

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2018

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

Option: Hydrogéologie

**Impact des rejets urbains et domestiques sur la qualité
des eaux de l'Oued Saf-Saf: Inventaire et mise en
évidence d'une contamination par des polluants
organiques et leurs conséquences sur l'environnement.**

Par

BOUBELLI Salim

Directeur de Thèse: M. CHAFFAI Hicham

Professeur (U.B.M. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président: M. HANI Azzedine

Professeur (U.B.M. Annaba)

Examineurs: M. DJABRI Larbi

Professeur (U.B.M. Annaba)

M^{lle} BAHROUN Sofia

MCA (U.Chadli Bendjdid.Tarf)

M. LABAR Sofiane

MCA (U.Chadli Bendjdid.Tarf)

M. SAKAA Bachir

Maître de Recherche (CRSTRA-Biskra)

Invité : M. KHERICI Nacer

Professeur (U.B.M. Annaba)

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes, mon Père.

À celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, ma Mère.

À celle que je ne pourrais jamais remercier assez, à la mémoire de ma sœur.

À ma femme pour l'immense effort qu'elle a fourni le long de mes études.

À mes frères et sœur chacun pour son nom.

À mes enfants Hani Abderrahim et Serine.

À mes amis sans exception et toute ma famille.

Remerciements

A la fin de ce travail, je ne manquerais pas d'adresser mes sincères remerciements à notre dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes pats pour arriver à ce niveau.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé et encouragé, je leur présente mes sincères remerciements:

J'ai l'honneur d'avoir comme encadreur Monsieur *CHAFFAI Hicham*, qui n'a pas hésité à me faire confiance, et d'avoir accepté de partager ses connaissances et son expérience pour mener à son terme cette thèse de Doctorat, qu'il soit remercié pour ses conseils, son aide et le soutien constant tout au long de mon travail de recherche.

Je voudrais également remercier tous mes enseignants du département de Géologie de l'université Badji Mokhtar de Annaba, en particulier mon Co-encadreur le Professeur KHERICI Nacer qui n'a pas hésité à me procurer une bibliographie nécessaire pour mon travail de recherche, aussi mes collègues de la promotion de Post Graduation en Hydrogéologie et en Minière.

J'adresse également mes vifs remerciements aux membres du jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

Je tiens aussi à remercier tous les gens de la D.H.W de Skikda et de L'ANRH de Constantine pour leur aide.

Que mes chères amis Fethi MEDJANI et Djidel Mohamed soient remercié pour leur aidé précieuse pendant la réalisation de ce travail, surtout durant les moments difficiles.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tout.

Salim

Résumé :

Dans la plupart des pays en développement, 80 à 90 % des eaux usées déversées au niveau des côtes sont des effluents bruts de différents rejets non traités.

La pollution de l'eau est diverse, elle peut être physique, chimique et microbiologique avec l'introduction de germes pathogènes.

Afin d'évaluer cette pollution à l'oued Saf-saf et ses conséquences sur l'environnement, un suivi de la qualité est effectué durant deux années pour les eaux de surface et souterraines. Les résultats obtenus sont représentés en graphiques spatio-temporelles, les indices de pollution organiques, les indices d'eutrophisation, les indices calco-carboniques, les indices de corrosivité et les influences des différents facteurs (Climatiques, lithologiques, paramètres physico-chimiques). Cette étude montre que les eaux de surface et celles souterraines sont contaminées mais reflètent un degré de pollution faible à modérée pour les eaux de surface et nulle à faible pour les eaux souterraines. Cette pollution qui n'est pas biodégradable laisse penser que la plupart des eaux analysées ne sont pas potables pour la consommation humaine, elle présente un risque léger à modéré pour l'irrigation dans la majorité des puits, une tendance légère à moyenne via la corrosion pour les eaux de surface et une nette tendance à la corrosion pour les eaux souterraines.

La prévention et la préservation de l'environnement contre tout type d'agression et de pollution doit être la priorité pour éviter la contamination et la dégradation de la qualité des eaux du milieu naturel par l'élimination de toutes les sources de pollution générée par les différents rejets domestiques, urbains et industriels.

Mots clés: Oued Saf-saf, Pollution urbaine, indice de pollution, eutrophisation, biodégradabilité.

Abstract

In most developing countries, 80 to 90 per cent of wastewater discharged at the coastal level is raw effluent from various untreated discharges.

Water pollution is diverse; it can be physical, chemical and microbiological with the introduction of pathogens.

In order to evaluate this pollution in the Saf-Saf wadi and its consequences on the environment, quality monitoring is carried out for two years for surface and groundwater. The results obtained are represented in space-time graphs, organic pollution indices, eutrophication indices, calco-carbon indices, corrosivity indices and the influences of the various factors (Climatic, lithological, physico-chemical parameters). This study shows that surface water and groundwater are contaminated but reflect a low to moderate degree of pollution for surface water and zero to low pollution for groundwater. This pollution, which is not biodegradable, suggests that most of the water analysed is not drinkable for human consumption; it presents a slight to moderate risk for irrigation in the majority of wells, a slight to moderate tendency via corrosion for surface water and a clear tendency to corrosion for groundwater.

The prevention and preservation of the environment against all types of aggression and pollution must be the priority to avoid contamination and degradation of the quality of water in the natural environment by eliminating all sources of pollution generated by various domestic, urban and industrial discharges.

Keywords: Oued Saf-saf, Urban pollution, Pollution index, Eutrophication, biodegradability.

ملخص

في معظم البلدان النامية فان ما نسبته 80 إلى 90% من مياه الصرف التي يتم تفريغها على الساحل هي مخلفات سائلة خام من مختلف التصريفات غير المعالجة.

تلوث المياه متنوع ، يمكن أن يكون فيزيائيا أو كيميائيا أو ميكروبيولوجيا و بالتالي إدخال الجراثيم المسببة للأمراض. من أجل تقييم هذا التلوث في وادي صاف-صاف وآثاره على البيئة، قمنا بمراقبة الجودة لمدة سنتين للمياه السطحية والجوفية و تمثيل النتائج التي تم الحصول عليها في رسوم بيانية مكانية- زمانية ، مؤشرات التلوث العضوي ، مؤشرات المغذيات ، ومؤشرات كالكو- كربونيك ، ومؤشرات التآكل وتأثيرات العوامل المختلفة ، والضوابط ، والعوامل الفيزيائية و الكيميائية . توضح هذه الدراسة أن المياه السطحية والجوفية ملوثة ولكنها تعكس مستوى تلوث منخفض إلى معتدل للمياه السطحية ومنعدم إلى منخفض للمياه الجوفية. ويشير هذا التلوث ، الذي لا يمكن تحلله بيولوجياً ، إلى أن معظم المياه التي تم تحليلها غير صالحة للشرب و للاستهلاك البشري ، ولكنها تمثل خطراً طفيفاً إلى معتدل بالنسبة للري في معظم الآبار ، و خفيف إلى معتدل لمعامل التآكل للمياه السطحية وميل واضح لمعامل التآكل للمياه الجوفية. يجب منع وحماية البيئة من جميع أنواع التلوث لتجنب تلوث البيئة الطبيعية وتدهورها من خلال القضاء على جميع مصادر التلوث المتمثلة في مختلف التصريفات المنزلية والحضرية والصناعية.

الكلمات المفتاحية: التلوث الحضري ، مؤشر التلوث ، المغذيات ، التحلل الحيوي ، وادي صاف-صاف .

Liste des acronymes

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ADE : Algérienne des Eaux

ANAT : Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BV: Bassin Versant

DA : Déficit agricole

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire

ERIAD : Entreprise régionale des industries alimentaires céréalières et dérivées

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

EXC : Excédent

GNL : Liquéfaction du gaz naturel

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONEDD : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable

ORSTOM : Office des Recherches Scientifiques et Technologiques d'Outre Mer

RFU : Réserve facilement utilisable

RAF : Raffinerie

Tc : Temps de concentration

UNEP : United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'environnement)

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I: Cadre physique	
1. La situation géographique :.....	3
.2 Cadre administratif :	4
3. La Population :	6
4. Cadre socio-démo-économique	6
5. Géomorphologie et reliefs :.....	7
5.1. Les Pentes :.....	7
5.2. Les Reliefs :	9
5.3. Réseaux hydrographiques :	10
5.4. Caractéristiques physiographique du bassin versant :	11
6. Conclusion :	12
Chapitre II: Etude géologique	
1. La géologie de la zone d'étude :	13
1.1. Le domaine interne.....	13
1.1.1. Socle kabyle :	15
1.1.2. Dorsale Kabyle :.....	15
1.1.2.1. La dorsale interne (chaîne calcaire interne) :	15
1.1.2.2. La dorsale médiane (chaîne calcaire médiane) :	16
1.1.2.3. La dorsale externe (chaîne calcaire externe) :	16
1.1.3. L'Oligomiocène Kabyle :.....	17
1.2. Le domaine des flyschs :	17
1.2.1. flyschs Maurétanien :	18
1.2.2. Flyschs Massyliens :.....	18
1.2.4. Le domaine externe :	19
1.2.5. Les séries ultra-telliennes	20
1.2.6. Les séries telliennes (sens strict) :	20
1.2.7. Les séries peni-telliennes :.....	20
1.3. Les roches éruptives :.....	21
1.4. Le Quaternaire :	21
1.4.4. Les alluvions :	21
a- Les alluvions actuelles :	21
b- Les alluvions moyennes :.....	21
1.4.5. Les dunes anciennes :	21
a- Un niveau inférieur :.....	21

b-	Un niveau moyen :	21
c-	Un niveau supérieur :	21
1.5.	La lithologie du bassin versant du Saf-saf :	21
1.5.4.	Substrat résistant à l'érosion :	21
1.5.5.	Substrat Moyennement Résistant :	22
1.5.6.	Substrat Peu Résistant :	22
2.	Conclusion :	25
Chapitre III: Ressources hydriques		
1.	Hydro-climatologie :	26
2.	Equipement hydro-pluviométrique du bassin :	28
3.	Les facteurs climatiques:	30
a-	Les températures :	30
b.	Les précipitations:	31
b.1.	Les précipitations moyennes annuelles :	31
b.2.	Les précipitations moyennes annuelles :	32
b.3.	La répartition saisonnière des précipitations :	33
c.	L'humidité relative :	34
d.	Le vent :	35
4.	Diagramme pluviométrique ($P = 2T$):	36
a.	Station de Skikda :	36
b.	Station de Zerdazas :	37
5.	Notion du bilan d'eau:	38
a.	Étude de l'évapotranspiration:	38
b.	Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR):	38
b.1.	Formule de Turc:	38
5.1.	Bilan de la station de Skikda :	39
5.2.	Bilan de la station de Zardezas :	40
	Tableau 13: bilan d'eau de la station de Zardezas (1970-2012)	40
6.	Calcul du ruissellement et d'infiltration :	41
7.	Conclusion :	42
8.	Hydrogéologie :	43
8.1.	Caractéristiques hydrogéologiques :	43
8.1.1.	Horizon aquifères :	43
a.	Aquifère poreux :	43
b.	Aquifère Karstique :	43
c.	Aquifère à système binaire :	44
8.1.2.	Profils hydrogéologiques :	44

8.1.3. Inventaire de points de prélèvements :	46
9. Conclusion:	49
Chapitre IV: Pollution chimique, minérale et organique	
1. Introduction :	50
2. Echantillonnages et points de prélèvements :	50
2.2. Stratégie de prélèvement :	51
3. Méthodes de calculs :	52
3.2. Aquakit :	52
3.3. PHREEQC :	52
3.4. EQUIL :	53
4. Pollution Chimique et Minérale :	54
4.2. Résultats des analyses chimiques :	54
4.2.4. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :	54
a. Potentiel d'hydrogène (pH):	54
a.1. Eaux de Surfaces (2011-2012) :	54
b. Température :	56
b.1. Les eaux de surfaces :	56
b.2. Les eaux souterraines :	57
c. La conductivité :	58
c.1. Les eaux de surfaces :	58
c.2. Les eaux souterraines :	59
4.2.5. Les éléments majeurs :	59
a. Calcium :	59
a.1. Les eaux de surfaces :	60
C. Sodium (Na^+):	63
c.1. Les eaux de surfaces :	63
c.2. Les eaux souterraines :	64
d.1. Les eaux de surfaces :	65
d.2. Les eaux souterraines :	66
e. Chlorure :	66
f. Sulfates (SO_4^-):	68
f.1. Les eaux de surfaces:	68
f.2. Les eaux souterraines :	69
g. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :	70
g.1. Les eaux de surfaces :	70
4.3. Faciès chimiques :	72
4.3.4. Les eaux de surfaces :	72
4.3.4.1. Le diagramme de Piper :	72

4.3.4.3.	Variation des faciès chimiques :	73
4.3.4.4.	Répartition des faciès chimiques :	74
4.3.5.	Les eaux de souterraines :	75
4.3.5.1.	Diagramme de piper :	75
4.3.5.2.	Diagramme Schoëller-Berkhaloff :	76
4.3.5.3.	Répartition des faciès chimiques :	77
4.4.	L'influence climatique sur la salinité des eaux de surface :	77
4.4.4.	Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :	77
a.	Température :	77
b.	Potentiel d'hydrogène (pH) :	78
c.	Conductivité (CE) :	79
4.4.5.	Les éléments majeurs :	79
b.	Calcium (Ca^{+2}):	79
c.	Magnésium (Mg^{+2}) :	80
d.	Sodium (Na^{+2}) :	81
e.	Chlorures (Cl) :	82
f.	Sulfates (SO_4^-) :	82
g.	Bicarbonate (HCO_3^-) :	83
4.5.	Influence des eaux de surface sur la salinité des eaux souterraines :	84
4.5.4.	Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :	84
a.	Température (T), Conductivité (CE) et potentiel d'hydrogène :	84
4.5.5.	Les éléments majeurs :	85
a.	Salah Bouchaour :	85
b.	Ramdan Djamel :	85
c.	Skikda :	87
4.6.	Influence lithologique sur la salinité des eaux :	87
4.6.4.	Les titres de l'eau :	87
a.	Titre alcalimétrique complet (TAC) :	88
a.1.	Les eaux de surfaces :	89
a.2.	Les eaux souterraines :	89
b.	Titre en sels d'acides forts :	90
b.1.	Les eaux de surface :	90
b.2.	Les eaux de souterraines :	91
d.	Dureté carbonatée et non carbonatée :	92
d.1.	Les eaux de surfaces :	92
4.6.5.	La dissolution /précipitation :	94
c.	Les chlorures :	95

d.	Les phosphates :	96
e.	Les spéciations de plomb :	97
f.	Les gaz dissous :	98
4.5.2.1.	Les eaux souterraines :	98
a.	Les carbonates :	98
b.	Les sulfates :	99
c.	Les chlorures :	100
d.	Les phosphates :	100
e.	Spéciations de Manganèse (Mn) :	101
f.	Les Gaz dissous :	102
4.15.	Les échanges de base :	108
4.15.1.	Les eaux de surfaces :	108
4.15.2.	Les eaux souterraines :	109
5.	La pollution organique :	110
5.1.	Les nutriments :	110
5.1.1.	L'oxygène dissous (O ₂) :	110
5.1.2.	Les nitrates :	112
5.1.3.	Les nitrites (NO ₂ ⁻) :	113
5.1.4.	L'ammonium (NH ₄ ⁺) :	113
5.1.5.	Les phosphates :	115
b.	Période de Mai 2011 :	115
c.	Période de Mai 2012 :	116
5.2.	L'influence climatique sur les nutriments des eaux d'oued Saf-Saf :	117
5.2.1.	L'oxygène dissous (O ₂) :	117
5.2.3.	Les nitrites (NO ₂ ⁻) :	119
5.2.4.	Les phosphates :	119
5.3.	Influence des eaux de surfaces sur les nutriments des eaux souterraines :.....	120
5.3.1.	La plaine de Skikda :	120
5.4.	Les indices de pollution :	121
5.4.1.	L'indice de biodégradabilité (IB) :	121
5.4.1.1.	Les eaux de surface :	121
5.4.2.	L'indice de pollution (IPO):	122
5.4.2.1.	Les eaux de surfaces :	122
a.	Les eaux de surface de Mai 2011:	122
b.	Les eaux de surface de Mai 2012 :	123
5.4.2.2.	Les eaux souterraines :	123
5.4.3.	L'indice d'Eutrophisation et comportement des nutriments minéraux :.	124

5.4.3.1.	Nitrates - ammonium :	124
a.	Partie I (Barrage de Zerdazas à El-harrouch) :	124
b.	Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :	125
5.4.3.1.	Nitrites-Phosphates :	125
a.	Partie I (Barrage de Zardezas à El-Harrouch) :	125
b.	Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :	126
5.4.3.3.	L'indice d'eutrophisation :	127
5.4.3.3.1.	Les eaux de surface :	127
a.	Partie I (Barrage de Zerdazas à El-Harrouch) :	127
b.	Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :	127
5.4.3.3.2.	Eaux souterraines :	128
5.4.4.	L'indice de qualité microbiologique (IQM) :	129
5.4.4.1.	Calcul de l'indice de qualité microbiologique (IQM) :	129
a.	Qualité microbiologique des eaux de surface :	130
6.	Impact de la pollution :	130
6.1.	Sur le milieu naturel :	130
6.1.1.	Sur les eaux de surface :	130
6.1.2.	Sur les eaux souterraines :	131
6.1.3.	Sur les eaux de Mer :	132
6.2.	Sur l'économie :	134
6.3.	Sur la santé :	134
7.	Conclusion :	135
Chapitre V: Gestion qualitative des eaux		
1.1.	Les éléments (mesure in situ) :	137
a-	La température :	137
b-	Potentiel d'hydrogène (pH) :	138
c-	Oxygène dissous (O ₂) :	139
d-	Conductivité (CE) :	139
1.2.	Les anions :	140
a-	Les sulfates :	140
b-	Les chlorures :	141
c-	Bicarbonates :	142
1.3.	Les cations :	143
a-	Sodium (Na ⁺²) :	143
b.	Potassium (K ⁺) :	144
c-	Calcium (Ca ⁺²) :	144
d-	Magnésium (Mg ⁺²) :	145
1.4.	Les nutriments :	146

a-	Nitrates (NO_3^-) :	146
a-	Nitrite (NO_2^-) :	146
b-	Phosphates (PO_4^-) :	147
c-	L'ammonium (NH_4^+) :	148
2.	Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI) :	148
2.1.	Les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation :	149
2.2.	Les risques du Sodium Adsorption Ratio (SAR) :	149
a-	La période de Mai 2011:	151
b-	Période de Mai 2012 :	151
2.2.	Relation entre le SAR et l'indice de salinité :	152
2.2.1.	Diagramme de Wilcox :	153
a-	Les eaux de surface (Mai 2011 et 2012) :	153
b-	Les eaux souterraines (Mai 2011 et 2012) :	154
2.3.	Les risques de la salinité :	155
a-	Les eaux de Mai 2011 :	156
b-	Les eaux de Mai 2012 :	156
2.4.	Risques des bicarbonates :	157
b-	Les eaux de Mai 2012 :	159
2.5.	Les risque des ions phytotoxiques :	159
b-	La période de Mai 2012 :	161
2.5.2.	Le sodium :	162
a-	La période de Mai 2011 :	162
b-	La période de Mai 2012 :	163
3.	Qualité des eaux destinées à l'industrie:	163
3.1.	Indicateurs calco-carboniques :	163
3.1.1.	L'indice de Ryznar (indice de stabilité) :	163
a-	Saison de Mai 2011 :	164
b-	Saison de Mai 2012 :	165
3.1.2.	L'indice de Langelier (indice de saturation) :	165
a-	Saison de Mai 2011 :	166
b-	Saison de Mai 2012 :	166
3.1.3.	Indication de CCPP (calcium carbonate précipitation potentiel) :	167
a-	Saison de Mai 2011 :	168
b-	Saison de Mai 2012 :	168
3.2.	Indicateur de corrosivité :	169
3.2.1.	L'indice de Larson (indice de corrosivité) :	169
a-	Saison de Mai 2011 :	170

3.2.2. L'indice de Leroy (indice de corrosivité) :	171
a- Saison de Mai 2011 :	171
b- Saison de Mai 2012 :	172
4.Conclusion	173
Conclusion générale :	175

Listes des figures

Figure 1:Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	3
Figure 2:Carte du découpage administratif communal dans le bassin du Saf-Saf. (Khalfaoui.F, 2014).....	5
Figure 3:Carte des pentes du bassin versant d'oued Saf-Saf.	8
Figure 4:Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf.....	10
Figure 5: Esquisse structurale du Nord-Est algérien (D'après Wildi -1963).....	14
Figure 6:Colonne stratigraphique et synthétique de la chaîne calcaire (Dorsale Kabyle) par (J.F.Raoult 1974).....	16
Figure 7:Colonne stratigraphique et synthétique des séries mauritanienne(D'après J.F. Raoult 1974).....	19
Figure 8:Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne desMaghrébides (Durand-Delga, 1969)	20
Figure 9:Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf.....	23
Figure 10:Carte géologique de la région de Skikda extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M.VILA. 1978).....	24
Figure 11:Précipitations annuelles médianes « normales» (1965-95) (d'après étude ANRH-GTZ ,2003) in Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre Laborde.....	28
Figure 12:Carte du réseau d'observation pluviométrique dans le bassin du Saf-Saf (ANRH, 2012).....	30
Figure 13:Histogramme des Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zardezas (1970 – 2012).....	30
Figure 14:Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zardezas (1970 – 2012).....	32
Figure 15:Les précipitations moyennes annuelles (1970-2012).	32
Figure 16:Répartition saisonnière des précipitations (1970-2012).	33
Figure 17:Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1970–2012).....	35
Figure 18:Moyennes mensuelles de la vitesse moyenne des vents (1970–2012).	36
Figure 19:Diagramme Ombro-Thermique à la Station de Skikda (1970/71-2011/12).	37
Figure 20:Diagramme Ombro-Thermique à la Station de Zerdazas (1970/71-2011/12).....	38
Figure 21:Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12)	40

Figure 22:Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12).	41
Figure 23:Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf. (SW-NE). (Hedbani, 2006) modifié par (Boubelli.S 2012)	45
Figure 24:Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf. (SW-NE). (Hedbani, 2006) modifié par (Boubelli.S 2012).	45
Figure 25: Stratégie de prélèvement des points d'eau de la plaine alluviale du Saf-Saf (Mai 2012).....	46
Figure 26:Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine du Saf-Saf (Mai 2012).	48
Figure 27:Variation du pH au niveau des eaux de surface d'oued Saf-saf(Mai 2011 et 2012)	55
Figure 28: Variation du pH au niveau des Souterraines du Bassin d'oued Saf-saf (Mai 2011 et 2012).....	55
Figure 29: Variation du Température au niveau des eaux de surface d'oued Saf-saf (Mai 2011 et 2012).....	56
Figure 30:Variation du Température au niveau des eaux souterraines du bassin d'oued Saf-saf (Mai 2011 et 2012).....	57
Figure 31:Variation de la CE des eaux de surface d'oued Saf-saf (Mai 2011 et 2012).....	58
Figure 32:Variation de la CE des eaux souterraines du bassin d'oued Saf-saf (2011 et 2012).	60
Figure 33:Variation du Ca^{+2} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012.....	61
Figure 34:Variation du Ca^{+2} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012).	62
Figure 35:Variation du Mg^{+2} au niveau des eaux de surface (2011).	63
Figure 36:Variation du Ca^{+2} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012).	63
Figure 37:Variation du Na^{+2} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)	64
Figure 38:Variation du Na^{+2} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012	64
Figure 39:Variation du K^{+} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012.....	65
Figure 40:Variation du K^{+} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012).	66
Figure 41:Variation du Cl^{-} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012).....	67
Figure 42:Variation du Cl^{-} des eaux souterraines d'oued Saf-saf (Mai 2011 et 2012).....	68
Figure 43:Variation du SO_4^{-} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012.....	70
Figure 44:Variation du SO_4^{-} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012).	71
Figure 45:Variation du HCO_3^{-} au niveau des eaux de surface (Mai 2011 et 2012).....	72
Figure 46:Variation du HCO_3^{-} au niveau des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012).....	72

Figure 47:Diagramme de Piper (Mai 2011 et 2012).	73
Figure 48:Diagramme de schoëller-berkaloff des eaux de surface.	74
Figure 49:Variation de faciès chimiques des eaux de surface (2011/2012).	75
Figure 50:Diagramme de Piper pour les eaux souterraines du bassin d'oued Saf-saf .	76
Figure 51:Diagramme de schoëller-berkaloff des eaux souterraines.	76
Figure 52:Evolution de la température dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	78
Figure 53:Evolution du pH dans les eaux de surfaces d'oued Saf'saf (Mai 2011,2012).	78
Figure 54:Evolution de la conductivité dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	80
Figure 55:Evolution temporaire du Ca^{+2} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	81
Figure 56:Evolution temporaire du Mg^{+2} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	81
Figure 57: Evolution temporaire du Na^{+2} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	82
Figure 58:Evolution temporaire du K^{+} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	82
Figure 59:Evolution temporaire du Cl^{-} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	83
Figure 60:Evolution temporaire du SO_4^{-} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	83
Figure 61:Evolution temporaire du SO_4^{-} dans les eaux de surfaces d'oued Saf-saf (Mai 2011,2012).	83
Figure 62:Evolution de la Température (T), Conductivité (CE) et potentiel d'hydrogène.	85
Figure 63:Evolution des éléments majeurs au niveau de Salah bouchaour.	86
Figure 64:Evolution des éléments majeurs au niveau de Ramdan Djamel.	86
Figure 65:Evolution des éléments majeurs au niveau de Skikda.	87
Figure 66:Les titres de l'eau.	89
Figure 67:Evolution des Carbonates au niveau des eaux de surface.	90
Figure 68:Evolution des Carbonates au niveau des Souterraines (Mai 2011 et 2012).	91
Figure 69:Evolution du TAC et SAF des eaux de surfaces (Mai 2011 et 2012).	92
Figure 70:Evolution du TAC et SAF des eaux souterraines (Mai 2012).	92
Figure 71:Evolution de la dureté au niveau de surface (Mai 2011 et 2012).	93

