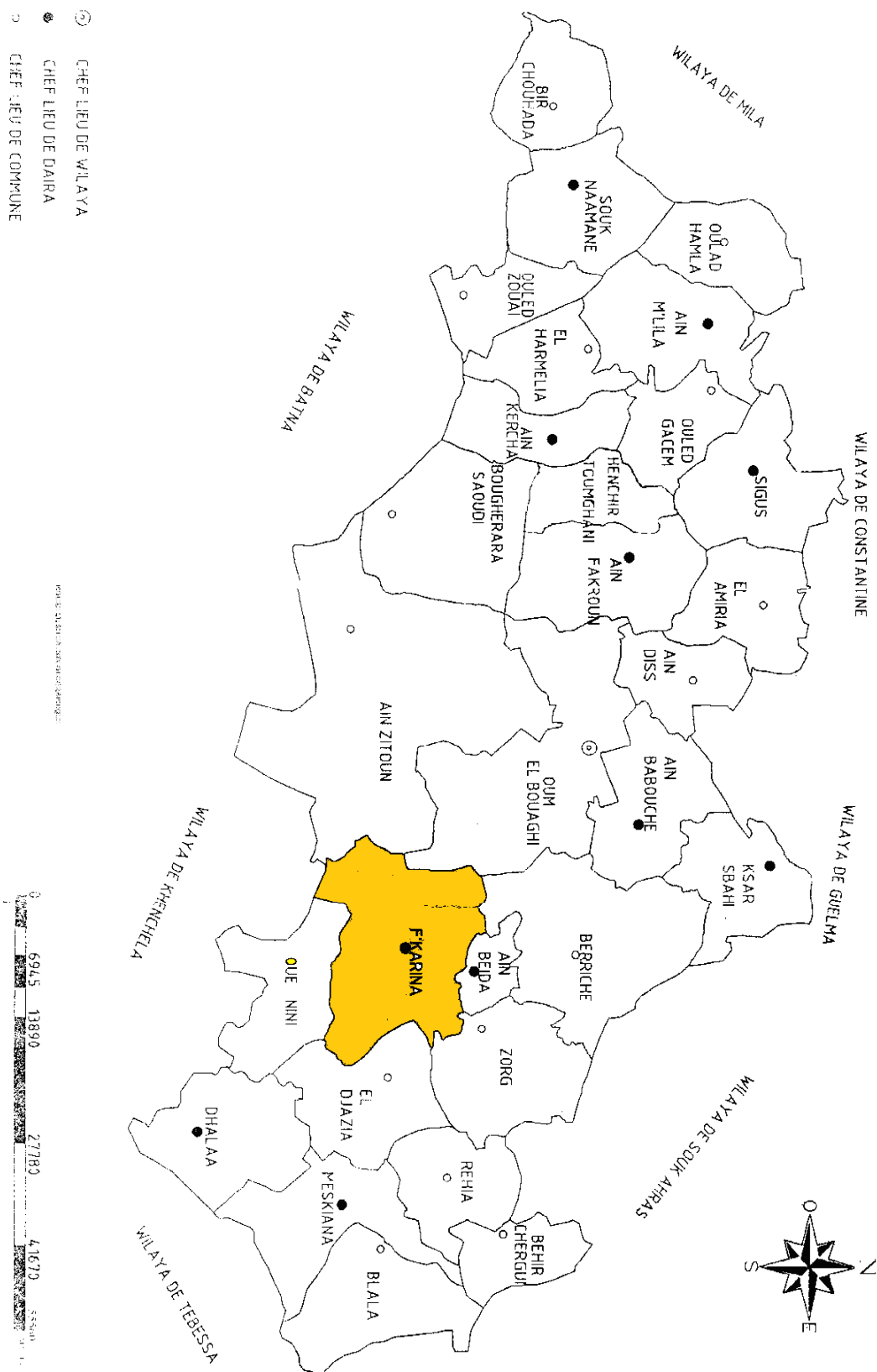


Figure 6 : limites administratives

2.3. Le cadre géologique

La structure géologique simple se représente dans les montagnes calcaires dont les mouvements tectoniques sont très forts, elle est entourée par de larges plaines sous forme de plateaux où les interfaces de ruptures fortes qui permettent une grande perméabilité à l'eau, ce qui rend l'émergence de 3 zones :

Zone Ouest : une région plat très large;

Zone Est : Cours interrompu par Oued Maskiana,;

Et entre les deux régions du mont se compose de la marne et de la chaux

2.4. La population:

La population de la commune est estimée à environ 10780 âmes en 1992, et à 11550 âmes en 1998, pour atteindre 12873 âmes en 2004, dont 6970 âmes vivent dans le centre urbain, 851 âmes vivent dans le centre secondaire, 5052 âmes occupent les zones éparses; actuellement, le taux de croissance est estimé à 1,50 %.

2.5. Le climat:

Le climat de cette région est de type continental froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été, les périodes de printemps et d'automne sont courtes.

La région est exposée aux vents de l'ouest.

En été ses vents proviennent du sud appelé généralement « Sirocco » dont la moyenne annuelle est de 38 jours.

2.6. Ressources hydriques

La ville de F'Kirina est alimentée par 3 réservoirs surélevés avec une capacité de 250 m³ x2 et 500 m³.

Actuellement, la région est alimentée essentiellement par les eaux souterraines exploitées par des forages déclarés comme suivants:

-Le forage J40 avec un débit 9 l/s ;

-Le forage G42 avec un débit 4 l/s.

-Le forage H41 avec un débit 3 l/s ;

-Le forage I38 avec un débit 5 l/s ;

-Le forage I33 avec un débit 5 l/s ;

-Le forage Ij34 avec un débit 3 l/s.

-Le forage OL2 avec un débit 7 l/s ;

Donc, le débit mobilisé pour cette zone est de 36 l/s

Il y a aussi d'autres forages situés à F'kirina mais ils alimentent Ain Al Beidha et Oued Nini :

Les forages qui alimentent Ain Al Beidha sont:

-Le forage I33 bis avec un débit 50 l/s ;

-Le forage I40 avec un débit 20 l/s.

-Le forage J37 avec un débit 18 l/s ;

-Le forage OL1 avec un débit 20l/s ;

Les forages qui alimentent Oued Nini:

-Le forage H52 avec un débit 7 l/s.

-Le forage G55 avec un débit 5 l/s ;

2.7. Assainissement

La ville est dotée par un réseau d'assainissement de type unitaire assurant l'évacuation des eaux usées domestiques et pluviales hiérarchisées, structurées, avec des diamètres de 300 à 2000 mm. La longueur totale de ce réseau est 93,269 km avec un taux de raccordement de 96%., une population allant jusqu'à 9120 âmes et des moyens de drainages directs vers Oued Nini.

Le rejet des eaux usées se déverse au milieu naturel sans traitement (source : subdivision de F'Kirina).

Conclusion

Pour ce chapitre, nous avons essayé de donner un aperçu sur les différents regroupements recensés au niveau de la commune de F'Kirina à savoir le chef lieu de commune en prenant en ligne de compte certaines variables jugés primordiales à connaître avant d'entamer notre étude

3. étude géologique

Introduction:

La géologie est un moyen d'investigation, parce qu'elle permet la prévision des formations susceptibles d'être aquifère et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude.

L'étude géologique s'intéresse aux roches et aux matériaux dérivés qui composent les couches souterraines de bassin de F'kirina, La lithologie joue aussi un rôle très important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies).

Les travaux sur le bassin de F'kirina ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines Constantinoises.

Les formations s'étagent du crétacé inférieur (Djebel Sidi Reghiss)) au crétacé supérieur (Djebel Djazia) en passant par le crétacé moyen (Djebel El Hammimat), formées de marnes et de calcaires ;

Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène ; Le miocène marin est venu se déposer aux abords de ces massifs.

La limite Nord-ouest de la zone de F'kirina est constituée par un très large affleurement de miocène, bordé dans sa partie Sud-est par les marnes bariolées à gypse du trias.

L'ensemble est partiellement recouvert par les dépôts quaternaires d'épaisseur variable.

Au Sud-est de la zone, un chott de près de 2000 km²

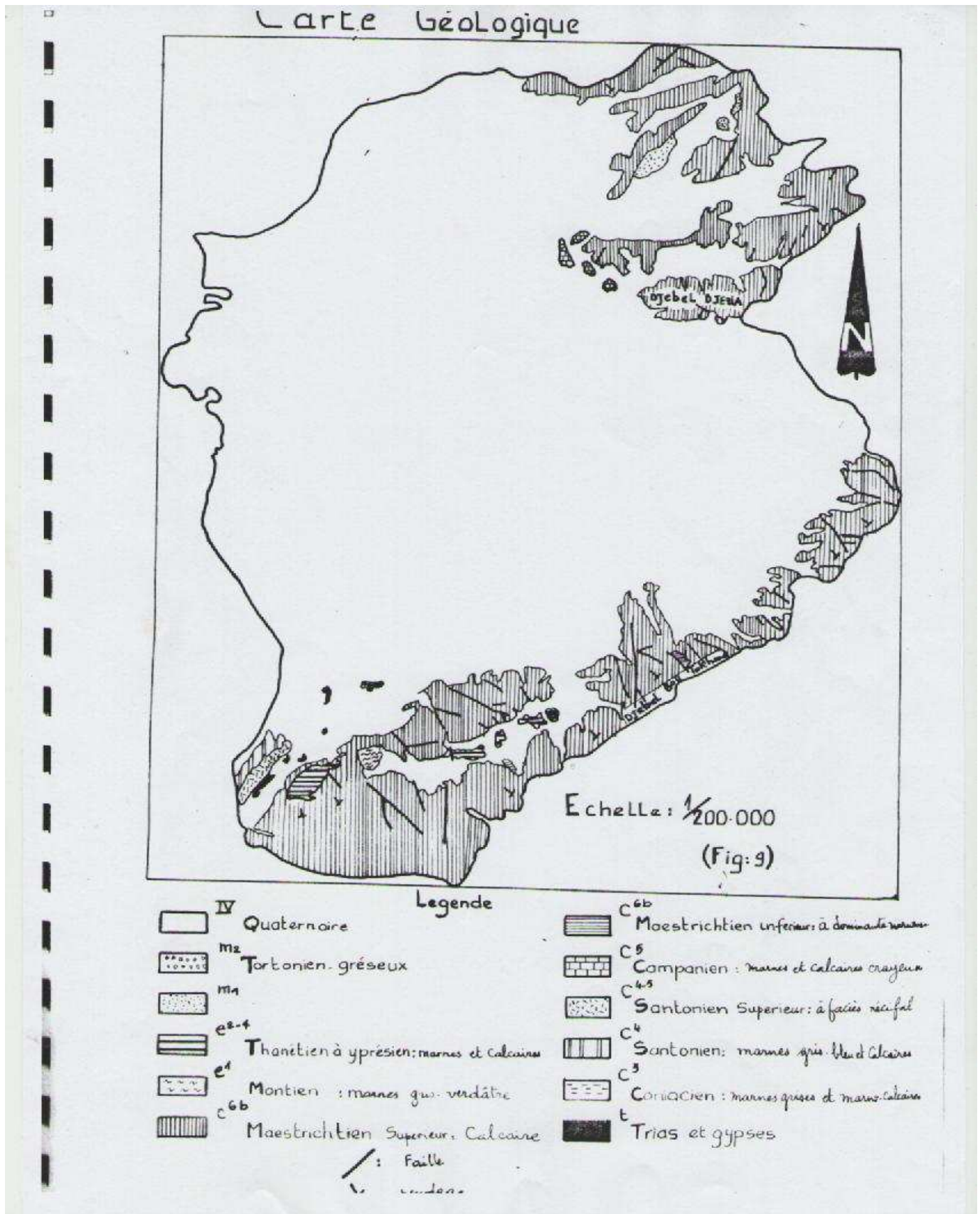


Figure 8: carte géologique de F'kirina

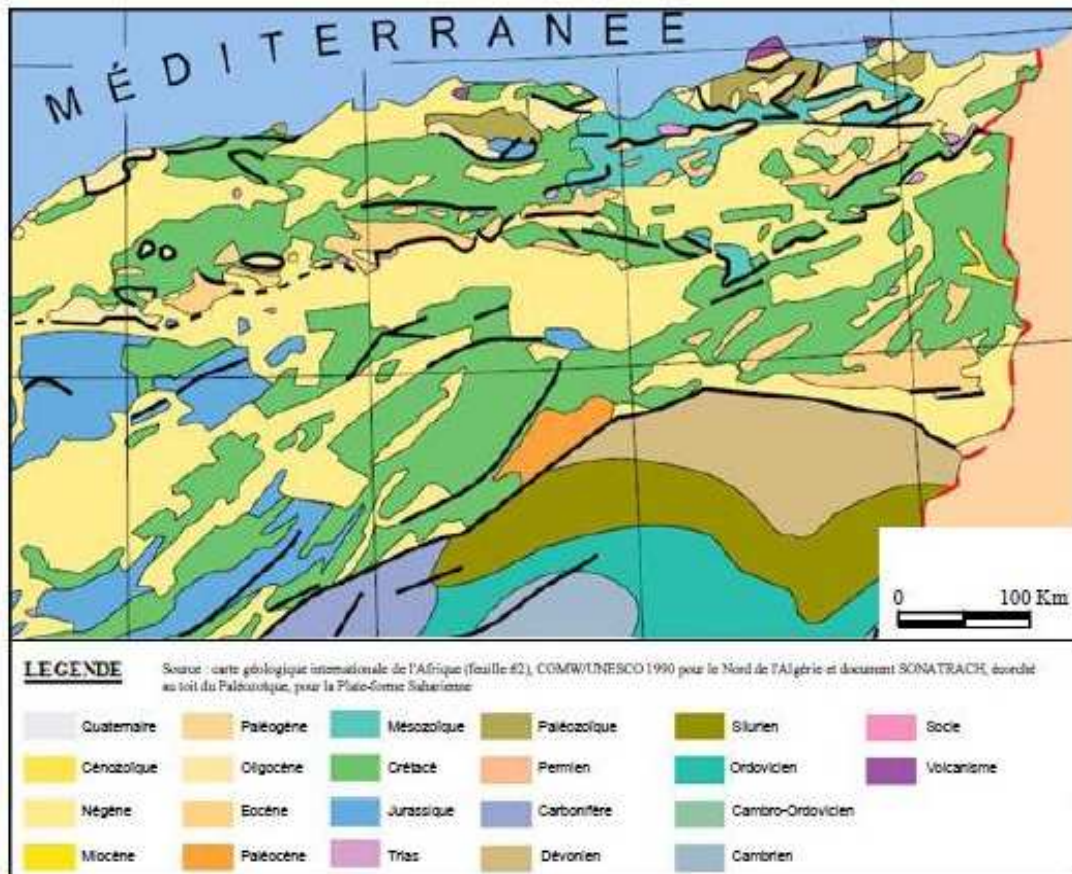


Figure 9 : Carte géologique de Nord-Est algérien (SONATRACH, 1990)

En général, le bassin versant de F'kirina est caractérisé par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. L'évolution des terrains rencontrés du Secondaire au Plio-Quaternaire. La stratigraphie de la région est la suivante:

3.1. TRIAS

Il est formé de pointement diapéritique jalonnant les accédants tectoniques c'est-à-dire qu' il est en position anormal.

Les quelques pointements de Trias sont formés de :

- roches argileuses et marneuses, rouges lie de vin, grises et vertes, avec un peu de gypse,
- cristaux de quartz bipyramidaux,
- cargneules.

3.2 . CRETACE INFERIEUR :

3.2.1. Turonien:

Il est représenté par uniformément dans toute la zone montagneuse par un épais niveau de 200 à 300 m d' épaisseur. Composé de calcaire cristallin de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.

Le turonien inférieur est représenté par des calcaires lités alternant avec des marnes d'épaisseurs variables. Le turonien est formé de marnes noduleuses.

3.2.2. Sénonien: le sénonien inférieur est représenté par des épaisseurs importantes de dépôts marneux.

3.3. EOCENE:

3.3.1. Lutétien inférieur et supérieur – yprésien et thanétien

Il est représenté par des calcaires alternant avec des marno-calcaires. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés et vers le sommet, des nummulites.

3.4. MIOCENE:

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine. Donc c'est une Série composée par un ensemble marno-calcaire en haut, un ensemble de calcaires épais au centre de la série, et une série de stratification d'argile, calcaire, grès;

3.4.1. Miocène inférieur: burdigalien-helvetien

Le miocène inférieur est marin. La série commence en général par des couches rouges continentales : argiles et marnes sableuses, grès et poudingues, d'une épaisseur totale variant entre 0 et 300m.

Au-dessus viennent des sédiments marins, grès, calcaires gréseux, marnes et argiles sableuses, d'une épaisseur totale variant entre 200 et 600m.

3.4.2. Pontien grès et argiles rouges.

3.5. PLIOCENE:

Dépôts continentaux détritiques sable. Conglomérats, marnes et argiles rougeâtres.

3.6. QUATERNAIRE:

Les dépôts quaternaires ont recouvert la majeure partie des plaines. Ces dépôts sont très variés. Toutefois, la sédimentation est une majeure partie argileuse et marneuse, En ce qui concerne la tectonique, le territoire étudié peut être divisé en trois zones structurales:

3.6.1. Ecailles de la CHEBKA des SELLAOUA

(Correspondant à la barrière de la Chebka des Sellaoua au Nord-ouest de la zone de F'kirina).

Les alignements structuraux y sont tous orientés Nord-est et Sud-ouest. Le champ des contraintes a relativement peu varié en direction dans l'espace et dans le temps.

Après la période d'épirogenèse et de mouvements verticaux du crétacé, la zone a subi des efforts essentiellement latéraux, transversaux à l'axe des structures.

Les plis sont en général déversés vers le Sud et passent souvent à des écailles. La compression s'accroît vers le Sud-ouest. L'effort latéral a continué longtemps après le burdigalien alors que les sédiments plissés de cet étage avaient déjà subi un début d'érosion.

3.6.2. Zone de transition:

Zone formée par une bande très allongée et très étroite s'appuyant sur la Chebka des Sellaoua et comprenant les Djebels Sidi Reghiss-El Hammimat et Essensa. Les axes des plis sont Est-ouest au Djebel Hammimat. Les directions des failles sont variables Nord-Est, Sud-Ouest et proches parfois d'Est-Ouest.

Le dôme du Djebel Sidi Reghiss présente une particularité, à savoir l'effondrement de sa partie méridionale.

La présence de nombreuses failles transversales et de quelques failles longitudinales découpent les calcaires rigides de l'Aptien. Ces éléments structuraux ont beaucoup influencé la morphologie du dôme calcaire, facilitant grandement l'attaque par l'érosion.

3.6.3. Zone saharienne septentrionale:

Zone très importante comprenant tout le reste du territoire d'étude. Avec larges plis simples.

Des champs importants de failles transversales aux axes des plis, se sont formés, surtout après le miocène, donnant lieu à des décrochements verticaux très importants et à des déplacements tangentiels.

Les différentes phases orogéniques ont superposé dans cette région des directions Nord-Ouest, Sud-est, Est-ouest, Nord-Est et Sud-Ouest.

Au point de vue hydrogéologique, le niveau statique est en général à des profondeurs de 4 à 15m dans les zones étudiées. Les niveaux aquifères pouvant être intéressants sont les différents horizons calcaires, tertiaires et crétacés (en particulier les calcaires aptiens reconnus aux forages d'Ain Babouche et de Bir Djedida).

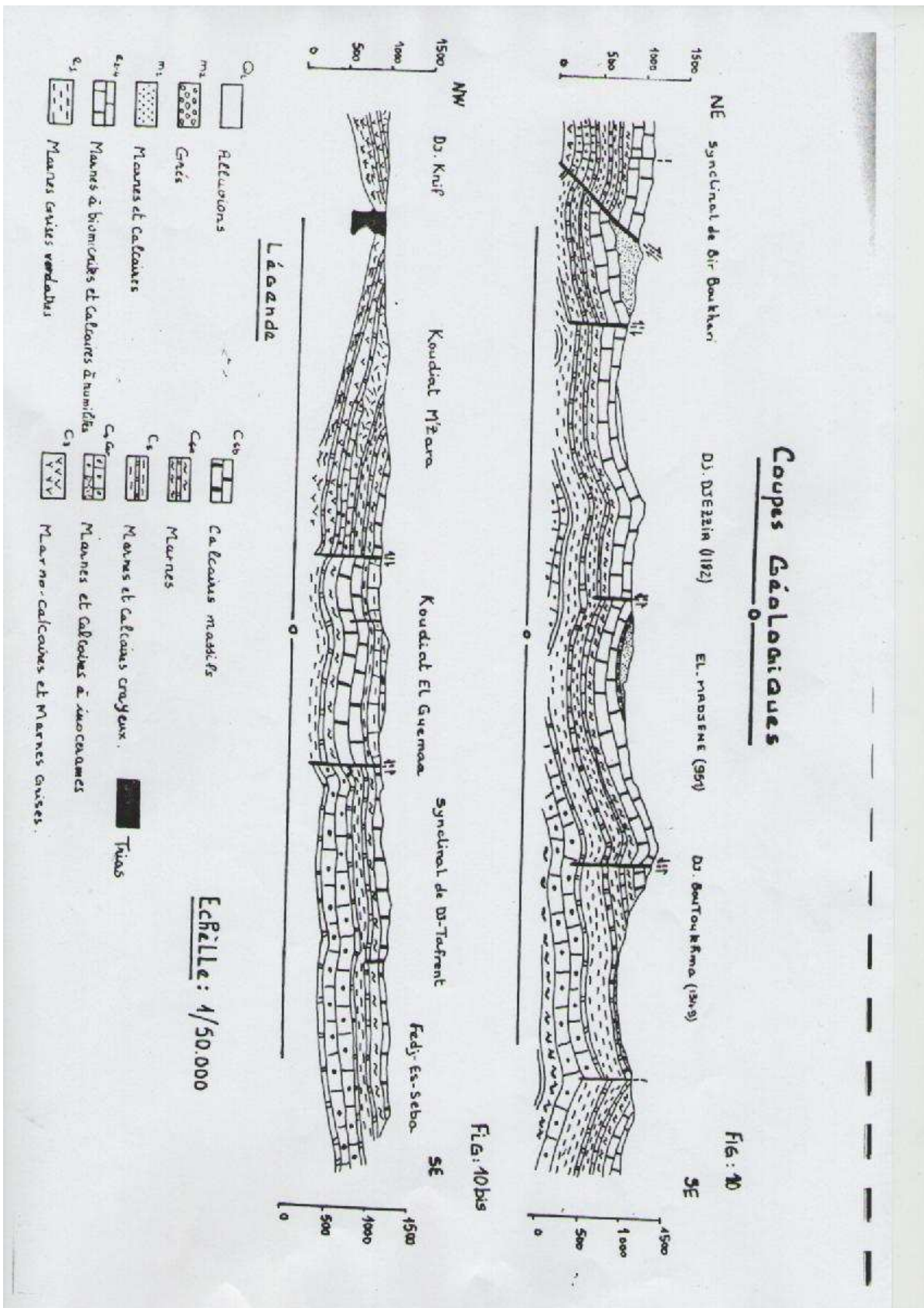


Figure 10 : Coupe géologiques dans le bassin de F'kirina

Conclusion:

Le bassin de F'kirina se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises avec des affleurements de bordure d'âge Crétacé,
- Les formations d'âge Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction perpendiculaire affectant les formations crétacées.
- Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable, que ce soit au niveau des bordures ou au centre de la plaine.
- A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi,
- Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique ;
- Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés ;
- Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

4. Etude climatique

Introduction

Le climat est le résultat du comportement de l'atmosphère du point de vue humidité, pluies, température, éclaircissement et vents. (Boudy, 1950)

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan (Reminiéras, 1986).