Figure 72:Evolution des Carbonates au niveau des Souterraines (Mai 2011 et 2012).	93
Figure 73:Indice de saturation des carbonates (Mai 2011 et 2012)	94
Figure 74:Indice de saturation des sulfates (Mai 2011 et 2012)	95
Figure 75:Indice de saturation des Chlorures (Mai 2011 et 2012).....	96
Figure 76:Indice de saturation des Phosphates (Mai 2011 et 2012)	96
Figure 77:Indice de saturation des spéciations du Plomb (Mai 2011 et 2012)	97
Figure 78:Indice de saturation des Gaz dissous (Mai 2011 et 2012).	98
Figure 79:Indice de saturation des carbonates des eaux souterraines (Mai 2012).....	100
Figure 80:Indice de saturation des sulfates (Mai 2011 et 2012).	100
Figure 81:Indice de saturation des Chlorures des eaux souterraines(Mai 2012)	101
Figure 82:Indice de saturation des Phosphates des eaux souterraines(Mai 2012).....	102
Figure 83: Indice de saturation des Manganèses des eaux souterraines (Mai 2012)	102
Figure 84: Indice de saturation des Gaz dissous (Mai 2011	103
Figure 85: Diagramme de concentration des éléments majeurs.....	105
Figure 86: Diagramme de concentration des Nutriments.....	106
Figure 87: Diagramme de concentration des carbonates et des métaux.....	106
Figure 88: Diagramme d'équilibre eau – calcite.....	107
Figure 89: Variation de l'indice de stabilité des minéraux carbonatés selon le pH.....;	108
Figure 90: Relation Log (Pco ₂) vs IS Calcite et IS Dolomite appliquée aux eaux de surface.....	109
Figure 91: Indice d'échange de bases des eaux de surfaces(Mai 2011, Mai 2012)	108
Figure 92:Indice d'échange de bases des eaux souterraines (Mai 2011, Mai 2012).....	109
Figure 93:Variation de l'O ₂ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines	111
Figure 94:Variation des nitrates Eaux de Surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines (Mai 2012).....	112
Figure 95:Variation des nitrites eau de surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines (Mai 2012)	113
Figure 96: Variation de l'ammonium (Eaux de surfaces, Mai (2011 et 2012)).....	114
Figure 97:Cycle de l'azote.	115
Figure 98:Variation de l'ammonium des eaux de surfaces et souterraines (Mai 2011).....	116
Figure 99:Variation de l'ammonium des eaux de surfaces et souterraines (Mai 2012).....	117
Figure 100:Evolution de l'oxygène dissous au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012)	117

Figure 101:Evolution des nitrates au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012).....	118
Figure 102:Evolution des nitrites au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012).	119
Figure 103:Evolution des Phosphates au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012)...	120
Figure 104:Evolution des nutriments aux niveaux des eaux de surface et souterraines (Mai 2012).....	120
Figure 105:Indice de Biodégradabilité des eaux de surface Mai (2011, 2012).....	121
Figure 106:Indice de Pollution organique des eaux de surface Mai (2011 et 2012).....	122
Figure 107:Indice de Pollution organique des eaux souterraines Mai (2012).....	123
Figure 108:Evolution spatio-temporelle des nitrates et ammonium des eaux de surfaces.....	124
Figure 109: Evolution spatio-temporelle des nitrates et ammonium des eaux de surfaces....	125
Figure 110:Evolution spatio-temporelle des nitrites et Phosphates des eaux de surfaces.	126
Figure 111:Evolution spatio-temporelle des nitrites et Phosphates des eaux de surfaces.	126
Figure 112:Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux de surfaces..	127
Figure 113: Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux de surfaces.	128
Figure 114:Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux de surfaces..	128
Figure 115:Carte de vulnérabilité de la plaine alluviale du Saf-saf (Chaffai et all, 2006.modifiée)	132
Figure 116:Qualité des eaux vis-à-vis la température (Mai 2011 et 2012).....	138
Figure 117: Qualité des eaux vis-à-vis du pH (Mai 2011 et 2012).....	138
Figure 118:Qualité des eaux vis-à-vis l'oxygène dissous (Mai 2011 et 2012).....	139
Figure 119:Qualité des eaux vis-à-vis la conductivité (Mai 2011 et 2012)	140
Figure 120: Qualité des eaux vis-à-vis les Sulfates (Mai 2011 et 2012).....	141
Figure 121:Qualité des eaux vis-à-vis les Chlorures (Mai 2011 et 2012).....	142
Figure 122:Qualité des eaux vis-à-vis les Bicarbonates (Mai 2011 & 2012).	142
Figure 123:Qualité des eaux vis-à-vis le Sodium (Mai 2011 et 2012).....	143
Figure 124:Qualité des eaux vis-à-vis le Potassium (Mai 2011 et 2012).....	144
Figure 125:Qualité des eaux vis-à-vis le Calcium (Mai 2011 et 2012).	145
Figure 126:Qualité des eaux vis-à-vis le Magnésium (Mai 2011 et 2012).	145
Figure 127:Qualité des eaux vis-à-vis les Nitrates (Mai 2011 et 2012).....	146
Figure 128:Qualité des eaux vis-à-vis les nitrites (Mai 2011 et 2012).	147
Figure 129:Qualité des eaux vis-à-vis les Phosphates (Mai 2011 et 2012).	147
Figure 130:Qualité des eaux vis-à-vis les Phosphates (Mai 2011 et 2012).	148
Figure 131:Risque du SAR eaux de surface et souterraines (Mai 2011).	151
Figure 132:Risque du SAR eaux de surface et souterraines (Mai 2012).	152

Figure 133:Diagramme de Wilcox (Mai 2011et 2012).....	154
Figure 134:Diagramme de Wilcox (Mai 2011 et 2012).....	155
Figure 135:Risque de la salinité eaux de surface et souterraines(Mai 2011).....	156
Figure 136:Risque de la salinité eaux de surface et souterraines(Mai 2012).....	157
Figure 137:Risque des bicarbonates eau de surface et souterraines (Mai 2011).	158
Figure 138:Risque des bicarbonates eau de surface et souterraines (Mai 2011).	159
Figure 139:Risque des Chlorures eaux de surface et souterraines (Mai 2011).....	161
Figure 140: Risque des Chlorures eaux de surface et souterraines (Mai 2012).....	161
Figure 141:Risque des Chlorures eau de surface et souterraines (Mai 2011).....	162
Figure 142:Risque des Chlorures eau de surface et souterraines (Mai 2012).....	163
Figure 143:l'indice de stabilité de Ryznar eaux de surface et souterraines (Mai 2011).	164
Figure 144:l'indice de stabilité de Ryznar eaux de surface et souterraines (Mai 2012).	165
Figure 145:l'indice de Langelier eaux de surface et souterraines (Mai 2011).....	166
Figure 146:l'indice de Langelier eaux de surface et souterraines (Mai 2012).....	167
Figure 147:l'indication de CCPP eaux de surface et souterraines (Mai 2011).	168
Figure 148:l'indication de CCPP eaux de surface et souterraines (Mai 2011).	169
Figure 149:l'indice de Larson eaux souterraines et de surface (Mai 2011).	170
Figure 150:l'indice de Larson eaux souterraines et de surface (Mai 2012).	171
Figure 151:l'indice de Leroy eaux de surface et souterraines (Mai 2011).....	172
Figure 152:l'indice de Leroy eaux de surface et souterraines (Mai 2012).....	172

Listes de tableaux

Tableau 1: Les données de superficies des communes du BV.....	4
Tableau 2: Données des populations des communes du BV.....	6
Tableau 3: Altitude des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.....	9
Tableau 4:Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Saf-Saf.	12
Tableau 5:Les caractéristiques des cinq stations hydrométriques.....	27
Tableau 6:Stations pluviométriques fonctionnelles dans le bassin du Saf-Saf.	28
Tableau 7:Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zardezas (1970-2012)	30
Tableau 8:Moyenne des précipitations mensuelles en mm (1970-2012).....	31
Tableau 9:Répartition saisonnière des précipitations (1970-2012).....	33
Tableau 10:Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1970–2012).	34
Tableau 11:Moyennes mensuelles de la vitesse moyenne des vents (1970–2012).....	36
Tableau 12: bilan d'eau de la station de Skikda (1970-2012).....	40
Tableau 13: bilan d'eau de la station de Zerdazas (1970-2012)	40
Tableau 14:La classification de la pollution organique.	53
Tableau 15:Répartition des faciès chimiques selon les périodes.	74
Tableau 16:Répartition des faciès chimiques.....	77
Tableau 17:Classification des titres alcalimétriques	88
Tableau 18:Les limites des classes ont été établies par BOVESSE & DEPELCHIN (1980).129	
Tableau 19:Classes de l'indice de qualité microbiologique.	129
Tableau 20:Analyses bactériologiques des eaux de surface.....	130
Tableau 21 :Quantité des rejets des eaux usées non traités (Oued Saf-saf)	131
Tableau 22:Analyses des eaux de Mer	133
Tableau 23:Normes Internationales des rejets.	133
Tableau 24:Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.....	150
Tableau 25:SAR/Risque de salinité pour l'eau d'irrigation.....	152
Tableau 26:Risque des bicarbonates (HCO ₃) pour l'eau d'irrigation (meq/l).....	158
Tableau 27:Les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l).....	160
Tableau 28:Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau	164
Tableau 29:Relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau	169



**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction générale

Selon L'OMS, La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la santé des écosystèmes et la biodiversité. En conséquence, la qualité de l'eau a également une influence sur la détermination des niveaux de pauvreté, de richesse et d'éducation de l'homme.

La méditerranée regroupe 60% de la population mondiale « pauvre » en eau (disposant de moins de 1000 m³/hab/an) et vingt millions de méditerranéens n'ont aujourd'hui pas accès à l'eau potable, notamment dans les pays au Sud et à l'Est (Gaëlle Thivet et Mohammed Blinda, 2008).

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (Attoui et al, 2013).

Dans le cas de l'oued Saf-saf, la pollution engendrée par le rejet des eaux domestiques, urbaines et industrielles a atteint un seuil menaçant en raison de la diversité des matières polluantes et de la quantité importante en eau usées (16153,2 m³/j pour l'année 2009) seulement pour la partie amont. La nappe superficielle est exploitée par des puits à des fins agricoles et domestiques, elle est en contact direct avec les eaux de surface (Nappe des sables, graviers et galets). A la lumière de tous ces préambules, on est appelé à étudier la région d'oued Saf-Saf, qui se trouve touchée par tous ces problèmes.

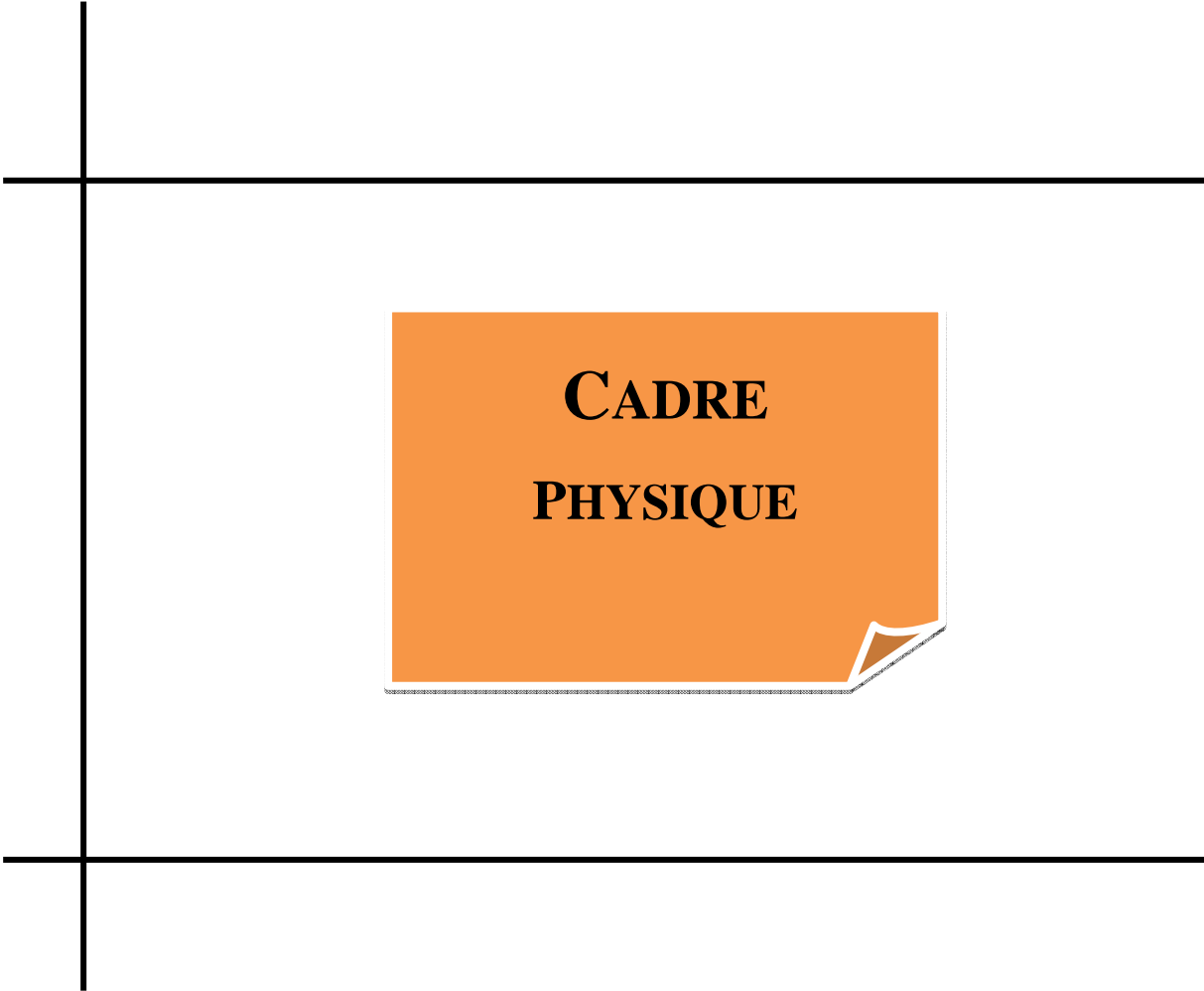
Notre objectif essentiel est d'étudier l'impact des rejets urbains et domestiques sur la qualité des eaux de l'Oued Saf-Saf, de faire un inventaire et de déterminer la possibilité d'une contamination par des polluants organique et leurs conséquences sur l'environnement. Cette étude doit être sérieusement complétée par une étude hydro-climatologique et hydrogéologique pour montrer les risques pouvant détériorer la qualité des eaux de surfaces et souterraines et leur impact négatif sur les possibilités hydriques de la région d'étude.

Cette étude s'articule autour de cinq chapitres qui traitent respectivement :

1. Cadre géographique : C'est une description du bassin de l'oued Saf-Saf (situation géographique, population, étude socio-économique...).
2. Géologie : Elle est consacrée à la description géologique de la région d'étude.

Introduction Générale

3. Ressources hydriques : L'évaluation des composantes du bilan hydrique nécessaire à toute estimation des réserves en eau d'un bassin versant et les différents horizons aquifères dont les caractéristiques géométriques est indispensable pour situer l'importance de certaines nappes et les relations qu'elles peuvent avoir dans le contexte géologique général.
4. Pollution minérale et organique : C'est la partie principale de ce travail qui est surtout consacrée à la détermination des faciès chimiques suivant la nature lithologique des aquifères, ainsi que la relation entre les eaux usées et les eaux surface afin d'arriver à localiser les régions de fortes concentrations des polluants naturels et/ou anthropiques et l'impact de cette pollution sur les eaux souterraines et l'environnement d'une manière générale.
5. Gestion qualitative des eaux : Pour déterminer la qualité des eaux de surface et souterraines selon leurs utilisations (eau destinée à la consommation humaine, eau destinée à l'irrigation et eau destinée à l'industrie).



**CADRE
PHYSIQUE**

1. La situation géographique :

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf fait partie du bassin côtier constantinois (d'après le découpage de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et l'Agence des Bassins Hydrographiques (ABH), il est situé entre le bassin versant de l'oued Guebli à l'Ouest et celui de l'oued Kébir Ouest à la partie Est. Il est limité au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par Djebel Alia et Djebel Tengout, au Sud par Djebel Hadja et Djebel Oucheni et à l'Ouest par le massif de Collo et Djebel Boukhalouf.

L'Oued Saf-Saf draine une superficie de l'ordre de 1158 km² afin de se déverser à l'Est de la ville de Skikda dans la mer Méditerranée.

Le bassin de Saf-Saf est inscrit dans le territoire de Skikda et s'étend jusqu'au territoire de Constantine (*Fig. 1*).

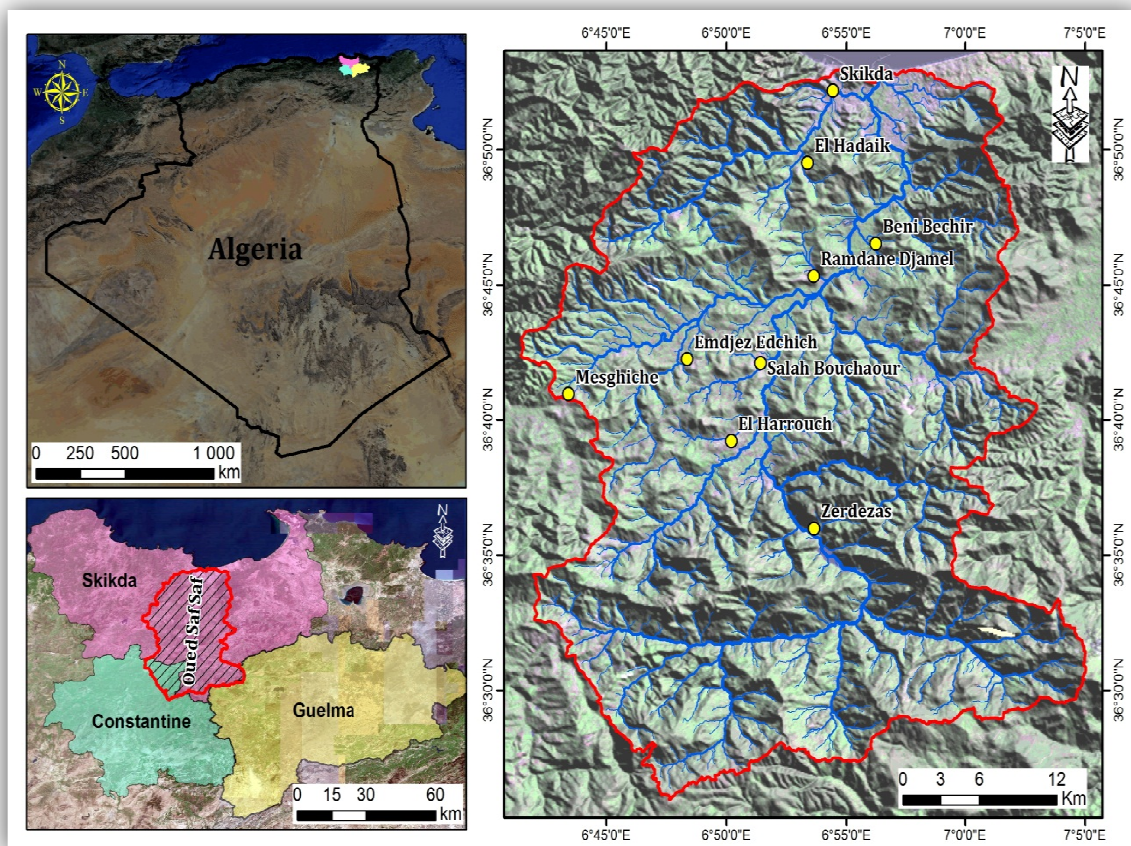


Figure 1: Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf.

2. Cadre administratif :

Le bassin versant du Saf-Saf occupe la partie centrale de la wilaya de Skikda, six (6) daïras appartiennent à ce bassin, englobant seize (16) communes : Skikda; Hamadi Krouma; El Hadaïk; Bouchtata; Ramadane-Djamel; Beni-Bechir; El Harrouch; Salah-Bouchaour; Emjez-Eddchich; Zerdezaz; Ouled-Hbaba; El Ghdïr, Es Sebt; Aïn-Bouziâne; Sidi Mezghich et en fin Zighoud Youcef qui fait partie à la wilaya de Constantine (*Fig. 2*).

Tableau 1: Données des superficies des communes du BV

Wilaya	Daira	Commune	Superficie Km ²
Skikda	Skikda	Skikda	56.3
		Hamadi Krouma	36.78
	El-Hadaïk	El-Hadaïk	50.80
		Bouchtata	112.50
	R-Djamel	R-Djamel	115.71
		Beni -Bechir	43.25
	El-Harrouch	El-Harrouch	101.80
		Salah -Bouchaour	93.00
		Emjez-Eddchich	76.80
		Zerdazas	101.65
		Ouled -Hbaba	199.07
	Azzaba	El Ghdïr	46.25
		Es Sebt	244.15
	Sidi-Mezgich	Sidi-Mezgich	94.50
		Ain-Bouziâne	75.90
	Constantine	Zighoud Youcef	Zighoud Youcef

Source : La DPAT de Skikda 2010

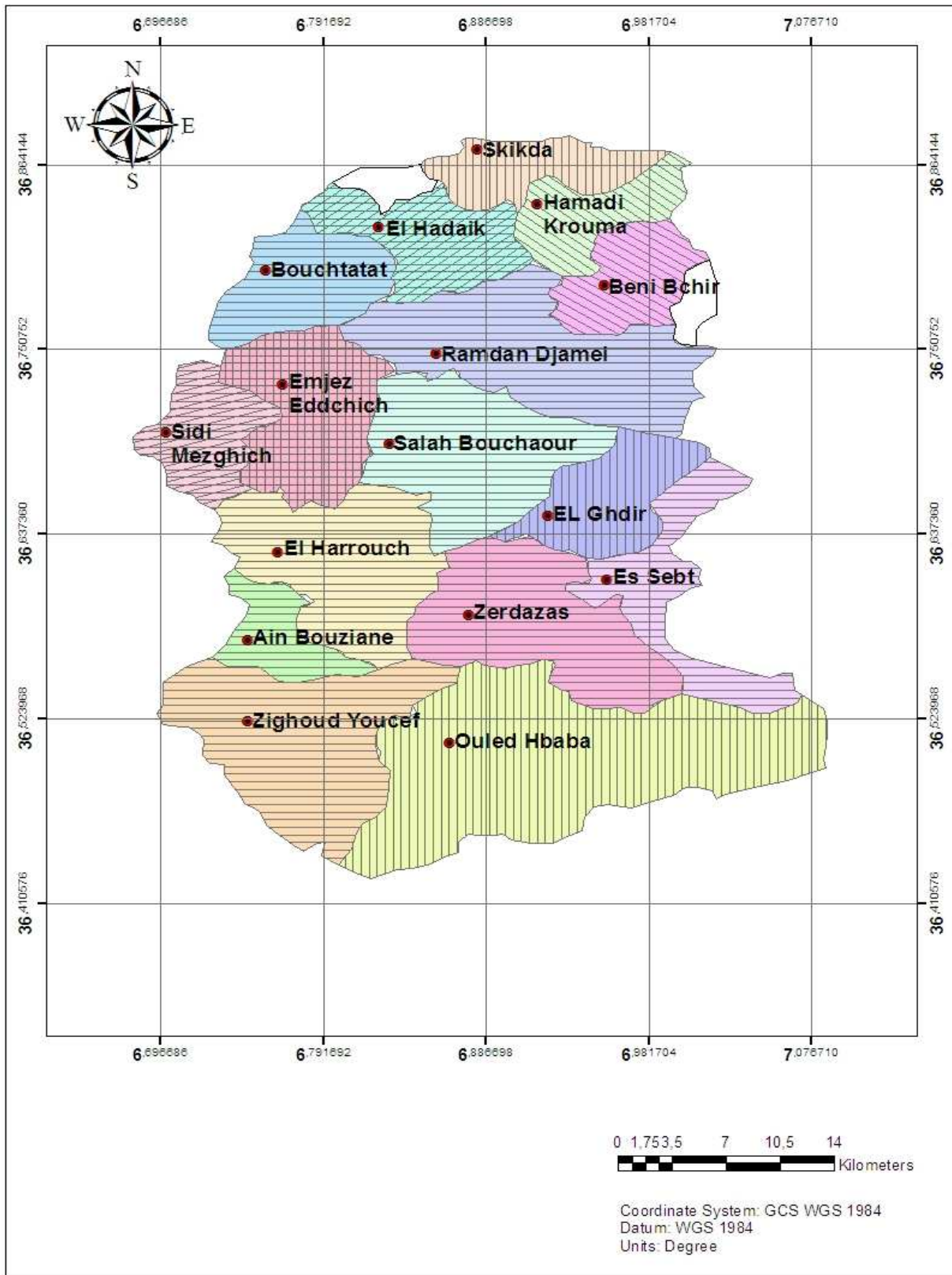


Figure 2: Carte du découpage administratif communal dans le bassin du Saf-Saf

3. La Population :

Le bassin du Saf-Saf ne fait pas exception, selon les projections de 2010, basées sur le recensement de 2008, la population du bassin du Saf-Saf est de **451 717** habitants (D'après le RGPH, DPAT et ONS), soit 49, 15% de la population totale de la wilaya de Skikda, avec un taux de croissance démographique moyen annuel de l'ordre de 1,74%.

Tableau 2: Données des populations des communes du BV

Wilaya	Daïra	Commune	Nombre de Pop 2010 (hab)	Superficie (Km ²)	Densité (hab/km ²)
Skikda	Skikda	Skikda	167 286	56,36	2968
		Hamadi Krouma	31 847	36,78	866
	El Hadaeik	El Hadaeik	18 792	50,80	370
		Bouchtata	9 606	112,50	85
	Ramdane Djamel	Ramdane Djamel	28 375	115,74	254
		Beni Bachir	10 021	43,25	232
	El Harrouch	El Harrouch	51 072	101,80	502
		Salah Bouchaour	30 929	93,00	333
		Emjez eddchich	20 995	76,88	273
		Zerdazas	12 997	101,65	128
	Sidi Mezghiche	Ouled Hbaba	8 537	199,07	43
Sidi Mezghiche		26 638	94,50	282	
Azzaba	Ain Bouziane	10 031	75,90	132	
	El Ghédir	6 767	46,25	146	
Constantine	Zighoud. Y	Es Sebt	15 873	244,15	65
		Zighoud Youcef	1951	115,80	17
Total bassin Saf-Saf			451 717 habitants		

Source : DPAT, 2010

4. Cadre socio-démo-économique

La surface des terres agricoles est de 193 179 ha, soit 46,68 % de la surface totale de la wilaya. (DPAT Skikda 2006).

Les grands périmètres sont irrigués par les eaux des barrages (8600 ha), tandis que les périmètres agricoles de moindre importance utilisent l'eau des forages, des puits et des retenues collinaires (DPAT Skikda 2006).

Le plus important périmètre dans la wilaya de Skikda est le périmètre du Saf-Saf, avec une surface de 5654 ha, soit 65 % de la surface du périmètre irrigué dans la wilaya.

Dans le bassin du Saf-Saf, l'aval est purement dominé par l'industrie pétrochimique du groupe Sonatrach au niveau de la zone industrielle située à 4 km de la ville de Skikda, contenant les différents complexes:

- Le complexe de Liquéfaction du gaz naturel (GL 1/K).
- Le complexe de Raffinage (RA 1/K).
- Le complexe des Matières Plastiques (CP 1/K).
- Transport des hydrocarbures, pétrole brut et de gaz naturel.
- La Centrale thermique.

Ajoutant à cela, la minoterie et la production des pâtes (ERIAD) à Hamadi Krouma. Cependant, la partie centrale du bassin du Saf-Saf est dominée par les industries agroalimentaires, citant: la minoterie et semoulerie (ERIAD) à El Harrouch, et la conserverie de Ramdane Djamel.

Les agglomérations des daïra de Skikda (199133 hab) et d'El Harrouch (124530hab) qui regroupent à elles seules 71,65% de toute la population du bassin du Saf-Saf, constituent les deux principaux pôles urbains dans le bassin.

5. Géomorphologie et reliefs :

5.1. Les Pentes :

Dans le bassin du Saf -Saf, on a pu faire ressortir quatre classes de pente (*Fig. 3*).

- Les pentes faibles (moins de 3 %) : coïncident avec une surface réduite et limitée à la vallée du Saf -Saf et la plaine de Skikda. C'est une zone de réception et de cumul hydrologique fortement exposée au risque d'inondation.
- Les pentes moyennes (3 - 12,5 %) : fréquentes et couvrent la moitié du bassin, elles se localisent surtout à la partie méridionale et à l'Ouest du bassin; dépressions de Sidi Mezghiche, Ramdane Djamel et El Harrouch.
- Les pentes fortes (12,5 - 25 %) : occupent la partie Sud du bassin et présentent en général un relief accidenté ou aux piedmonts : piedmont du Djebel El Ghédir, Kef Msouna et Sebargoud.
- Les pentes très fortes (plus de 25 %) : correspondent aux montagnes plus ou moins enlevées. Se situent à l'Est et à l'Ouest dans les Gneiss et les schistes du socle kabyle ainsi qu'au Sud du bassin : les Toumièttes Nord et les Toumièttes Sud, le Kef Hahouner, le Djebel Sesnou et le Djebel Hadjar (1166 m) point culminant du bassin versant du Saf-Saf.

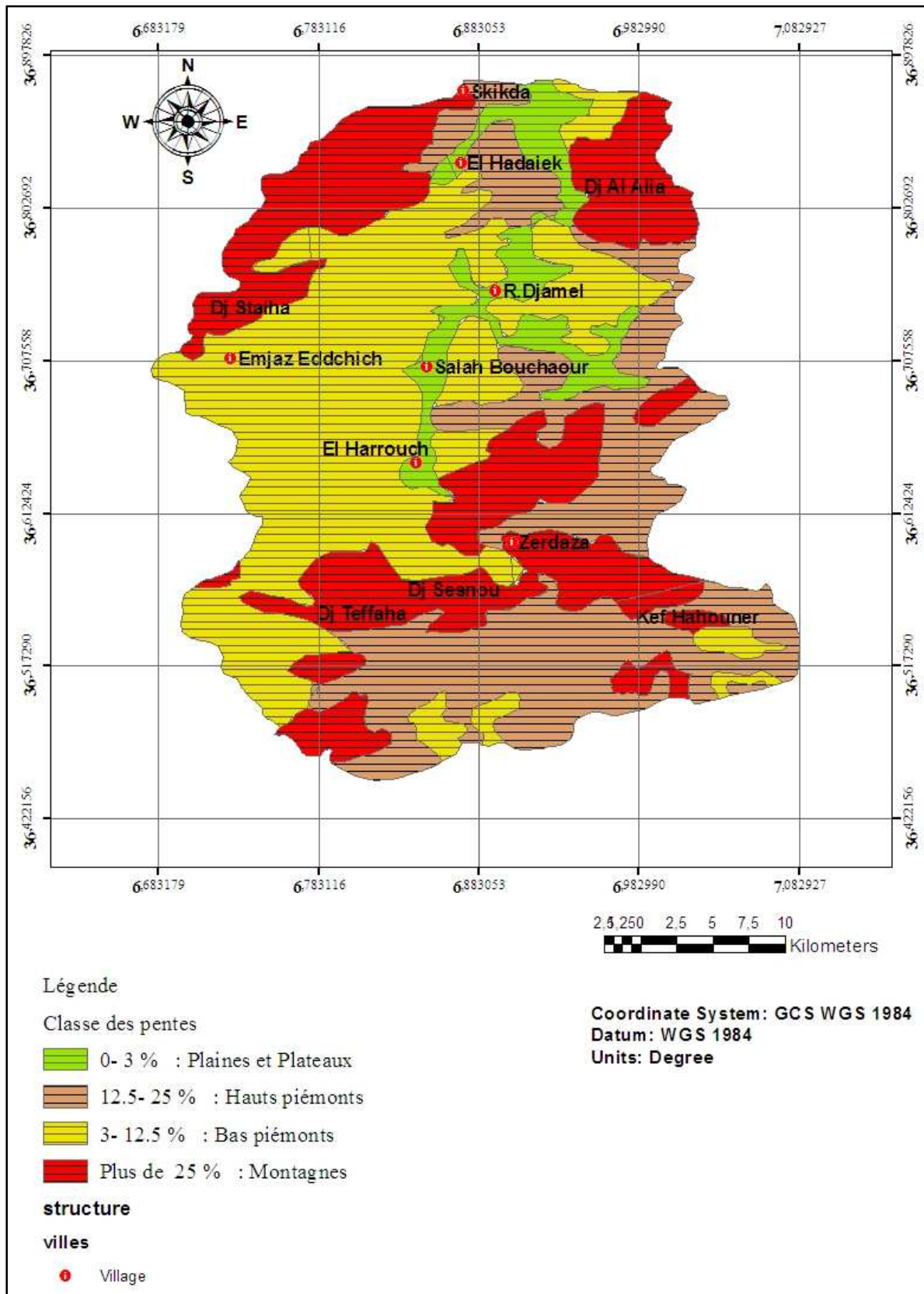


Figure 3: Carte des pentes du bassin versant d'oued Saf-Saf (Khelfaoui.F, 2008)

5.2. Les Reliefs :

Le bassin versant de Oued Saf-Saf draine une série de sous bassin :

- Le sous bassin de Zardezas : d'une superficie de 322 km², drainé par les oueds Khémakhem, Bou Adjeb et Khorfane, de forme allongé.
- Le sous bassin de l'oued Ameer (près de Emjez Ed chich) : il est isolé derrière des reliefs atteignant 150m à 200md'altitude.
- Le sous bassin de l'oued Zeramna : de forme allongée drainé par l'oued Zeramna.
- Le sous bassin de l'oued Haddarat : (près de Ramdane Djamel) drainé par l'oued Haddarat.
- La plaine de Skikda : de forme triangulaire ayant pour sommet le débouché de la vallée du Saf-Saf. Elle est séparée de ces bassins par une ligne de reliefs de direction Nord-Est Sud-Ouest.
- Le sous bassin de l'oued Nessa (prés d'El-Harrouch) : drainé par l'oued Nessa, ce bassin se trouve à une altitude de 80m, de forme triangulaire il est fermé au Nord par une ligne de relief culminant à 300m et au Sud à 800m et 821m.

Tableau 3: Altitude des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.

Nom du Relief	Altitude (m)	Nom du Relief	Altitude (m)
Kef M'souna	620	Djebel Goudi	319
Kef Toumiète Nord	883	Kef Hahouner	1023
Kef Toumiète Sud	892	Djebel Serrak	530
Djebel Bousatour	410	Djebel El Alia	659
Kef Sabargoud	600	Djebel Tesselemt	540
Djebel El-Ghédir	698	Djebel Tefifra	236
Djebel Soubouyou	225	Djebel Bargoug	310
Djebel Deirah	420	Djebel El Oucheni	1028
Djebel Bougrina	426	Djebel Meliani	1111
Djebel El Hadjar	1166	Djebel Tengout	649
Djebel Messiquene	353	Djebel Mekdoua	474

Source : ANRH, 2012

5.3. Réseaux hydrographiques :

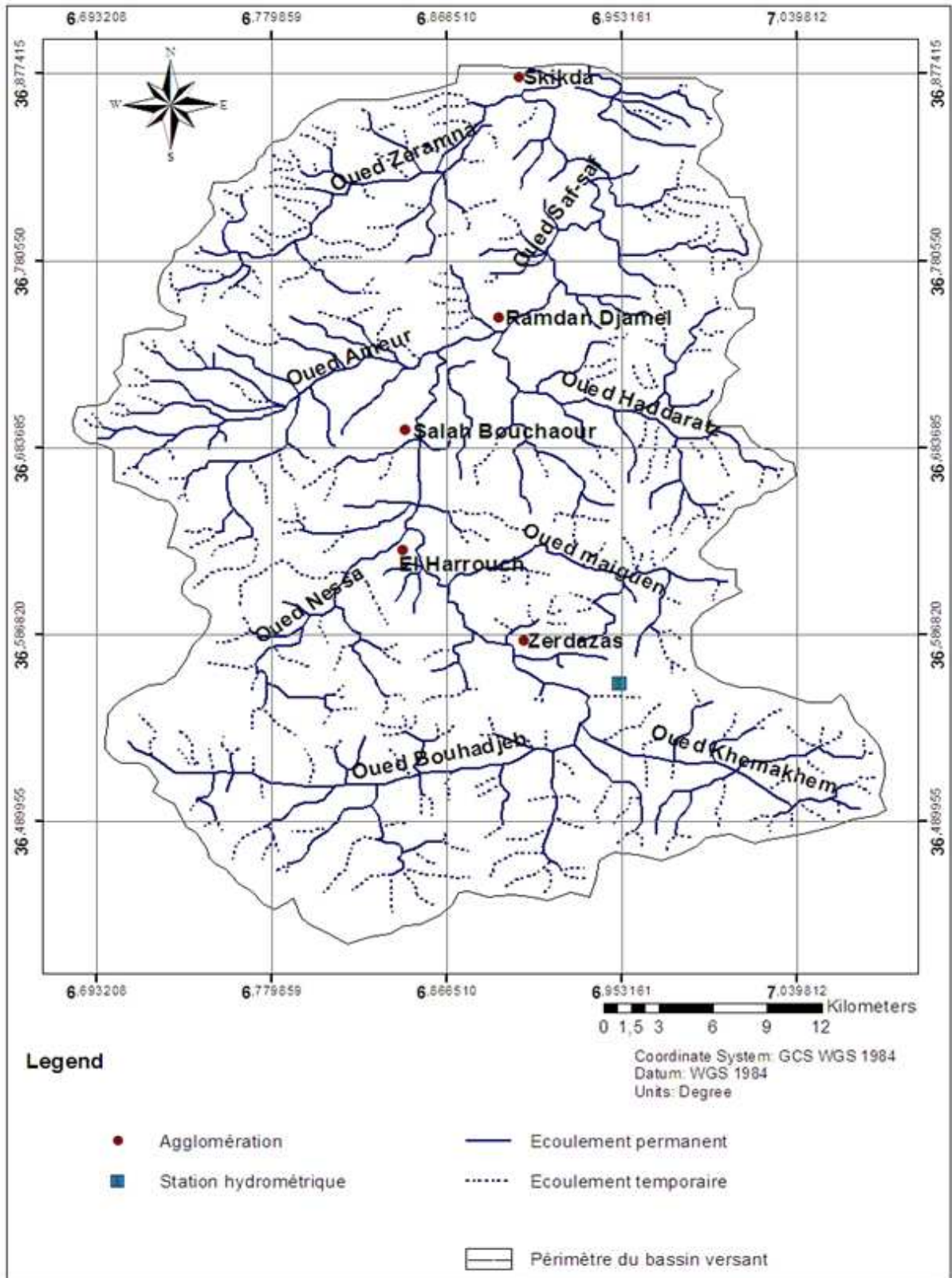


Figure 4: Carte du Réseau Hydrographique du Bassin Versant du Saf-Saf

Un réseau hydrographique dense est dû essentiellement à la topographie contrastée, l'agressivité du climat, la lithologie tendre des terrains (marnes et argiles) et les pentes.

La jonction de deux cours d'eau d'oued Bou Adjeb et l'oued Khemakhem où on a réalisé le barrage de Zardezas donne la naissance du bassin versant du Saf-Saf. Le bassin franchit la chaîne Numidique entre les monts M'souna (620 m) et Sébargoud (609 m), avant de se jeter en mer près de Skikda (*Fig. 4*).

Le sous bassin versant de Zardezas, couvre une surface de 322 km² et est essentiellement drainé par trois principaux affluents :

- ✓ l'oued Khemakhem qui draine la partie Est.
- ✓ l'ouest Khorfane qui draine la partie Sud.
- ✓ l'oued Bou Adjeb qui draine la partie Ouest étant de plus grande surface.

A l'aval, l'oued Saf-Saf traverse le bassin versant de Ramdane Djamel dans une direction Sud-Est Nord-Ouest jusqu'à l'agglomération de Ramdane Djamel, puis suivant une orientation Nord-Ouest Nord -Est avant de se jeter dans la mer méditerranée.

Il reçoit les principaux oueds suivants :

- ✓ l'oued Zeramna, l'oued Ameer et l'oued Nessa, en rive gauche.
- ✓ l'oued Goudi, l'oued Haddaratz et l'oued Maignen, en rive droit.

5.4. Caractéristiques physiographique du bassin versant :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration (T_c) qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. Tous les caractéristiques morphométriques du bassin versant sont résumés au tableau suivant :

Tableau 4: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Saf-Saf

Paramètres	Symboles	Unités	Bassin Versant du Saf-Saf	Sous Bassin de Zerdazas
Superficie planimétrée	A	Km ²	1158	322
Périmètre stylisé	P	Km	150	81
Indice de compacité	K _C		1.23	1.26
Altitude moyenne	H moy	m	388	628
Altitude médiane	H 50%	m	440	580
Altitude maximale	Hmax	m	1166	1166
Altitude minimale	Hmin	m	0	206
Indice de pente globale	I _g	m/km	17.15	22.30
Classe de relief	R	m/km	Fort	Assez fort
Densité de drainage	Dd	km/km ²	2.24	3.39
Temps de concentration	Tc	Heure	13 h 87	6 h 56

Source : ANRH, 2012

6. Conclusion :

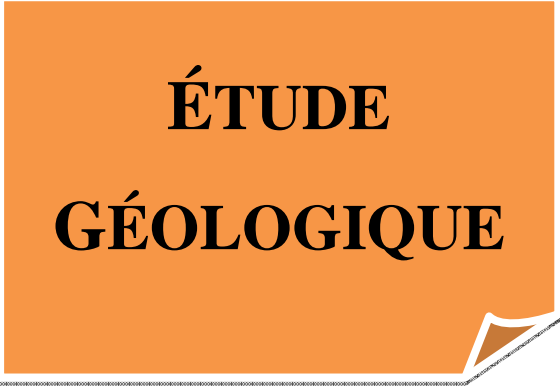
Le bassin du Saf-Saf à une superficie de 1158 Km², il est situé entre le bassin versant de l'oued Guebli à l'Ouest et celui de l'oued Kébir Ouest à la partie Est

Le bassin versant du Saf-Saf à un milieu de montagnes typiques, avec une altitude moyenne (H moyenne = 388 m). Les altitudes des reliefs du bassin varient entre 0 m (Niveau de la Mer) et 1166 m, avec un indice de pente (I_g) égale à 17.15 m/kg ce qui donne une classe de relief fort.

Le plus important périmètre dans la wilaya de Skikda est le périmètre du Saf-Saf, avec une surface de 5654 ha, soit 65 % de la surface du périmètre irrigué dans la wilaya.

Dans le bassin du Saf-Saf, l'aval est purement dominé par l'industrie pétrochimique du groupe Sonatrach au niveau de la zone industrielle située à 4 km de la ville de Skikda.

Le temps de concentration (Tc =13, 87 h), favorise la mobilisation des eaux de surface qui est dû au chevelu hydrographique dense (Dd = 2,24 Km/Km²).



**ÉTUDE
GÉOLOGIQUE**

1. La géologie de la zone d'étude :

Notre terrain d'étude (Oued Saf-saf) se trouve dans la petite Kabylie qui fait partie de la chaîne alpine des Maghrebides (Durand-Delga, 1969).

La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen. En Algérie il s'étend entre le massif des Babors à l'Ouest et le massif de l'Edough à l'Est sur plus de 150 kilomètres le long du littoral (Durand-Delga, 1969).

Le domaine de la chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de **nappes de charriages**. C'est le domaine des nappes ou domaine **allochtone** (J.F. Raoult, 1974 ; J.P. Bouilin, 1977 et J.M. Vila, 1980).

Selon J.F. Raoult, 1974 ; J.P. Bouilin, 1977 et J.M. Vila, 1980 ; en Algérie, la chaîne des Maghrébides montre du nord au sud les domaines suivants :

- **Le domaine interne** : Il contient l'Oligomiocène Kabyle, le socle kabyle et la dorsale kabyle.
- **Le domaine des flyschs** : Constituer par les séries à caractère flyschs.
- **Le domaine externe** : Constituer par les séries telliennes.
- **Les roches éruptives**
- **Le Quaternaire**

1.1. Le domaine interne

Nommé aussi **socle kabyle** ou **Kabylide**, est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques ou d'un ensemble sédimentaire paléozoïque d'âge Ordovicien à Carbonifère peu métamorphique ou bien recouvert en discordance par des dépôts détritiques constituer principalement par des molasses conglomératiques d'âge Oligocène supérieur, Miocène inférieur, appelés **Oligo-Miocène Kabyle** . Les massifs cristallophylliens métamorphiques sont essentiellement des gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes. Ce socle affleure d'Ouest en Est dans les massifs du Chenoua (à l'Ouest d'Alger), d'Alger, de Grande Kabylie et de Petite Kabylie (entre Jijel et Skikda). Il constitue le plus large affleurement du socle kabyle en Algérie, avec une distance de 120 km de longueur et 30 km de largeur. (J.F. Raoult 1974, J.P. Bouilin 1977 et J.M. Vila 1980).

A la lumière des études fournies par J.F. Raoult, 1974 ; J.P. Bouilin, 1977 et J.M. Vila, 1980 ; la **dorsale kabyle** ou **Chaîne calcaire** est constituée par la couverture mésozoïque et paléogène, localisée à la marge sud de ces massifs anciens (**Fig. 5**).

La largeur de ce domaine est exceptionnellement étroite et ne dépasse jamais quelques kilomètres. Il affleure au cap Ténès, au massif du Chenoua puis au Sud Est d'Alger (massifs de Larba, du Bou Zegza et du Djurdjura). Elle apparaît ensuite au Nord de Constantine (Dj. Sidi Dris) et on la suit sur 90 km jusqu'au Sud d'Annaba à Zit Emba (J.M. Vila, 1980).

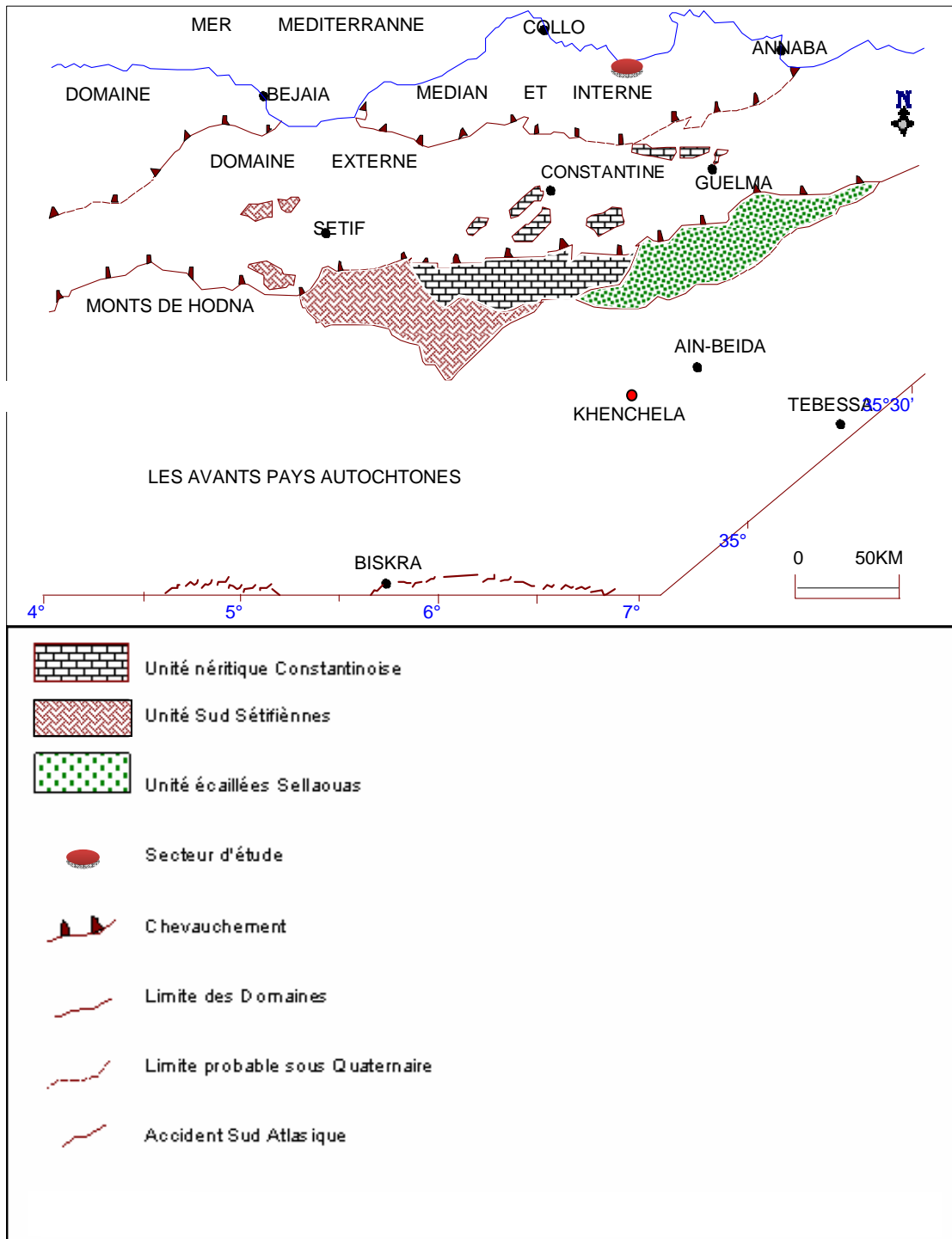


Figure 5: Esquisse structurale du Nord-Est algérien (D'après Wildi -1963)

1.1.1. Socle kabyle : Selon L. Joleaud (1912), G. Betier (1931), M. Roubault (1934), M. Durant-Delga (1955), J.F. Raoult (1974) et J.P. Bouillin (1977), le socle kabyle est composé de trois ensembles superposés, deux ensembles de roches métamorphiques et un dernier ensemble principalement sédimentaire. Ce dernier est charrié avec une flèche de 30 Km environ sur les terrains mésozoïques et cénozoïques.

Dans notre terrain le socle Kabyle affleure aux terrains suivants :

- Près de la région d'Ain Kechera.
- De Stora jusqu'au col de Staiha
- Djebel Safia, au Nord Est du terrain étudié, affirme D. Delga, (1967) ; J.F. Raoult (1974) et M. Villa (1980).
- Djebel Filfla au Nord-Est du terrain.
- Au Sud d'El Harrouch et au Nord-Est de Ain Bouziane, se sont des grès et conglomérats d'âge Eocène.
- Kef Toumiette, Djebel Bouabed, Kef Msouna, et Kef Sebergoud, qui ont des formations calcaires d'âge mésozoïques et cénozoïques.
- L'Est et l'Ouest de Skikda

1.1.2. Dorsale Kabyle : Ces formations sont essentiellement carbonatées d'âge Mésozoïque et Tertiaire, elles sont développées sur près de 90 Km d'Ouest en Est depuis le Djebel Sidi Driss jusqu'à Zit Emba (Raoult 1974, J.M.Vila 1980).

Elle est subdivisée en trois sous unités superposées. On distingue de bas en haut :

1.1.2.1. La dorsale interne (chaîne calcaire interne) : D'après Raoult 1974 et J.M.Vila 1980 la dorsale interne est constituée par les formations suivantes :

- Mince pelites de grès rouge violacé d'âge Permo-Trias.
- Calcaires blancs, massifs ou en gros bancs d'une épaisseur de 30 à 70 m du Lias inférieur.
- Calcaires lites glauconieux à silex gris et marno-calcaires jaunâtres appartiennent au Carixien à Néocomien.
- Calcaires dolomitiques sombres et sableux d'âge Paléocène-Yprésien.
- Calcaires massifs ou grossièrement lites à patine blanche du Lutétien supérieur.
- Tout cet ensemble repose sur un paléozoïque.

La majorité de ces formations n'ont pas observées dans notre terrain d'étude. La seule affleurement de ces formations est observée au Kef Toumiet. (*Fig. 6*).

1.1.2.2. La dorsale médiane (chaîne calcaire médiane) : La chaîne calcaire médiane comme leur nom l'indique, sont des dépôts calcaires à microfaunes pélagiques du Crétacé supérieur au Lutétien. Elle est observée dans notre terrain dans le Djebel Bou Aded, assure J.f.Raoult (1974).