La connaissance des facteurs climatiques (précipitations, températures,..) est indispensable pour quantifier les ressources en eaux, de surface et de déterminer la part de l'eau qui s'infiltré dans les nappes, constituant ainsi les eaux nécessaires utilisables.

Dans notre étude climatique nous avons utilisé une séquence de données. Sur une période allant de 1995 à 2010, ces données sont prélevées de la station météorologique d'Oum El Boughi.

4.1. La température

La température est un facteur très important, car elle conditionne l'évaporation.

L'étude des données sur la température à savoir les moyennes de températures maximales et minimales donne une idée sur le climat de la région. Elle exprime non seulement la continentalité et l'humidité atmosphérique, mais aussi l'intensité de l'évaporation (Emberger, 1971).

La figure 11 illustre que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne maximale de 34.91°C, alors que le mois le plus froid est février avec une température moyenne minimale de 1.61°C.

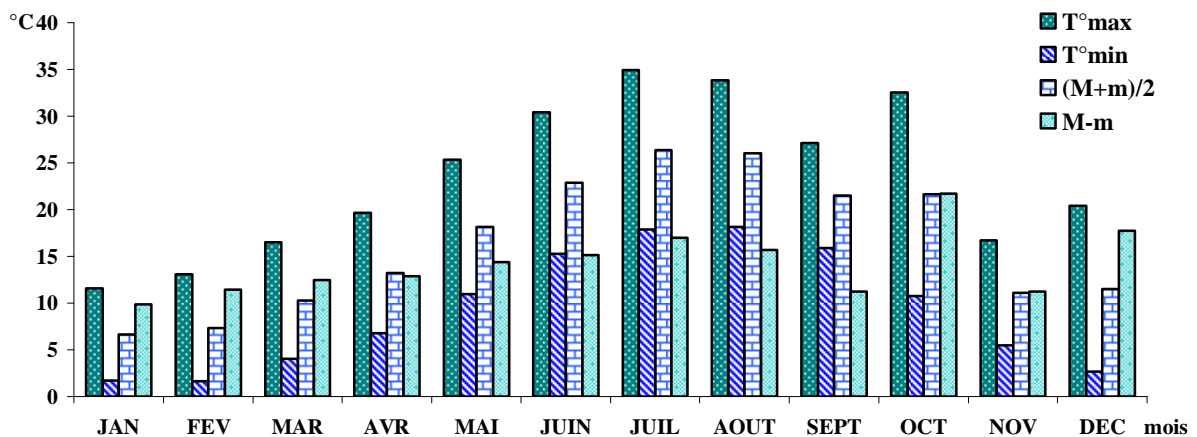


Figure 11 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (1995-2010)

4.2. La pluviométrie

Les précipitations sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits.

La pluviométrie est le paramètre hydro climatique qui joue le rôle majeur dans l'évolution des écosystèmes de la région.

La pluviométrie constitue un facteur écologique fondamental dans les écosystèmes terrestres car elle conditionne avec la température la structure et la productivité primaire de ces derniers (Ramade, 2002).

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande (Amraoui, 2000)

Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière. Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles observées dans la zone expérimentale au cours d'une période de 15 ans (1995-2010) sont reportées comme dans la **figure 12**.

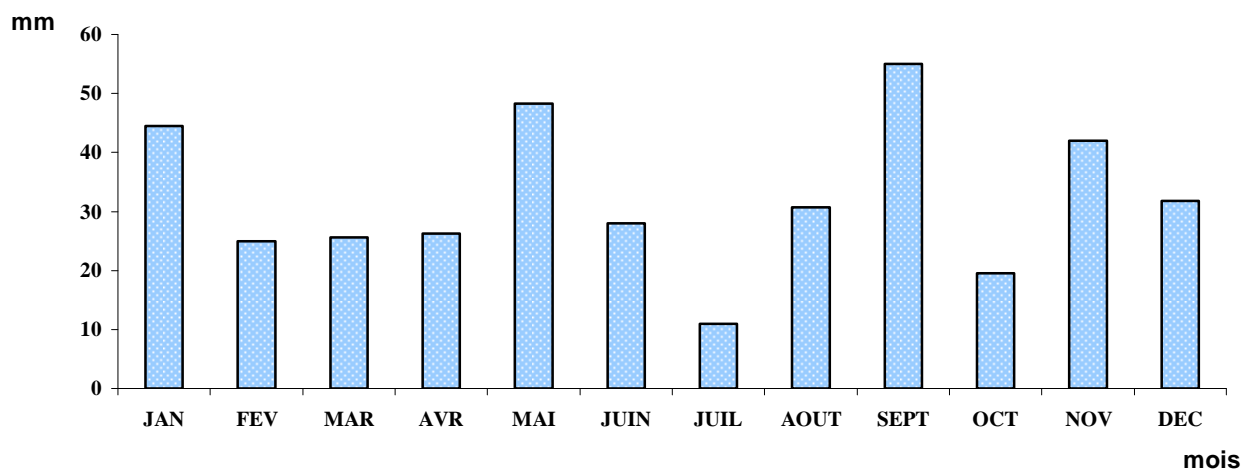


Figure 12 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (1995-2010)

On remarque que la figure montre que les précipitations moyennes mensuelles de la période 1995-2010 sont de 387,74 mm. Le mois le plus pluvieux est septembre avec 55 mm et le plus sec est juillet avec 11 mm.

Pour la période 1995-2010, la saison la plus pluvieuse se situe au automne avec 116.5 mm, suivie de l'Hiver avec 101.33 mm, le printemps avec 100.19 mm et finalement l'été avec 69.71 mm

4.2.1. Nombre de jours de pluie

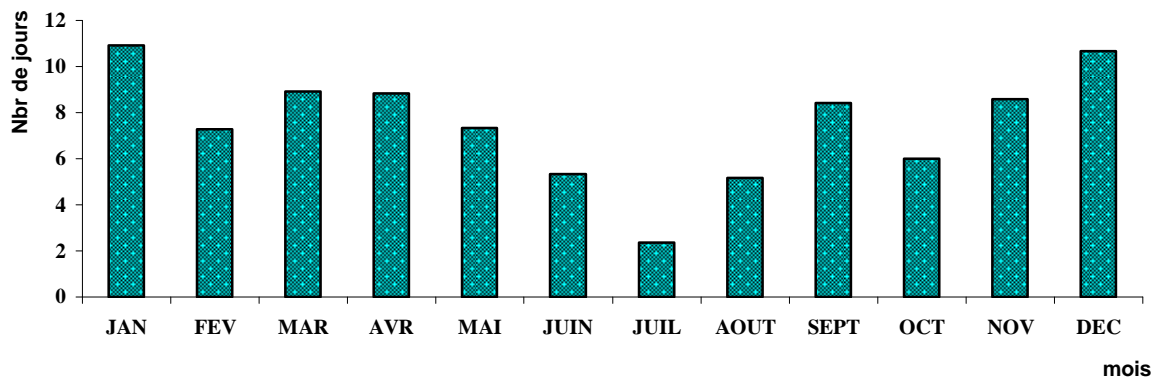


Figure 13 : Diagramme des moyennes de nombre de jours de pluies de la période (1995- 2010)

Le mois le plus pluvieux pour la période 1995- 2010 est janvier avec une moyenne de 10,92 jours de pluies et le plus sec est juillet avec une moyenne de 2.36 jours.

4.3. Evaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue : d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) (Gaagai; 2009).

L'action de l'évaporation est particulièrement nette sur la composition chimique des eaux. Par évaporation, la concentration des chlorures et des sulfates et par là le résidu sec de l'eau contenue dans la couche superficielle du sol augmente. Cette eau plus ou moins renouvelée des profondeurs à la surface par capillarité, amène une véritable ascension des sels. (Amraoui, 2000).

La valeur de l'évaporation dépend du pouvoir évaporant des paramètres qui la conditionne

L'évaporation moyenne varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 294.09 mm. Celle minimale est de 57.38 mm au mois de Décembre comme l'indique **la figure 14**.

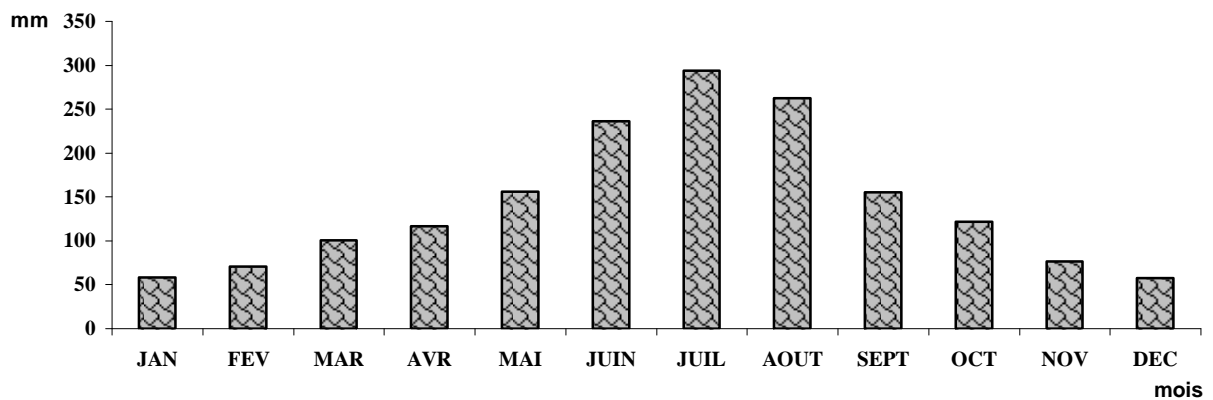


Figure 14 : Diagramme des moyennes mensuelles de la hauteur totale de la période (1995-2010)

4.4. La gelée

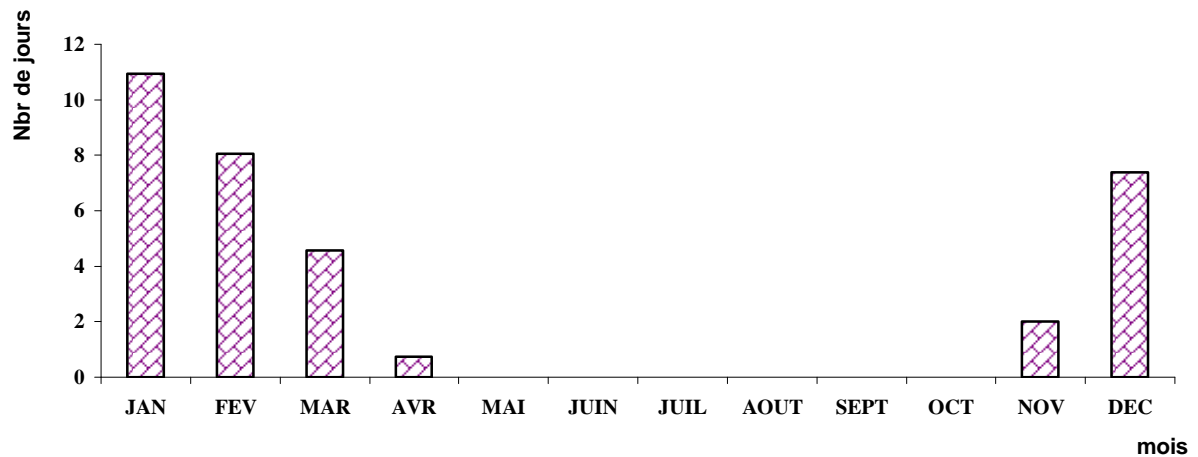


Figure 15: Diagramme des moyennes mensuelles des nombres des jours des gelées de la période (1995-2010).

La figure 15 nous illustre que la gelée est beaucoup plus fréquente en hiver, presque 26.38 jours durant la saison, suivie de printemps avec moyenne de 5.31 jours, l'automne avec 2 jours. Et l'été ne connaît aucune retombée de gelée. Donc les mois les plus agressifs sont : janvier et février.

4.5. L'humidité

L'humidité ou degré hygrométrique est le pourcentage de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Elle favorise l'absorption des polluants par les végétaux (Ramade, 2002).

L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation.

Les valeurs d'hygrométrie de la période 1995-2010 sont indiquées dans la Figure 16.

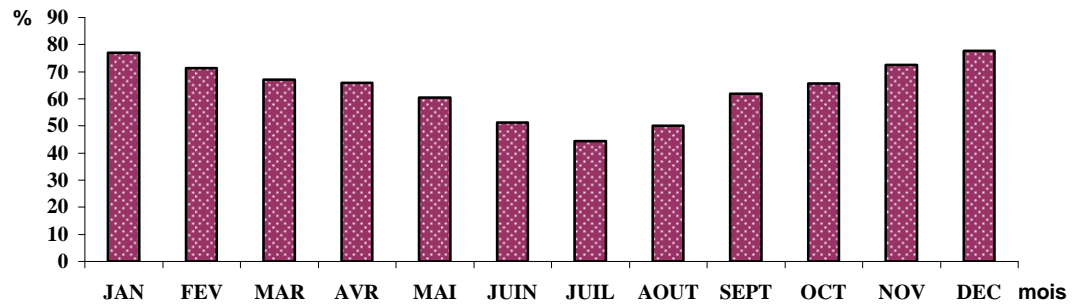


Figure 16 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (1995-2010).

A partir de la figure on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes.

Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de Décembre avec 77.81% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, et le plus faible durant le mois de juillet avec 44.5%.

4.6. Le vent

Le vent est un déplacement d'air à peu près horizontalement qui agit surtout sur la pluviométrie, l'évaporation, la température et l'humidité de l'air, il est donc un élément déterminant pour le climat (Gaagai, 2009)

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

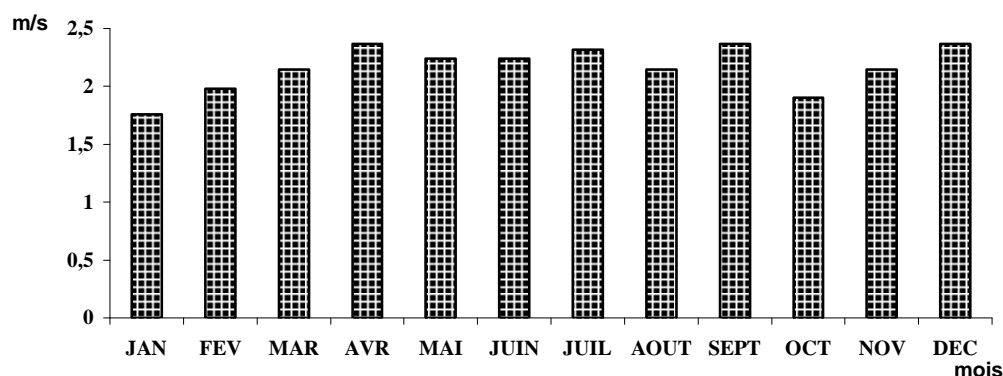


Figure 17 : Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents (m/s) de la période (1995-2010).

La direction du vent

Les vents sont en général très violents dans la région. Ceux chargés de pluies soufflent surtout du Sud-est en hiver, en automne et une partie en printemps.

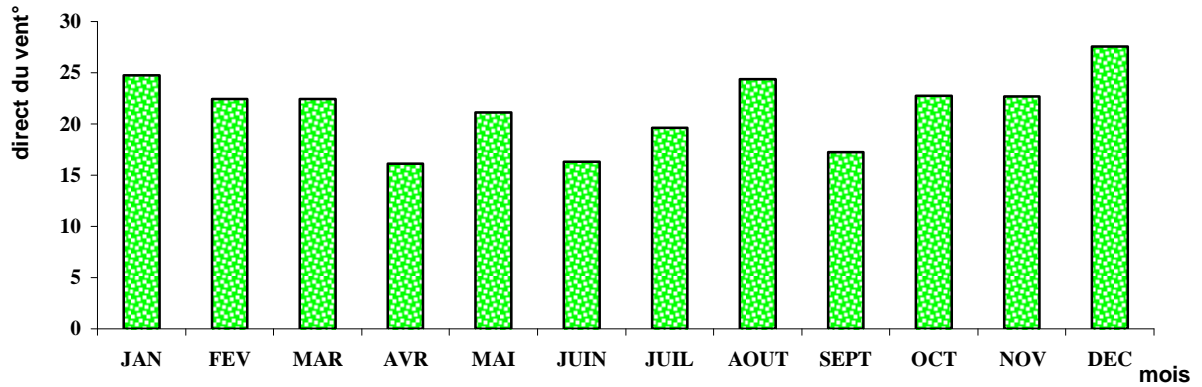


Figure 18 : Diagramme des moyennes mensuelles de la direction des vents (°) de la période (1995-2010).

En été c’est le sirocco, un vent sec et chaud, provoquant une augmentation notable de la température, le dessèchement des jeunes plants, particulièrement ceux de l’année et une chute brutale de l’humidité atmosphérique.

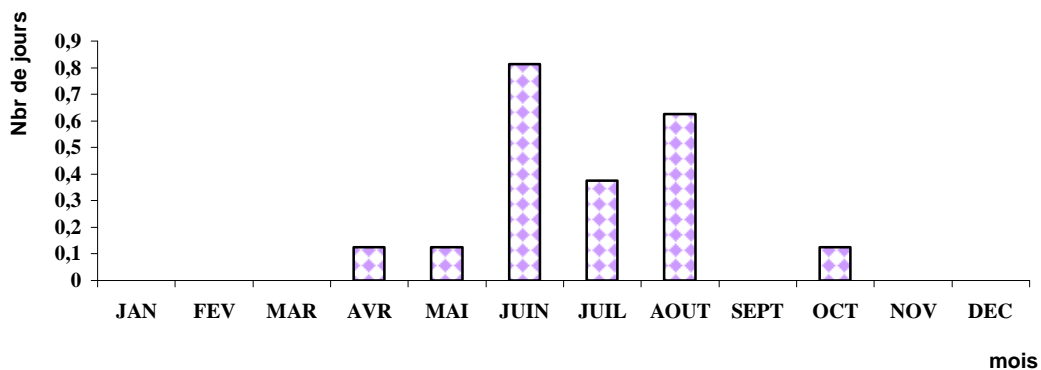


Figure 19 : Diagramme des moyennes mensuelles de nombre des jours de sirocco (m/s) de la période (1995-2010).

Le sirocco souffle du sud avec un maximum de fréquence en juin et août, généralement il souffle plus de 30 jours (Station Météo, 2011)

La rose des vents :

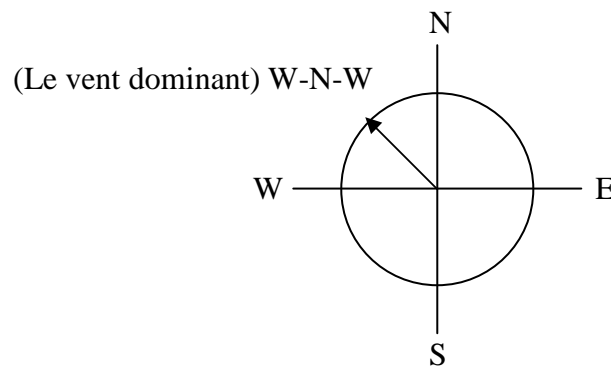


Figure 20: La rose des vents correspondant à la région d’étude

La rose des vents est une représentation diagrammatique des directions et de l'intensité des vents en un lieu donné au cours du cycle annuel (Ramade, 2002). La figure montre que les vents dominants dans la région en hiver soufflent dans la direction W-N-W.

4.7. La grêle

C'est un facteur provoquant également les effets de refroidissement brusque, elle s'observe généralement à la fin du printemps, fréquente de quelques jours comme l'explique la **figure 21**.

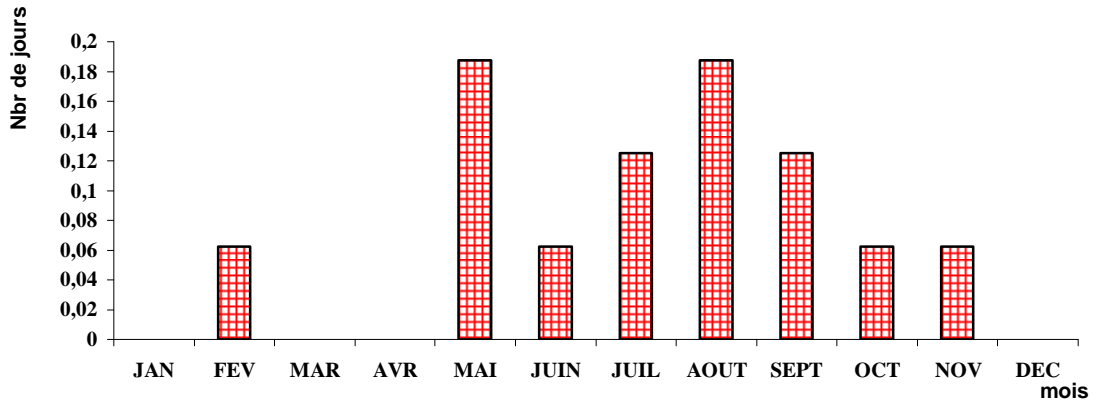


Figure 21: Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (1995-2010)
La **figure 21** montre que la grêle n'est pas fréquente dans la région de Fkirina pendant tout les 15 ans.

4.8. La neige

La neige constitue une source de réserve en eau, le nombre de jours de neige n'est pas très élevé, il est de l'ordre de 3 à 10 jours par année.

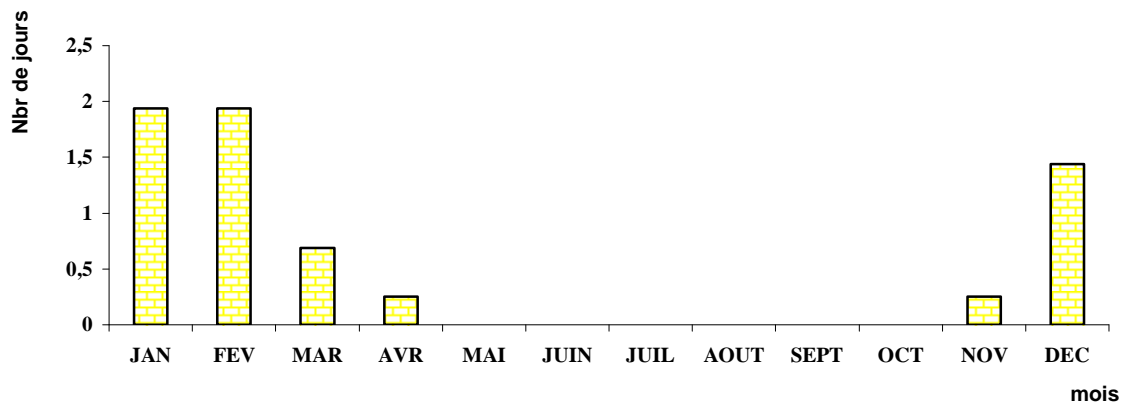


Figure 22 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (1995-2010)

Dans la région de F'kirina, la plus grande partie de la neige tombe durant la période hivernale et plus précisément les mois de janvier et février, elle peut durer jusqu'à la fin avril sur les sommets.

4.9. La rosée

C'est un phénomène de condensation nocturne de la vapeur d'eau sur les extrémités refroidies des plantes. La rosée est susceptible en certaines zones du monde de constituer un apport d'eau significatif aux sols et donc aux végétaux (Ramade, 2002).