La colonne stratigraphique établie par J.F. Raoult (1974) comportant de bas en haut la lithologie suivante :

- ✓ Un banc épais de pélites et grès du Permo-Trias.
- ✓ Calcaires graveleux.
- ✓ Un banc de calcaires blancs massifs du Lias inférieur.
- ✓ Un banc moins épais marno-calcaires lité du Dogger.
- ✓ Banc de calcaires et marnes surmontés par des conglomérats et marnes.

1.1.2.3. La dorsale externe (chaîne calcaire externe) :

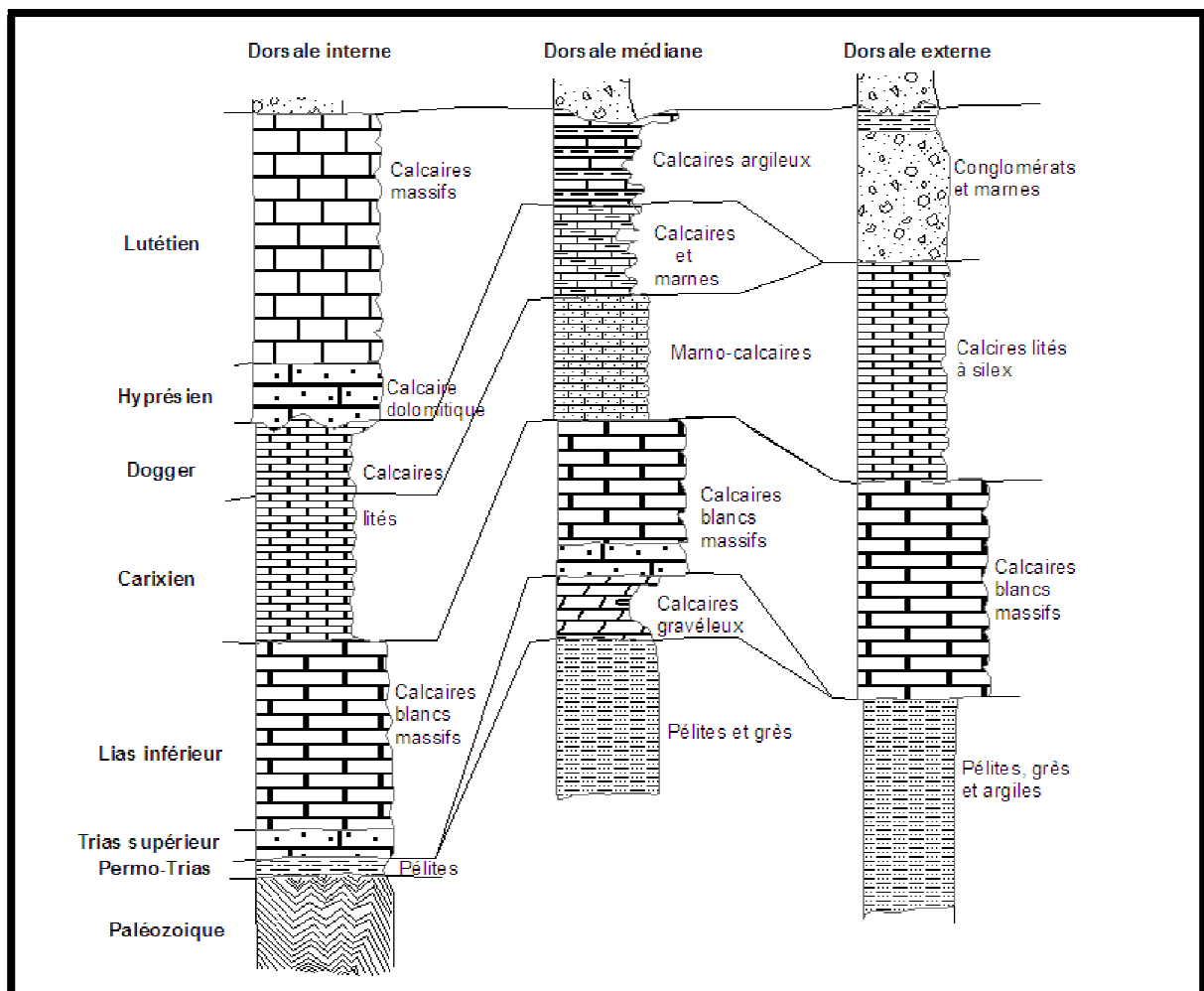


Figure 6: Colonne stratigraphique et synthétique de la chaîne calcaire (Dorsale Kabyle) par (J.F.Raoult 1974)

Ces colonnes constituées essentiellement par des calcaires massifs du Lias inférieur et des conglomérats à gros galets. Elle affleure au Djebel Ghedir et celui de Sidi Driss, à Kef Msouna, Sebergoud et Kef Toumiette Sud (J.f. Raoult 1974).

La dorsale est composée par les couches suivantes:

- ✓ Large banc de pélites, argiles et grés.
- ✓ Calcaires blancs massifs du Lias inférieur.
- ✓ Calcaires lités à silex du Dogger surmontés par des conglomérats et marnes (**Fig.6**).

1.1.3. L'Oligomiocène Kabyle :

Selon J.F.Raoult (1974 ; 1975), trois termes lithologiques au domaine de l'Oligomiocène Kabyle sont marqués :

- Des niveaux de brèches ou des poudingues en bancs irréguliers à galets de phyllades et de quartz, constituant un terme basal conglomératique.
- Des grès micacés et des conglomérats fins, des argiles détritiques et des schistes donnent un terme médian
- Un terme constitué de siléxites et d'un ensemble d'argiles et de pélites, est le terme supérieur.

L'oligomiocène Kabyle affleure au niveau du bassin d'Oued Saf-saf, dans toute la Kabylie de Collo et la région de Skikda. Avec une épaisseur variable d'un point à l'autre, l'Oligomiocène Kabyle épais de 30 m à Ain Bouziane et peut arriver à 200 ou 300 m (**Fig.10**). C'est une série sédimentaire correspondant à la couverture stratigraphique transgressive initiale du socle kabyle (Raoult, 1974 ; 1975).

1.2. Le domaine des flyschs :

J.F.RAOULT (1974), affirme que ces flyschs se présentent de trois manières :

- Flyschs nord-kabyles en position interne, superposés aux massifs kabyles.
- Flyschs sud-kabyle en position relativement externe à la bordure sud de la Dorsale kabyle.
- En position très externe, sous forme de masse isolées flottant sur le Tell charriées jusqu'à une centaine de kilomètres au sud.

L'âge des terrains allochtones en Algérie est le crétacé à Éocène (**Figure 7 et 8**). On distingue trois types de flyschs :

1.2.1. flyschs Maurétanien :

Ces flyschs (*Fig. 7*) sont remarquables sur le versant nord du djebel Sidi Driss, le long de l'oued Khorchef. La colonne stratigraphique faite au niveau du Djbel Sidi Driss par J.F RAOULT (1974), et qui peut montrer la succession de couches de cette formation comme la suite :

- Une alternance de marnes grises et de turbidités calcaires.
- Un ensemble de grés homométrique attribué à l'Albo-Aptien.
- Localement des phtanites rouges et blanches du Cénomaniens supérieur.
- Les microbrèches à ciment riche en quartz détritiques d'âge Sénonien.
- Au sommet des conglomérats puis des grés micacés Tertiaires (Éocène à Oligocène).

1.2.2. Flyschs Massyliens :

Ce sont des Marnes et Argiles dans la grande partie, favorisent le développement des glissements et de ravinements. Ce type de Flysch s'étend essentiellement sur le versant Nord du djebel Sidi Driss, sur de faibles étendues au Sud-Ouest de Kef Toumienne au Sud du barrage de Zardezas et au col d'El Kantour (J.f Raoult, 1974).

Selon J.f Raoult (1974), on distingue :

- Des Argiles et Grés plus ou moins quartzitiques en bancs minces d'une épaisseur comprise entre 10 et 30 cm d'âge Albo-Aptien.
- Un niveau à phtanites ou à brèches colorées.
- Des Microbrèches avec des marnes grises et des calcaires fins jaunes à rosés du Cénomaniens-Sénonien inférieur.

1.2.3. Flyschs numidiens :

Bouillin en 1979, a prouvé que les séries des flyschs Numidiens constituées par la succession de trois couches :

- Une couche supérieure, constituée d'Argiles.
- Une couche médiane, constituée par des Grés à grains de quartz hétérométriques d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur (Miocène).- Une couche inférieure à la base formée d'argiles à teinte verte, rouge et violacées, à tubatormaculume.

1.2.4. Le domaine externe :

Nommé aussi domaine tellien, d'âge Crétacé moyen à Néogène constitué principalement par des marnes (*Fig.8*), qui ont été charriées sur une centaine de km vers le Sud (Durand Delga, 1969). Plusieurs géologues qui ont étudié ce domaine ; ces derniers ont pu définir plusieurs séries telliennes.

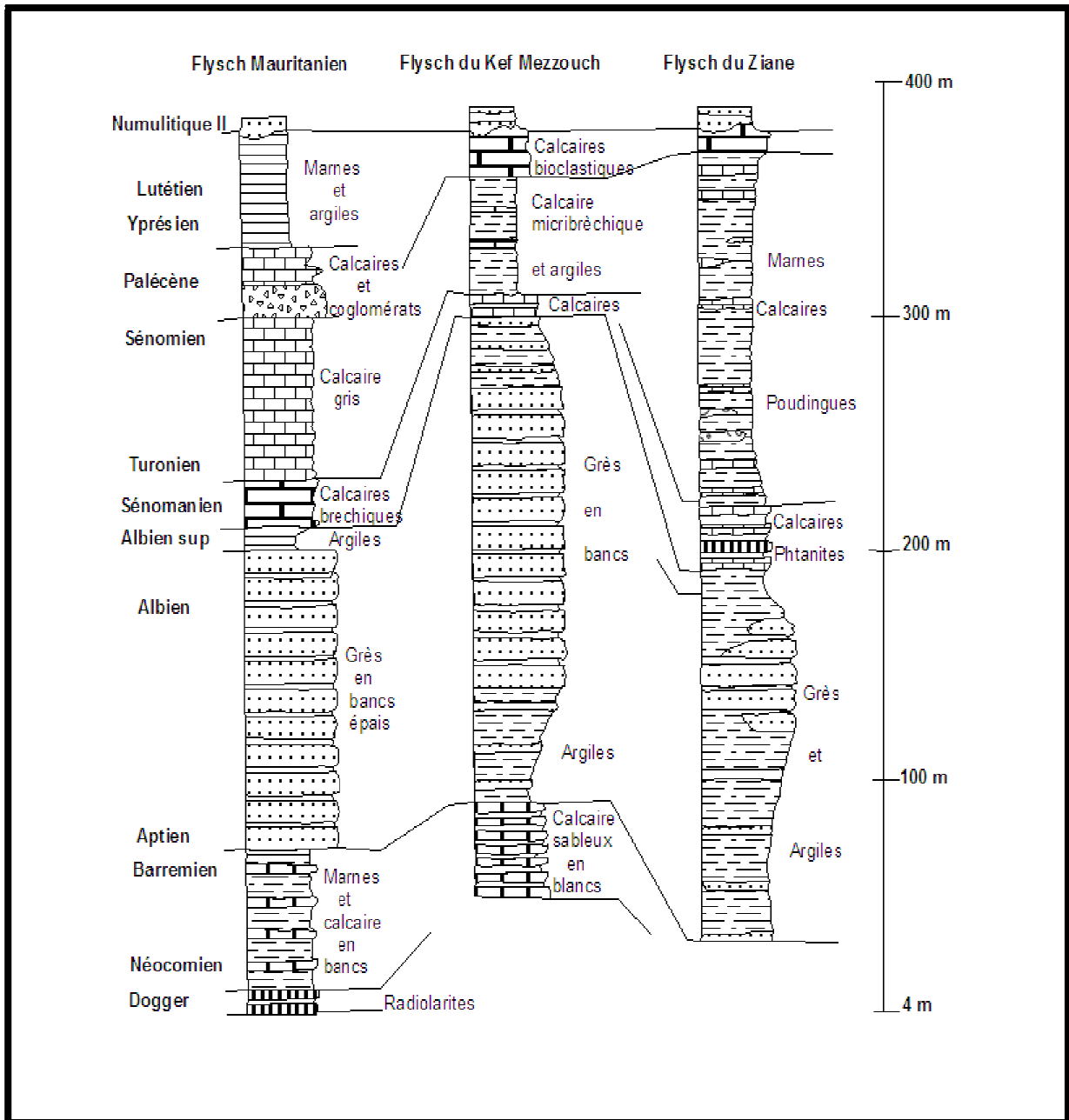


Figure 7: Colonne stratigraphique et synthétique des séries mauritanienne

(D'après J.F. Raoult 1974)

1.2.5. Les séries ultra-telliennes : Le premier géologue qui définit ces séries serait Monsieur Durand Delga en 1969, ensuite plusieurs géologues ont étudié ces séries notamment J.P. Bouillin (1977), J.F. Raoult (1974) et J.M Vila (1980). Ce sont des formations marneuses et claires avec quelques bancs de calcaire plus ou moins épais. Ces séries sont observées au niveau du Djebel Sidi Driss et celui de Safia (*Fig. 5*). Au niveau de la région de Sidi Driss, on distingue deux séries ultras telliennes tectoniquement superposées : l'unité supérieure (dite de Braham) et l'unité inférieure (dite d'Oulbane).

1.2.6. Les séries telliennes (sens strict) :

D'âge Jurassique particulièrement carbonaté, suivi par des marnes pélitiques gréseuses d'âge Crétacé inférieur, qui, deviennent exclusivement marneuses et marno-calcaires jusqu'à l'Eocène supérieur (J.M.Vila, 1980).

1.2.7. Les séries peni-telliennes :

Ce sont des séries néritiques du Crétacé à l'Oligocène, carbonatées et marneuses, qui sont définies au niveau du djebel Zouaouia, dans le massif du Chettaba, près de Constantine, elles affleurent toujours au sud du tell oriental Algérien (A Marre et al 1977, J.M.Vila, 1980).

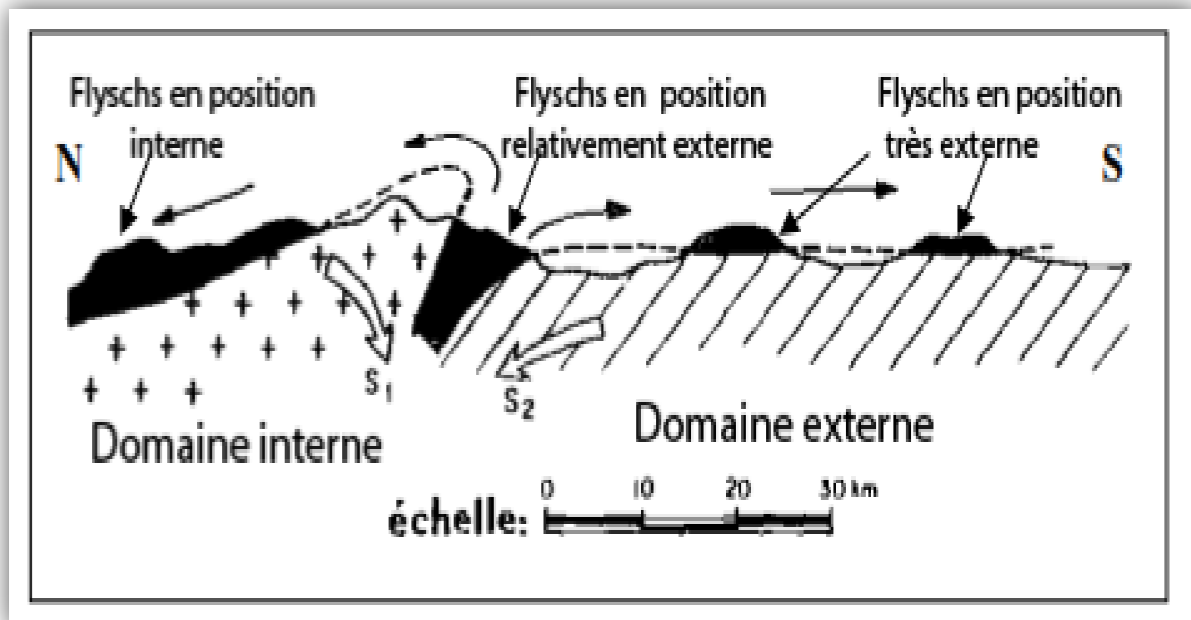


Figure 8: Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides (Durand-Delga, 1969)

1.3. Les roches éruptives :

La partie orientale de la petite Kabylie est caractérisée par un important magmatisme Miocène de type calco-alcalin qui a engendré d'importantes masses de granite (granite Bougaroun, de Beni Touffout et de Fil fila) et microgranite à l'environ de Collo et à l'ouest du bassin de Tamalous ainsi que des coulées et injections de laves acides à la région de Collo, Chetaibi et Edough (Roubault, 1934 ; Ouaipe, 1978 ; Fougnot, 1992 ; Semroud *et al.*, 1992).

1.4. Le Quaternaire :

Les alluvions et les dunes anciennes, sont les deux formations Quaternaire les plus dominantes dans la zone d'étude (*Fig. 10*). Le quaternaire est représenté par :

1.4.4. Les alluvions :

a- Les alluvions actuelles : Ce sont des sables, des limons formant le lit moyen de l'oued Saf-Saf et celui de Zeramna.

b- Les alluvions moyennes : Constituées de limons et de galets et enfin des alluvions anciennes d'âge pléistocène ce sont des terrasses de limons et de cailloux roulés à des épaisseurs de 20 à 50 m.

1.4.5. Les dunes anciennes :

a- Un niveau inférieur : d'une épaisseur varie de 40 à 50 m, comporte des alluvions récentes de l'oued Saf saf.

b- Un niveau moyen : Avec une épaisseur qui atteint les 80 m. Ce sont des alluvions anciennes.

c- Un niveau supérieur : Développé sur les schistes paléozoïques, ce niveau est observé à l'environ de Djebel El Allia au Nord Est de la région.

1.5. La lithologie du bassin versant du Saf-saf :

Selon la carte de la lithologie du bassin versant d'oued Saf-saf (*Fig. 9*) on peut classer les substrats selon leur résistance à l'érosion en :

1.5.4. Substrat résistant à l'érosion :

Ce sont surtout ;

- Calcaire et Dolomie dur Permo-Trias au nummulitique.
- Grés numidien Oligocène.
- Roches métamorphiques : Gneiss.

- Roches métamorphiques : Phyllade.

1.5.5. Substrat Moyennement Résistant :

- Flyschs de Ziane et conglomérat Néocomien à nummilitique.
- Schiste série ou nummilitique.
- Calcaire friable Jurassique au Lutétien supérieur.
- Flyschs Crétacé inférieur.

1.5.6. Substrat Peu Résistant :

- Marne, série Telliennes ou ultra Telliennes
- Argile sous numidienne
- Formations Quaternaires : alluvions et sables

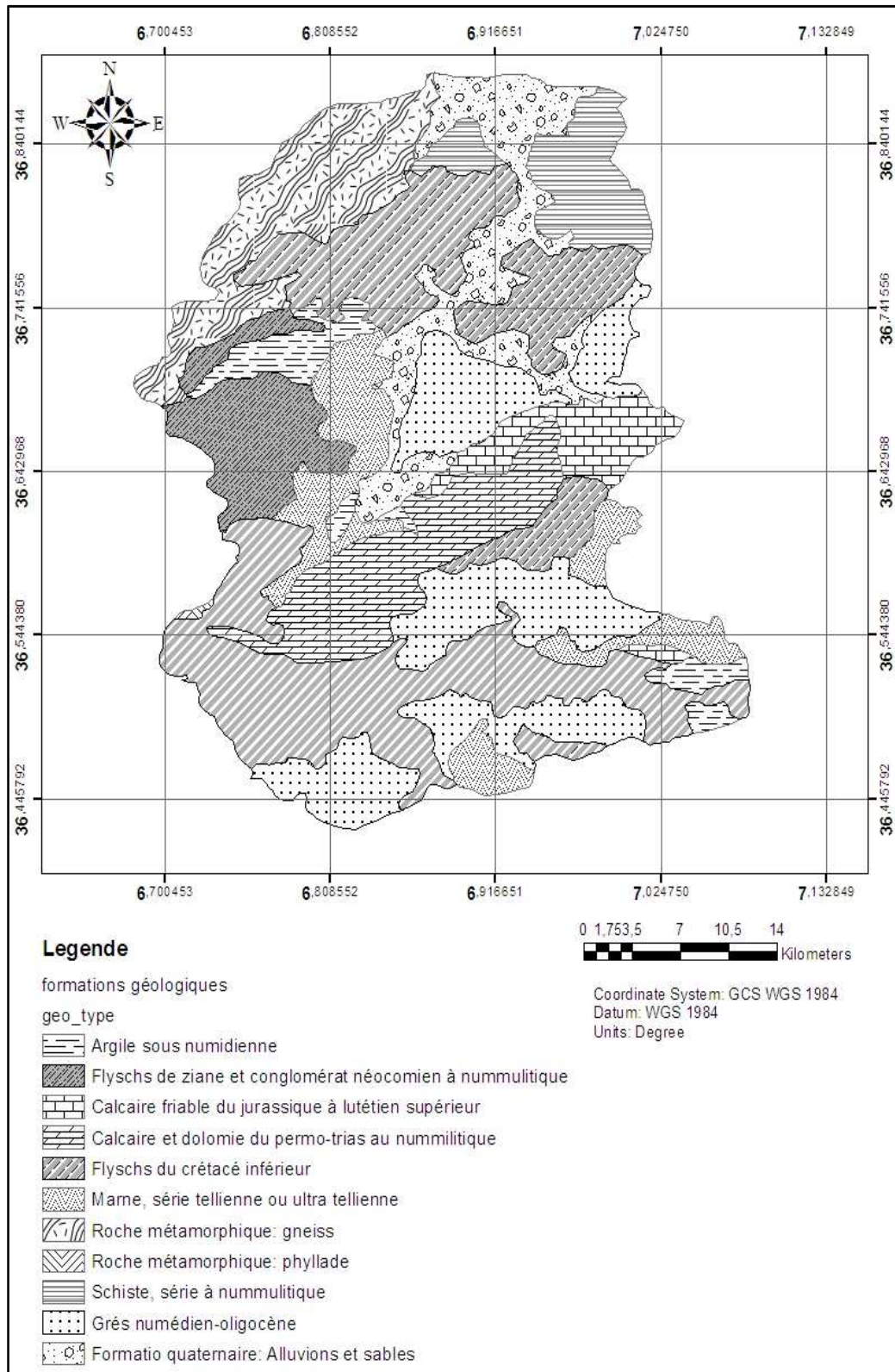


Figure 9: Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf (Khalfaoui.F, 2008)

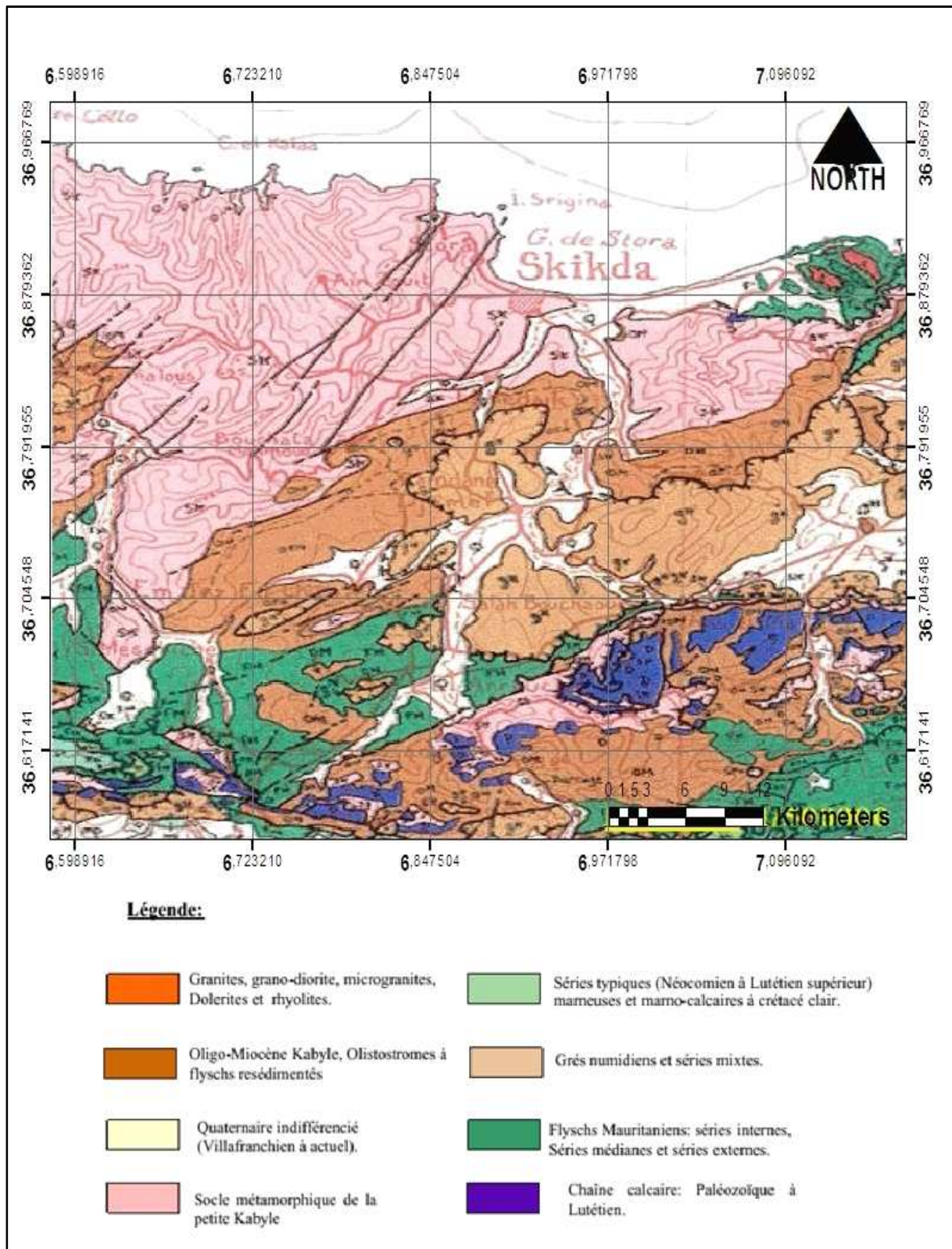


Figure 10: Carte géologique de la région de Skikda extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M.VILA. 1978)

2. Conclusion :

Le terrain d'étude (Oued Saf-saf) se trouve dans la petite Kabylie qui fait partie de la chaîne alpine des Maghrebides. En Algérie, Il s'étend entre le massif des Babors à l'Ouest et le massif de l'Edough à l'Est sur plus de 150 kilomètres le long du littoral.