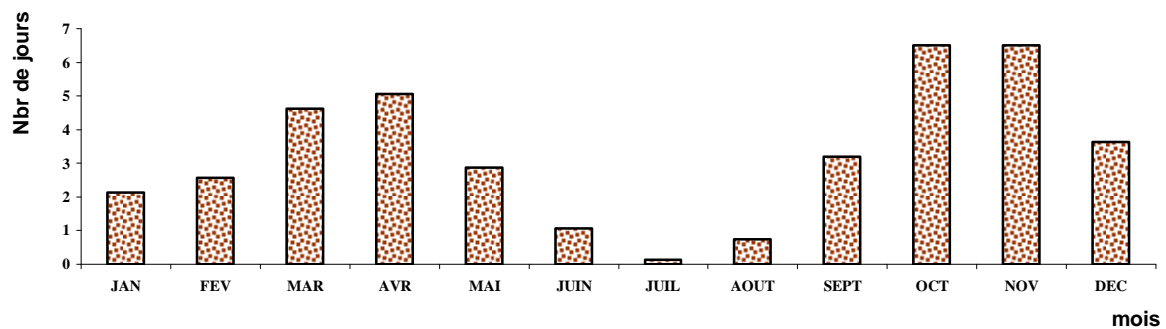


Figure 23 : Diagramme des moyennes du nombre de jours de rosée de la période (1995-2010). Selon la station météorologique d'Oum El bouaghi, la moyenne du nombre de jours de rosée de la période (1995-2010) est le plus élevé durant les deux mois : octobre et novembre avec une même moyenne de 6.5 jours (**Figure 23**).

4.10. L'orage :

Un orage, est une perturbation atmosphérique d'origine convective associée à un type de nuage particulier : le cumulonimbus. Dans des cas extrêmes, l'orage peut produire des chutes de grêle, des vents très violents et, rarement des tornade.

Les orages peuvent se produire en toute saison, en autant que les conditions d'instabilité et d'humidité de l'air sont présentes.

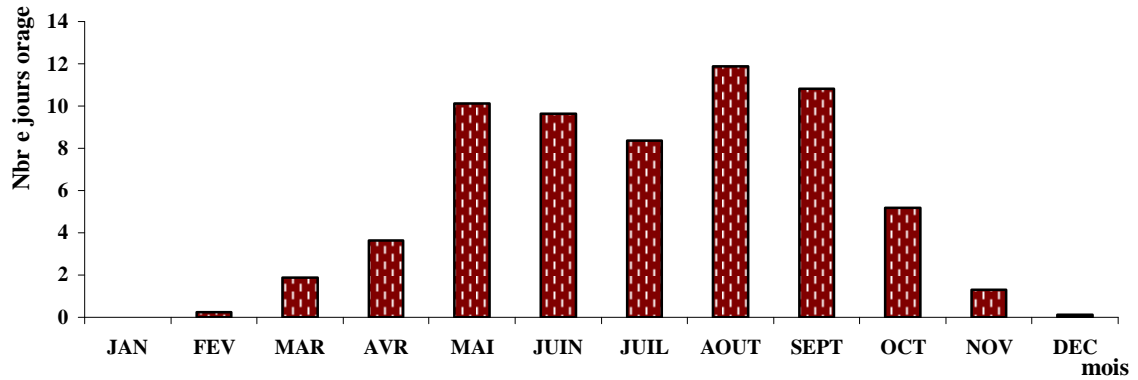


Figure 24 : Diagramme des moyennes des nombres de jours d'orage de la période (1995-2010)

La **figure 24** montre que l'orage est fréquent pendant le mois d'Août et le mois de septembre puis le mois de mai et juin.

4.11. Le brouillard:

Le brouillard est le phénomène météorologique constitué d'un amas de fines gouttelettes ou de fins cristaux de glace, accompagné de fines particules hygroscopiques saturées d'eau, souvent de taille microscopique, réduisant la visibilité en surface.

La brume est alors la source d'eau naturelle pour les écosystèmes, grâce aux plantes qui la capturent.

Selon la station météorologique d'Oum El Bouaghi, la moyenne de nombre de jours de brouillard varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en janvier avec une moyenne de 2.19 comme l'indique **la figure 25**.

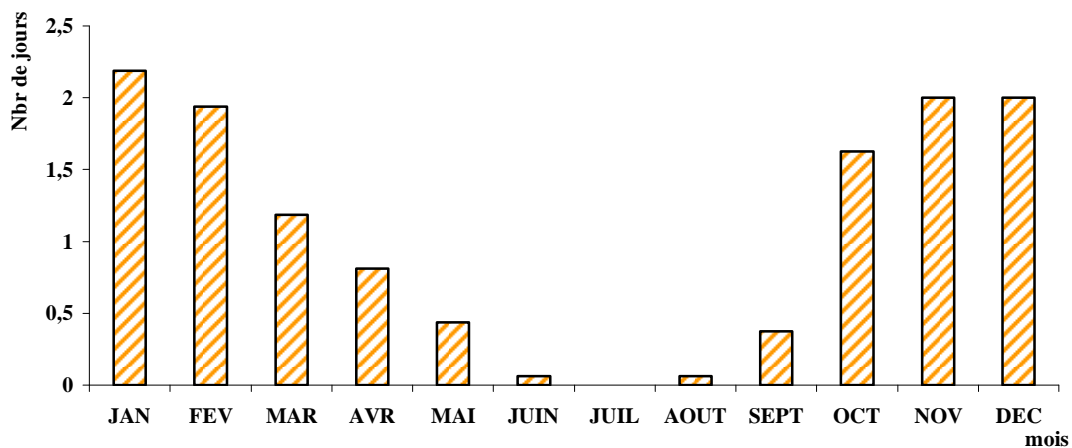


Figure 25 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de brouillard de la période 1995-2010

4.12. Indice d'aridité

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a). Cet indice est fonction de la température (T en $^{\circ}\text{C}$) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (Gaagai, 2009). Ce paramètre se calcule selon la formule suivante:

$$I_a = P / T + 10$$

Avec:

I_a : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles ($^{\circ}\text{C}$).

Les valeurs de l'indice permettent déterminer le climat selon le classement suivant:

Quand: $I < 5$ le climat est hyperaride

$5 < I < 7.5$ le climat est désertique

$7.5 < I < 10$ le climat est steppique

$10 < I < 20$ le climat est semi-aride

$20 < I < 30$ le climat est tempéré

$I > 30$ le climat est humide.

Pour la station d'Oum El Bouaghi, $P = 387.73\text{mm}$ et $T = 15.62^{\circ}\text{C}$ donc cet indice est égale à:

$I_a = 15.13$ ce qui permet de dire que le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire

(figure26)

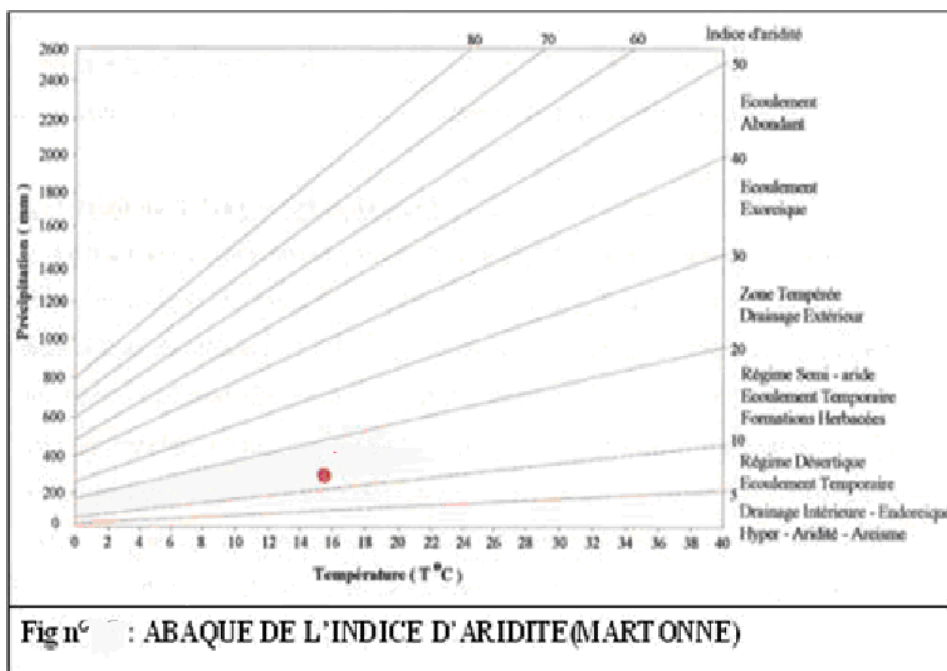


Fig n° : ABAQUE DE L'INDICE D'ARIDITE(MARTONNE)

4.13. Synthèse climatique

4.13.1. Diagramme ombrothermique de Gausсен

D'après Gausсен (1953), la sècheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec les fortes chaleurs.

Le même auteur considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius.

$P < 2T$ (indice de Gausсен)

De cela, le graphique des courbes ombrothermiques comportera les précipitations mensuelles (P) et les températures moyennes mensuelles (T). Les deux échelles (P) et (T) sont telles que : $1^{\circ}\text{C} = 2 \text{ mm}$ (Figure 27).

Le diagramme Ombrothermique de Gausсен de la station d'Oum El Bouaghi montre que la période sèche dure environ 107 jours (de juin jusqu'à le mi septembre)

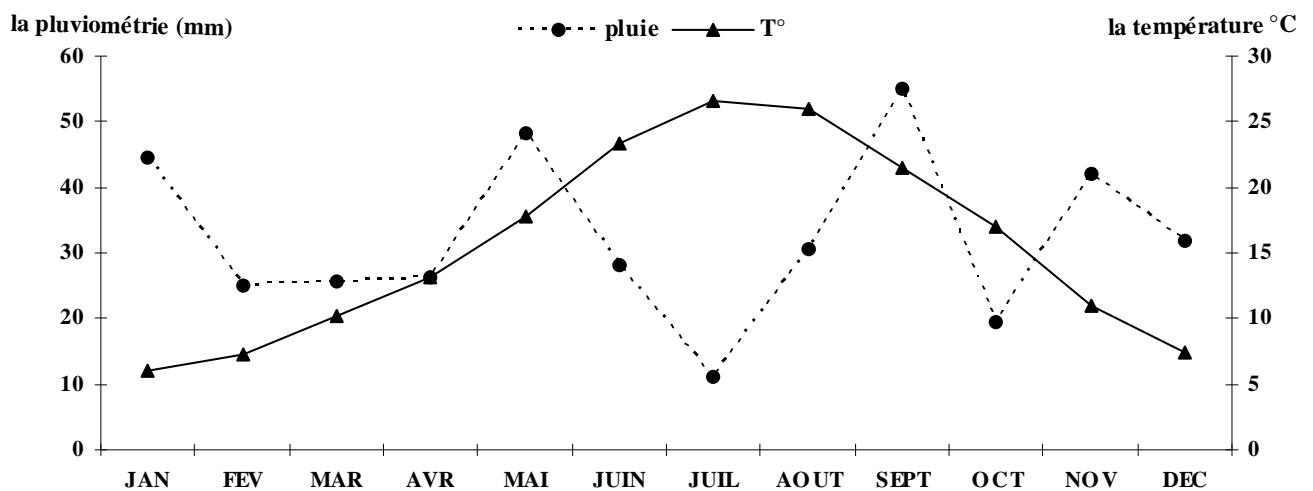


Figure 27 : Diagramme ombrothermique de Gausсен et de Bagnouls {station O.E.B (1995-2010)}
La superposition des deux courbes [P (mm) et T (°C)] permet ainsi de définir la période sèche

4.13.2. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger

Emberger a écrit : «il est possible de subdiviser chaque région, suivant les diverses nuances climatiques, en un certain nombre de territoires climatiques. Chacun d'eux constitue ce que l'on peut appeler un étage climatique. » .

Le même auteur en (1932), propose une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, cette formule peut s'écrire de la manière suivante :

$$Q_2 = 1000 P / [(M+m)/2(M+m)] \text{ soit : } Q_2 = 1000P / (M^2 - m^2)$$

$$= [1000 / (M+m)/2 * 273] * [P / (M+m)]$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suit :

$$Q_2 = 3,42 [P / (M-m)]$$

Où :

P : hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm ; M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C) ; m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C) ; Q_2 : quotient pluviothermique annuel en mm ; M-m : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans notre zone d'étude :

$$P = 387.73; M = 34.91^\circ\text{C}; m = 1.61^\circ\text{C} \text{ Donc } Q_2 = 39.82$$

4.14. Le climagramme de quotient pluviothermique d'Emberger :

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger.

En combinant Q_2 et des minima (m), Emberger (1980) suivi par plusieurs auteurs de son école construisirent un climagramme divisé en étages bioclimatiques, suivant des changements observés sur la végétation méditerranéenne (Dagt cité par Abdessamed, 1981).

La valeur brute de Q_2 est insuffisante à elle seule pour rendre compte de la valeur bioclimatique d'une saison, Emberger (1932) introduit la valeur de (m) comme valeur écologique différentielle d'après sa longue expérience des milieux méditerranéens, dans ce climagramme les valeurs de Q_2 figurent en ordonnée et (m) en abscisse. Ainsi, il pouvait agencer les stations météorologiques d'après la sécheresse globale de leur climat Q_2 et la rigueur de leur froid m (Abdessamed, 1981).

Utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue ($Q_2 = 39.82$, $m = 1.61^\circ\text{C}$), on trouve que la commune de Fkirina est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (**Figure 28**).

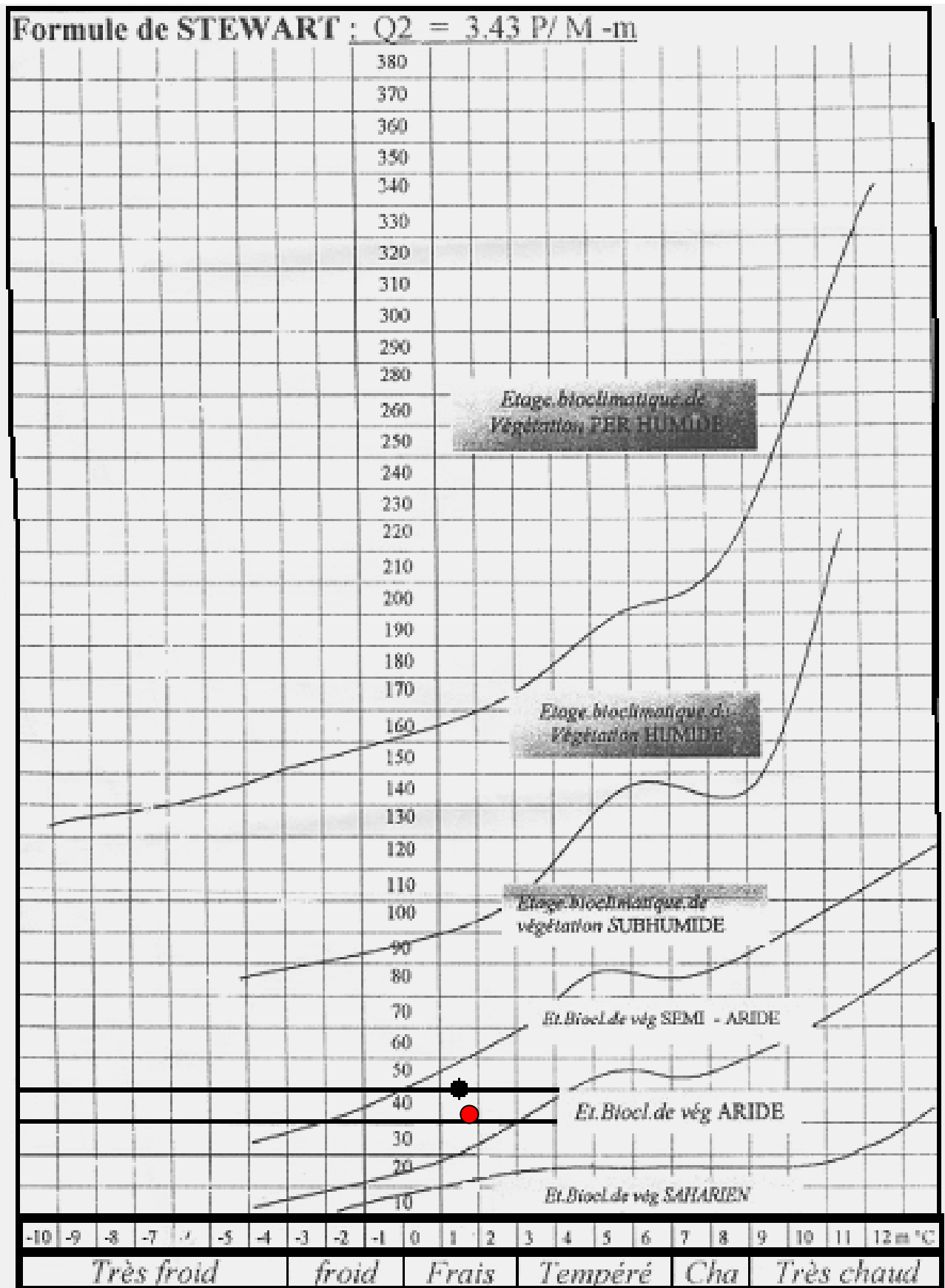


Figure 28 : climagramme d'Embergie pour la commune de Fkirina

4.15. Le bilan hydrique :

Le bilan d'eau s'applique principalement pour établir la relation entre les apports et les pertes et les fonctions de plusieurs paramètres "précipitation, ruissellement, ETP ..."

Dans cette étude nous allons évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, ce dernier paramètre englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation physique et biologique, il est considéré comme le plus important car il conditionne l'abondance ou le déficit de l'eau pour la végétation. Il est utile de distinguer entre la notion d'évapotranspiration potentiel (ETP) qui est employée lorsque la surface évaporant est convenablement alimentée en eau et la notion d'évapotranspiration réel (ETR) qui distingue la quantité en eau perdue réellement par l'évapotranspiration.

On peut schématiser le phénomène continu de cycle de l'eau en 3 phases: Les précipitations, le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain, l'évaporation. Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement le transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état.

Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. L'équation de bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un bassin donnés:

$$E=Q-Q'\pm\Delta Q$$

Avec:

- E:** évaporation (mm) ou (m³);
- Q:** volume entrant (mm) ou (m³);
- Q':** volume sortant (mm) ou (m³);
- ΔQ:** variation de stockage (mm) ou (m³);

Si le bassin versant nature est relativement imperméable, les variations de stock sur une période donnée peuvent être considérée comme nulle (ΔQ=0). Dès lors, on peut introduire le déficit d'écoulement D: ETR dans l'équation s'inscrit

$$Q-Q'=ETR$$

Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. a titre illustrative, les formules de Turc et de C.W .Thornthwaite.

L'évapotranspiration en milieu semi-aride représente une composante majoritaire du cycle hydrologique (Hernandez, 2000).

L'évapotranspiration joue donc un rôle majeur et ne pas être négligée sous ce type de climat.

4.15.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle):

C'est la somme de la quantité de vapeur de l'eau évaporée par le sol et par la transpiration des plantes quand le sol a une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique

4.15.1.1. ETR selon la formule de Turc: Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \quad L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

Avec:

ETR: évapotranspiration réelle (mm/an);

P: précipitation moyenne annuelle (mm);

L: paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);

T: température moyenne annuelle (°C).

Application numérique:

station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
Oum El Bouaghi	387.74	881.21	15.62	370.78

Tableau n° 02: l' ETR selon la formule de turc

4.15.1.2. L'ETR selon la C.W .Thornthwaite :

On obtient l'ETR pour l'un des cas suivants :

Si $P < ETP \rightarrow ETR = P$ et $RFU = 0$ (déficit hydrique)

Si $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$ et $RFU = P - ETP$ (excédent hydrique)

Application numérique:

station	ETR selon la formule de Turc (mm/an)	L'ETR selon la C.W .Thornthwaite (mm/an)
Oum El Bouaghi	370.78	329.6

Tableau n° 03: ETR selon la C.W Thornthwaite

4.15.2. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle):

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdu en phase vapeur sous un climat donné et un type de couverture végétale bien déterminée et en pleine croissance donc elle comprend l'évaporation du sol et la transpiration des plantes.

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région.

La formule empirique qu'on utilise est : THORNTHWAIT

4.15.2.1. D'après la formule de C.W .Thornthwaite:

Plusieurs formules ont été utilisées pour estimer ETP parmi ces formules celle de C.W. thornthwaite, qui a proposé également en 1948, elle a été basée essentiellement sur les températures de l'air:

$$I = \sum i \quad \text{ETP} = 16[10(t/I)]^a k \quad i = (t/5)^{1.514} \quad a = 1.6*(I/100) + 0.5$$

Avec:

ETP: évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

i: Indice thermique mensuel.

a: paramètre arbitraire lié à la température.

I: Somme des indices thermiques mensuels.

t: Température moyenne mensuelle (c°).

K: coefficient d'ajustement mensuel (Coefficient de correction, qui dépend de la latitude).

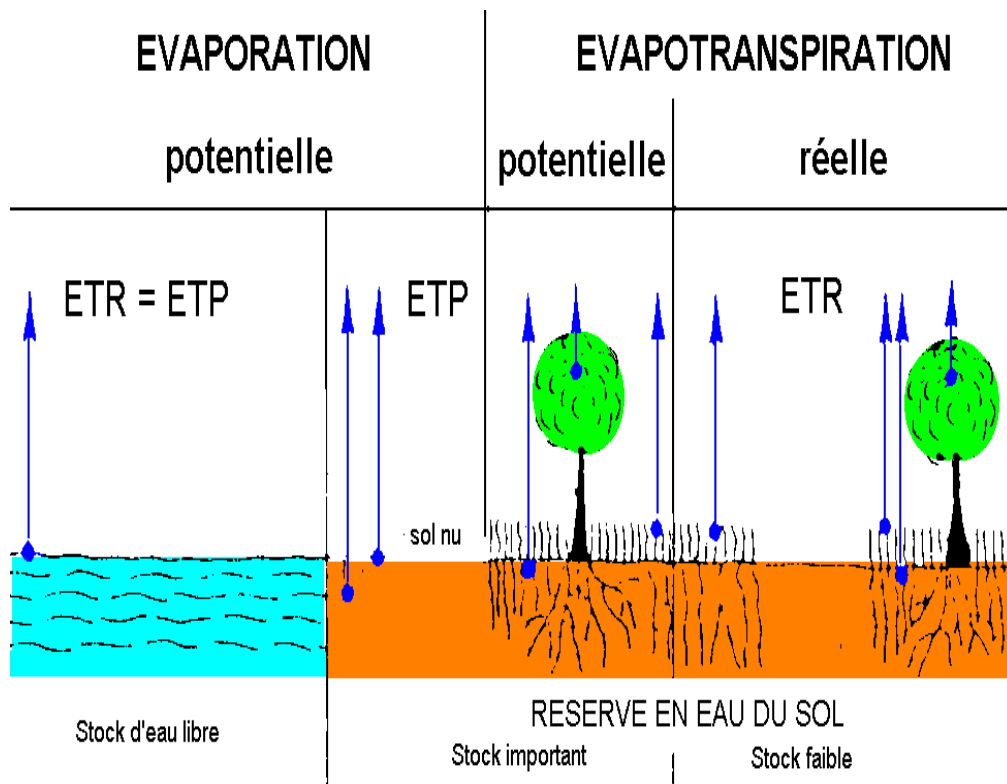


Figure 29: évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle

4.15.3. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable) :

La RFU est la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique (GAAGAI; 2009)

Selon G.Gastanoy lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stocké et constitue ce qu'on appelle réserve facilement utilisable (RFU).

Richard en 1979 a proposé une formule pour le calcul de la RFU, dans la partie Nord- Est de l'Algérie qui est la suivante:

$$RFU = \frac{1}{3} D_a H_e P$$

Avec:

RFU: réserve facilement utilisable en (mm).

D_a: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre $D = 0,9$).

H_e: Capacité de rétention: $H_e = 5\% \rightarrow$ pour un sol sablo limoneux

$H_e = 10\% \rightarrow$ pour un sol limoneux

$H_e = 20\% \rightarrow$ pour un sol argilo limoneux

P: Profondeur de la terre parcourue par les racines en (m).

mois	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	TOTAL
P (mm)	44,5	25	25,57	26,29	48,33	28	11	30,71	55	19,5	42	31,83	387,74
T (°C)	6,08	7,23	10,26	13,21	17,77	23,41	26,55	26,01	21,42	17,06	10,99	7,48	15,62
K	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
i	1,345	1,748	2,969	4,353	6,82	10,352	12,525	12,142	9,049	6,412	3,295	1,84	72,85
ETP(mm)	12,43	14,38	21,23	30,18	51,58	87,22	140,66	153,25	127,30	87,8	42,21	20,73	788,98
RFU(mm)	32,07	10,62	4,34	0	0	0	0	0	0	0	0	11,098	58,13
ETR(mm)	12,43	14,38	21,23	26,29	48,33	28	11	30,71	55	19,5	42	20,73	329,6
EXC(mm)	32,07	10,62	4,34	0	0	0	0	0	0	0	0	11,098	1176,71
DA(mm)	0	0	0	3,89	3,25	59,22	129,66	122,54	72,30	68,3	0,21	0	459,38
BH	32,07	10,62	4,34	-3,89	-3,25	-59,22	-129,66	-122,54	-72,30	-68,3	-0,21	11,098	-401,25

Tableau n°04: bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'Oum Elbouaghi (1995-2010)

DA: le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : **DA=ETP-ETR**

EXC: l'exédant c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc:

$$\mathbf{EXC=P-ETR}$$

BH: le bilan hydrique: **BH=RFU-DA**

4.15.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite:

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Les précipitations dominent dans la région d'étude avec un total de 387.74mm/an.
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois de décembre les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois de Juillet. Les autres mois d'Août jusqu'à Novembre où les précipitations sont supérieures à l'ETP.
- En générale Les précipitations ne couvrent pas les besoins de l'évapotranspiration potentielle et ne permettent pas la formation de la RFU.
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de décembre et se poursuit jusqu'au mois de Juillet.
- La reconstitution du stock s'observe au mois d'Août avec une RFU=11.098mm.

La RFU atteint son maximum (32.07mm) au mois de Septembre et diminue jusqu'à 4.34mm au mois de novembre, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock

4.15.5. Estimation du bilan d'eau

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur de grandes périodes. La formule du bilan est la suivante:

$$\mathbf{P = ETR + R + I + DW}$$

Avec:

P: La hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Le ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: L'évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: L'infiltration annuelle (mm).

ΔW : La variation de réserves en (mm), souvent négligeable.

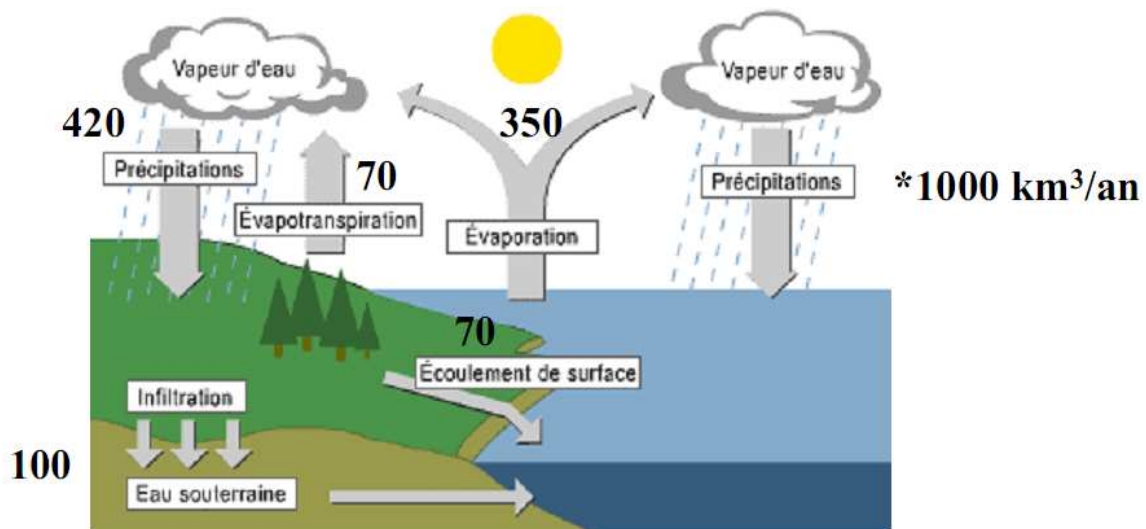


Figure n°30: schéma explicatif du bilan

4.15.5.1. Les différentes composantes du bilan

4.15.5.1.1. Ruissellement: La part de ruissellement dans l'écoulement est difficile à évaluer.

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau où à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette formule tant qu'elle ne tient pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante:

$$R = P^3/3. (ETP)^2$$

Avec:

R: le ruissellement moyen annuel en mm;

P: la hauteur des précipitations moyenne annuelle en mm;

ETP: l'évapotranspiration potentielle en mm/an.

Application numérique:

P (mm)	387.74
ETP (mm)	788.978
R (mm)	31.22

Tableau n° 05: La lame d'eau ruisselée pour la station d'Oum El Bouaghi

4.15.5.1.2. Estimation de la lame d'eau infiltrée:

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et du sous-sol, sous l'action de la gravité et effets de la pression.

C'est la quantité d'eau qui parvient à la surface de la nappe. En effet au cours de son trajet, entre la surface du sol et la surface de la nappe, l'eau d'infiltration subit des pertes par l'évapotranspiration.

La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule suivante:

$$I = P - (ETR + R)$$

Avec:

P: précipitation moyenne annuelle en (mm)

ETR: évapotranspiration réelle en (mm/an)

I: infiltration en (mm/an).

R: ruissellement en (mm).

Application numérique:

P (mm)	387.74
ETR (mm/an)	329.5979
R (mm)	31.22
I (mm/an)	26.92

Tableau n° 06: La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique.

L'infiltration est de l'ordre de 26.92 mm/an. Nous constatons que l'infiltration est inférieure au ruissellement en raison des faibles perméabilités des terrains.

Les différentes composantes du bilan hydrologique sont reportées dans le tableau suivant:

P (mm)	387.74
ETR (mm/an)	329.5979
R (mm)	31.22
I (mm/an)	26.92

Tableau n° 07 : les composantes du bilan hydrologique

Conclusion

L'étude du climat nous a expliqué que la zone d'étude est soumise à des conditions climatiques plus ou moins difficiles et très sévères.

Le sirocco qui souffle durant l'été provoque une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique.

D'une manière générale, le climat de la zone se caractérise par deux saisons, l'une pluvieuse et froide et l'autre sèche et chaude.

D'après le climagramme d'Emberger, la zone d'étude est située dans l'étage semi aride à hiver froid.

L'examen des précipitations et des températures des différents postes pluviométriques a donné des résultats spécifiques aux sous bassin de Fkirina avec :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 387.74 mm
- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.62 C°.
- Une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 788.978 mm.
- Une évapotranspiration réelle de l'ordre de 329.5979 mm
- Un déficit agricole de l'ordre de 459.38 mm. Notons que le bilan hydrique est déficitaire, et l'alimentation se fait latéralement soit par les bassins voisins, soit par drainance.
- Un ruissellement et une infiltration respectivement de 31.22mm et 26.92 mm. Cette dernière contribue à l'alimentation de la nappe superficielle à partir de la surface.

5. étude hydro chimique

Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole (Ziani. D; 2009).

L'étude de la chimie des eaux souterraines ou hydrochimie apporte son lot d'informations dans le traçage chimique pour la compréhension du fonctionnement des différents systèmes aquifères et des relations inter-nappes.

L'interprétation des données chimiques des eaux souterraines permet de comparer les eaux entre elles, de les classer selon des distributions ioniques en un certain nombre de faciès et enfin une représentation graphique pour mettre en exergue les évolutions des différents faciès dans le sens d'écoulement des eaux.

77 points d'eau ont été sélectionnés sur toute la plaine pour le suivi et ont fait l'objet d'interprétation pour la compréhension du fonctionnement hydro chimique du système aquifère de f'kirina.

Les analyses des éléments chimiques fondamentaux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et HCO_3^-) ont été réalisées au laboratoire d'hydrochimie de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH. 2011) de Constantine à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique de type de flame 410 -scherwood- pour les cations, et à l'aide d'un scanner pour les autres paramètres: anions.

Les paramètres physico-chimiques mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon par nous même au mois de Juin 2011, à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA HI9025 sont: la température, la conductivité électrique et le potentiel d'hydrogène.

5.1. Résultats des analyses de l'eau

Les analyses physicochimiques des eaux de la plaine de F'Kirina pendant l'année 2011, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes de potabilité dans certains points de mesures.

5.1.1. Les paramètres physico-chimiques :

L'eau destinée à la consommation humaine doit respecter un certain nombre de paramètres qui définissent sa potabilité, La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques,

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, etc. (F. Amraoui; 2000)

La teneur relative des éléments chimiques dissous est une mesure indirecte de sa minéralisation afin d'estimer sa qualité physico-chimique pour d'éventuel usage à des fins domestiques, agricoles ou industriel.

Ces paramètres ont été mesurés in situ. Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des éléments dans l'eau.

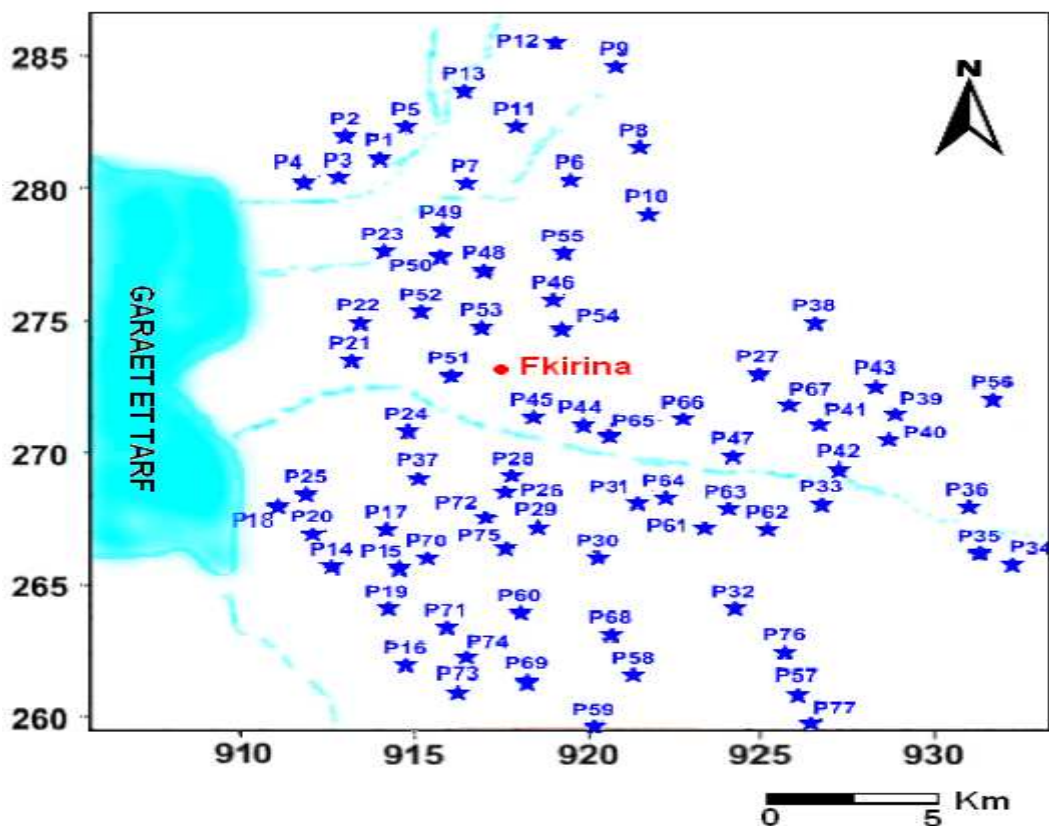


Figure 31: Carte d'inventaire des points d'eau 2011

5.1.1.1. La température (°C)

La température des eaux est un paramètre physique utile dans la compréhension des sources d'alimentation doit pas dépasser 25°C

Les mesures de températures permettent de corriger les valeurs de conductivités mesurées elles jouent un rôle dans la solubilité des sels et elle permet dans certains cas à déterminer l'origine des eaux.

Il est admet que la température des eaux est influencée par la température de l'air. Les valeurs de température observées dans la plaine de F'Kirina sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25 °C, elle varie de 17°C à 22 °C. Notons que la température moyenne annuelle de l'air est de 16°C. Ces valeurs traduisent la présence d'une nappe alluviale non profonde alimentée par des eaux météoriques.

5.1.1.2. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH ou potentiel d'hydrogène, qui correspond au cologarithme décimal de l'activité des ions H^+ présents dans l'eau, constitue une expression de l'acidité ou de l'alcalinité du milieu qui sont évidemment une résultante de sa composition

Le pH est fortement influencé par la présence du gaz carbonique dissous (pCO_2) il est responsable de l'acidité du milieu aquatique quand il est dissous dans les eaux souterraines. Le pH doit être compris entre 6,5 et 9

Le PH mesuré dans le bassin de F'kirina varie entre 7.2 et 8.16. En générale les eaux de la plaine ont un caractère alcalin.

5.1.1.3. Conductivité électrique (CE)

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs mesurées pour l'ensemble des échantillons s'échelonnent entre : un maximum de 1456 $\mu S/cm$ et un minimum de 792 $\mu S/cm$; La moyenne de mesure est de 1219.86 $\mu S/cm$.

On s'aperçoit qu'on assiste à une concentration dans le sens de l'écoulement

La carte montre que la majorité des points d'eau de F'Kirina pendant ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevé. Ces valeurs restent supérieures au limite de potabilité fixée par la Comité Européenne des eaux (<1250 $\mu S/cm$).

5.1.1.4. Minéralisation

La minéralisation est la teneur globale en sels dissous dans une eau, elle est exprimée en mg/l et peut être calculée à l'aide d'un facteur empirique à partir de la conductivité électrique ou mesurée au multiparamètre.

La minéralisation augmente avec la profondeur et dans le sens d'écoulement des eaux du fait des périodes de sécheresse prolongée, de la lithologie et aussi de l'intrusion des eaux de Sebkhha de Garaat-et-Tarf en réponse aux pompages intensifs.

L'examen de la carte de minéralisation des eaux montre une évolution de la minéralisation de l'amont en aval ou elle passe de 372 mg/l près des affleurements calcaires de bordure au nord-est du bassin à 5704 mg/l à l'exutoire, avec une moyenne de 946 mg/l sur toute la plaine.

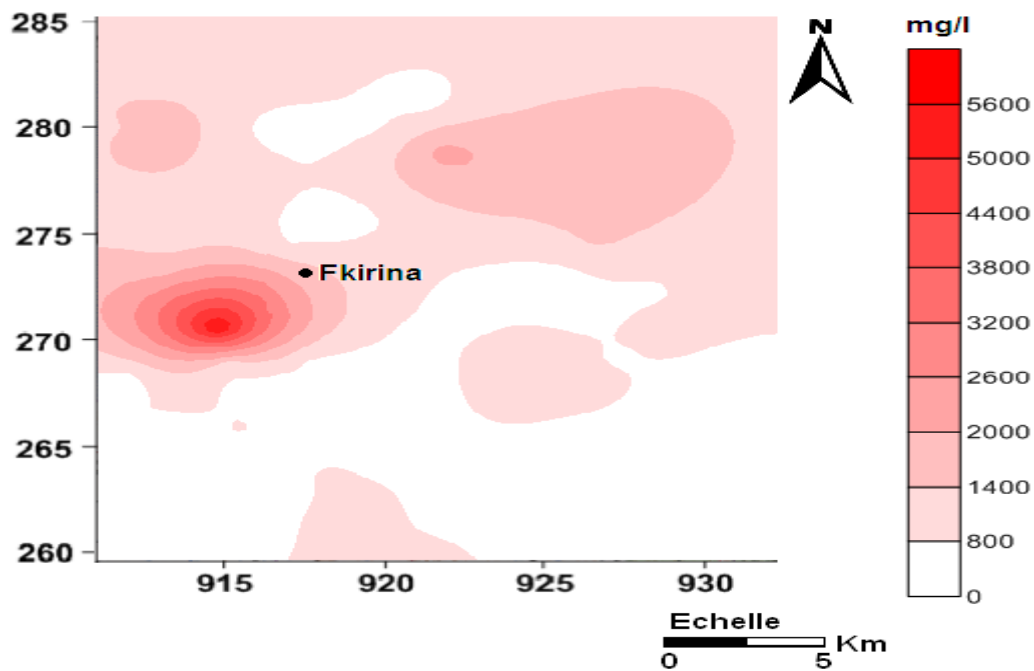
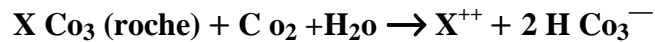


Figure 32: carte de répartition spatiale de minéralisation

5.1.2. Etude analytique des éléments chimiques

5.1.2.1. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates, prennent naissance de l'équilibre physique-chimique entre roche, eau et gaz selon l'équation :



Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable.

La concentration des bicarbonates dans l'eau est en fonction des paramètres suivants :

- Le PH de l'eau.
- La pression de CO₂.
- La concentration de l'eau en sels et la nature géologique des terrains traversés.

L'examen de la carte de bicarbonates montre une diminution de teneurs au sens d'écoulement avec une moyenne de mesure de 247mg/l. les valeurs maximales est de 1061mg/l, celle minimale est de 116mg/l mesurée près des affleurements calcaires.

L'accroissement de la teneur des bicarbonates juste à la sortie des calcaires maestrichtien est attribué à leur grande solubilité. En s'éloignant des affleurement, les eaux deviennent saturée et les carbonate précipitent et leur teneur diminue dans les eaux et se trouvent ainsi, contrôlés par la dissolution du calcium au nord-est du bassin

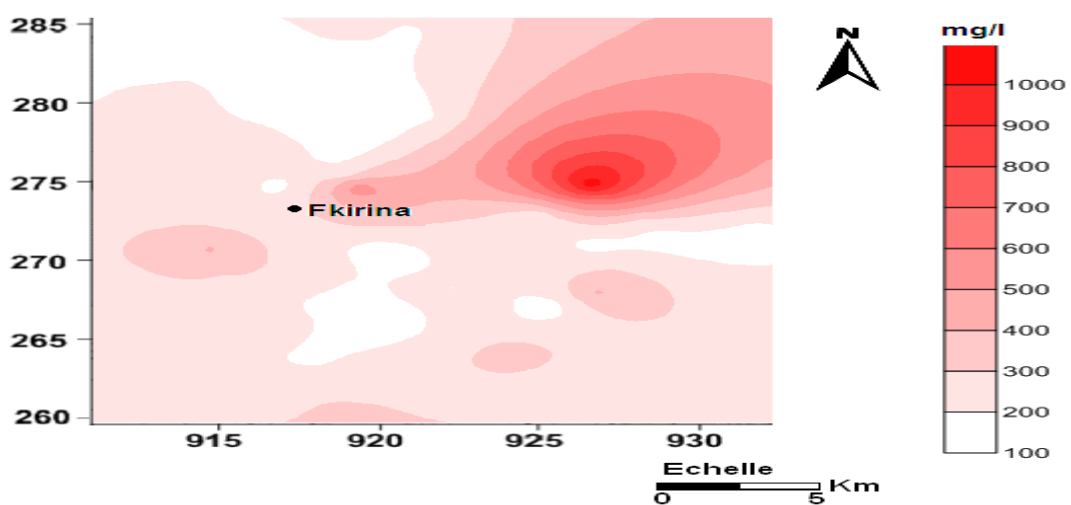


Figure 33: carte de la distribution des teneurs en bicarbonate dans les eaux souterraines du bassin de F'kirina

5.1.2.2. Les sulfates (SO_4^{-2})

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte :

- De la légère solubilité du sulfate de calcium (CaSO_4) des roches gypseuses.
- De l'oxydation du sulfure de fer (pyrite.....).
- De la pollution des eaux et de l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et organiques.
- De l'oxydation des sulfates d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations.

La carte de sulfate montre un foyer de concentration très élevée à l'ouest de la plaine, avec une valeur maximale de 2660 mg/l dépassant de loin les normes de potabilité.

La présence d'inclusion gypsifère ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et de roches salines évaporitiques ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$) seraient responsables de l'augmentation de la teneur en sulfate

La faible teneur en sulfate est de l'ordre de 12 mg/l mesurée près des affleurements calcaires. La moyenne de mesure est de 285 mg/l.

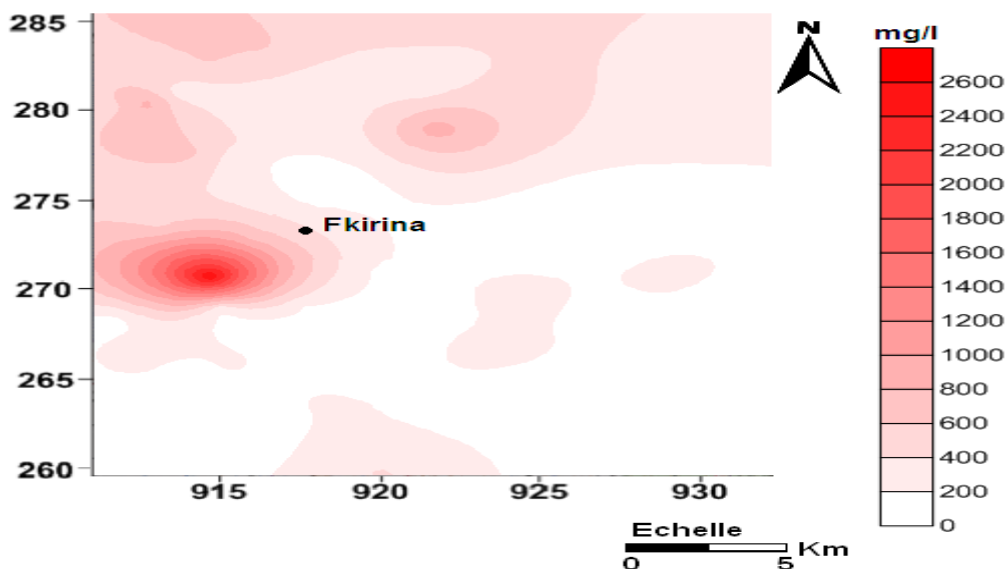


Figure 34: carte de la distribution des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines

5.1.2.3. Les nitrates (NO_3^-)

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques

Le nombre important des puits récents, les sondages opérés au fond des puits anciens et récents, le développement de l'agriculture irriguée (consommation de grandes quantités d'eau et d'engrais minéraux) ; ils deviennent donc impératif d'aborder la pollution de ces eaux.

Les teneurs en nitrates sont alarmantes, 134 mg/l, ou elles dépassent de loin les normes; Ainsi les foyers contaminés se trouvent au Nord et au Nord-ouest de la ville de F'Kirina; Cela est attribué à la pollution agricole par l'utilisation des engrais chimiques nitrates dans des cultures et l'élevage intensif

Au Sud-Ouest, la contamination des eaux serait attribuée aux eaux usées domestique de l'agglomération de F'Kirina. Notons enfin, que la consommation de ces eaux serait responsable de l'apparition de la "maladie bleu" ou la méthémoglobinémie chez certains bébés.