La chaîne des Maghrébides montre du nord au sud cinq domaines : le domaine interne, le domaine des flyschs, le domaine externe, les roches éruptives et le Quaternaire.

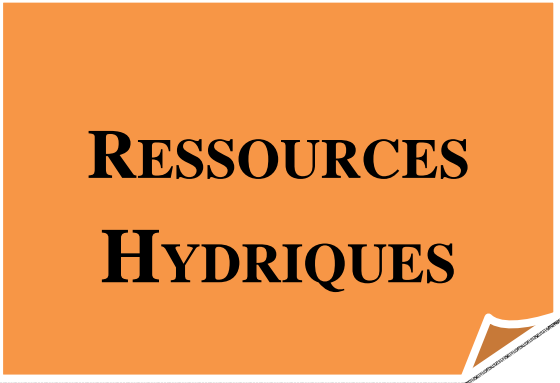
Le domaine interne, est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques ou d'un ensemble sédimentaire paléozoïque d'âge ordovicien à carbonifère peu métamorphique ou bien recouvert en discordance par des dépôts détritiques constituer principalement par des molasses conglomératiques d'âge oligocène supérieur, miocène inférieur.

Le domaine des flyschs d'âge crétacé à éocène, est subdivisé en trois types de flyshs (mauritanien, massylien et numidien).

Le domaine externe, nommé aussi domaine tellien, d'âge crétacé moyen à néogène constitué principalement par des marnes.

Les roches éruptives, d'âge Miocène de type calco-alcalin qui a engendré d'importantes masses de granite (granite Bougaroun, de Beni Touffout et de Fil fila) et microgranite à l'environ de Collo et à l'ouest du bassin de Tamalous ainsi que des coulées et injections de laves acides à la région de Collo, Chetaibi et Edough.

Les alluvions et les dunes anciennes, sont les deux formations Quaternaire les plus dominantes dans la zone d'étude.



**RESSOURCES
HYDRIQUES**

1. Hydro-climatologie :

Le climat influence la répartition des ressources en eau d'une région à une autre. Ainsi, les niveaux de précipitation, extrêmement variables, se répercutent sur les flux d'écoulement des différents cours d'eau. Dans les régions sous climat méditerranéen, les périodes sèches entraînent une diminution du débit des rivières à cause du manque d'eau, ce faible débit correspond au débit de base ou étiage. Ces périodes sèches sont souvent interrompues par des épisodes pluvieux intenses provoquant de forts lessivages de surface et charriant de grandes quantités de particules (Serrat *et al.* 2001).

Le cycle souterrain de l'eau et le climat sont étroitement liés. L'évolution du climat à une influence déterminante sur la variation de l'ensemble des réserves et les fluctuations des nappes d'eau souterraines qui s'alimentent par infiltration directe et se décharge par évaporation au cours de la saison en pays aride et semi-aride. Le climat intervient par sa composition hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles (Boubelli.S, 2009)

Le climat algérien est un climat de transition .Il varie du type méditerranéen dans le Nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique et bioclimatologiste à la zone aride et semi-aride (Djabaili, 1984 et ANAT, 1992), l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro-climatiques défavorables, caractérisées par des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes et une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements (ANAT, 1992).

L'Algérie est subdivisée, du Nord au Sud, en cinq zones:

- La zone littorale.
- L'Atlas tellien.
- Les hautes plaines steppiques (qui comprennent notre terrain).
- L'Atlas Saharien.
- Le Sahara.

Cette zonation hydro-climatique est régie principalement par le degré d'influence des courants froids issus du front polaire, qui s'atténuent en allant du Nord au Sud. Seule la région du Sahara reçoit aussi en été les perturbations issues de la mousson Soudanaise.

Une étude globale de synthèse menée par les nations unies (1987) à aboutir aux résultats portés dans le tableau suivant:

Tableau 5: Les caractéristiques des cinq stations hydrométriques

Zones climatiques	Température(C°)	Précipitations (mm)		
		Région Ouest	Région Centre	Région Est
Littoral	18	400	700	900
Atlas tellien	19 à 20	600	700 à 1000	800 à 1400
Hautes plaines	19 à 21	250	250	400
Atlas Saharien	21	150	200	300 à 400
Sahara	22	20 à 50	20 à 50	20 à 50

Source (nations unies, 1987)

Oued Saf-saf, qui fait partie de la wilaya de Skikda dans sa grande partie, appartient à la zone climatique du littoral qui est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 18 C° et une précipitation moyenne de 900 mm (*Fig. 11*).

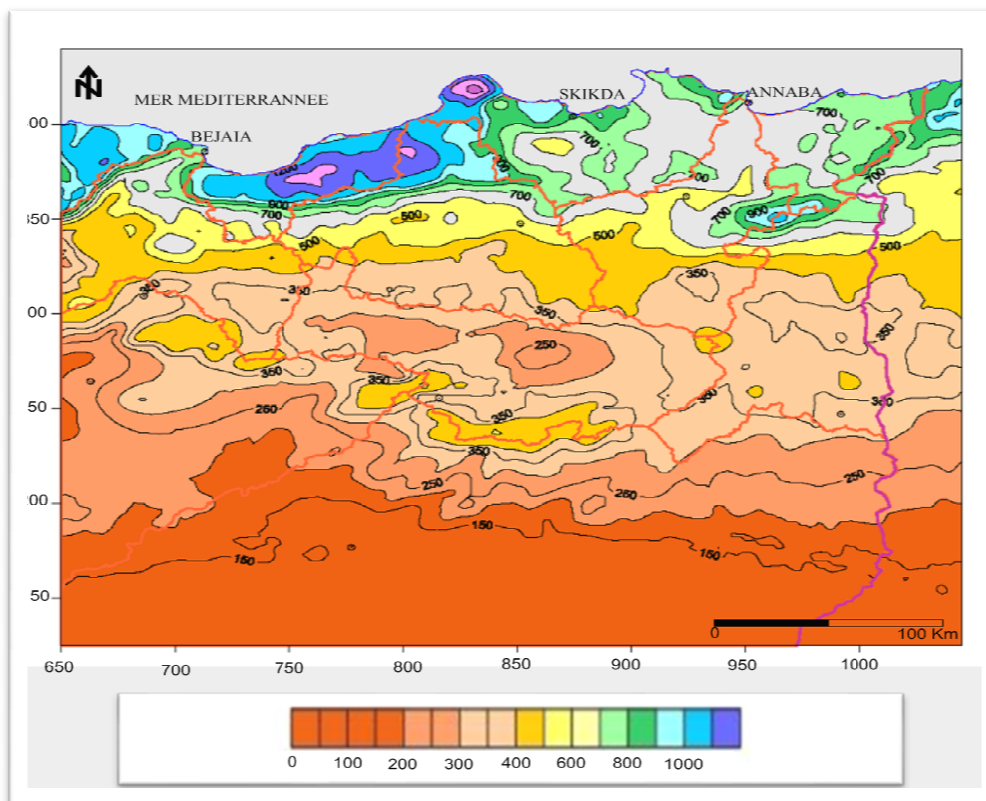


Figure 11: Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95), d'après étude ANRH-GTZ, 2003 in Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre Laborde

2. Equipement hydro-pluviométrique du bassin :

Selon l'ANRH le bassin du Saf-Saf équipé de 15 stations pluviométriques dont 10 fonctionnent à l'heure actuelle.

Tableau 6: Stations pluviométriques fonctionnelles dans le bassin du Saf-Saf

Station	X	Y	Altitude (m)	Code station
Skikda*	874,500	406,390	1,3	03.11.0
Ramdan Djamel	874,950	389,850	50	03.09.09
Bouchtata	866,040	395,840	90	03.09.11
Emjez Ed Chich	866,590	386,100	100	03.09.08
El Harrouch	869,940	380,190	137	03.09.06
Zardézas*	875,290	374,590	195	03.09.03
Khémakhem	878,960	370,300	206	03.09.01
Bissy	885,390	394,000	275	03.09.10
Aïn El Kèlb	888,150	363,400	750	03.09.04
Ouled Hebaba	882,100	362,950	980	03.09.05

*Station retenue dans l'étude (Source : ANRH, 2012)

La carte du réseau d'observation pluviométrique dans le bassin du Saf-Saf établi par l'ANRH, en 2012, montre la localisation des stations météorologiques au sein du bassin versant. Ces stations sont répartir, de telle façon à exploiter tous les renseignements du bassin (**Fig.12**).

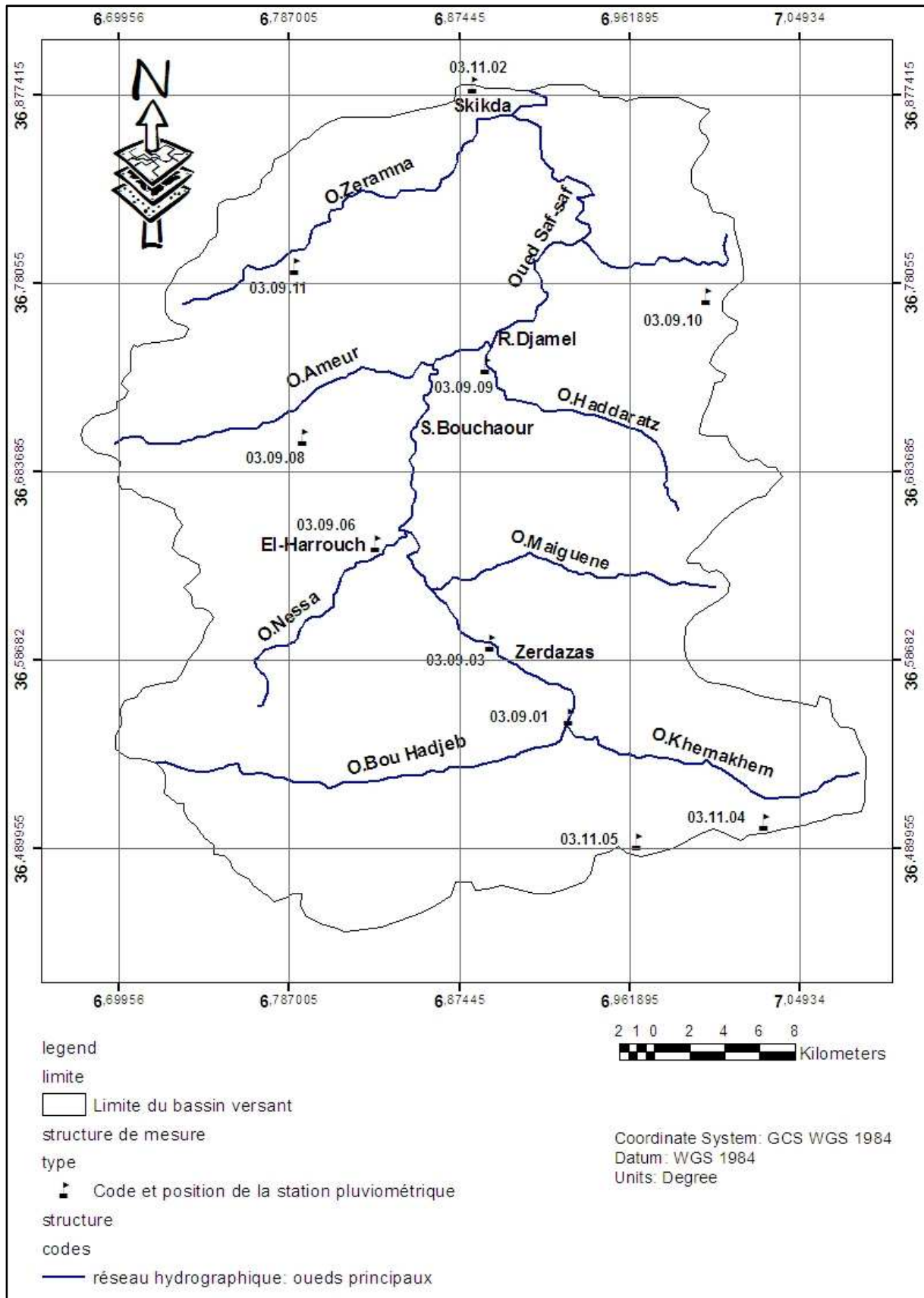


Figure 12: Carte du réseau d'observation pluviométrique dans le bassin du Saf-Saf (ANRH, 2012)

L'étude climatique est basée sur les données météorologiques des deux stations, à l'amont la station de Zardezas et en aval la station de Skikda. La période d'observation des deux stations s'étale 42 années entre 1970 et 2012.

3. Les facteurs climatiques:

a- Les températures : L'analyse des températures est basée sur des observations effectuées au niveau des deux stations (*Tab. 7 et Fig. 13*).

En hydrologie, la température est un facteur très important qui sert aux estimations et au bon fonctionnement du cycle de l'eau.

Tableau 7: Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zardezas (1970-2012)

Mois \ Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
Skikda (Aval)	24,9	21,2	17,3	14,0	13,0	12,6	14,3	17,1	19,8	22,8	22,8	26,2	19,1
Zardézas (Amont)	24,5	21,6	16,2	12,8	12,2	11,8	14,3	17,4	21,0	24,9	28,9	28,7	19,5

Source : Stations Skikda & Zardezas, 2013

Seulement deux stations (Skikda port et Zardezas) fournissent journallement les évolutions de la température de l'air à l'abri.

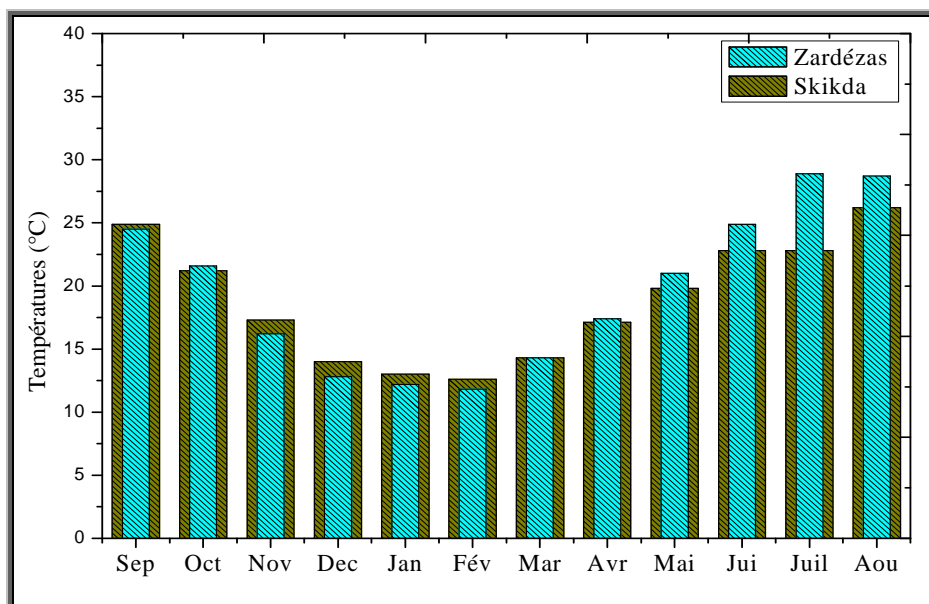


Figure 13: Histogramme des Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zardezas (1970 – 2012)

Le mois de Février est le mois le plus froid pour les deux stations, cependant le mois d'août étant le plus chaud pour la station de Skikda, tandis que le mois de juillet est le mois le plus chaud pour la station de Zerdazas.

À la station de Skikda la moyenne mensuelle des températures enregistrée est de l'ordre de 19,1 °C, avec une valeur minimale égale à 12,6 °C au mois de Février et une valeur maximale de l'ordre de 26,2 °C au mois d'Août.

Par contre la station de Zerdazas, montre une moyenne mensuelle de 19,5 °C, avec un minimum de 11,8 °C enregistré au mois de Février, le maximum est atteint au mois de juillet avec une valeur de 28,9 °C.

b. Les précipitations:

b.1. Les précipitations moyennes annuelles : Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle d'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés; Il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles (Chaoui.W, 2007).

A partir des données fournis par les deux stations météorologiques, on peut calculer la moyenne des températures mensuelles. Cette moyenne est enregistrée au tableau suivant :

Tableau 8: Moyenne des précipitations mensuelles en mm (1970-2012)

Mois \ Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Σ
Skikda (Aval)	43	74.6	97.4	132.6	106.8	95.1	74.6	65.5	40.5	18.6	3	10.1	761.7
Zardézas (Amont)	54	58.9	82.3	106.2	134.2	104.3	99.2	76.5	38.9	17.7	6.6	9.3	788.2

Source : ANRH, 2012

A l'amont du bassin versant d'Oued Saf-Saf, la valeur maximale des précipitations est observée au mois de Janvier avec une valeur de l'ordre de 134.2 mm, par contre la valeur minimale ne dépasse pas les 7 mm, elle est observée au mois de Juillet (**Tab. 8**).

A l'aval du bassin, les précipitations prennent leur maximum au mois de Décembre avec une valeur de 132.6 mm et un minimum de 3 mm au mois de Juillet.

La comparaison entre la somme des moyennes des précipitations mensuelles amont et aval, montre une différence de 26.5 mm, ce qui signifie que l'amont du bassin est plus aversé que l'aval (**Fig. 14**).

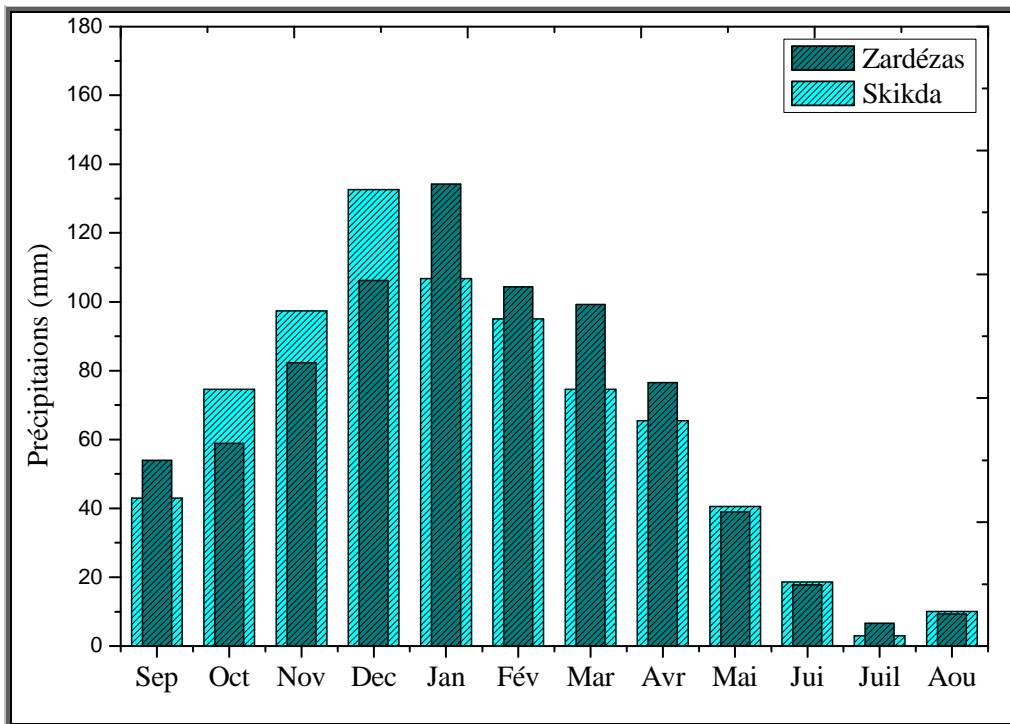


Figure 14: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda et Zerdézas (1970 - 2012).

b.2. Les précipitations moyennes annuelles :

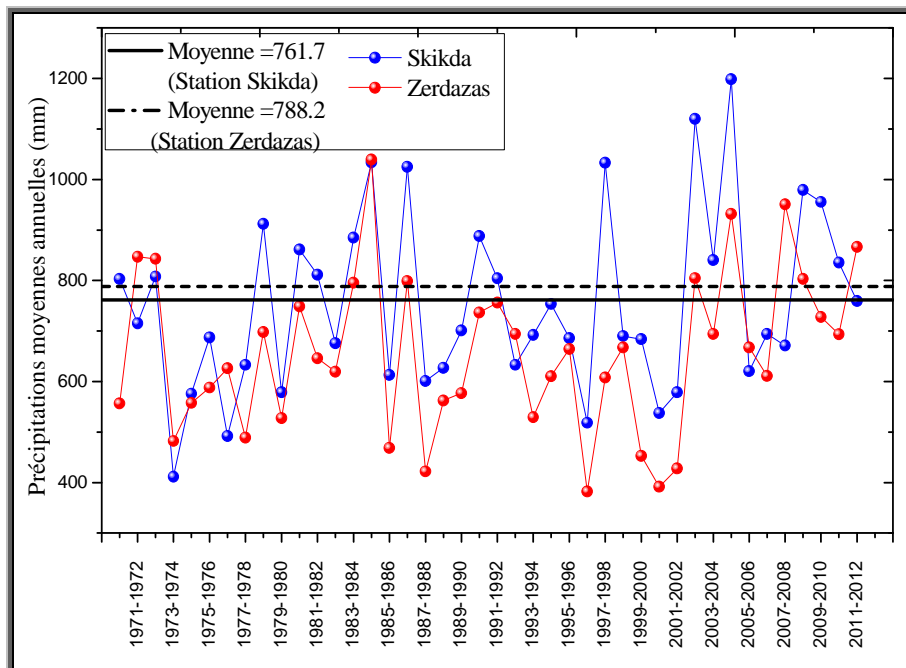


Figure 15: Les précipitations moyennes annuelles (1970-2012).

Sur une période de 42 ans (1970-2012), on a calculé une moyenne annuelle des précipitations (*Fig. 15*), elle est de 761.7 mm à la station de Skikda et 788.2 mm à la station de Zardezas. L'année la plus pluvieuse à la station de Skikda 2004 (1198.3 mm) et la plus sèche 1973 (411.3 mm), tandis que l'année la plus pluvieuse à la station de Zardezas 1984 (1039.4 mm) et la plus sèche 1996 (382.2 mm).

b.3. La répartition saisonnière des précipitations :

Pour donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons, une étude des précipitations saisonnières est nécessaire (*Tab. 9 et Fig. 16*).

Tableau 9: Répartition saisonnière des précipitations (1970-2012).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Station	Automne			Hivers			Printemps			Eté			annuelle
Zerdazas	215			334.5			180.5			31.7			
(Aval)	28.30 %			43.91 %			23.7 %			4.16 %			100 %
Skikda	195.2			344.8			214.6			33.6			788.2
(Aval)	27.77 %			43.74 %			27.23 %			4.26 %			100%

Source : ANRH, 2012

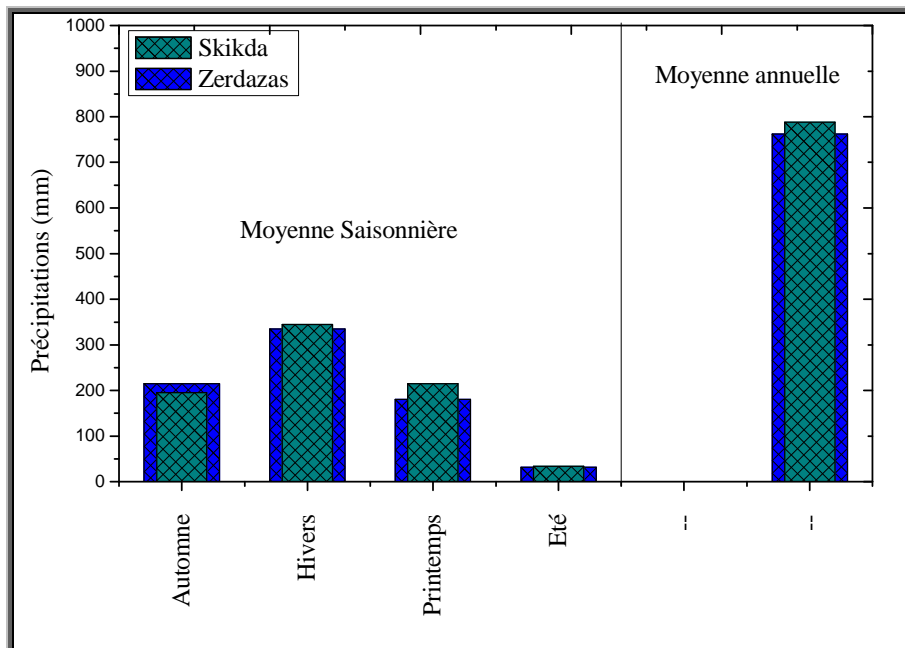


Figure 16: Répartition saisonnière des précipitations (1970-2012)

Pour les deux stations, on distingue un maximum pluviométrique hivernal (de décembre au Février), donc la saison la plus arrosée pour les deux stations est l'hiver, avec (43.74 %) à la station de Skikda et (43.91 %) à Zardezas. Tandis que l'été représente la saison la plus sèche (4.26 %) à Skikda et (4.16 %) à Zardezas.

c. L'humidité relative :

L'humidité relative (HR) s'exprime en pourcentage (%) et correspond au rapport, entre la quantité d'eau que contient l'air (humidité absolue) et la quantité maximale qu'il peut contenir pour une température donnée et ceci avant de se condenser. Les variations de la température influencent directement l'humidité relative, de sorte que l'humidité relative baisse quand la température s'élève et augmente lorsque la température baisse (*Tab. 10 et Fig. 17*).