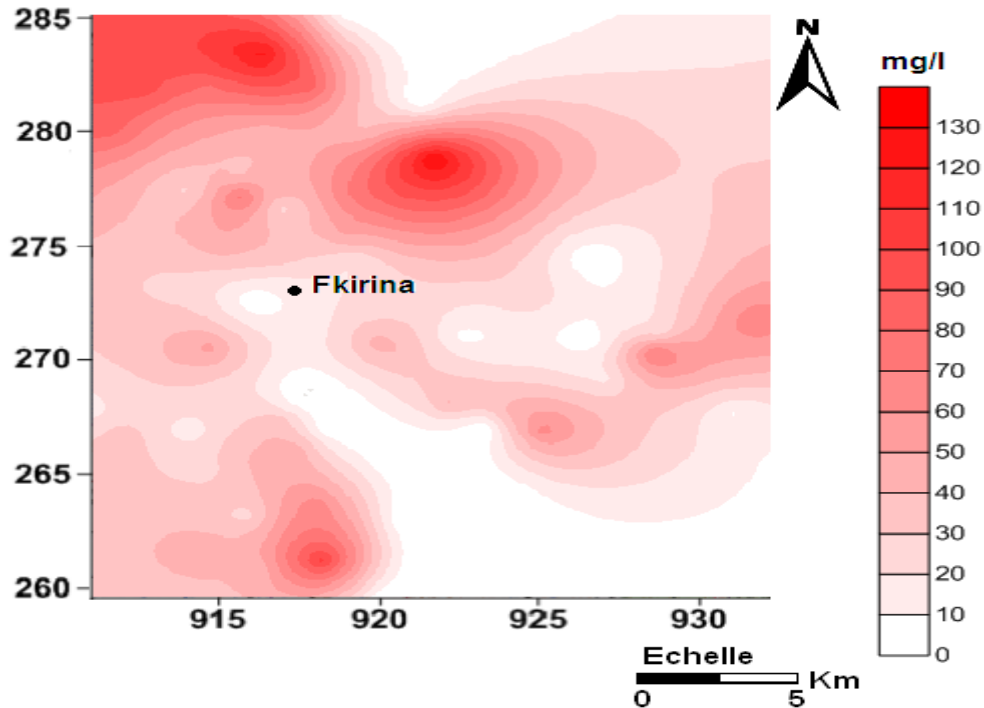


Figure 35: carte de la distribution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines

5.1.2.4. Les chlorures (Cl⁻)

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés et à la dissolution des minéraux salifères.



Habituellement la teneur en ion chlore des eaux naturelles est inférieure à **50 mg/l**, mais elle peut subir les variations suivantes :

- Dans les zones arides par lessivage des concrétions salines superficielles en cas de forte pluie.
- Dans les zones agricoles à l'élevage intensif et aussi aux cultures parcellaires par intrants organiques et inorganiques.
- Dans les zones humides par la présence de Sebka et Chott au contact eau douce-eau salée.

La région de F'kirina est semi-aride, il serait utile d'attribuer les fortes teneurs, supérieures à 250 mg/l, aux points cités sus dessus.

Au Sud, on peut lier la variation en teneur au lessivage des formations triasique.

Pour les zones proches de Garaet Et Tarf (zone d'embouchure Oued-Sebkha), zone d'intrusion des eaux saumâtres depuis la Sebkha en réponse aux pompages intensifs et à la migration des eaux salées.

Pour les points situés au nord ouest de la plaine dans cette zone on peut lier la forte teneur en chlorures à la pollution des eaux de la nappe par les eaux usées des rejets de la ville de Ain Beida et à l'utilisation des engrais chimiques et aux rejets solides des parcs d'élevages (poulaillers).

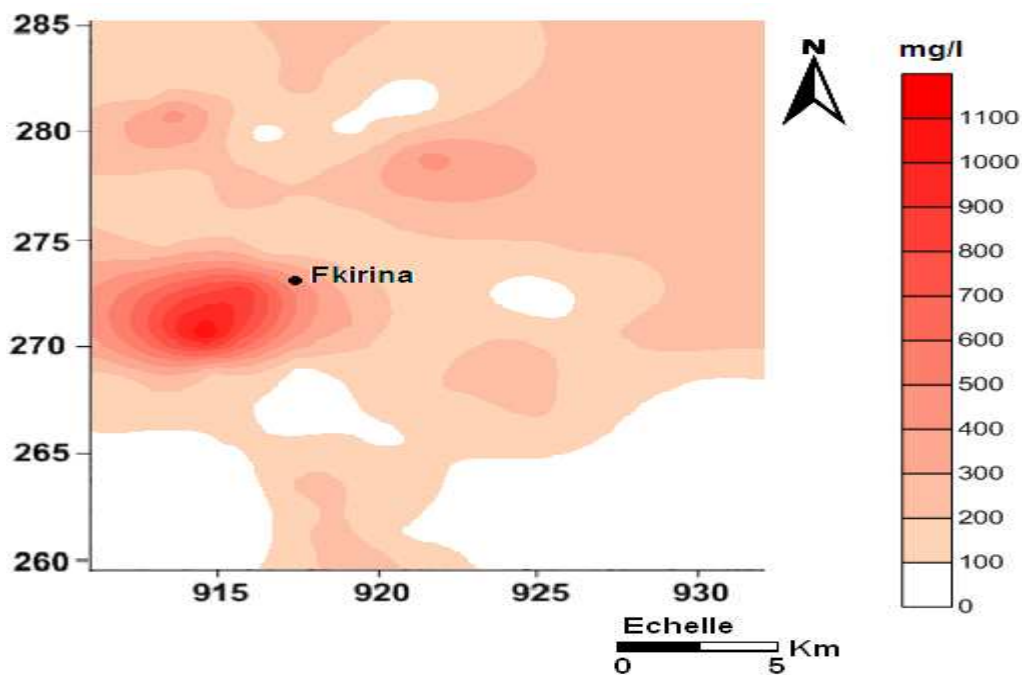
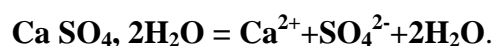
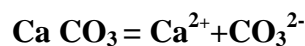


Figure 36: carte de la distribution des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines

5.1.2.5. Le calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (Ca SO_4).



Les résultats de mesure obtenus au laboratoire et la carte de calcium montrent que la plupart des points d'eau de la plaine présentent des teneurs en ions calcium élevées (valeur maximale est de 720 mg/l) avec des concentrations supérieures à la norme de potabilité des eaux (100 mg/l), à l'exception de quelques points où les concentrations sont plus faibles (valeur minimale est de 52 mg/l) et exactement les zones limitrophes à Garaet Et Tarf où l'écoulement des eaux souterraines est très faibles (gradient hydraulique faible, les courbes isopièzes espacés), ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

On assiste selon la répartition spatiale à une concentration dans le sens d'écoulement avec moyenne de mesure de 135 mg/l.

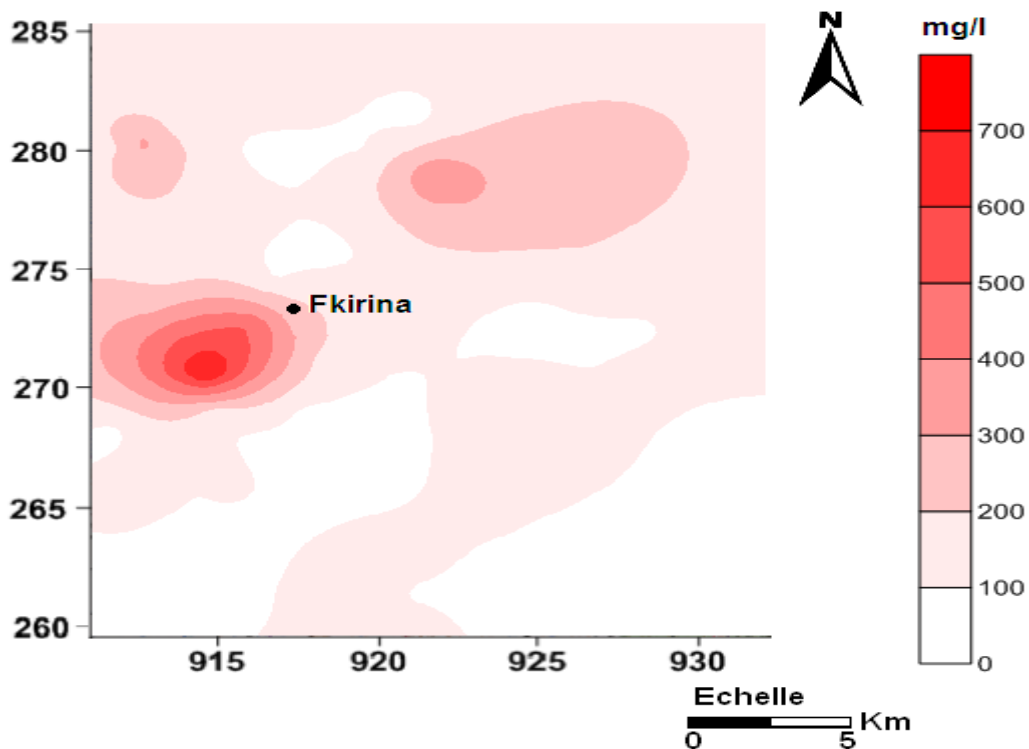
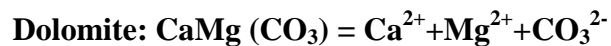


Figure 37: carte de la distribution des teneurs en calcium dans les eaux souterraines

5.1.2.6. Carte de magnésium (Mg^{2+})

La dissolution de magnésium résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques.

Le magnésium provient aussi de la dissolution des sulfates de magnésium dans les terrains gypseux et de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



La carte de la distribution des teneurs en magnésium montre que la teneur maximale est de 427 mg/l, la faible teneur est de 8 mg/l et la valeur moyenne de mesure est de 55 mg/l dépassant les normes de la potabilité.

A l'est de la plaine on peut attribuer les fortes teneurs en magnésium à la dissolution des dolomites.

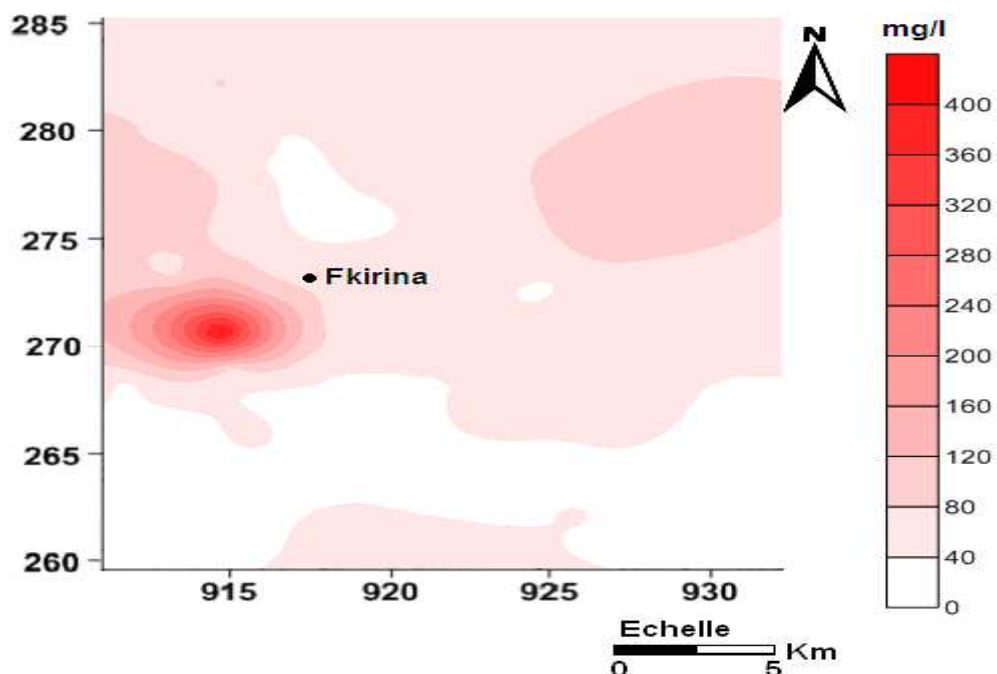


Figure 38: carte de la distribution des teneurs en magnésium dans les eaux souterraines

5.1.2.7. Carte de sodium (Na^+)

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportion très variable.

Il provient du lessivage des formations géologique riche en Na Cl.

Les teneurs en sodium observées pour l'ensemble des points d'eaux de la plaine varient entre 14 mg/l comme valeur minimale et 680 mg/l comme valeur maximale dans les eaux du point d'eau; la moyenne de mesure est de 102 mg/l.

La zone ou les fortes teneurs en sodium sont l'aval d'Oued Nini (fin de cours des Oueds)

Les fortes teneurs sont attribuées à la migration des eaux salées en provenance de la sebkha en réponse aux pompages intensifs et aussi à l'irrigation par des eaux salées et les eaux d'Oued Nini

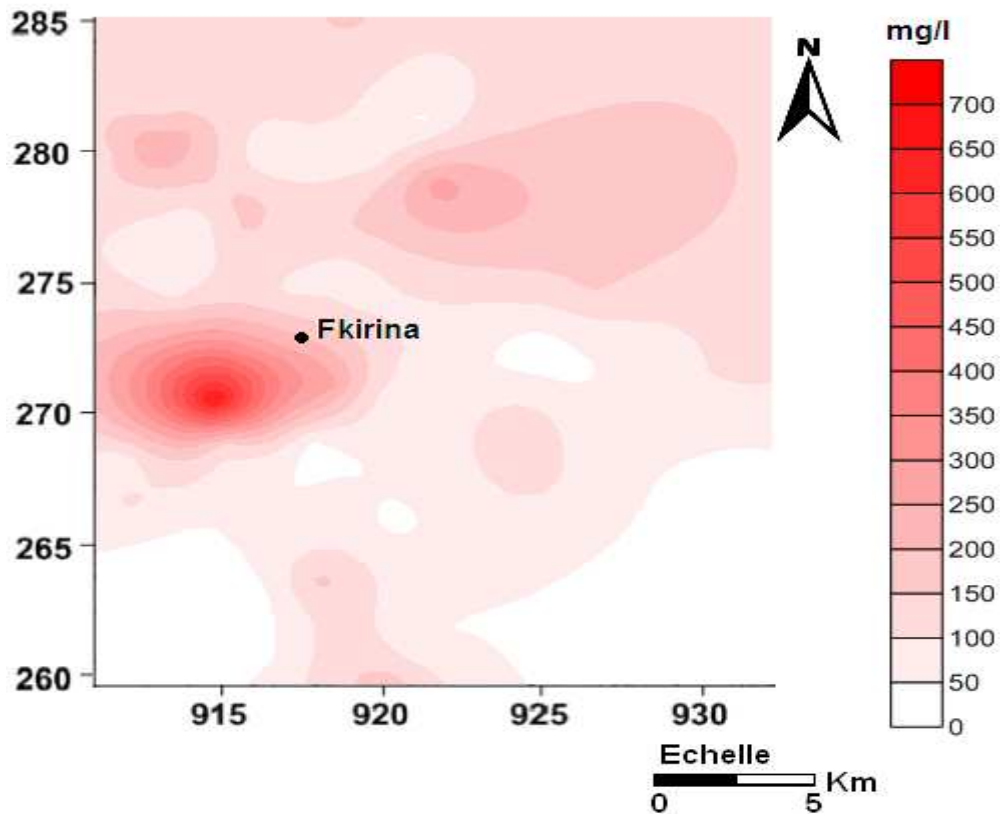


Figure 39 : carte de la distribution des teneurs en sodium dans les eaux souterraines

5.1.3. Etude des rapports caractéristiques

Le rapport caractéristique est le rapport de certain élément chimique exprime en milli équivalent par litre (még/l), ce paramètre donne une indication sur la zone d'alimentation, et la circulation des eaux souterraines.

5.1.3.1. Rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$

Le rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$ est inférieur à 1 pour l'ensemble des points situés dans la plaine ce qui traduit un enrichissement en calcium par désorption du calcium. Les valeurs supérieures à 1 expliquent la dissolution rapide des dolomies par rapport aux calcaires et à la fixation du calcium par précipitation de la calcite.

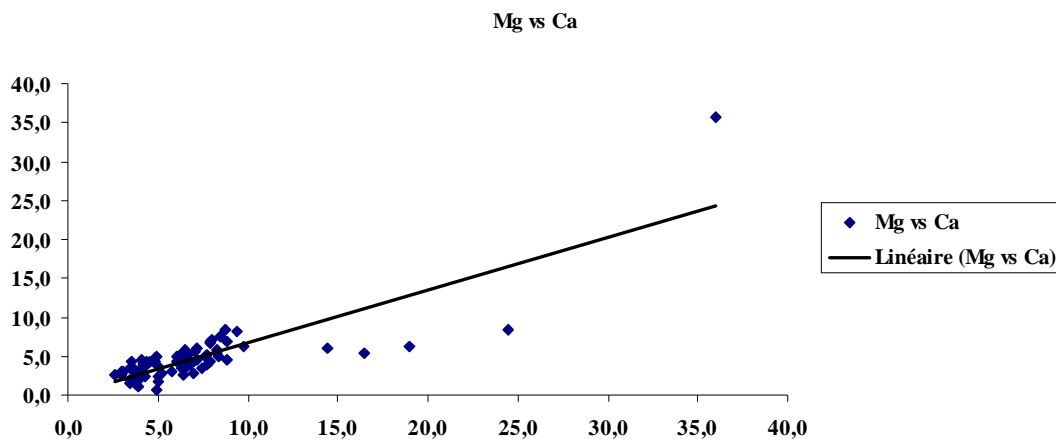


Figure 40 : Courbe de variation du rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$ dans la nappe de F'kirina

5.1.3.2. Rapport $r \text{Ca}^{2+}/r \text{SO}_4^{2-}$:

L'examen de ce rapport montre que les eaux ont une même origine près des affleurements calcaires par dissolution simultanée de la calcite et du gypse, dans le remplissage alluvionnaire, les eaux s'enrichissent davantage en calcium et s'appauvrissent en sulfate.

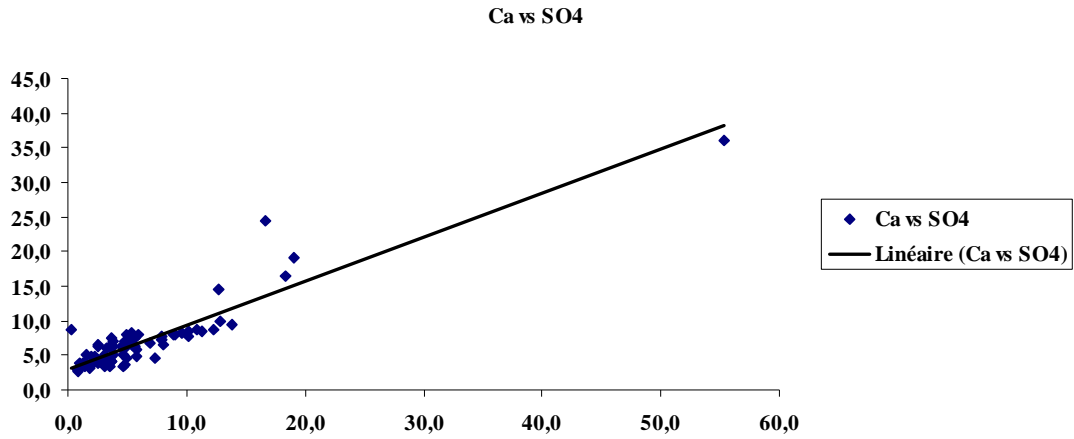


Figure 41 : Courbe de variation du rapport $r \text{Ca}^{2+}/r\text{SO}_4^{2-}$ dans la nappe de F'kirina

5.1.3.3. Rapport $r \text{Na}^+/r \text{Cl}^-$:

Le rapport montre que les teneurs en chlorures et sodium évoluent ensemble et dénote de la dissolution de l'halite (NaCl) contenue dans les roches évaporitiques

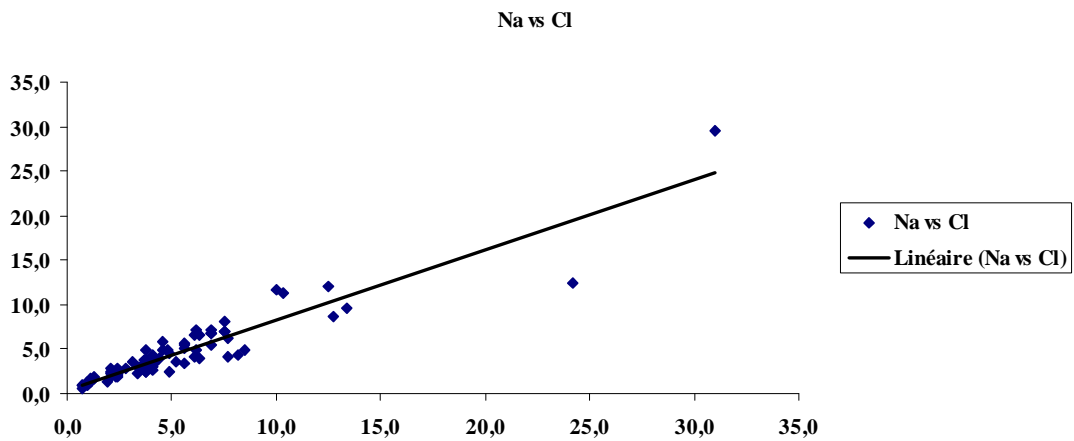


Figure 42 : Courbe de variation du rapport $r \text{Na}^+/r \text{Cl}^-$ dans la nappe de F'kirina

5.1.4. Faciès chimiques des eaux

5.1.4.1. Répartition graphique

L'interprétation des résultats des analyses a pour but de déterminer les Faciès chimiques et d'effectuer une comparaison spatio-temporelle. Parmi les méthodes graphiques les plus utilisées, celle de SCHOELLER et BERKALOFF (1935-1938) et celle de PIPER (1944)

5.1.4.1.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. 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 intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée :

Le diagramme de Piper montre une évolution du faciès chimique depuis des eaux bicarbonatées calciques, riches en calcite (CaCO_3) près des affleurements carbonatés au Nord est du bassin vers un faciès intermédiaire sulfatés calcique au centre de la plaine dans le remplissage plio-quaternaires riche en gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pour finalement aboutir à des eaux chlorurées calciques à l'exutoire avec une intrusion des eaux de la Sebkha (**figure43**).

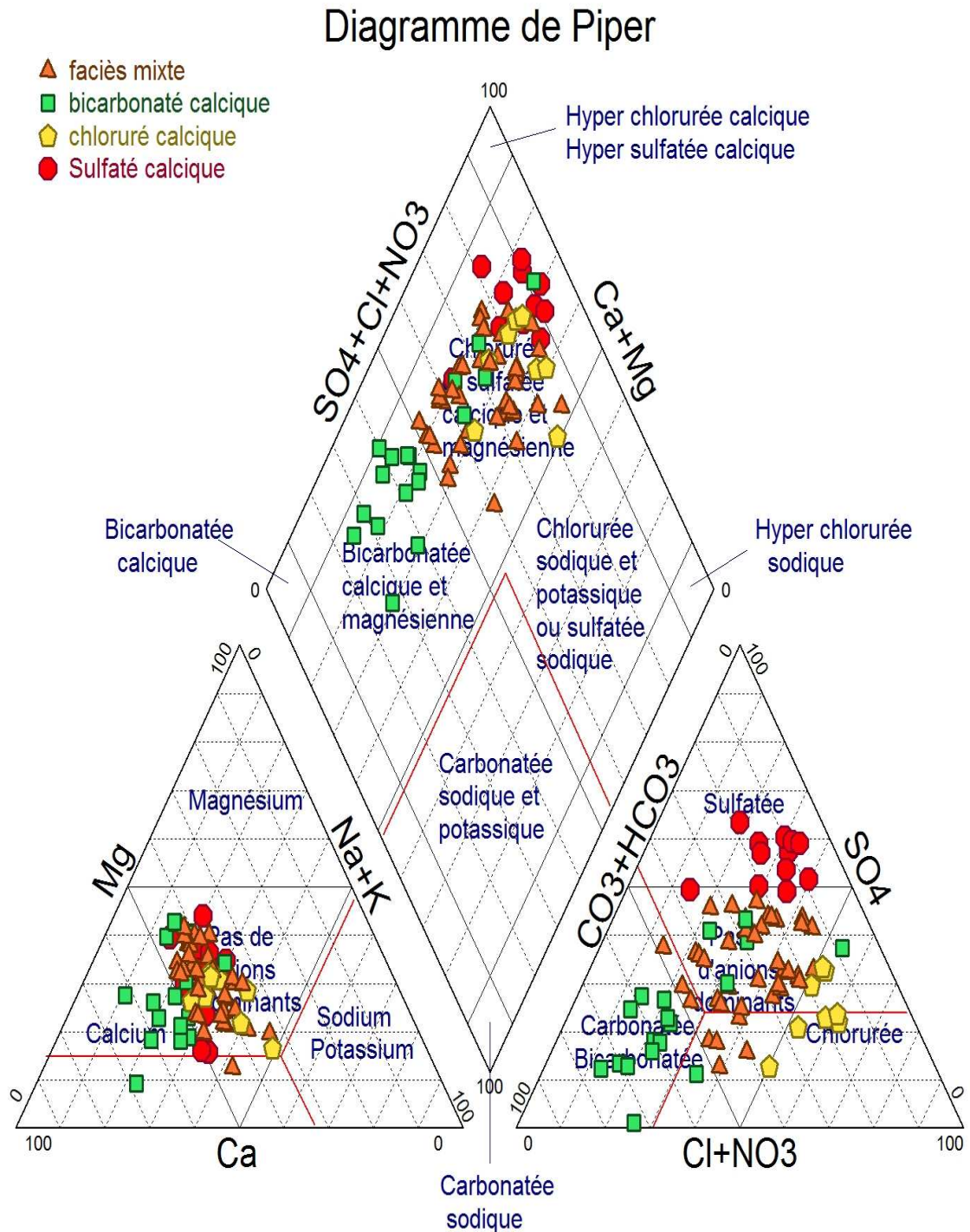


Figure 43 : Diagramme des analyses des eaux de surface du bassin versant de F'kirina

5.1.4.1.2. Diagramme de Diagramme Schoeller Berkaloff

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme de Schoeller Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au dessus des autres dans le cas contraire.

D'après les figures il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe phréatique, mais en général on a trois familles d'eau prédominantes, chloruré calcique, sulfaté calcique et bicarbonaté calcique

Selon le Schoeller Berkaloff on peut dire que les eaux du bassin versant de F'kirina sont marquées par les calciums qui s'accompagnent tantôt de sulfate tantôt de chlorure, et tantôt de bicarbonate; ce ci est en liaison directe avec la présence des gypses, des calcites et des formations carbonatées.

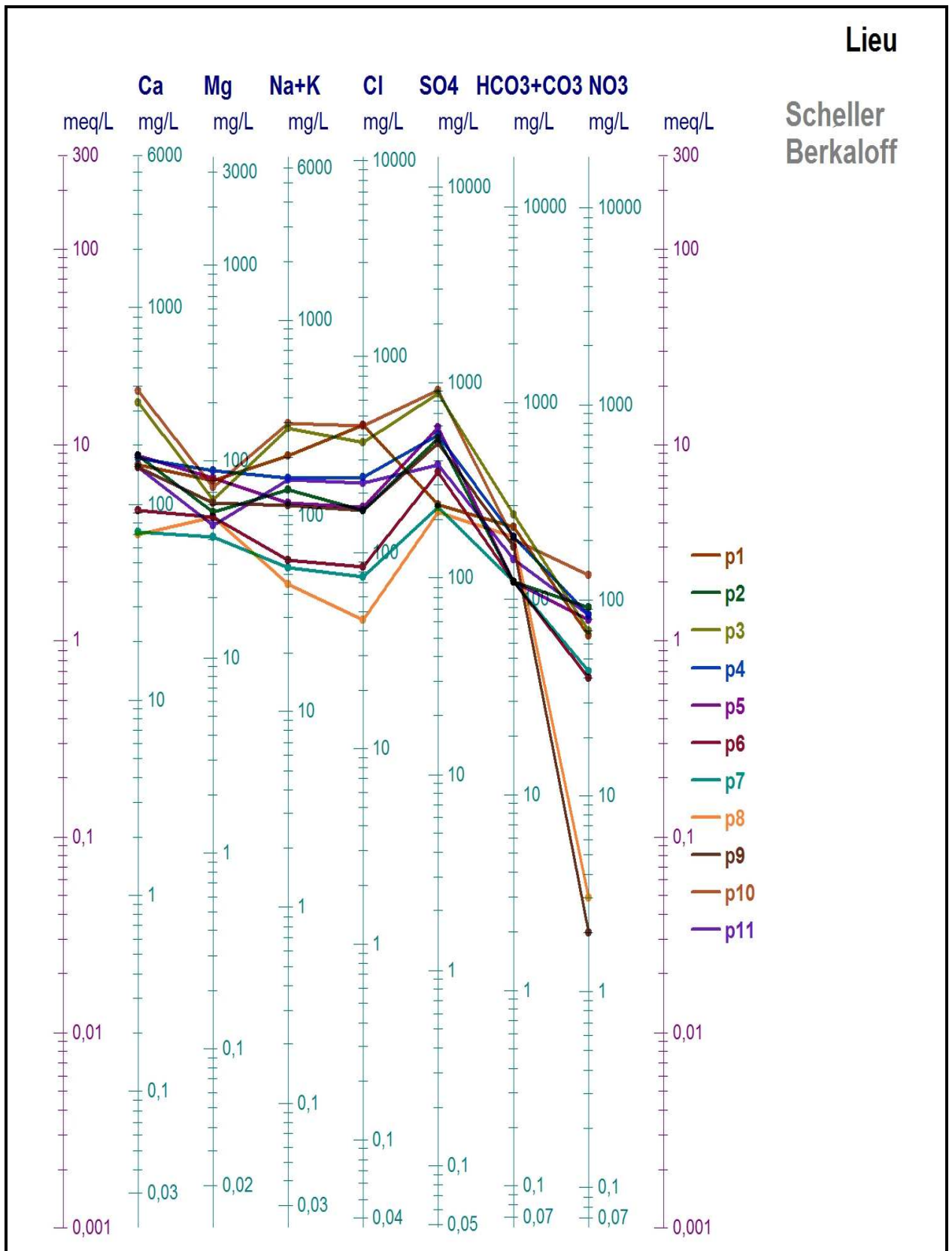


Figure 44 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P1-P11)

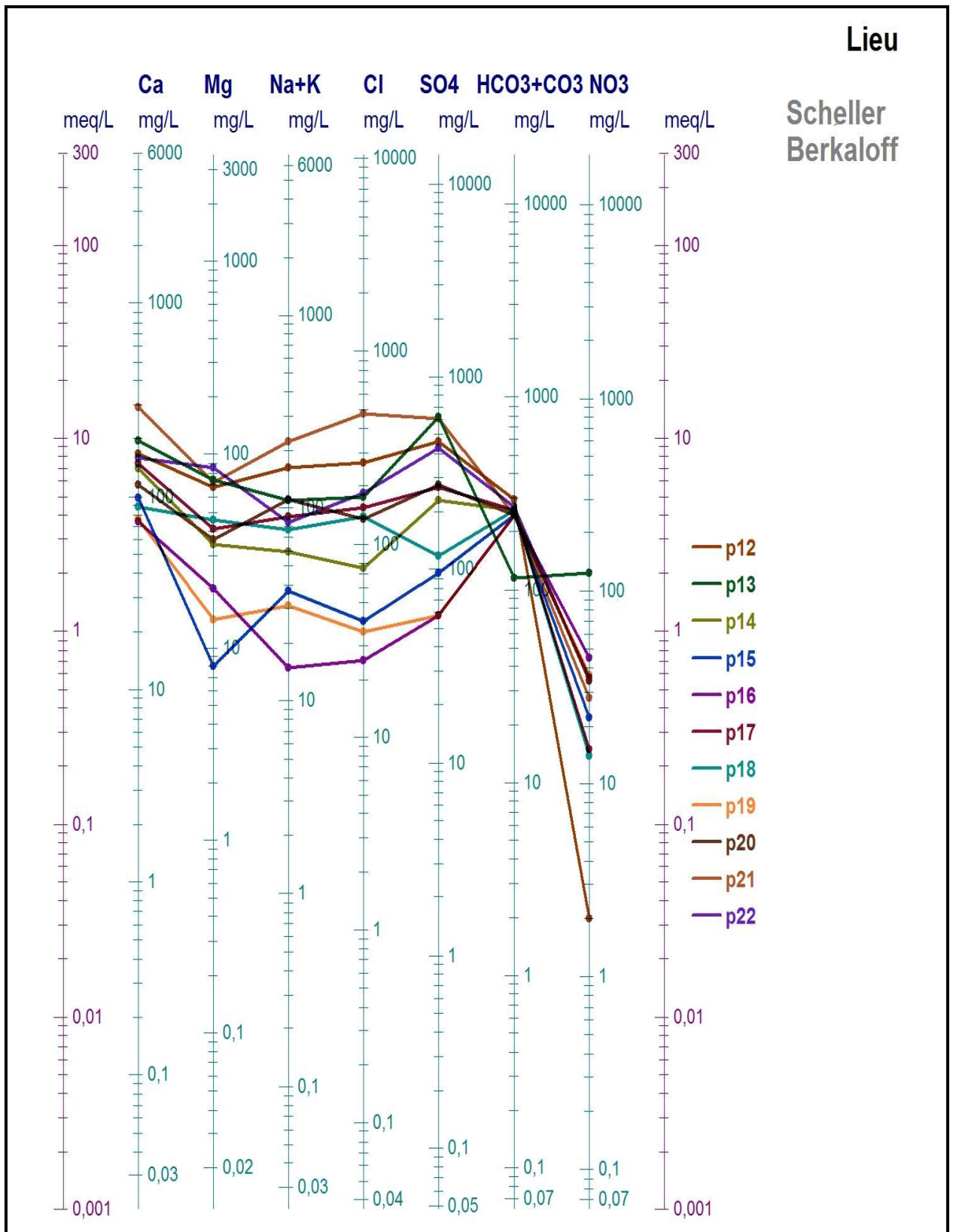


Figure 45 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P12-P22)

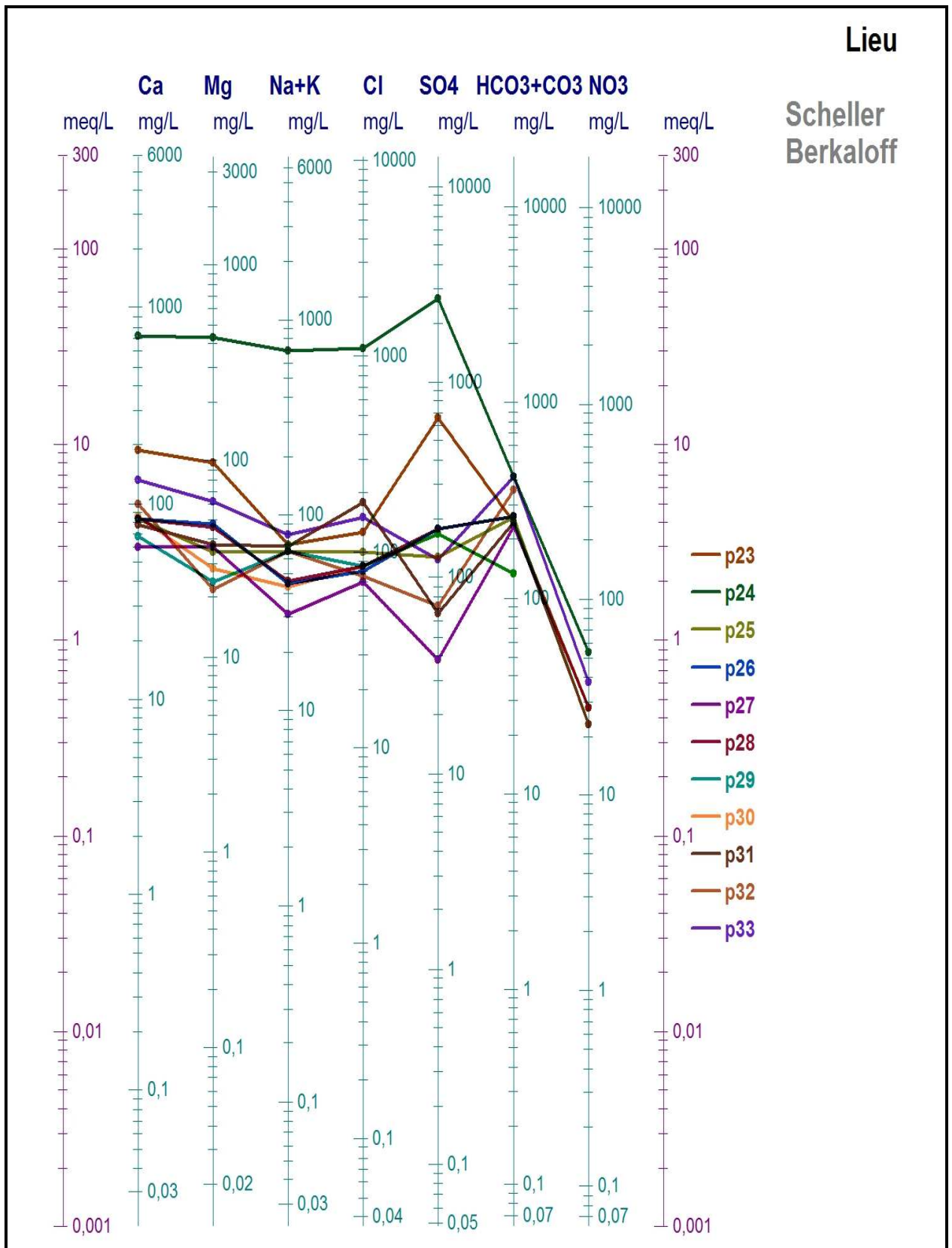


Figure 46 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P23-P33)

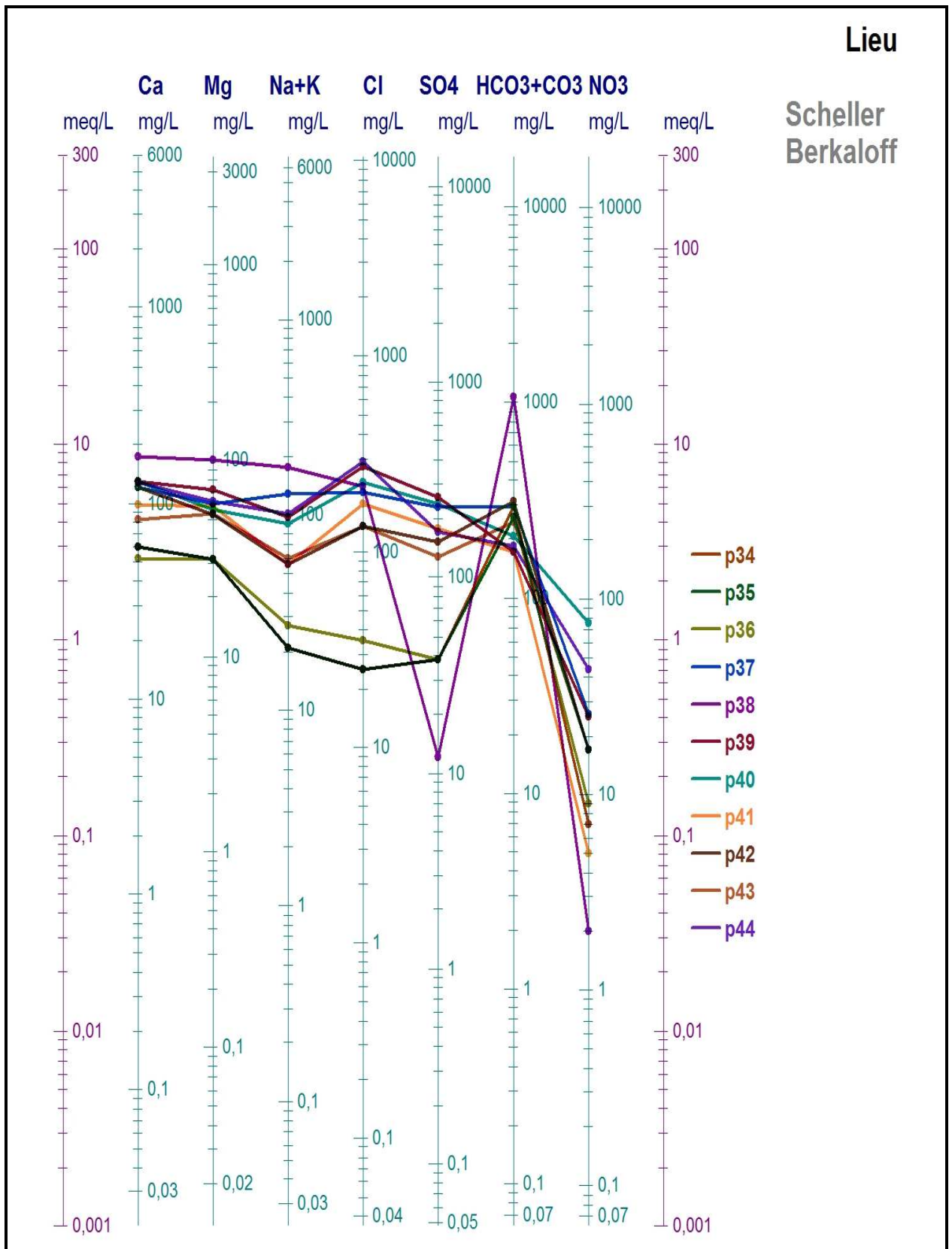


Figure 47 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P34-P44)

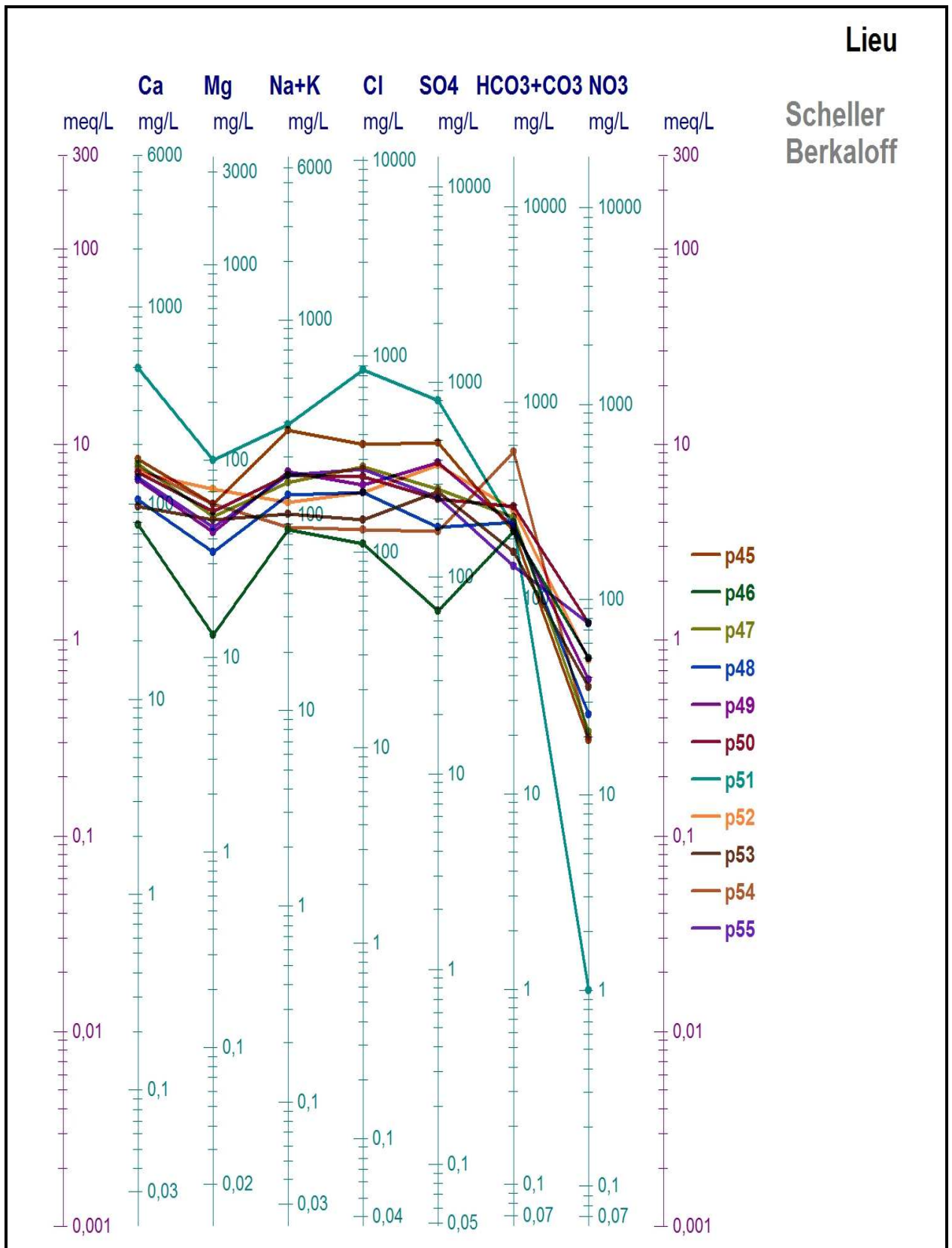


Figure 48 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P45-P55)

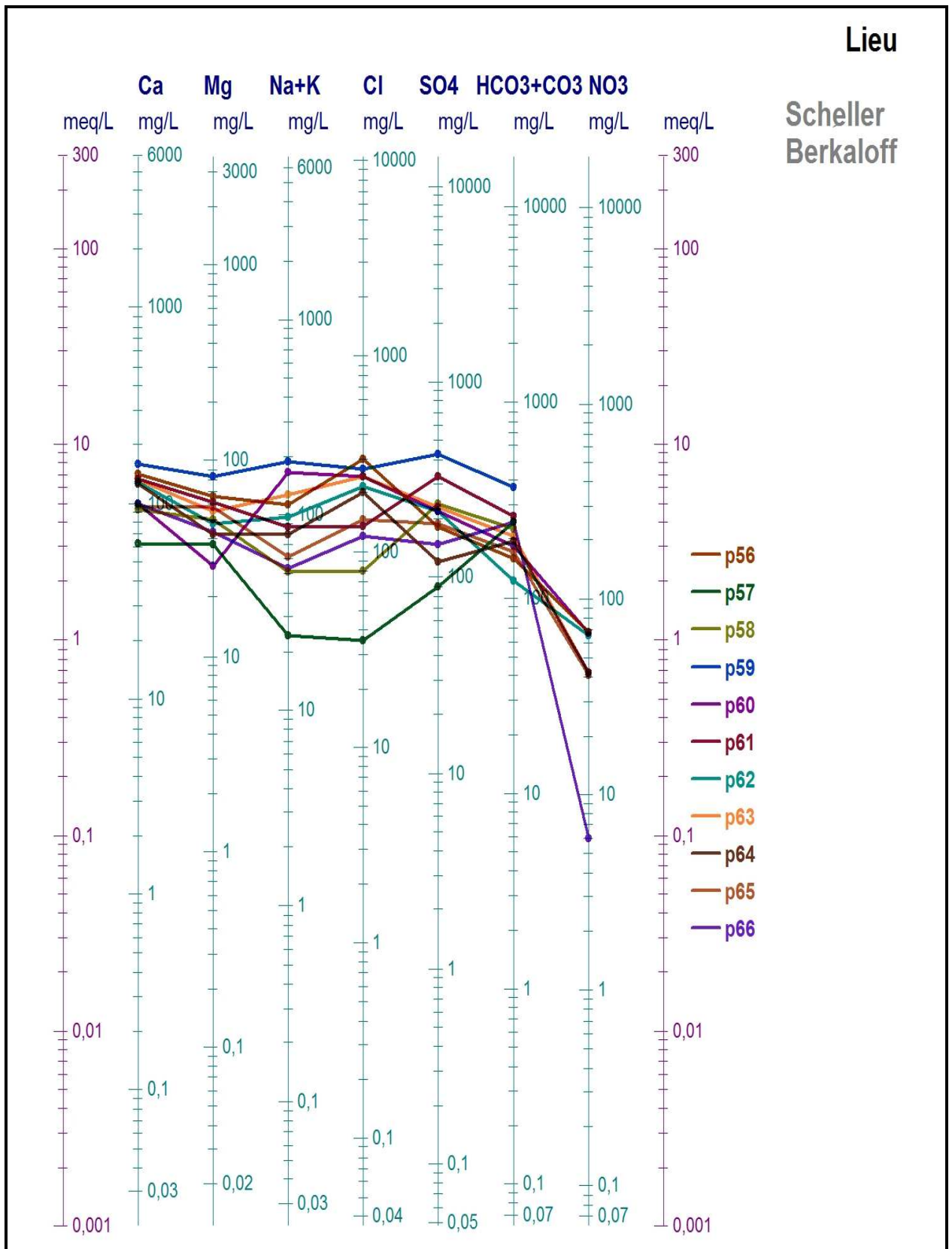


Figure 49: Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P56-P66)