Tableau 10: Moyennes mensuelles de l'humidité relative en % (1970–2012)

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moy
Skikda	73.2	70.6	72	72.9	74.9	71.8	73.1	73.3	74	72.4	71.1	72.3	72.6
Zardezas	62.3	66.4	68.3	72.3	70.6	69.9	67.6	65.7	66.3	55.9	54.3	54.7	64.5

Source : Station de Skikda.2012

On note une diminution de l'humidité du littoral vers l'intérieur du bassin (de l'aval vers l'amont), ceci peut être expliqué par la variation de la température de l'aval (Mer) vers l'amont (l'intérieur du bassin (Zardezas)), et par la différence d'altitude entre les deux stations (Skikda 1,3 m et Zardezas 195 m). On a calculé une moyenne annuelle de l'humidité, elle est de 72.6 % à la station de Skikda et 64.5 % à la station de Zerdez.

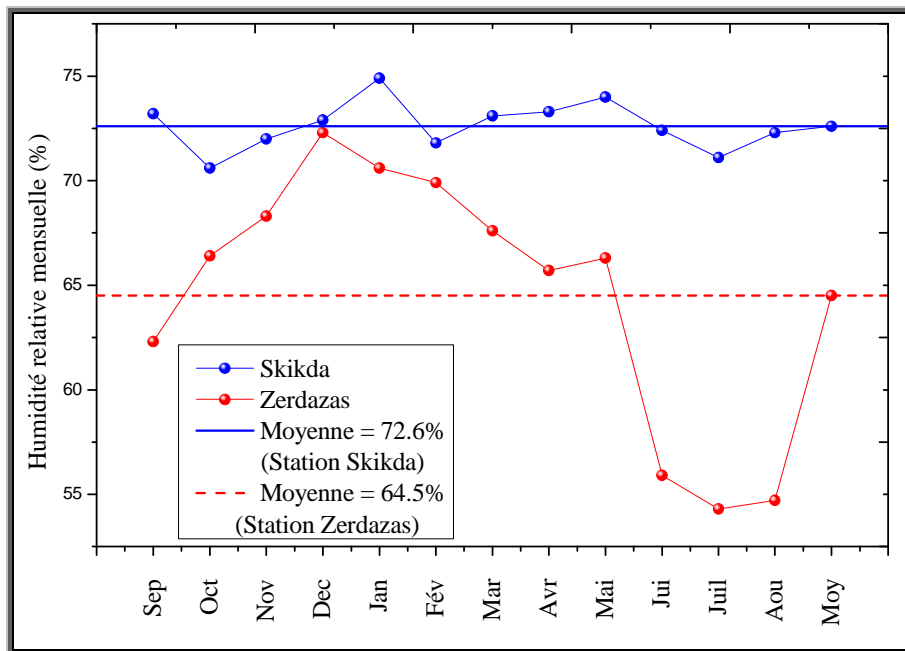


Figure 17: Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1970–2012)

d. Le vent :

Le vent correspond au déplacement d'une masse d'air consécutif à des différences locales de température et de pression.

Tableau 11: Moyennes mensuelles de la vitesse moyenne des vents en m/s (1970–2012).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Skikda	3,34	3,50	3,60	3,89	3,74	3,84	3,78	3,36	3,22	3,32	3,32	3,36

Source : Station de Skikda, 2012

Nous n'avons que les données de la moyenne mensuelle de la vitesse moyenne de la station de Skikda pour la période (1970/71-2011/12). En hiver (décembre), la fréquence de vitesse des vents atteint son maximum avec 3,89 m/s, tandis que le minimum des vents est enregistré en mois de mai avec une vitesse moyenne de 3,22 m/s (Tab. 11 et Fig. 18).

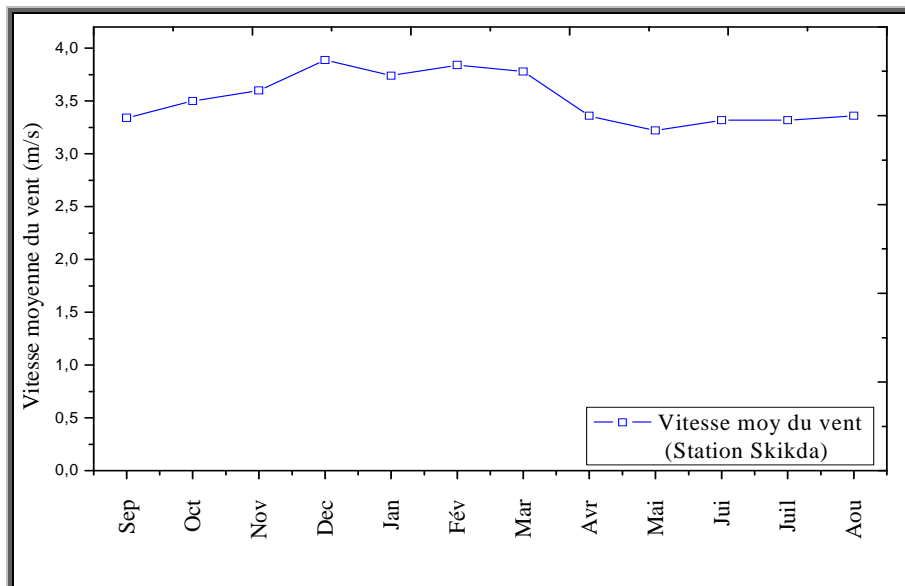


Figure 18: Moyennes mensuelles de la vitesse moyenne des vents (1970–2012)

4. Diagramme pluviométrique ($P = 2T$):

L'indice Ombrothermique de Gaussen (1952) a franchi le temps à cause de sa simplicité et de son efficacité, pour Gaussen un mois est considéré comme sec si le quotient des précipitations mensuelles P exprimé en mm, par la température moyenne T exprimé en $^{\circ}\text{C}$ est inférieur à 2, et la représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme Ombrothermique qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (GUYOT, 1997), et les échelles prises en ordonnées sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitations, donc on a une période sèche chaque fois que la courbe des températures passe au-dessus la courbe des précipitations (GUYOT, 1997) ; cette période peut être facilement calculée (HUFTY, 2001).

a. Station de Skikda :

Le diagramme ombro-thermiques pour la station de Skikda, montre une saison humide s'étend du mois d'Octobre jusqu' à la fin du mois d'Avril, et la saison sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre (*Fig. 19*).

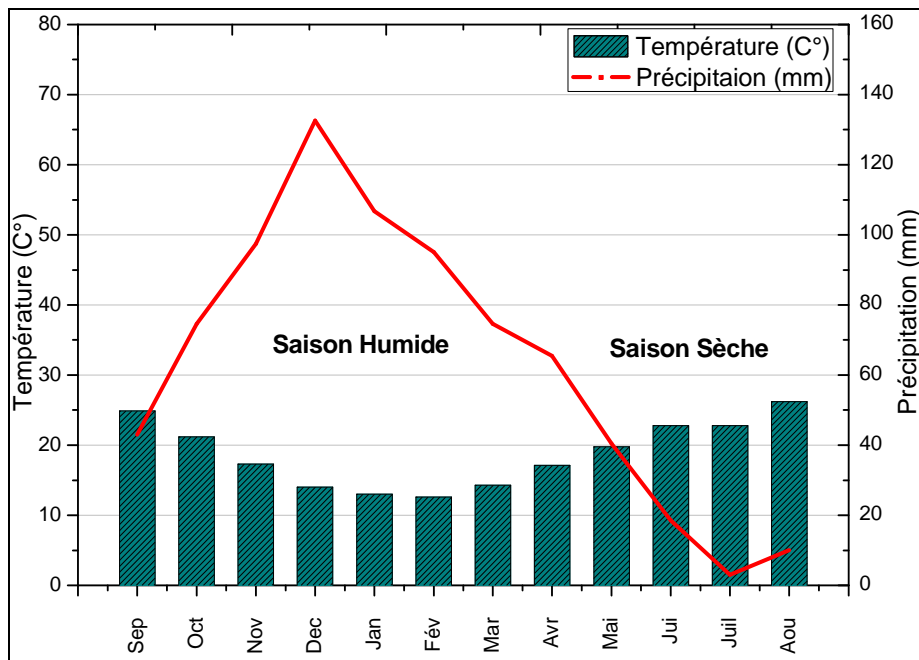


Figure 19: Diagramme Ombro-Thermique à la Station de Skikda (1970/71-2011/12)

b. Station de Zerdazas :

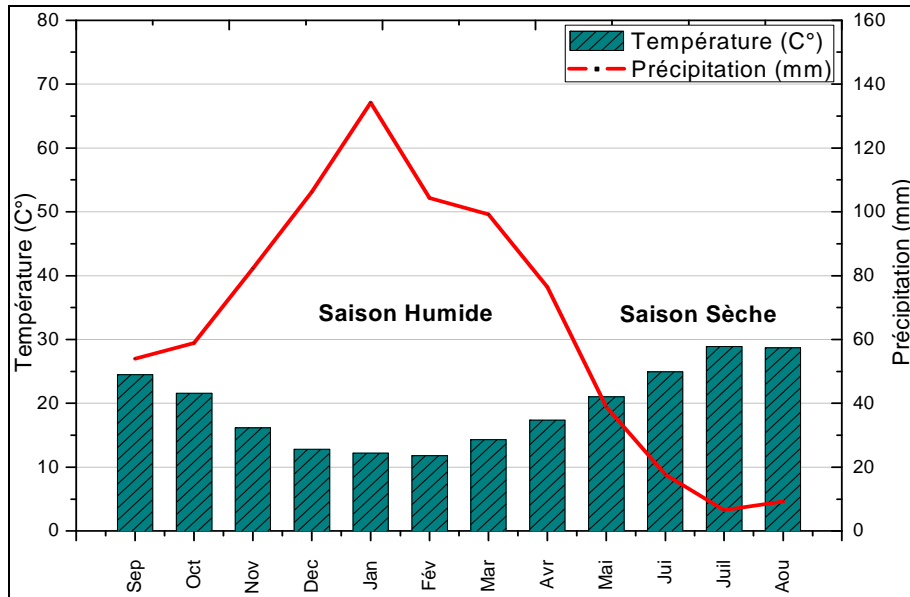


Figure 20: Diagramme Ombro-Thermique à la Station de Zerdazas (1970/71-2011/12)

Le diagramme ombro-thermiques pour la station de Zerdazas (*Fig. 20*) montre une saison humide s'étend du mois de Septembre jusqu' à la fin du mois d'Avril, et la saison sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois d'Août.

5. Notion du bilan d'eau:

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EXC), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologique (Laborde, 1982).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA)

a. Étude de l'évapotranspiration:

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représentée par une quantité d'eau et restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur.

L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesuré directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de **Turc** ou de **Thornthwaite** ...etc.

b. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR):

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est liée à la quantité de pluie tombée dans le bassin et de la réserve maximale en eau du sol.

b.1. Formule de Turc:

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

Avec :

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P: Précipitation annuelle en mm.

T: Température moyenne annuelle en °C.

L: Pouvoir évaporant

5.1. Bilan de la station de Skikda :

Tableau 12: bilan d'eau de la station de Skikda (1970-2012)

Mois	T _p (°C)	i	K	ETP _C (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.9	11.4	1.03	117.8	43	-74.8	-0.6	0.0	0.0	43.0	74.8	0.0
O	21.2	8.9	0.97	80.9	74.6	-6.3	-0.1	0.0	0.0	74.6	6.3	0.0
N	17.3	6.5	0.86	48.1	97.4	49.3	1.0	49.3	49.3	48.1	0.0	0.0
D	14	4.8	0.81	29.9	132.6	102.7	3.4	50.7	100.0	29.9	0.0	52.0
J	13	4.2	0.87	27.8	106.8	79.0	2.8	0.0	100.0	27.8	0.0	79.0
F	12.6	4.1	0.85	25.5	95.1	69.6	2.7	0.0	100.0	25.5	0.0	69.6
M	14.3	4.9	1.03	39.7	74.6	34.9	0.9	0.0	100.0	39.7	0.0	34.9
A	17.1	6.4	1.10	60.2	65.5	5.3	0.1	0.0	100.0	60.2	0.0	5.3
M	19.8	8.0	1.21	88.2	40.5	-47.7	-0.5	-47.7	52.3	88.2	0.0	0.0
J	22.8	9.9	1.22	117.3	18.6	-98.7	-0.8	-52.3	0.0	70.9	46.5	0.0
J	22.8	9.9	1.24	119.3	3	-116.3	-1.0	0.0	0.0	3.0	116.3	0.0
A	26.2	12.3	1.16	146.6	10.1	-136.5	-0.9	0.0	0.0	10.1	136.5	0.0
Σ ou moy	18.8	91.4		901.2	761.8	-139.4				520.9	380.3	240.9

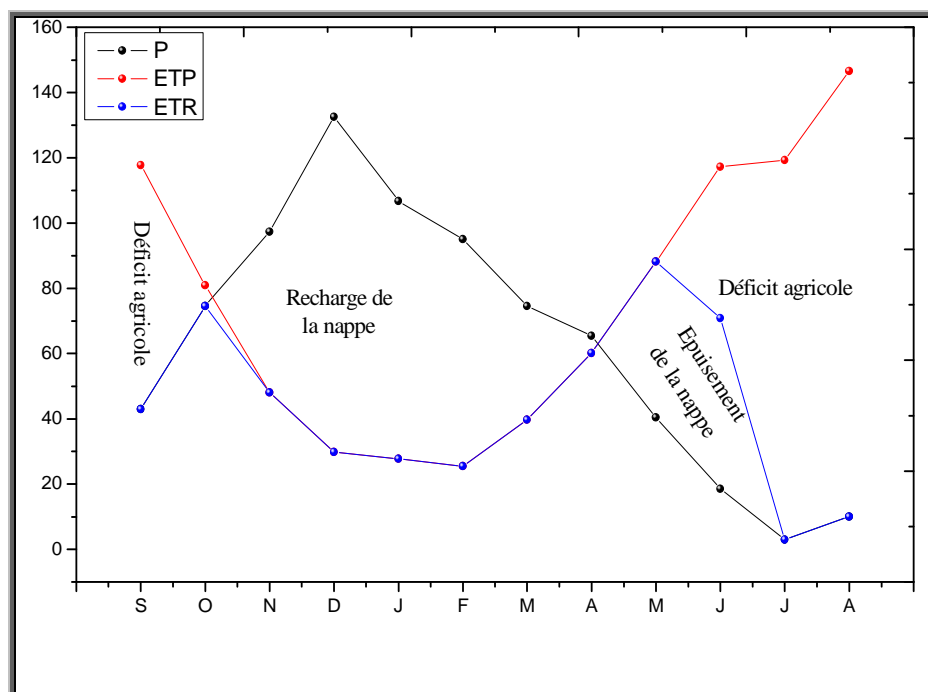


Figure 21: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12)

Le bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Skikda montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois d'Aout pour une valeur de 146,6 mm, ce qui produit un déficit agricole de 136,5 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, la recharge de la nappe début du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, puis on remarque une décharge de la nappe au mois de Mars. Lorsque la recharge dépasse la RFU, on obtient un excès et l'eau va partir vers le ruissellement superficiel (*Tab. 12 et Fig. 21*).

5.2. Bilan de la station de Zardezas :

Tableau 13: bilan d'eau de la station de Zardezas (1970-2012)

Mois	T _p (°C)	i	K	ETP _C (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.5	11.1	1.03	109.7	54	-55.7	-0.5	0.0	0.0	54.0	55.7	0.0
O	21.6	9.2	0.97	79.7	58.9	-20.8	-0.3	0.0	0.0	58.9	20.8	0.0
N	16.2	5.9	0.86	39.0	82.3	43.3	1.1	43.3	43.3	39.0	0.0	0.0
D	12.8	4.2	0.81	22.6	106.2	83.6	3.7	56.7	100.0	22.6	0.0	27.0
J	12.2	3.9	0.87	22.0	134.2	112.2	5.1	0.0	100.0	22.0	0.0	112.2
F	11.8	3.7	0.85	20.0	104.3	84.3	4.2	0.0	100.0	20.0	0.0	84.3
M	14.3	4.9	1.03	36.1	99.2	63.1	1.7	0.0	100.0	36.1	0.0	63.1
A	17.4	6.6	1.10	57.8	76.5	18.7	0.3	0.0	100.0	57.8	0.0	18.7
M	21	8.8	1.21	93.7	38.9	-54.8	-0.6	-54.8	45.2	93.7	0.0	0.0
J	24.9	11.4	1.22	134.4	17.7	-116.7	-0.9	-45.2	0.0	62.9	71.5	0.0
J	28.9	14.2	1.24	185.8	6.6	-179.2	-1.0	0.0	0.0	6.6	179.2	0.0
A	28.7	14.1	1.16	171.3	9.3	-162.0	-0.9	0.0	0.0	9.3	162.0	0.0
Σ ou moy	19.5	97.9		972.0	788.1	-183.9				482.8	489.2	305.3

Le bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Zardezas montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de Juillet pour une valeur de 185,8 mm, ce qui produit un déficit agricole de 179,2 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture plus que celle de la partie aval (*Tab. 13 et Fig. 22*).

Cependant, la recharge de la nappe début du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, puis on remarque une décharge de la nappe au mois de Mars. Lorsque la recharge dépasse la RFU, on obtient un excès et l'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

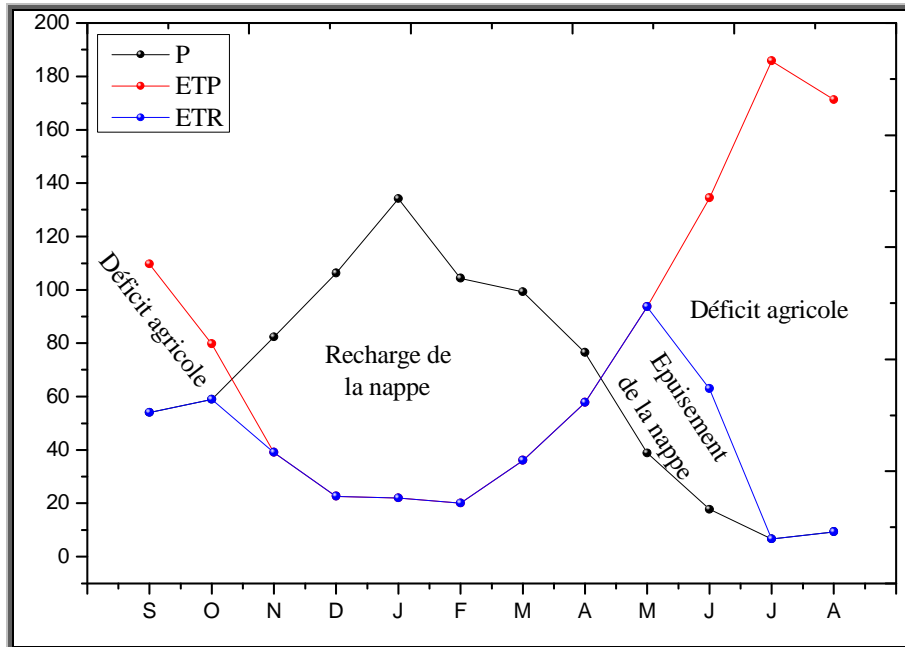


Figure 22: Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12)

6. Calcul du ruissellement et d'infiltration :

L'infiltration, correspond au phénomène de passage de l'eau à travers la surface du sol, de sa pénétration dans le sol et de son mouvement descendant dans la zone non saturée du sous-sol.

$$R = \left[\frac{P^3}{3[ETP]^2} \right]$$

Avec : **R**: Ruissellement en (mm).

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP: Evapotranspiration potentielle en (mm).

NB: Cette formule n'est valable que pour des valeurs de précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas les 600 mm.

Si la précipitation P est supérieure à 600mm, on utilise la formule suivante: **R = P³/3**

Pour la station de Skikda :

$P = 761.7 \text{ mm}$, $ETP = 954.39 \text{ mm} \Rightarrow R = 161,73 \text{ mm}$ soit 21,23 % des précipitations.

Pour la station de Zardezas :

$P = 788.1 \text{ mm}$, $ETP = 972.0 \text{ mm} \Rightarrow R = 161,73 \text{ mm}$ soit 21,23 % des précipitations.

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain et sortant après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous – sol.

La formule de bilan globale: $P = R + I + ETR$

On aura: $I = P - R - ETR$

Avec : **P**: précipitation moyenne mensuelle en mm

R: Ruissellement en mm

I: l'infiltration en mm

ETR: évapotranspiration réelle calculée selon la formule de Thornthwaite en mm

7. Conclusion :

Oued Saf-saf qui fait partie de la wilaya de Skikda dans sa grande partie, appartient à la zone climatique du littoral qui est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 18 C° et une précipitation moyenne de 900 mm.

La répartition spatiale de ces dernières, montre une diminution des précipitations de l'aval vers le centre du bassin, puis une augmentation vers l'amont montagneux. La température moyenne annuelle modérée dans le bassin du Saf-Saf est de l'ordre de 19°C. Donc les températures et les précipitations décrivent deux saisons, une saison sèche et une autre humide.

La moyenne annuelle des précipitations sur le bassin du Saf-Saf est de l'ordre de 696 mm, tandis que l'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 477 mm /an, soit 70,25 % de la totalité des précipitations. Le déficit agricole est estimé à 281 mm / an, soit 41,49 % de la lame d'eau précipité, répartie du mois de juin jusqu'au octobre.

La recharge de la nappe début du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, puis on remarque une décharge de la nappe au mois de Mars. Lorsque la recharge dépasse la RFU, on obtient un excès et l'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

8. Hydrogéologie :

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface. L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa géométrie, sa limite et son alimentation, et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain par l'étude de la piézométrie.

Les données de sondage ont été recherchées auprès de la D.H.W de Skikda et l'ANRH de Constantine. Les informations concernent 26 Forages creusés dans la région du bassin d'oued Saf-Saf (D'après le bilan annuel des forages de l'année 2011 et 2012 fourni par la D.H.W. Skikda). La répartition de ces forages, montrent 11 forages à la plaine de Skikda, 8 forages à Ramdan Djamel, 4 forages à Beni Bechir et 4 forages à Salah Bouchaour.

8.1. Caractéristiques hydrogéologiques :

8.1.1. Horizon aquifères :

Trois systèmes aquifères, se distinguent dans la zone d'étude selon l'ANRH de Constantine; l'aquifère poreux d'âge Quaternaire et d'âge Tertiaire, aquifère karstique et un autre à système binaire.

a. Aquifère poreux :

Il est caractérisé par des roches meubles non consolidées (graviers, sables, grés, poudingues, etc). Ces formations laissent passer de l'eau. Dans notre cas, il existe deux aquifères poreux, celui du Quaternaire et du Tertiaire, chacun d'eux peut former un aquifère important en prenant les roches métamorphiques ou les argiles noires du Numidien comme substratum. L'épaisseur des alluvions varie d'un sous bassin à un autre, dans le sous bassin d'El Harrouch, l'épaisseur des alluvions est de 5 à 10 m (étude géophysique dans la zone); la même épaisseur est observée à Salah Bouchaour. A Ramdane Djamel, elle est de 15 à 30 m, par contre dans le sous bassin de Zeramna (El Hadaeïk), l'épaisseur varie de 5 à 15 m. dans la plaine de Skikda (Hamadi Krouma); les niveaux de galets sont très peu épais.

b. Aquifère Karstique :

Il est constitué par des roches compactes, telles que les roches carbonatées (calcaires, calcaires dolomitiques, dolomies...etc), cet aquifère peut être fissuré et fracturé à cause des phases tectoniques affectant la région. Les aquifères karstique dans la zone d'étude se trouvent à Kef M'Souna, Djebel Tasselment et Djebel El Ghédir. L'aquifère karstique peut être libre en

l'absence des formations Tertiaires. Si non, il est captif; Kef M'Souna est un aquifère karstique captif en présence des argiles noires formant son toit.

c. Aquifère à système binaire :

Il est constitué par la superposition de roches poreuses (formations perméables: grés) sur des roches compactes (calcaire: formations karstiques), avec intercommunication des deux réservoirs. Cette dernière constitue ce qu'on appelle le système binaire. Dans notre cas, le système binaire est composé d'un aquifère poreux et d'un autre karstique, le premier est constitué de grés, de poudingues et des conglomérats, d'une puissance de 200 m. Le deuxième, quant à lui est constitué de formations carbonatées (calcaire à nummulites et des calcaires liasiques), d'une épaisseur d'environ 200 m.

8.1.2. Profils hydrogéologiques :

On a deux profils hydrogéologiques publiés par (Hedbani, 2006), qui sont basés sur les données de l'ANRH et qui sont modifiés selon les données piézométriques de l'année 2012 (Boubelli. S, 2012). Les profils hydrogéologiques ont été réalisés à partir des colonnes stratigraphiques et lithologiques des forages.

Le premier Profil effectué dans la basse plaine de Skikda avec une orientation NW-SE (**Fig. 23 et 24**), révèle l'existence de trois aquifères superposés, le premier superficiel (Nappe libre), formé principalement de sables, d'une épaisseur qui varie de 11 à 20 m du Nord vers le Sud. Le substratum est constitué d'une manière générale de marnes à graviers, d'une épaisseur variable de 35 à 45 m. Le sens d'écoulement est du Nord vers le Sud, favorisé par une légère inclinaison du substratum. Au forage (SD 7) on remarque la présence d'une lentille de graviers au sein du substratum d'environ 8 m d'épaisseur et au forage (SD 5) une lentille argilo-sableuse d'environ 8 m située au sein de la formation sableuse (ANRH, 2012).

Selon l'ANRH, le second aquifère est captif à semi captif (**Fig. 23 et 24**), formé essentiellement de graviers, d'une épaisseur qui varie de 20 à 30 m du Sud au Nord. Son substratum (qui forme le toit du troisième aquifère) est moins épais que le toit (de 5 à 10 m), formé de marnes grises. Son extension est visible sur toute la coupe, l'inclinaison suit toujours l'allure du substratum avec une pente qui diminue du Nord-Ouest au Sud-Est.

Le troisième aquifère apparaît nettement dans la partie NW de la plaine (les deux forages SD6 et SD5), l'épaisseur approximative apparente sur la coupe est de 15 m. Du point de vue épaisseur, l'aquifère le plus important est le second (nappe des graviers), vient ensuite l'aquifère des sables et enfin le troisième d'une épaisseur de 5 à 15 m environ. Concernant les

paramètres hydrodynamiques, les données fournis par l'ANRH, décrivent une transmissivité varie de 3.10^{-4} et 1.10^{-2} m^2/s avec une perméabilité de l'ordre de 10^{-5} m/s .