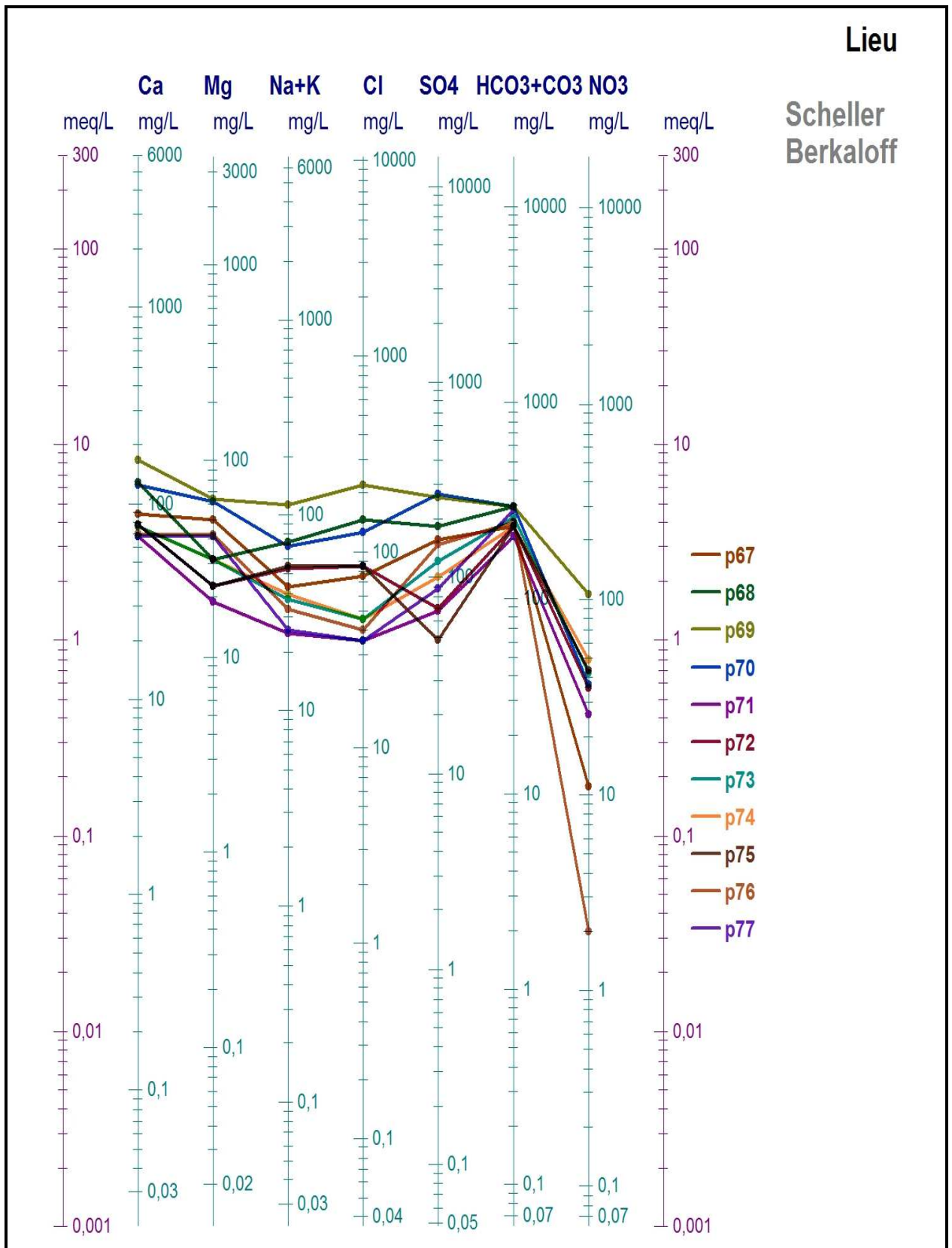


Figure 50 : Diagramme des analyses des eaux souterraines du bassin versant de F'kirina (P67-P77)

5.1.4.1.3. Classification de Richard:

La qualité de l'eau pour l'irrigation a été étudiée par l'USSL (1954) puis complétée par DURANT (1958). Cette étude s'est basée sur la concentration du sodium par rapport à celle du calcium et du magnésium.

Le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique.

Le diagramme de Richards propose seize classes les plus caractéristiques sont quatre qui sont:

- 1- Classe S1C1 : eau à salinité faible (C1) convenable pour l'irrigation de toutes les cultures avec faible risque (S1) d'accumulation des sels sauf pour les sols à faible perméabilité.
- 2- Classe S2C2 : eau de salinité moyenne (C2), convenable pour l'irrigation avec précaution (S2) d'une dose de lessivage des cultures semi résistantes.
- 3- Classe S3C3 : eau à salinité élevée (C3) ne convient pas aux sols à faible capacité de drainage (S3), les cultures doivent être résistantes.
- 4- Classe S4C4 : Eau à salinité très élevée (C4), ne convient pas à l'irrigation sous conditions ordinaires, pour quelles soit utilisée un drainage adéquat doit être mis en place pour des cultures résistantes.

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et la destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium. Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque de salinité est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable : « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le S.A.R est plus élevé. Ce dernier est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{1/2}$$

Avec :

Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l

Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l

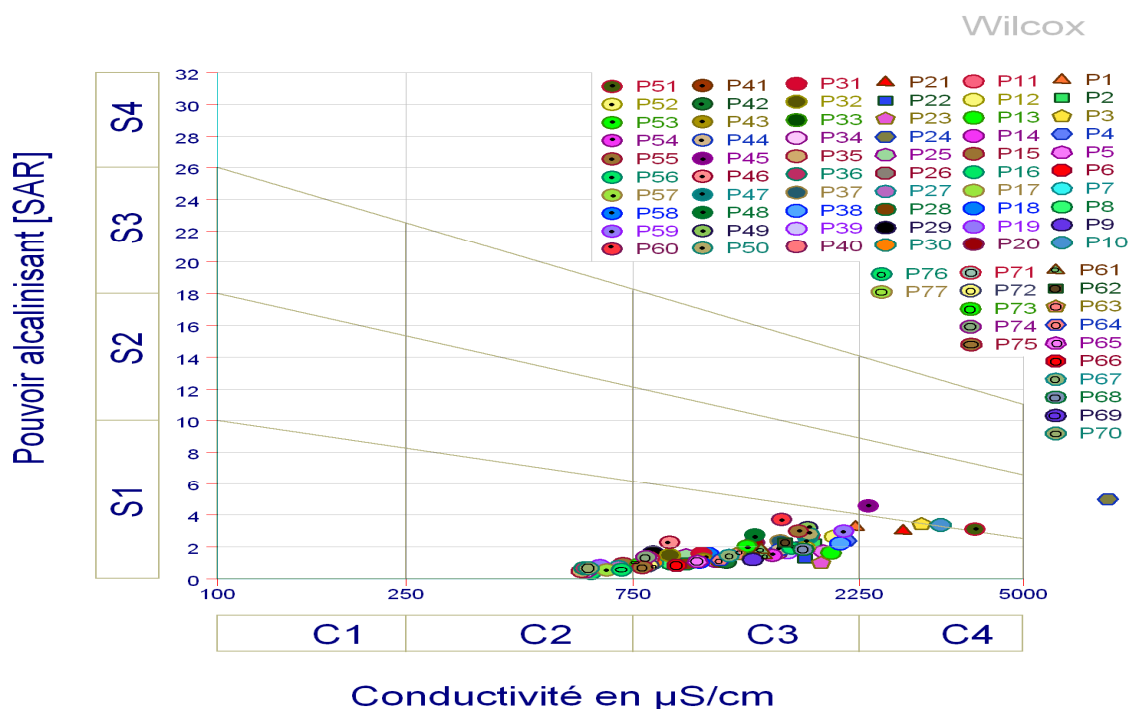
Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Trois classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin.

$SAR \leq 10$ Risque faible

$10 \leq SAR \leq 18$ Risque moyen

$SAR \geq 18$ Risque élevé. ((Figure 51)



**Figure 51: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin
Selon la méthode du SAR**

L'examen du diagramme du SAR permet de dire que le danger d'alcalinisation est faible mais le danger de salinité est élevé.

Dans le détail, on constate que les eaux ne conviennent pas à l'irrigation des cultures dans des conditions normales et peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

5.1.4.1.3.1. Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards.

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation qui englobe le maximum de puits.

La répartition de cette qualité a fait apparaître quatre classes (**figure 52**) :

- Bonne : Elle représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures ;(Au centre de la plaine)
- Admissible : Elle englobe, généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation; Elle est la plus répandue dans la nappe.
- Médiocre : Cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. On la rencontre au Sud de la plaine.
- Mauvaise : elle représente les eaux de très forte minéralisation avec des risques de salinisation très importants. (Elle est remarquée Occasionnellement au puits 24)

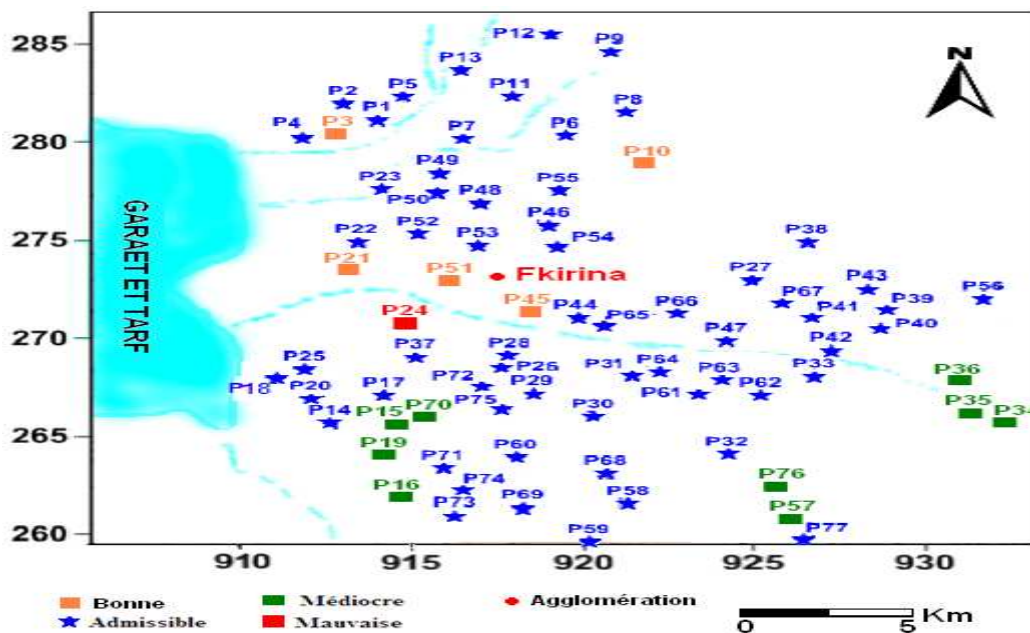


Figure 52: Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de F'kirina.

Conclusion :

L'étude hydrochimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés aux systèmes aquifères existant ou à l'influence de la géologie.

La minéralisation des eaux de la région est importante, les faibles valeurs se localisent près des massifs calcaires et les fortes valeurs nous les y trouvons en aval près du Garaet Et Tarf.

Selon les diagrammes de piper et Schoeller Berkaloff nous avons permis de classer les eaux en trois familles.

- famille chlorurée calcique;
- Famille bicarbonatée calcique;
- Famille sulfatée calcique.

La mise en place de ces faciès est dus à la présence d'un remplissage formés par des dépôts calcaires (graviers et croûtes calcaires) et des dépôts salifères venant de l'érosion des formations carbonatées et gypsifères des massifs entourant la plaine ; sans oublier le facteur de lessivage du milieu qui est l'un des processus concentrateurs susceptibles de varier les faciès hydrochimique, selon les solubilités des sels mis en cause.

La classification de Richard a montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

La majorité des eaux de la plaine de F'kirina ont des teneurs supérieures aux normes Ces eaux sont très dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. Ces eaux ayant de très fortes minéralisations et peuvent entraîner des risques de salinisation des sols.

CONCLUSION GENERALE

La commune de F'Kirina représente une partie des hautes plaines constantinoises à 900 m d'altitude au dessus du niveau de la mer, elle se trouve à une distance de 55 km au sud-est du chef lieu de wilaya d'Oum El Bouaghi, elle s'étend sur une superficie de 342.08 km². Les seules ressources hydriques disponibles dans cette région sont les nappes d'origine souterraines.

L'étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant de f'kirina nous a permis d'avoir un aperçu sur l'état quantitatif et qualitatif sur la réserve en eau de la région. Ainsi, cette étude a permis de dire que d'après:

- L'étude géologique, les formations prédominantes sont d'âge Quaternaire avec des mouvements tectoniques très forts et une grande perméabilité à l'eau.
- Les données climatiques de la région étudiée, cette dernière a un climat semi-aride Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 387.74 mm pour une température moyenne annuelle de 15,62 °C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de distinguer une période chaude et sèche et une période froide et pluvieuse. L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de de 329.5979 mm Le déficit agricole est de l'ordre de 459.38 mm pour la station d'Oum El Bouaghi.
- L'interprétation des différents diagrammes a montré que dans la région étudiée les calciums dominant et s'accompagnent soit de sulfate soit de chlorure, ou de bicarbonate.
- La majorité des eaux de la plaine de F'kirina ont des teneurs supérieures aux normes Ces eaux sont très dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. Ces eaux ayant de très fortes minéralisations et peuvent entraîner des risques de salinisation des sols.

Au vu de ce qui a été cité précédemment, il est préférable pour le bon suivi et la bonne exploitation des eaux souterraines de cette région de prendre les dispositions suivantes :

CONCLUSION GENERALE

1. Faire un bon suivi de station existante à l'intérieur du sous bassin de la plaine de F'kirina (ANRH).
2. Prévoir des piézomètres de contrôle loin des zones d'influences pour avoir des données fiables.
3. Veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux sondages existants.
4. les forages et les puits doivent être conformes à des exigences techniques concernant l'implantation, la réalisation et l'exploitation.
5. Faire les analyses chimiques nécessaires pour déterminer la destination de l'eau afin de connaître s'il y a risque d'utilisation tout en ayant à disposition l'étude du sol pour une agriculture programmée (les dosages d'engrais en eau d'irrigation apportée aux cultures devraient être calculés).

Enfin l'instauration d'un système d'observation et de contrôle périodique permettra de:

6. Connaître les conditions et les limites d'exploitation ainsi que la qualité des eaux et leur destination.
7. Prévoir en s'appuyant sur une banque de données un programme d'exploitation rationnelle des différents horizons aquifères.

En conclusion, nous espérons que l'étude hydrogéologique que nous avons menée au niveau de la plaine de F'kirina en région semi-aride, a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précisions qui pourront orienter les futures travaux dans le domaine de la maîtrise et la gestion des ressources en eaux.

BIBLIOGRAPHIE

ABDESSAMED, 1981

AMRAOUI. F, 2000 : ETUDE HYDRO CHIMIQUE DES NAPPES DE TEMARA ET DE LA CHAOUIA COTIERE (MESETA MAROCAINE); Bulletin de l'Institut Scientifique, 80p.

BAHIR. M et al. 2003: IMPACT DE LA SECHERESSE SUR LA RESSOURCE EN EAU EN ZONE SEMI-ARIDE: CAS DE L'AQUIFERE BARREMIEN-APTIEN DE LA ZONE COTIERE D'ESSAOUIRA (MAROC); 796p.

BENZAOUI. A 2010: ETUDE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE F'KIRINA- ETUDE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE. UNIVERSITE D'OUUM EL BOUAGHI 161p.

BOEGLIN. J, 2010 : CONTROLE DES EAUX DOUCES ET DE CONSOMMATION HUMAINE

BOUDY, 1950

DIB. I 2010 : L'IMPACT DE L'ACTIVITE AGRICOLE ET URBAINE SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE GADAINA - AIN YAGHOUT (EST ALGERIEN. THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 127p.

EL WARTITI. M et al. : HYDROCHIMIE ET VULNERABILITE DES AQUIFERES SOUTERRAINS

EMBERGER, 1971

GAAGAI. A, 2009 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE BABAR SUR OUED EL ARAB REGION EST DE L'ALGERI. THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 113p.

GARTET. A et al 2001 HYDROCHIMIE DES EAUX, DISSOLUTION SPECIFIQUE ET SALINITE DES COURS D'EAU DANS LE BASSIN DE L'OUED LEBENE (PRERIF CENTRAL, MAROC SEPTENTRIONAL); PAPELES DE GEOGRAFIA, UNIVERSIDAD DE MURCIA. pp. 143-161

GHODBANE. M 2009 : ETUDE DE LA CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE NORD DE CHEMORA PAR LES NITRATES –EST ALGERIEN. THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 147p.

GOUAIDIA. L 2008 : INFLUENCE DE LA LITHOLOGIE ET DES CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LA VARIATION DES PARAMETRES PHYSICO –CHIMIQUES DES EAUX D'UNE NAPPE EN ZONE SEMI ARIDE, CAS DE LA NAPPE DE MESKIANA NORD-EST ALGERIEN. THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 130p.

HOUHA. B : ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOCHIMIQUE ET SALIN D'UN BASSIN SEMI-ARIDE REMILA-KHENCHELA.

JACQUES. B : QUALITE ET POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES, UNIVERSITE DE PICARDIE JULES VERNE

MATINI. L et al. : EVALUATION HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU URBAIN AU SUD-OUEST DE BRAZZAVILLE, CONGO.

MERZOUGUI. H 2009: ETUDE DE PROTECTION DE LA VILLE DE FKIRINA CONTRE L'INONDATION. UNIVERSITE D'ALGERIE EL BOUAGHI, 95p.

MOUCHET. P, 2010 : TRAITEMENT DES EAUX AVANT UTILISATION. MATIERES PARTICULAIRES.

OUZZA. A et AKDIM. B : LA POLLUTION HYDRIQUE AU TADLA : PERCEPTIONS ET REALITES. Pp. 1-10.

RAMEDE, 2002

SONATRACH, 1990 : CARTE GEOLOGIQUE INTERNATIONALE DE L'AFRIQUE POUR LE NORD –EST ALGERIE Nord-Est algérien

ZEREG. S 2010: IMPACT DES RETOURS D'EAU D'IRRIGATION SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DES REGION SEMI ARIDES, EXEMPLE DES PLAINES DE TEBESSA, CHERIA ET EL MA EL ABIOD, EST ALGERIEN. THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 109p.

ZIANI. D 2009: IMPACT DE LA POLLUTION AGRICOLE ET URBAINE SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE L'AQUIFERE DE AIN DJASSER. EST ALGERIEN. THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 133p.

ZINE. B 2010 : LA REMONTE DES EAUX SOUTERRAINES EN SURFACE : MECANISME ET L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT (CAS DE OUED SOUF). THESE DE MAGISTERE. UNIVERSITE DE BATNA, 116p.

شركة الهندسة المعمارية والتقنية لام البواقي : مراجعة المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير لبلديتي عين البيضاء وفكرينة
128 صفحة

MANUEL SUR L'ENVIRONNEMENT (M.S.E)z : DOCUMENTATION POUR L'ETUDE ET L'EVALUATION DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT/MINISTERE FEDERAL DE LA COOPERATION ECONOMIQUE ET DU DEVELOPPEMENT. VOLUME 1, 571pp.

- **DIRECTION DE L' HYDROLOGIE DE KHENCHELA** : ETUDE DE LA STATION D'EPURATION DES EAUX USEES DE LA VILLE DE KHENCHELA WILAYA DE KHENCHELA. PHASE 3. AVANT PROJET DETAILLE
- **ANRH (AGENCE NATIONALE DES RECHERCHES HYDRIQUE)** : CARTE TOPGRAPHIQUE DE LA REGION DE F'KIRINA 1/50000

- 
- A decorative border with a repeating floral and leaf pattern in black and white, framing the entire page.
- **DIRECTION DE L'HYDROLOGIE DE OUM EL BOUGHI : ETUDE GEOPHYSIQUE DE F'KIRNA (ZONES D-E-F-G-H), COUPES GEOLOGIQUES DES FORAGES, COUPES ELECTRIQUES DES ZONES DE SONDAGE**

1. Généralités sur les normes de qualité des eaux potables

L'eau destinée à la consommation humaine doit respecter un certain nombre de paramètres qui définissent sa potabilité et qui ont été définis dans le décret du 3 janvier 1989. L'homme a un besoin moyen au niveau mondial de 20 à 50 litres par jours (alimentation, hygiène, etc.) (Mouchet, 2010). Les eaux minérales naturelles font l'objet d'une autre réglementation publiée dans le décret du 6 juin 1989. Chaque paramètre ne doit pas dépasser une valeur limite qui est égale généralement à la 'concentration maximale admissible de la directive européenne correspondante. En revanche, la réglementation française ne reprend pas la notion de 'niveau guide' qui correspond à un niveau de qualité à atteindre. Ces dispositions réglementaires sont reprises dans le code de la santé publique. Elles ont été récemment modifiées par le Décret du 2 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine. Ce décret précise que les limites et références de qualité doivent être respectées à la sortie du robinet du consommateur. Les nouveaux paramètres sont applicables à compter du 25 décembre 2003, sauf pour les bromates, la turbidité et le plomb.

1.1. Paramètres organoleptiques.

L'eau ne doit pas présenter de coloration, de trouble, d'odeur et de saveur. Ces paramètres sont les seuls directement accessibles au consommateur.

1.2. Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle de l'eau.

La température ne doit pas dépasser 25°C, le pH doit être compris entre 6,5 et 9, la teneur en chlorures, sulfates, magnésium, sodium, potassium et aluminium doit être inférieure à des valeurs déterminées (par exemple > 250 mg/l de sulfates). Le résidu sec à 180°C doit être inférieur à 1,5 g/l.

1.3. Paramètres concernant les substances indésirables.

Des valeurs limites sont fixées pour les nitrates, les nitrites, l'ammoniaque, l'azote Kjeldahl, pour l'H₂S, les hydrocarbures, les phénols. De plus, des valeurs limites sont arrêtées pour Fe, Mn, Cu, Zn, Ag et le Phosphore. La teneur en Fluor ne doit pas dépasser 1,5 mg/l pour une température de l'aire géographique comprise entre 8°C et 12°C; cette valeur diminue avec l'augmentation de la température.

1.4. Paramètres concernant les substances toxiques.

Les valeurs limites sont définies pour des toxiques minéraux (arsenic, métaux lourds) et organiques (cyanures, Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques, benzo-pyrènes...)

1.5. Pesticides et produits apparentés.

Cette rubrique a été ajoutée par le décret du 10 avril 1990. Elle mentionne les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T. Des valeurs limites sont établies pour chaque catégorie. La teneur totale de l'ensemble de ces substances ne doit pas dépasser 0,5 µg/l.