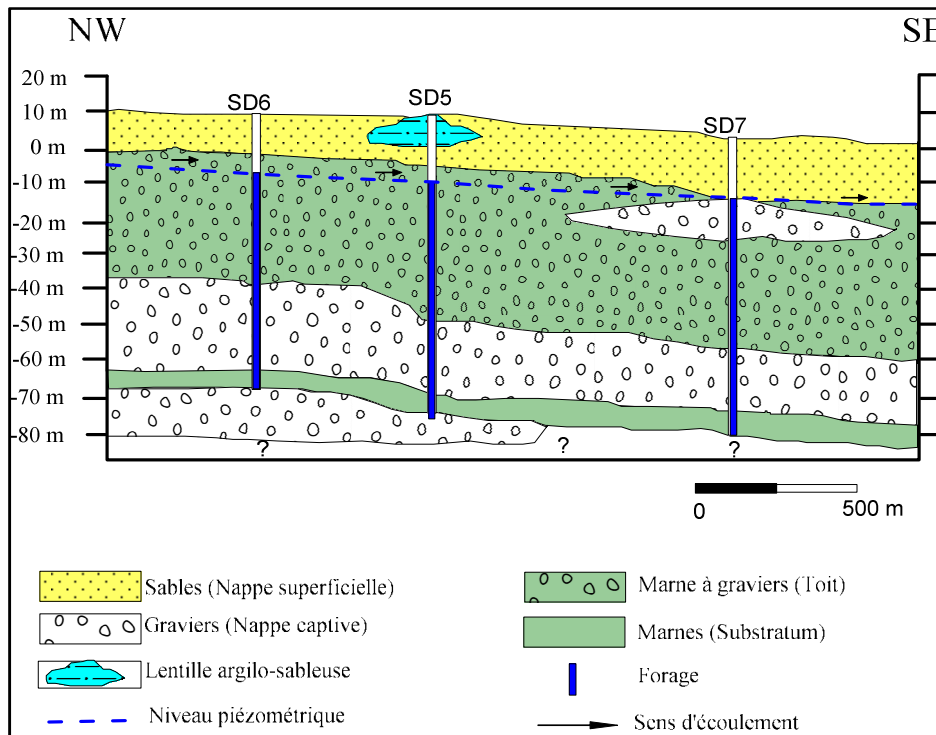


Figure 23: Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf (Hedbani, 2006 modifiée par Boubelli, 2012)

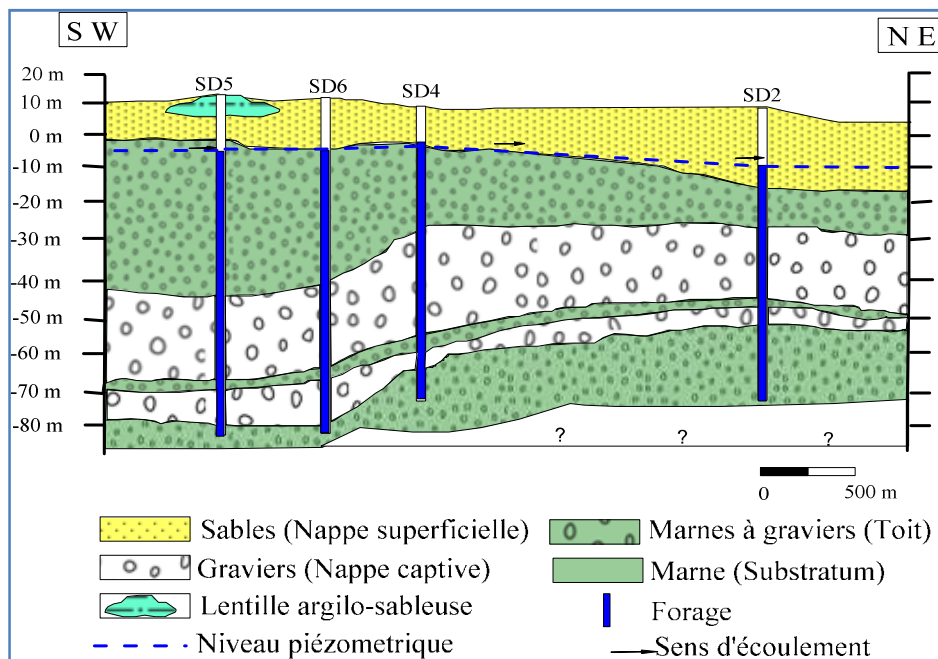


Figure 24: Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf (Hedbani, 2006 modifié par Boubelli, 2012)

8.1.3. Stratégie de prélèvements :

Les données recueillies de l'ANRH de Constantine pour l'année 2011 et 2012, nous permet de concrétiser l'ensemble des points d'eau sur la carte d'inventaire.

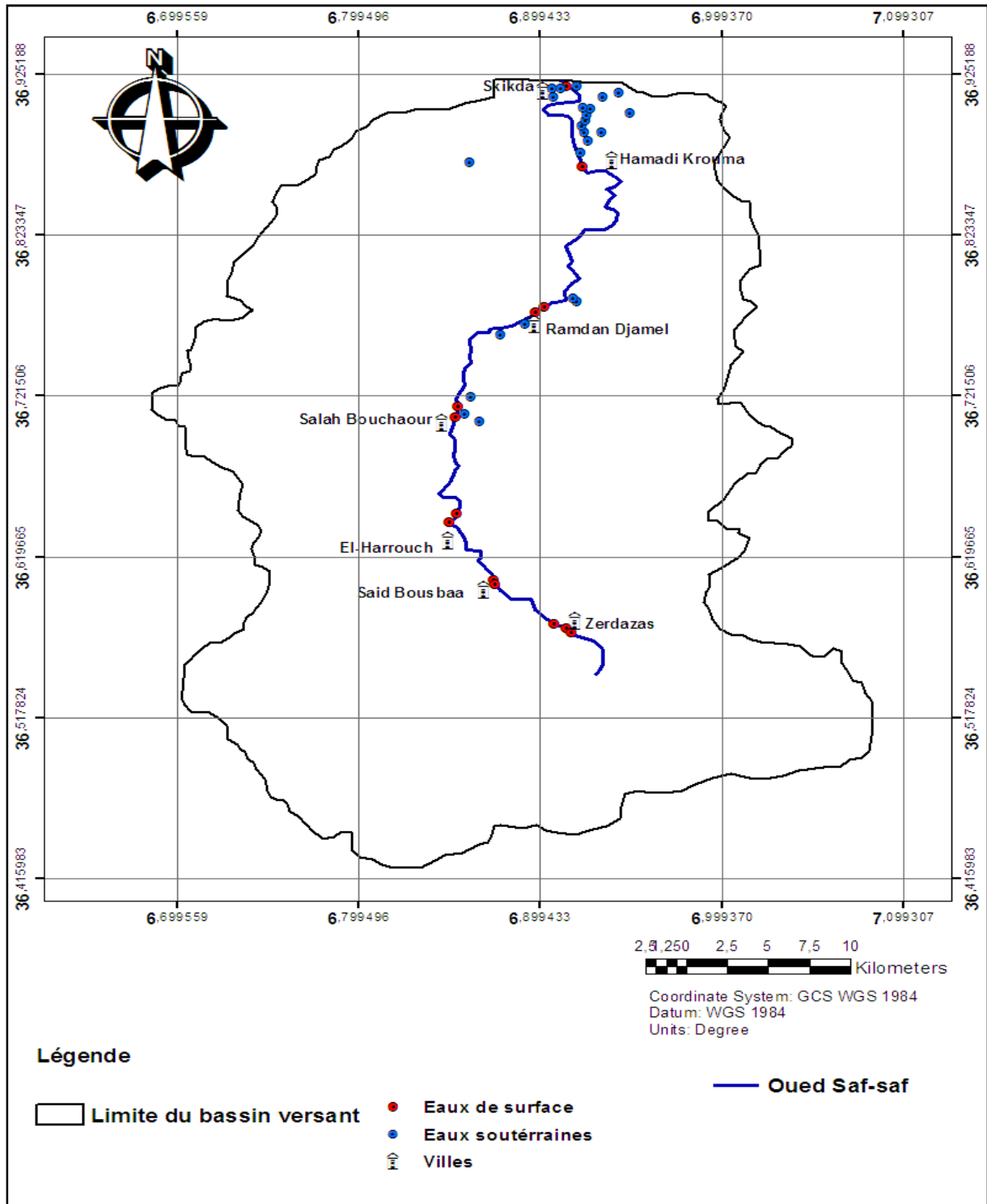


Figure 25: Stratégie de prélèvement des points d'eau de la plaine alluviale du Saf-Saf

(Mai 2012)

A l'aide des mesures piézométriques réalisées au mois de Mai 2012, on a dressé la carte piézométrique (**Fig. 26**) pour bien discerner l'écoulement des eaux souterraines de la basse plaine du Saf-Saf.

Au Nord de la carte (La plaine de Skikda), la direction de l'écoulement est Sud-nord (vers la Mer), Sud-Est et Nord-Est. Les courbes isopièzes sont espacées, ceci traduit un gradient hydraulique faible à moyen, d'où une perméabilité très élevée. Tandis qu'au centre, les courbes isopièzes sont serrées, surtout au niveau de Raman Djamel, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible. La direction de l'écoulement est Sud-Est, Est-sud et Est-ouest.

Dans la partie sud, la direction de l'écoulement est de direction Est-Sud et Sud-ouest, avec des courbes isopièzes aussi serrées, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible.

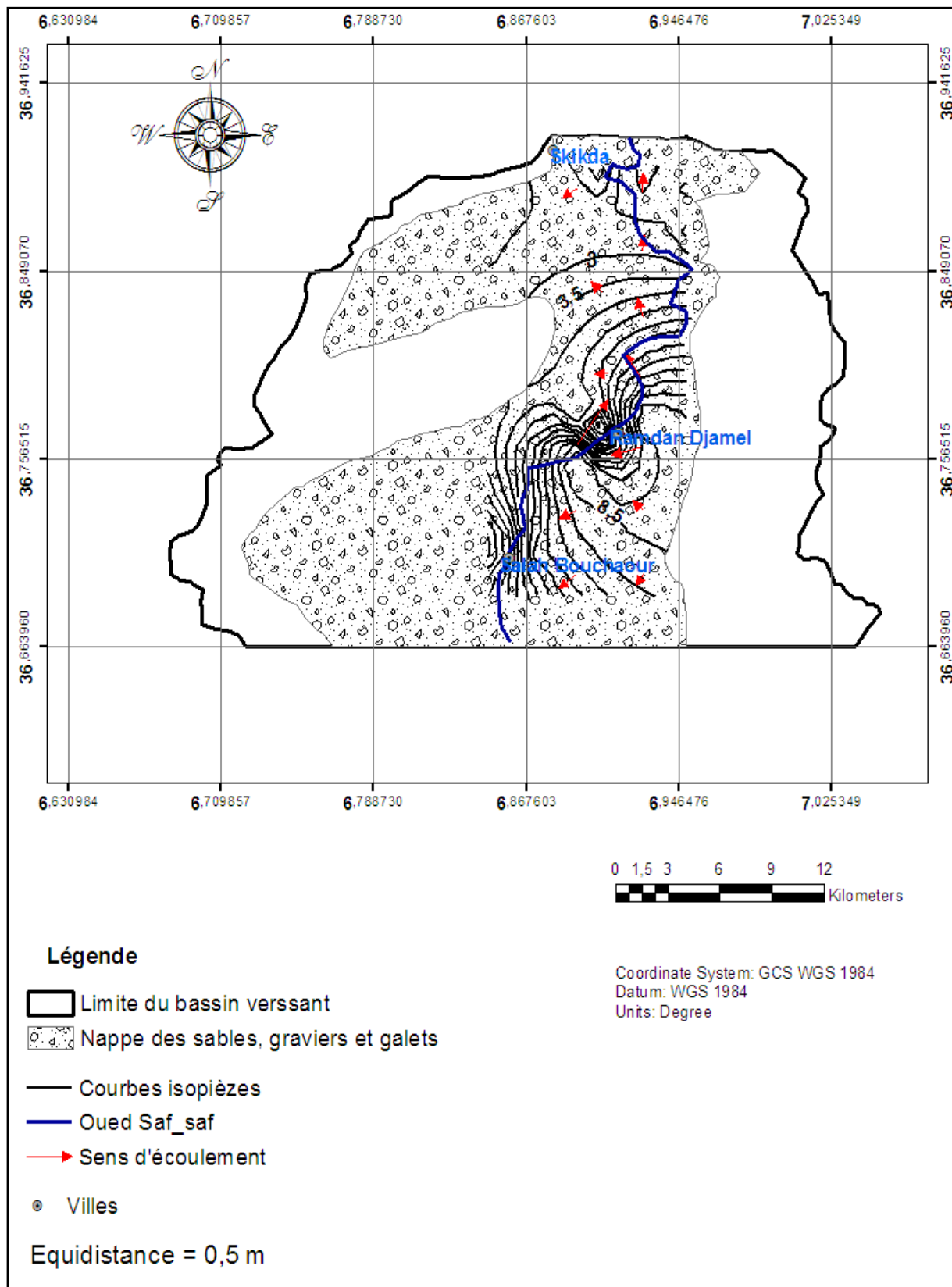


Figure 26: Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine du Saf-Saf

(Mai 2012)

9. Conclusion :

L'étude hydrogéologique révèle l'existence de trois aquifères superposés, le premier superficiel (Nappe libre), formé principalement de sables, d'une épaisseur qui varie de 11 à 20 m du Nord vers le Sud. Le second aquifère est captif à semi captif, formé essentiellement de graviers, d'une épaisseur qui varie de 20 à 30 m du Sud au Nord. Le troisième aquifère apparaît nettement dans la partie NW de la plaine (les deux forages SD6 et SD5), l'épaisseur approximative apparente sur la coupe est de 15 m.

A La plaine de Skikda, la direction de l'écoulement est Sud-nord (vers la Mer), Sud-Est et Nord-Est. Les courbes isopièzes sont espacées, ceci traduit un gradient hydraulique faible à moyen, d'où une perméabilité très élevée. Tandis qu'au centre, les courbes isopièzes sont serrées, surtout au niveau de Raman Djamel, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible. La direction de l'écoulement est Sud-Est, Est-sud et Est-ouest.

Dans la partie sud, la direction de l'écoulement est de direction Est-Sud et Sud-ouest, avec des courbes izopièzes aussi serrées, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible.



**POLLUTION MINERALE,
CHIMIQUE ET ORGANIQUE**

1. Introduction :

La pollution est la conséquence de l'introduction de matières, en quantité suffisamment importante pour perturber son fonctionnement habituel à court, moyen, ou long terme. La plus part du temps elle est due à l'activité de l'homme mais pas toujours (René. M, 2005). Pour cerner correctement la notion de pollution par un effluent, il faut intégrer plusieurs facteurs qui caractérisent l'eau usée et le site où elle est rejetée :

- La nature des produits incriminés,
- Leurs concentrations (leurs quantités) dans l'eau usée,
- La durée pendant laquelle elle est rejetée,
- La sensibilité du milieu récepteur, c'est à dire, de l'écosystème qui recevra ces produits.

A quantité égale tous les produits n'ont pas le même impact polluant. Il peut être plus ou moins important en fonction de leur nature. Ceux qui ont un impact important à faible concentration sont dits «toxiques » parce que, présents en faible quantité, ils vont modifier de manière importante et dans un sens négatif, l'équilibre de l'écosystème. Cela peut être le cas de métaux lourds, de cyanures, d'arsenic ou des molécules qui sont utilisées pour les traitements phytosanitaires. L'introduction d'un polluant dans un écosystème peut modifier l'équilibre d'une communauté microbienne et permettre le développement de bactéries pathogènes qui peuvent être à l'origine de maladies chez l'homme, les animaux ou les plantes (René M, 2005).

La composition chimique ainsi acquise, au sol, est d'origine multiple : naturelle, domestique, urbaine, industrielle et agricole. Tout en distinguant les polluants miscibles des non-miscibles, on les classe en polluants physiques, chimiques et biologiques (Djidel. M, 2008).

-Polluants physiques : température, gaz, suspension, radioactivité
-Polluants chimiques : substances sous forme minérale ou organique, ils peuvent être: dissous (sels, hydrocarbures) mélangés (alcools) émulsés (graisses sur détergents) en phase séparée (produits pétroliers).

-Polluants biologiques : germes, virus ou amibes.

2. Echantillonnages et points de prélèvements :

L'échantillonnage a été effectué sur 13 points situés le long de l'oued Saf-Saf après les points de rejets domestiques, urbains et industriels durant deux années successive (Mai 2011 et Mai 2012) et 24 puits et forages pour les eaux souterraines (14 forages en 2011

et 10 puits en 2012). Ces derniers ont été analysés au laboratoire de l'institut de chimie de l'université de Constantine et Sonatrach.

Parmi les paramètres physico-chimiques étudiés on a :

- Les paramètres physiques (Températures, pH, conductivité).
- Les paramètres chimiques: éléments majeurs
 - Les cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .
 - Les anions: HCO_3^- , SO_4^{--} , Cl^- .
- Les nutriments: Oxygène dissous, Phosphates, Nitrates, Nitrites et Ammonium.
- Les indicateurs de pollution : DBO5, DCO, Bactérie totaux, coliformes fécaux et streptocoques Fécaux
- Métaux : Pb, Fe et Cu.

2.2. Inventaire des points de prélèvement :

Les points d'eau recensés (piézomètres, eaux de surface) servent à l'irrigation, à l'alimentation en eau potable et aux utilisations industrielles. La plupart de ces points d'eau sont localisés dans les zones suivantes :

- Pour les eaux de surface : on a effectué 13 prélèvements au niveau des villages situés à l'embouchure de l'oued afin d'étudier l'impact des rejets domestiques, urbains et industrielle sur la qualité des eaux. Les prélèvements sont répartis comme la suite :
 - Village de Zardezas : 3 échantillons, une au niveau du Barrage et deux après le point de rejet du village.
 - Village de Said Bousbaa : 2 échantillons.
 - Village d'El-Harrouch : 2 échantillons.
 - Village de Salah Bouchaour : 2 échantillons.
 - Village de Ramdan Djamel : 2 échantillons.
 - Village de Hamadi Krouma : 2 échantillons.
 - Village de Skikda : 2 échantillons.
- **Pour les eaux souterraines :**
 - Village de Salah Bouchaour : 3 échantillons.
 - Village de Ramda Djamel : 4 échantillons.
 - Village de Skikda : 17 échantillons.

Et 3 échantillons au niveau des eaux de Mer (fournis par (O.N.E.D.D) de Skikda).

3. Méthodes de calculs :

On a utilisé plusieurs logiciels pour interpréter les analyses acquises.

3.2. Aquakit : Deux petits programmes établis à partir d'un tableau Excel, Aquexmono et Aquexmulti. A l'aide de ces deux programmes on peut encoder nos analyses et de les présenter en graphiques pour faciliter l'interprétation. Elles peuvent être interprétées ainsi :

- **L'indicateur géologique :** Faciès chimiques, à l'aide des éléments majeurs.
- **Les indicateurs de pollution organiques :**

Les indicateurs de pollution regroupent les phosphates et des ions dérivés de l'azote qui proviennent des pollutions organiques. On utilise souvent pour mesurer cet indice (IPO), les nutriments (NH_4^+ , NO_2^- ; PO_4) et le DBO5. Finalement on obtient 5 niveaux de pollution qui

Tableau 14:La classification de la pollution organique.

	NH_4^+ (mg N/l)	NO_2^- ($\mu\text{g N/l}$)	PO_4^{-3} ($\mu\text{g P/l}$)	DBO5 (mg O_2 /l)	IPO	Pollution Organique
Classe 5	< 0,1	< 6	< 16	< 2	5 – 4,6	Nulle
Classe 4	0,1 – 0,9	6 - 10	16 – 75	2 – 5	4,5 – 4,0	Faible
Classe 3	1,0 – 2,4	11 – 50	76 – 250	5,1 – 10	3,9 – 3,0	Modérée
Classe 2	2,5 – 6,0	51 – 150	251 - 900	10,1 – 15	2,9 – 2,0	Forte
Classe 1	> 6	> 150	> 900	> 15	1,9 – 1,0	Très forte

- **Les indicateurs d'eutrophisation :**

Ces indicateurs regroupent les nitrates et surtout les phosphates : ils représentent le stade final de la dégradation des polluants contenant de l'azote et du phosphore dans la rivière. Ils n'ont pas un caractère toxique direct pour les êtres vivants de la rivière, mais ils peuvent provoquer un déséquilibre de l'écosystème en favorisant un développement anarchique des plantes aquatiques.

3.3. PHREEQC :

PhreeqC est un logiciel de calcul géochimique de systèmes triphasique (liquide, solide, gaz) développé par l'USGS. C'est un logiciel libre. Les calculs chimiques peuvent être couplés

avec des équations de transfert de matière par advection et/ou diffusion. La modélisation du transport s'effectue sous une dimension. Par ailleurs, le logiciel permet également de prendre en compte la cinétique des réactions. Les systèmes d'études sont fermés ou constitués d'un ensemble de systèmes fermés.

A partir des différentes instructions, le logiciel permet de modéliser un grand nombre de réactions possibles:

- Les réactions d'oxydo-réduction en phase aqueuse,
- La précipitation ou dissolution de minéraux en solution,
- La modélisation des interactions entre plusieurs phases et notamment les réactions de sorption ou complexations sur les surfaces solides.
- La simulation temporelle des réactions en définissant les constantes cinétiques de celles-ci.

3.4. EQUIL :

Le logiciel EQUILWIN est un logiciel qui permet de calculer les équilibres calco-carboniques dans les eaux. Il permet de caractériser une eau ou un mélange de plusieurs eaux, d'établir si une eau est entartrante, agressive ou à l'équilibre et de déterminer un traitement adéquat pour ramener cette eau à l'équilibre, ou de tester divers traitements.

Les traitements proposés sont ceux que l'on trouve habituellement sur les usines de production d'eau potable. Ce logiciel a été développé sous l'égide de Pierre RAVARINI, ingénieur hydrologue, spécialiste du traitement de l'eau et en particulier des équilibres carboniques.

EQuil, Permet de calculer :

- Le pHs : pH (théorique) de saturation
- Le CO₂ libre
- L'indice de saturation : **IS = pH-pHs**
 - ✓ IS > 0.01, l'eau est entartrante,
 - ✓ IS < -0.01, l'eau est agressive vis à vis du calcaire,
 - ✓ si -0.01 < IS < 0.01, l'eau est considérée à l'équilibre calco-carbonique.
- L'indice de Ryznar qui indique l'état de l'eau : entartrante, équilibrée ou agressive.

$$\mathbf{IR = 2\ pHs - pH}$$

- CaCO₃ dissolvable
- CO₂ agressif

- Alc/CaO : rapport Alcalinité / Calcium (exprimé en équivalents de CaO).

4. Pollution Chimique et Minérale :

Les matières minérales rejetées d'une manière durable avec les eaux de lavage des matériaux de carrière par exemple, vont contribuer à la pollution minérale de ce dernier, ils annihilent la vie du cours d'eau sur une certaine distance en se déposant au fond du lit, sur les végétaux ainsi que sur les branchies des poissons et en colmatant les frayères.

Une pollution minérale peut avoir un effet aigu et immédiat : il s'agit par exemple d'un déversement de toxique minéral par une industrie chimique, métallurgique, sidérurgique... (Leroy J.B, 1999). Il faut aussi considérer les pollutions liées aux nitrates et aux rejets agricoles (pesticides, insecticides...). Nous avons pris en considération les paramètres suivants :

- La dureté de l'eau.
- Le pH.
- La teneur en O₂ et CO₂ (Gaz dissous atmosphérique).
- La teneur en substance minérales dissoutes : anions et cations

4.2. Résultats des analyses chimiques :

4.2.4. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :

a. Potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH des eaux naturelles, est compris entre pH 6.5 et pH 8.5 (Sigg et al, 2006). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).

a.1. Eaux de Surfaces (2011-2012) :

Dans les eaux de surface d'oued Saf-Saf, les valeurs du pH, sont nettement plus élevées dans les eaux de surface de Mai 2012. Les eaux de surface de Mai 2011 (*Fig.27*) montrent un pH varie de 7 à 8,2 ce qui nous donne une solution basique pour tous les échantillons analysés à l'exception de Zardezas 1 où le ph est égal à 7, avec une solution neutre. Tandis que les eaux de surface de Mai 2012 (*Fig.27*), sont toutes basiques.