1.6. Paramètres microbiologiques.

Ce sont les germes indicateurs d'une pollution fécale (coliformes, streptocoques), certains germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus) et des bactéries sulfito-réductrices dont la présence indique une mauvaise filtration. La méthodologie à suivre pour leur dénombrement est indiquée.

En outre, les eaux adoucies ou déminéralisées livrées à la consommation humaine doivent satisfaire à une valeur minimale de dureté et d'alcalinité. Le décret précise également les modalités du contrôle sanitaire, en particulier sa fréquence en fonction de la pullulation desservie. Les eaux minérales ne sont contrôlées que du point de vue microbiologique puisque les paramètres physico-chimiques sont très variables et souvent en dehors des valeurs maximales admises pour les eaux dites potables.

1.7. Définition des autres paramètres et leurs effets:

La pollution des eaux affecte généralement la ressource superficielle et souterraine ainsi que les sols traversés par ces eaux.

- La présence de COLIFORMES TOTAUX indique le contact de l'eau avec des végétaux en décomposition et favorise la venue de bactéries pathogènes.
- La présence de COLIFORMES FÉCAUX indique le contact de l'eau avec des matières fécales et peut générer des problèmes de santé. Cette eau ne doit pas être consommé avant d'être bouilli de 1 à 5 minutes.

- La présence de STREPTOCOQUES FÉCAUX indique le contact de l'eau avec des matières fécales et peut générer des problèmes de santé.
- Une trop grande quantité de NITRATES/NITRITES peut entraîner une méthémoglobinémie (diminution de l'oxygène dans le sang) chez les nourrissons et provoquer une inflammation des muqueuses intestinales chez les adultes.
- La CONDUCTIVITÉ (SDT/TDS) élevée est due à la présence de sels et minéraux dans l'eau.
- Une ALCALINITÉ ÉLEVÉE donne une saveur salée à l'eau et ce, dû à la présence des carbonates, bicarbonates et ions hydroxydes contenus dans l'eau.
- La DURETÉ TOTALE élevée diminue l'efficacité des savons (les savons moussent moins) et crée des problèmes d'entartrage dans les réservoirs d'eau chaude et les bouilloires.
- Les teneurs élevées en FER et en MANGANÈSE modifient la saveur et l'apparence de l'eau.
- Le pH est bas (acide) ce qui rend l'eau plus corrosive.
- Le pH est élevé (alcalin), ce qui rend l'eau plus agressive.
- Une teneur élevée en SULFURES procure une odeur nauséabonde (oeufs pourris).
- Une teneur élevée en TANINS crée un problème de dépôt d'une pellicule brunâtre. Les tanins proviennent de sous-produits de la décomposition végétale, les acides humiques.
- La TURBIDITÉ rend l'eau brouillée à cause des matières en suspension et donne à l'eau une apparence de salet

2. Analyse physico-chimique des eaux souterraines

Les réserves d'eau d'une région sont en général limitées. Les ressources d'eau disponibles ne correspondent que rarement aux besoins, tant du point de vue de la qualité et la répartition temporelle et régionale, que du point de vue de la qualité. (M.S.E)

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

2.1. Caractères organoleptiques:

Ces caractères sont ceux immédiatement observés et appréciés par le consommateur d'une eau de distribution publique.

2.1.1. Mesure de goût et de l'odeur:

2.1.1.1. Examen gustatif: pour une meilleur appréciation des goûts éventuels des eaux potables, les techniques de dégustation sont de plus en plus utilisées. La mesure est basée sur la finesse du sens gustatif de l'opérateur.

La méthode de détermination consiste à diluer l'eau à examiner avec de l'eau sans goût (eau de référence) jusqu'à ce qu'elle ne présent plus de goût perceptible pour l'opérateur. La dégustation est effectuée en commençant par les dilutions les plus grandes jusqu'à l'apparition du goût. Le seuil de goût (ou intensité) correspond au taux de dilution qui doit être perçu par la majorité des opérateurs (équipe d'au moins trois). La norme Afnor NF V 09-002 (cf. [Doc. P 4210]) a fixé une liste non limitative de saveurs et de goûts récapitulée dans le tableau n°2.

2.1.1.2. Détermination de l'odeur: l'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler.

Le test destiné à la mesure de l'odeur d'une eau consiste à la diluer jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur perceptible pour l'opérateur. Les résultats sont donnés par un nombre exprimant la valeur d'un seuil de perception de l'odeur dont la nature est précisée. Cette valeur correspond au chiffre de la plus grande dilution donnant une odeur perceptible. Le tableau n°3 fournit la liste des principaux groupes d'odeurs types répertoriés dans la norme Afnor V 09 – 105 (cf.[Doc. P 4210]).

Tableau n°02: liste des saveurs et des goûts de l'eau selon l'Anfor	
Nature de la saveur ou de goût	Causes ou observations
Saveur acide	Sulfate chlorures Eau magnésienne Type eau de vichy Fer, manganèse, cuivre...
Saveur amère	
Saveur salée	
Saveur sucrée	
Saveur salée et amère	
goût bicarbonaté, alcalin	
goût métallique	
goût chloré	

goût d'hydrocarbures	Traces d'hydrocarbures
goût de mandarine	Oxydation de traces d'hydrocarbures
goût pharmaceutique	Produits organiques
goût de chlorophénol	Chlorophénol
goût de terre	Eau de zones calcaires
goût de vase	Eaux des étangs, eaux stagnantes
goût de marée	Poissons, métabolites de certains organismes du plancton
goût de moisi	Moisissures, champignons inférieurs, levures
goût de bouchon moisi	Herbicides, pesticides

2.1.1.3. On procède de plus en plus souvent à la détermination du profil "flaveur", en utilisant un groupe (panel) de dégustateurs entraînés et confirmés (quatre opérateurs au minimum) pour établir un profil d'odeurs, de goûts et de sensation, notés chacun sur une échelle d'intensité de 0 à 12. leurs natures doivent être identifiées parmi les deux listes précitées (tableau 2 et 3). Les mesures sont réalisées dans un local réservé à cet usage en s'assurant de la propreté rigoureuse de la verrerie employée et en utilisant les modes opératoires définis par la norme Afnor V09-105

Tableau n°03: liste des principaux groupes d'odeurs types de l'eau selon l'Anfor

code	Nature de l'odeur	Description
A	Aromatique	Epice, camphre, girofle, citron
B	Balsamique	Fleurs diverses
C	Chimique	
Cc	Chlore	Chlore libre
Ch	Hydrocarbure	Pétrole et dérivés
Cm	Médicale ou pharmaceutique	Lodoforme, phénol, chlorophénol
Cs	Sulfureuse	Hydrogène sulfuré
D	Désagréable	Gout prononcé
Df	Poissons	Uroglenopsis et dinobryon
E	Terreuse	Terre ou argile humide
Ep	Tourbe	Tourbe
F	Fécaloïde	Fosse d'aisance
G	Herbe	Herbe écrasée

M	Moisi	Cave humide, tiroir humide rarement ouvert
V	vase	Couleur d'étang, herbe ou feuille en décomposition

2.1.2. Mesure de la coloration:

Paramètre traduisant une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut:

- Avoir une origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface).
- Etre une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs barrages, etc.;
- Avoir une origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures).

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution et apparente lorsque des matières à l'état colloïdal y ajoutent leur propre coloration. La mesure de la coloration selon la méthode de Hazen s'effectue (après centrifugation de l'échantillon) avec une gamme de dilution d'une solution témoin de chloroplatinate de potassium et de chlorure de cobalt en utilise à 500 mg/L de platine.

On exprime le résultat en nombre d'unités de Hazen (ou mg/L Co/Pt) de la solution de comparaison ayant la coloration la plus proche en tenant compte de la dilution éventuelle réalisée.

2.1.3. Mesure de la turbidité:

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension finement dispersées ou à l'état colloïdal : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

Inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, la turbidité est phénomène optique consistant essentiellement en une absorption combinée avec une diffusion de la lumière éclairant un certain volume d'eau. La mesure de la turbidité sera effectuée en utilisant l'effet Tyndall pour de faibles turbidités (techniques néphélométriques) et l'opacimétrie pour des turbidités plus importantes. Les appareils de mesure de turbidité d'une eau sont très nombreux. On pourra trouver sur le marché des appareils spécifiques travaillant soit en néphélométrie (turbidimètre hydrocure) soit en opacimétrie (dans ce cas, on utilise des spectrophotomètres d'absorptiométrie) ou les deux simultanément. Ces appareils peuvent être à simple ou double faisceau.

Dans la pratique, les mesures de turbidité au laboratoire sont réalisées essentiellement en comparant l'eau analysée à de l'eau parfaitement limpide (dite optiquement vide) rendue

artificiellement turbide par addition de réactifs appropriés moyennant d'utilisation d'une cellule photoélectrique qui détermine l'intensité de la lumière diffractée de l'eau par comparaison à celle d'une gamme de solutions de référence.

Selon les solutions étalons utilisés, la turbidité de l'eau peut être évaluée selon différentes méthodes et mesurée par différentes unités néphélogométriques (NTU).

- Nombre de gouttes de mastic (comparaison avec une solution témoin de mastic végétal à 1g/L. étalonnée dans une gamme entre 5 et 100 gouttes de mastic);
- Mg/L ou degré de silice (comparaison avec une suspension colloïdale de Kieselghur avec un étalonnage de 5 à 100 mg/L de silice);
- Unités formazine (FTU) (comparaison avec une solution témoin de sulfate d'hydrazine et d'hexaméthylène tétramine dont le mélange dans certaines proportions donne une solution mère dont la turbidité est fixée à 40 NTU)
- Enfin, les unités Candel Jackson (JTU), unités arbitraires fixées à partir du turbidimètre correspondant qui comporte une bougie normalisée dont on observe la flamme à travers un tube contenant l'eau examinée. La hauteur de la colonne pour laquelle la flamme cesse d'être visible donne la valeur de la turbidité, l'appareil ayant été préalablement étalonné à l'aide d'une suspension de terre diatomées.

Il faut noter qu'il existe aussi des mesures de turbidité de "terrain" utilisant la technique qui consiste à mesurer la profondeur à laquelle un repaire cesse d'être visible. C'est le cas des méthodes au fil de platine ou du disque de Secchi, utilisé pour fournir des indications sur les eaux de surface.

La mesure de turbidité ne peut pas être faite dans le cas d'eaux superficielles particulièrement chargées en matière en suspension, suite par exemple, à une période pluvieuse importante ou à des crues hivernales. On a recours alors à la détermination pondérale des matières en suspension (MEST exprimées en mg/L) qui consiste à isoler les particules solides de l'eau qui les englobe, à les sécher entre 100 et 105°C à l'étuve et à les peser. Deux procédés d'isolement sont utilisés : la centrifugation ou de préférence la microfiltration sous vide sur des filtres spéciaux en fibre de verre. Il font l'objet de normes Afnor. Pour connaître l'importance relative des matières organiques et minérales des matières en suspension (MEST), on procède à leur calcination à 550°C.

2.1.4. La dureté

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient.

On distingue:

- * une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg;
- * une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau..

Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces: dans les sables du Crétacé inférieur du Pays de Bray, l'eau à un titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20 °F. Les eaux dures ont un titre compris entre 20 et 35 °F: c'est le cas de l'eau de la nappe de la craie dans la Somme. Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures (nappe captive de la craie, nappes de l'Eocène...)

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, et sur le lavage du linge. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion. Ces eaux dures pourront être adoucies par le distributeur ou par l'utilisateur (échange d'ions sur résine dans l'industrie ou chez le particulier).

En revanche, une eau trop douce est agressive vis-à-vis des canalisations; en particulier la corrosion des canalisations en plomb devient dangereuse pour la santé du consommateur. Un traitement par reminéralisation est indiqué

3. Les paramètres physico –chimiques en relations avec la composition naturelle des eaux

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur l milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, etc.

3.1. Les paramètres physiques:

Les analyses physiques des eaux ont été effectuées entre 1960 et 1988, avec une fréquence moyenne mensuelle de deux prélèvements, elles concernent essentiellement la température de l'eau, le pH et la conductivité.

3.1.1. Mesure de la température de l'eau: il est reconnues que les variations de la température de l'air s'estompent au-delà de 3m de profondeur et que la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année

Il est important d'avoir une bonne connaissance de la température de l'eau car elle gouverne les solubilités, en particulier celles des gaz mais aussi celles des sels; elle est liée directement à l'origine de l'eau.

La mesure de la température qui est à effectuer sur le terrain n'offre pas de difficultés particulières dans le cas d'une eau de surface. Elle est mesurée soit avec un appareil électrométrique, soit avec un thermomètre précis, gradué au dixième de degré et étalonné; la lecture est faite après une immersion de 10 min. dans le cas d'une rivière, la mesure de la température sera faite en plusieurs points d'un profil en travers avec un intervalle de 5 à 10 m.

La détermination de la température en eau profonde, nappe souterraine ou lac, sera beaucoup plus délicate. On utilise des thermomètres spéciaux à maximum et minimum ou des thermomètres à renversement. On peut encore imaginer de placer le thermomètre dans une bouteille thermostatique que l'on s'arrange à remplir à l'aide d'une commande à distance et on fait la lecture aussitôt après la remontée. Si la mesure doit être réalisée à distance, on peut utiliser un thermomètre à résistance avec enregistrement ou encore des appareils à mesure de tension de vapeur.

3.1.2. Mesure de pH des eaux:

Le pH ou potentiel d'hydrogène, qui correspond au cologarithme décimal de l'activité des ions H^+ présents dans l'eau, constitue une expression de l'acidité ou de l'alcalinité du milieu qui sont évidemment une résultante de sa composition

Le pH est important à connaître; car, connaissant les teneur de CO_2 dissout, il permet indirectement l'évaluation de l'agressivité chimique des eaux.

Le pH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableuses ou granitiques. IL est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO_2 dissous en excès ou par correction de la dureté carbonate

La mesure du pH d'une eau s'effectue classiquement par potentiométrie ou par colorimétrie. La méthode potentiométrique (utilisation d'une électrode de mesure en verre et d'une électrode de référence en calomel) est appliquée essentiellement au laboratoire pour l'obtention de mesures précises. De réalisation plus aisée, la méthode colorimétrique est surtout utilisée sur le terrain lorsque la précision exigée n'est pas trop grande bien qu'il existe actuellement sur le marché des pHmètres de terrain (sur batteries). Elle consiste à additionner à l'eau à analyser des indicateurs spécifiques et à comparer la coloration obtenue à une échelle de teintes préparées à partir de solutions de pH connu (8 à 9).

Les eaux naturelles ont un pH qui est fonction des concentrations en gaz carbonique dissous et en hydrogénocarbonates. Elles sont généralement tamponnées à un pH voisin de la neutralité (6.5 à 8) avec cependant des extrêmes, notamment des pH légèrement acides (5 à 6) en zones granitiques ou de tourbières, et des pH alcalins (8 à 8.5) en zones calmes, bras morts des eaux superficielles.

3.1.3. Mesure de la conductivité électrique: elle est l'expression de la charge dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité des ions en solution .

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 et distantes l'une de l'autre de 1cm. L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m); la conductivité électrique d'une eau s'exprime en microsiemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La

notion de résistivité (inverse de la conductivité) s'emploie également. La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante:

$$\text{Résistivité } (\Omega \text{ cm}) = 10^5 / \text{conductivité} / \mu\text{S/cm}$$

La mesure de la conductivité (selon norme NF EN 27 888) est basée sur le principe du pont de Wheatstone, en utilisant comme appareil de zéro un galvanomètre ou une image cathodique. La cellule de conductimétrie avec ses deux électrodes en platine platiné (noir de platine) constitue l'une des branches du pont. On utilisera de préférence le courant alternatif en adaptant la fréquence à la gamme de conductivité mesurée (par exemple 50 Hz pour des conductivités C inférieures à 10 $\mu\text{S/cm}$, 1000 Hz pour des valeurs de C allant de 10 à 1000 $\mu\text{S/cm}$).

La conductivité électrique d'une eau, dépendant largement de la température, les échantillons seront placés dans un bain thermostaté réglé à une température de 20°C. Si la température est différente mais connue, on peut corriger la conductivité électrique: $C(20^\circ\text{C}) = C(T^\circ\text{C}) \times f$ (f: facteur de correction donné dans une table en fonction de la température jusqu'au dixième de degré).

La conductivité électrique constitue un moyen de mesure commode et rapide, couramment utilisé pour évaluer la minéralisation ou la salinité d'une eau.

La conductivité varie en effet suivant la concentration ionique, mais en réalité la relation n'est linéaire que pour des conductivités faibles ($C < 100 \mu\text{S/cm}$) et s'en écarte d'autant plus que la minéralisation est élevée.

On peut néanmoins calculer rapidement la minéralisation globale d'une eau par application de la formule :

$$\text{Minéralisation (mg/L)} = 0.7 * \text{conductivité à } 20^\circ\text{C (en } \mu\text{S/cm)}$$

Mais des différences sont très fréquentes entre la teneur en sels dissous calculée par cette méthode et celle du résidu sec.

- **Les eaux de surface** ont généralement des conductivités C inférieures à 1500 $\mu\text{S/cm}$ et une minéralisation bicarbonatée calcique. Une augmentation excessive de la conductivité de l'eau, suite principalement à des pollutions salines dues à l'activité industrielle, entraîne des perturbations écologiques du milieu aquatique (la salinité influe sur la pression osmotique) et empêche son utilisation à des fins de production d'eau potable (saveur désagréable, désordres digestifs).
- **Les eaux des nappes souterraines** : les eaux souterraines issues des nappes captives et superficielles sont des ressources en eau exploitées par l'homme pour divers usages (Matini et al., 2009). Elles ont une minéralisation et une composition ionique variables selon la géologie des terrains en contact avec l'eau, la minéralisation augmentant généralement avec

la profondeur. On parle de types d'eau ou faciès selon l'origine géologique comme le met en évidence le tableau

Tableau: conductivité des eaux de nappes souterraines	
Type d'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eaux très peu minéralisées (socles granitiques, gneissiques ou schisteux)	<25
Eaux peu minéralisées (grès)	50 à 100
Eaux du jurassique et du crétacé	200 à 700
Eaux minéralisées du trias	1000 à 1500
Eaux accompagnant les gîtes pétrolières	> 10000

3.2. Les paramètres chimiques:

Les éléments chimiques des eaux permettent de connaître, d'abord la nature de la composition, la prédominance quantitative de certains éléments; ensuite, d'évaluer l'agressivité physico-chimique des eaux et, par conséquent, le taux d'éléments solubles transportés.

La composition chimique d'une eau du milieu naturel est très variable. elle dépend de la nature géologique du sol (Matini et al, 2009).

Les principaux éléments sont:

Le calcium (Ca^{2+}) ; Magnésium (Mg^{2+}) ; Sodium (Na^+) ; Potassium (K^+) ; Chlorure (Cl^-) ; Sulfate (SO_4^{2-}) ; Bicarbonate (HCO_3^-).

3.2.1. Comment le sulfate se retrouve présent dans l'eau

Certains sols et certaines ROCHES contiennent des minéraux de sulfate. Comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau. Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse).

Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales (250 mg/l valeur limite admissible). Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l).

3.6.2. Problèmes causés par le sulfate

Le sulfate donne un gout amer, un gout médical à l'eau s' il dépasse la concentration de 250 mg/L. Cela rend désagréable la consommation de l'eau.

Des importantes concentrations en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre. Dans les endroits où l'on retrouve des concentrations

importantes en sulfate, il est commun d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion, comme des tuyaux en plastique.

4. Etude bactériologique:

* **Méthodes analytiques :** Pour déterminer si une eau est biologiquement polluée, on utilise comme indicateur la présence de bactéries coliformes. Ces germes ne sont pas directement pathogènes, mais ils constituent un très bon indicateur de pollution fécale, car ils font partie de la flore intestinale des mammifères. La plupart des maladies liées à l'eau (dysenterie, choléra, typhoïde, poliomyélite, hépatite, parasitoses) sont en effet directement causées par la contamination d'origine fécale des eaux de boisson.

Pour les besoins de l'analyse, un certain volume d'eau est filtré à travers une membrane poreuse (0,5 micron) qui retient les bactéries. Cette membrane est mise en contact avec un milieu nutritif et mise en culture pendant 24 heures à 35 °C. Chaque bactérie donne naissance à une colonie de millions d'individus, visible à l'oeil nu. On procède alors au dénombrement des colonies.

Pour les besoins de l'expédition (peu d'encombrement, peu de poids), nous avons utilisé des échantillonneurs complets de 1 ml (filtre + milieu de culture) Les échantillons sont placés dans une enceinte isolée (boîte en polystyrène expansé), périodiquement rechargée d'eau à 35°C. La température ainsi obtenue oscille entre 35 et 30°C (1991)

Resumé

L'étude est réalisée dans la région de F'kirina qui est alimentée essentiellement par les eaux souterraines exploitées par plusieurs forages. L'étude hydro chimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés aux systèmes aquifères existant ou à l'influence de la géologie. La minéralisation des eaux de la région est importante, les faibles valeurs se localisent près des massifs calcaires et les fortes valeurs nous les y trouvons en aval près du Garaet Et Tarf.

Nous avons fait des prélèvements d'échantillons sur 77 puits, sur les quelles une étude biochimique a été réalisé au niveau d'ANRH où des modifications des teneurs de prélèvement ont été trouvées du moment que les concentrations de certains éléments chimiques dépassent les normes admissibles. L'évolution des éléments chimiques en fonction du temps fait ressortir que les eaux de la plaine seront classées en trois familles : famille chlorurée calcique; famille bicarbonatée calcique et famille sulfatée calcique. La mise en place de ces faciès est dus à la présence d'un remplissage formés par des dépôts calcaires (graviers et croûtes calcaires) et des dépôts salifères venant de l'érosion des formations carbonatées et gypsifères des massifs entourant la plaine ; sans oublier le facteur de lessivage du milieu qui est l'un des processus concentrateurs susceptibles de varier les faciès hydro chimique, selon les solubilités des sels mis en cause.

Mots clés : Bassin versant, Eau souterraines, F'kirina, paramètres physico-chimiques, pollution.

الملخص

تم إجراء الدراسة في منطقة فكرينة التي يتم تزويدها أساسا بالمياه الجوفية المستغلة من عدة آبار. تسمح لنا الدراسة الهيدروكيميائية بتسليط الضوء على المعايير الفيزيوكيميائية التي لها تأثير مباشر على نوعية المياه, ترتبط هذه المعايير بشبكة المياه الجوفية المتواجدة أو بتأثير الجيولوجيا. تمعدن مياه المنطقة جد مهم، القيم الضعيفة تقع بالقرب من السلاسل الجيرية والقيم القوية نجدها في الأسفل بالقرب من قرعة الطرف.

قمنا بأخذ عينات نموذجية ل77 بئر، ومن ثمة القيام بدراسة بيوكيميائية على مستوى الوكالة الوطنية للموارد المائية. أين تم العثور على تغيرات في قيم العينات حيث أن تراكيز بعض العناصر الكيميائية تجاوزت المعايير المقبولة. تطور العناصر الكيميائية بدلالة الوقت يظهر لنا بأن مياه السهل سيتم تصنيفها إلى ثلاثة عائلات: عائلة كلوروكالسيوم، عائلة بربونات الكالسيوم وعائلة سولفات الكالسيوم.

تشكل هذه المظاهر راجع إلى وجود امتلاء مكون بالتوضعات الجيرية (الحصى، القشور الجيرية) وتوضعات ملحية ناتجة عن انجراف المكونات الكربوناتيية والجبسية للسلاسل المحيطة بالسهل. دون نسيان عامل تطهير الوسط الذي يعد من إحدى الظواهر المركزة القادرة على تنويع المظاهر الهيدروكيميائية حسب ذوبان الأملاح المتسببة في ذلك

الكلمات المفتاحية: مجمع المياه، المياه الجوفية، فكرينة، المعايير الفيزيوكيميائية والتلوث.