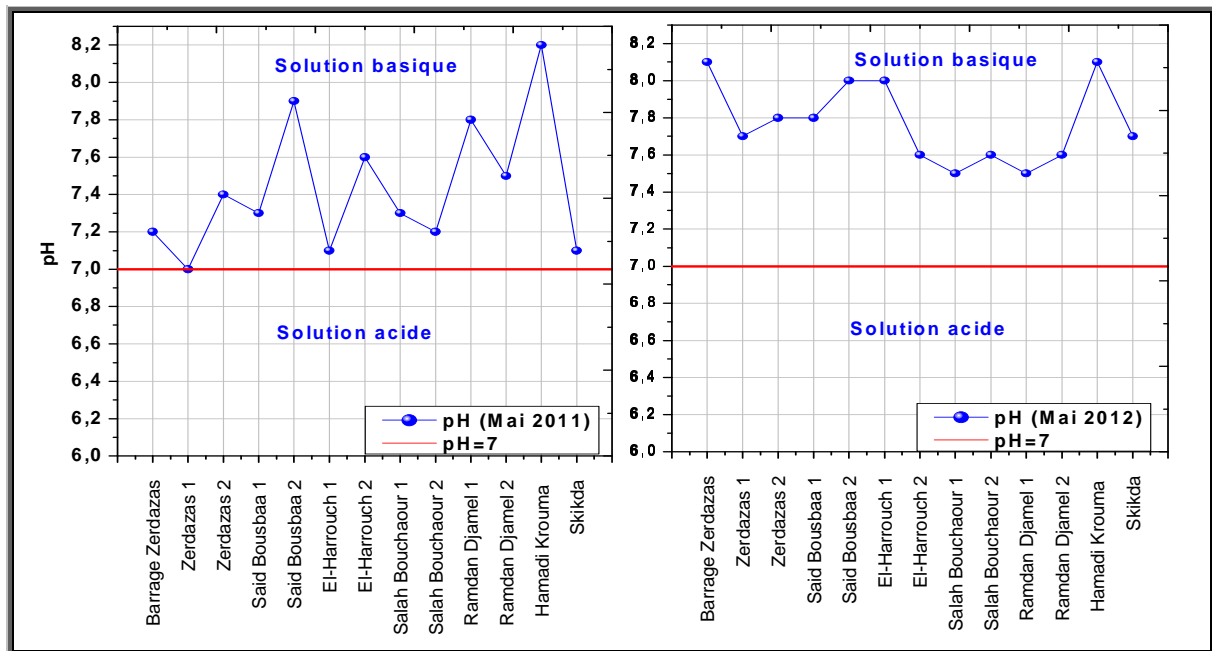


Figure 27: Variation du pH des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

a.2. Les eaux Souterraines:

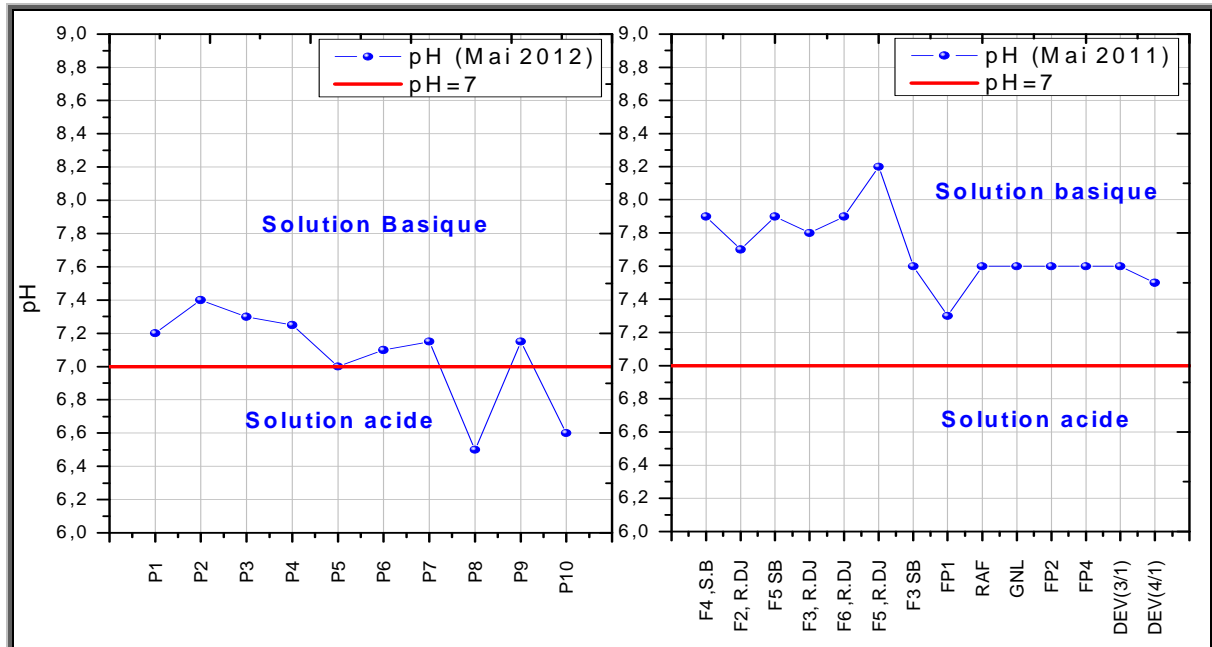


Figure 28: Variation du pH des eaux souterraines du Bassin de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

Les valeurs du pH mesurées des eaux souterraines du bassin versant d’oued Saf-Saf varient entre (6.5 et 8.2). Une solution nettement basique est observée pour l’ensemble des eaux de forages de l’année 2011 (Fig. 28). Les eaux souterraines analysées à l’année 2012 (**Fig. 28**), montrent les pH les plus faibles 6.5 (P8) qui nous donne une solution acide, c’est aussi le cas du puits (P10). Les restes des échantillons analysés sont totalement basiques à l’exception de l’échantillon du puits (P5) qui se trouve en équilibre (pH neutre).

b. Température :

La température de l’eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l’oxygène nécessaire à l’équilibre de la vie aquatique (Philippo et al, 1981). La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques ; une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs (Beaudry et Henry, 1984). L’activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l’eau s’accroît.

b.1. Les eaux de surfaces :

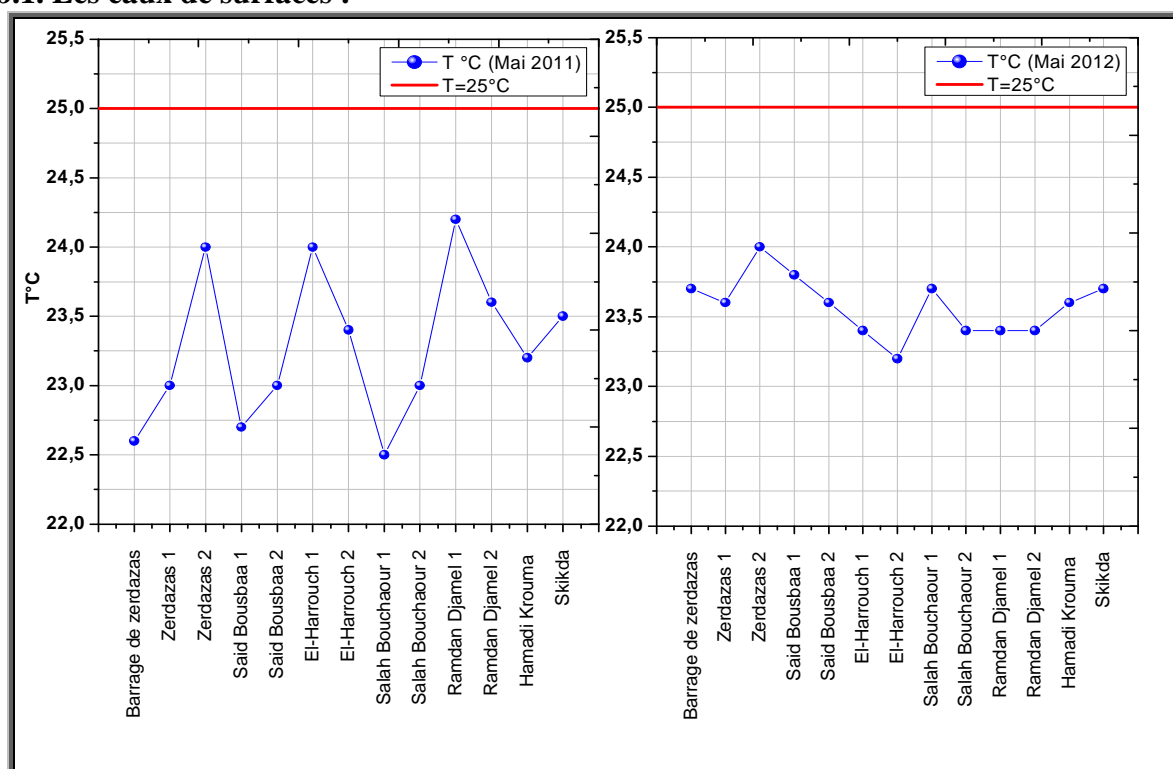


Figure 29: Variation de la température des eaux de surface de l’Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

Concernant les eaux de surfaces de Mai 2011, les valeurs de températures oscillent entre 24,2°C comme une valeur maximale, enregistrée au niveau de Ramdan Djamel 1 et une valeur minimale de l'ordre de 22,5°C à la station de Salah Bouchaour 1 (**Fig. 29**). Ces fluctuations sont généralement suivent celles du climat de la région. Dans la période de Mai 2012 (**Fig. 29**) les températures enregistrées oscillent entre 23,2°C (El-Harrouch2) et 24°C (Salah Bouchaour1) pour l'ensemble des points mesurés, mais elle reste toujours dans les normes de potabilité.

b.2. Les eaux souterraines :

La température a été mesurée à l'ensemble de points de prélèvement, dans les deux périodes d'observation. La température est très élevée et dépasse les normes de potabilité dans certains points (FP1, GNL et DEV (1/3)) pour les eaux souterraine 2011(**Fig. 30**) et (P9) aux eaux souterraines 2012 (**Fig. 30**). Ces variations changent en fonction, des saisons, de la température de l'air, de la profondeur de ces eaux (profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol), et de la nature des terrains géologiques.

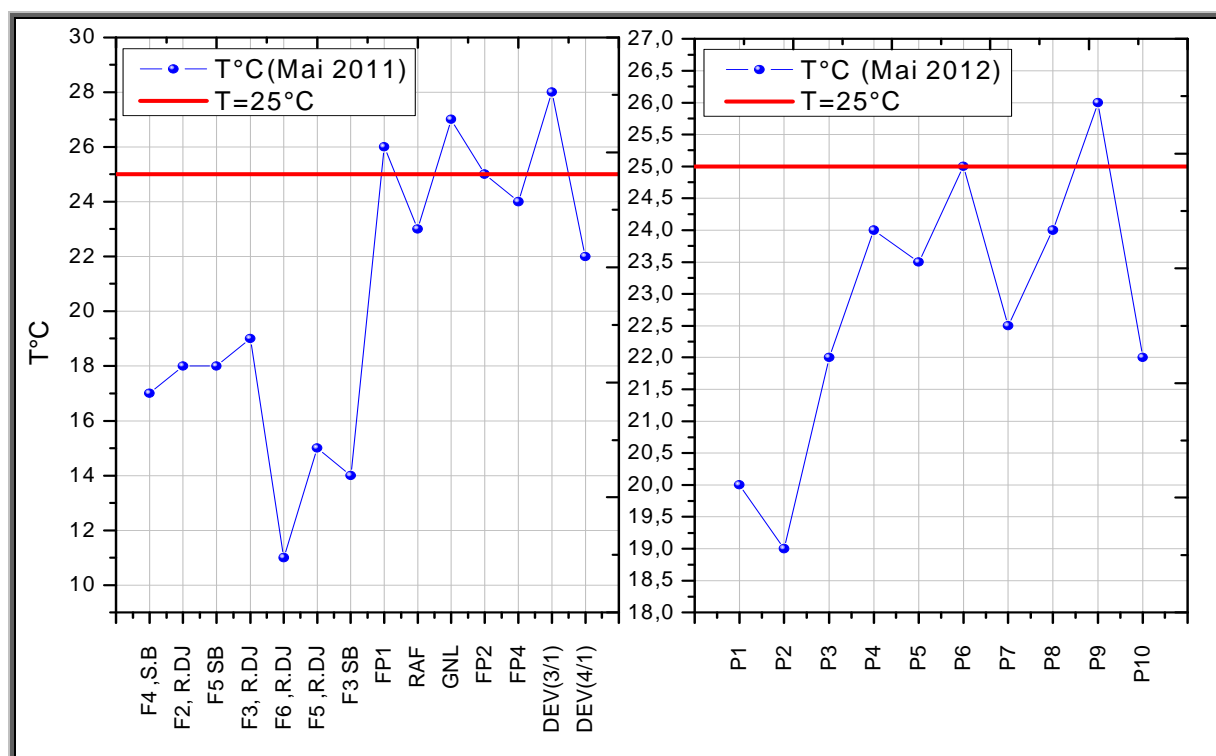


Figure 30: Variation de la température des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

c. La conductivité :

La conductivité électrique est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle est comprise entre 10 et 1000 μScm^{-1} pour la plupart des eaux naturelles (Chapman, 1996).

c.1. Les eaux de surfaces :

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation des eaux, grâce à la présence des ions qui ont dû essentiellement aux constituants dissous, majeurs et mineurs sous forme ionique. La teneur en sels dissous, exprimée à travers la conductivité, est élevée, est montrée des eaux chargées est conductrices (**Fig. 31**) avec des valeurs comprises entre 668 $\mu\text{S/cm}$ (Barrage de Zerdazas) et 1280 $\mu\text{S/cm}$ (Ramdan Djamel 1), mais elles restent toujours potables est ne dépassent pas les 1250 $\mu\text{S/cm}$ admissibles par l'OMS sauf au niveau de la région de Ramdan Djamel. On note une augmentation de la conductivité des eaux, qui allant de l'amont vers l'aval pour les deux périodes d'observation, à l'exception des deux échantillons (Hamadi Krouma et Skikda) qui peuvent être diminués par les eaux provenant des autres affluents.

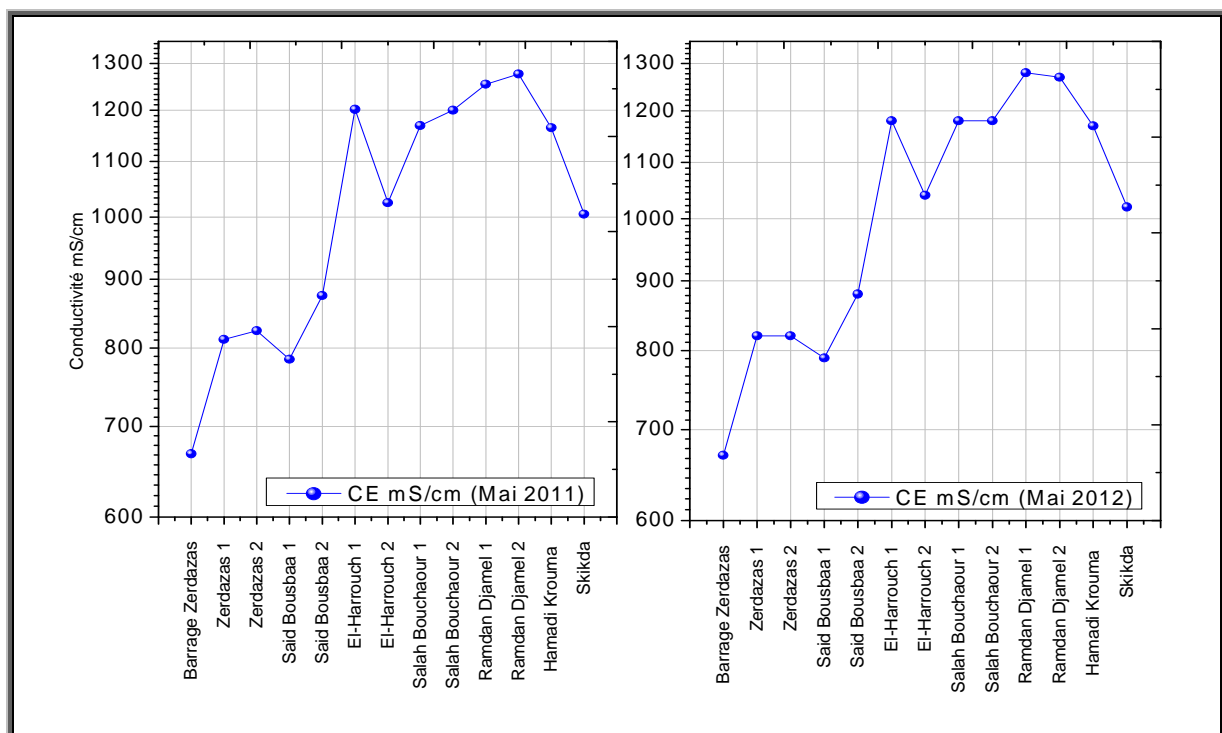


Figure 31: Variation de la CE des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

c.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines (**Fig. 32**) montrent des conductivités élevées et qui dépassent les normes pour certains puits (P1, P4, P7 et P9) pour les eaux souterraines de l'année 2012 et la majorité des forages de l'année 2011, sauf (F5.SB, F3.SB, FP1, et FP2).

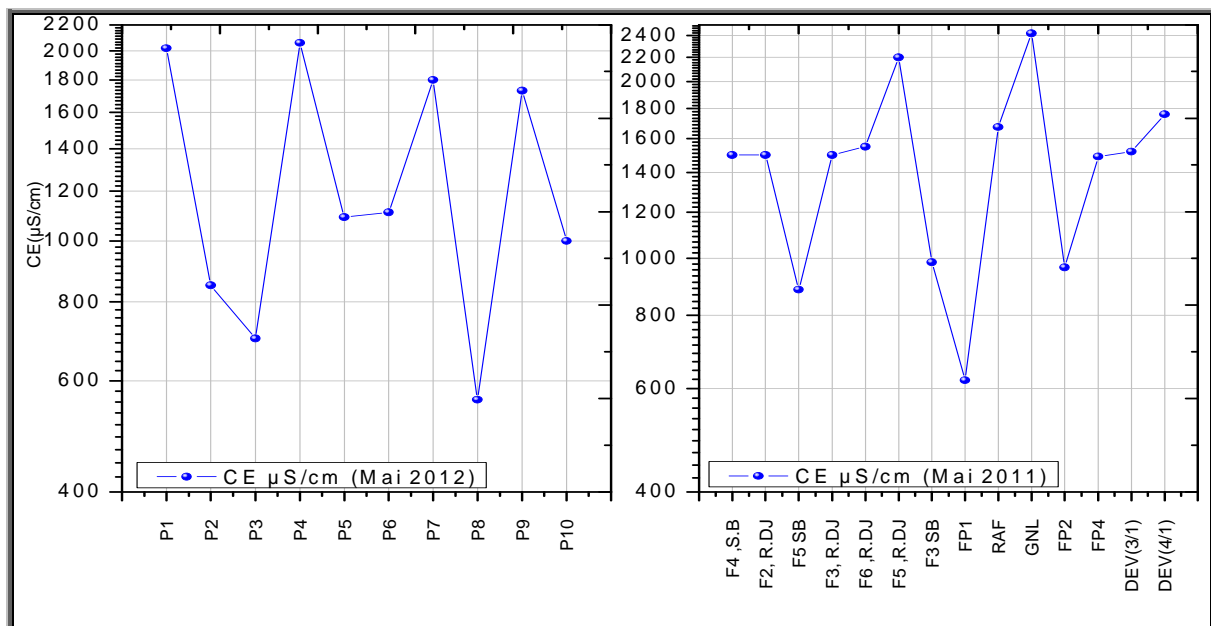


Figure 32: Variation de la CE des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf (2011 et 2012)

4.2.5. Les éléments majeurs :

Elles représentent généralement près de 99% de la matière minérale dissoute, avec des concentrations de l'ordre du mg.L^{-1} (Livingstone, 1963). Si la pression anthropique est forte, la composition chimique des rivières peuvent être modifiée par les rejets d'eaux usées. L'augmentation des concentrations des éléments majeurs est due aussi aux activités agricoles, responsables de l'altération de la qualité des eaux. (Meybeck, 2003).

a. Calcium :

Est un élément alcalinoterreux, qui se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate (CaCO_3), comme il peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui

sont facilement solubles (George et Harrap, 1963). Leur concentration dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. Lorsque sa teneur dans l'eau dépasse la norme, il provoque l'entartrage dans les canalisations (Beaudry et Henry, 1984).

a.1. Les eaux de surfaces :

Les analyses chimiques des eaux de surface d'Oued Saf-Saf (Mai 2011), montrent des concentrations variant de 59.3 mg.l⁻¹ (Barrage de Zerdazas) et 90.75 mg.l⁻¹ (Ramdan Djamel). Ces concentrations restent acceptables et ne dépassent pas les 100 mg.l⁻¹, valeur recommandée par l'OMS (*Fig. 33*). Les eaux analysées de l'année suivante (Mai 2012), sont aussi faibles par rapport aux normes avec des valeurs maximales de 92.18 mg.l⁻¹ à Salah Bouchaour 2 et Ramdan Djamel 1 (*Fig. 33*).

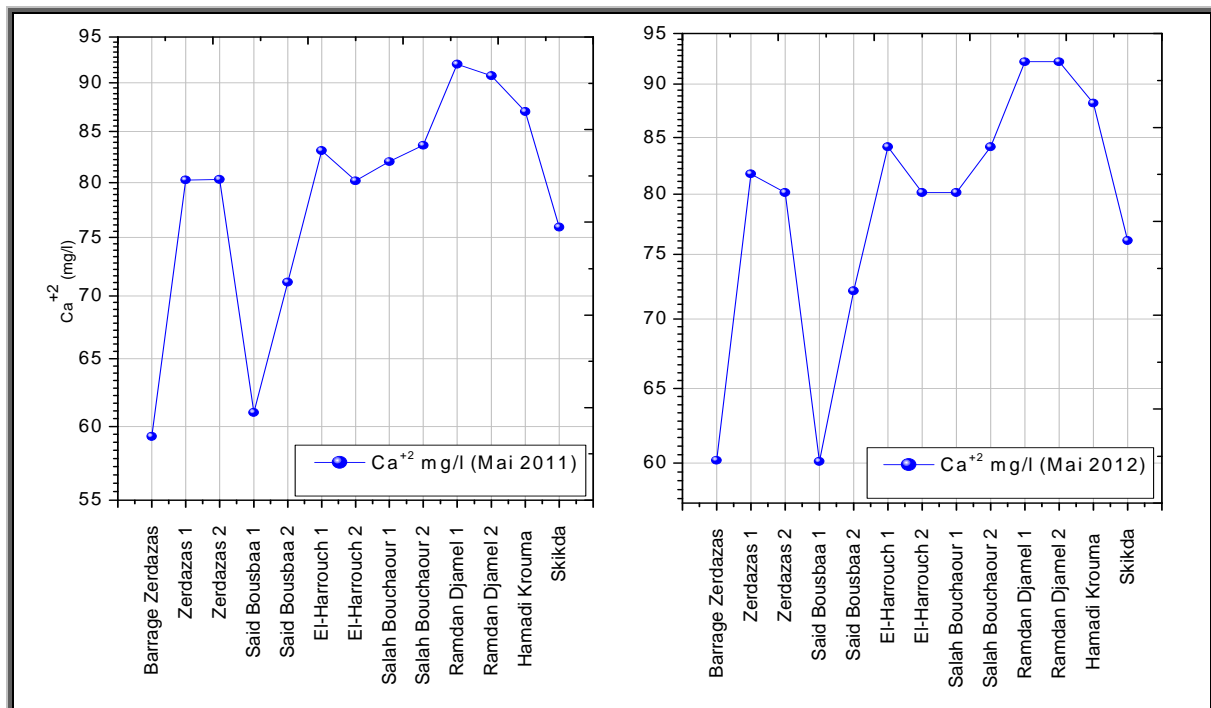


Figure 33: Variation du Ca²⁺ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

a.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations très élevées en calcium, et qui dépassent largement les normes admissibles. Cela aurait pour origine la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) de la région d'étude. Les eaux souterraines (Mai 2011), sont remarquées par un excès de calcium qui donne une mauvaise qualité aux eaux, qui devenaient trop dures (*Fig. 34*).

Par contre les eaux souterraines (Mai 2012), sont moins chargées par cet élément, mais on note toujours des concentrations dépassent les normes (P1, P2, P4 et P6), ce sont des concentrations importantes (*Fig. 34*).

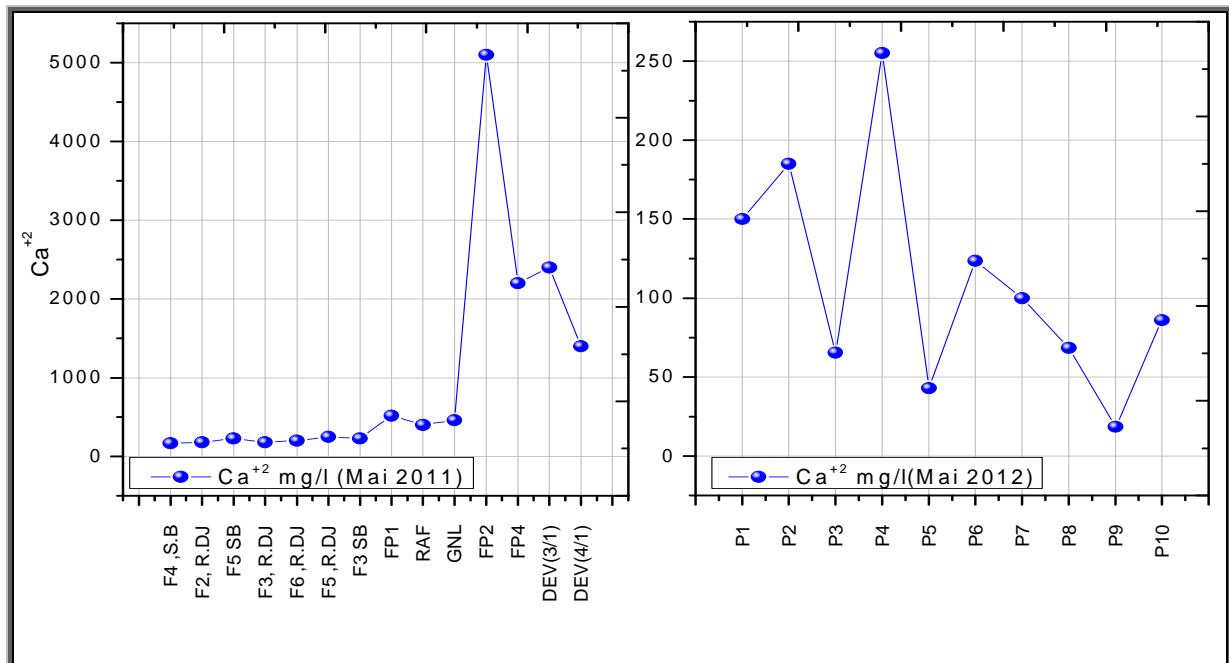


Figure 34: Variation du Ca²⁺ des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

b- Magnésium :

Il a comme origine la dissolution des formations carbonatées la giobertite (magnésite), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires (George et Harrap, 1963).

b.1. Les eaux de surfaces :

Au mois de Mai (2011) les concentrations en magnésium des eaux de surfaces oscillent entre 7.43 mg.L⁻¹ (Barrage de Zerdazas), et 48.1 mg.L⁻¹ (El-Harrouch 1). Pour les eaux de surface du mois de Mai (2012) entre 7.08 mg.L⁻¹ et 47.88 mg.L⁻¹ dans les deux stations précédentes respectivement (*Fig. 35*). La concentration en magnésium est faible pour l'ensemble des points analysés, pour les deux périodes d'observation, ce qui donne une bonne qualité via le magnésium, qui ne dépasse pas les 50 mg/l, suggéré comme limite admissible.

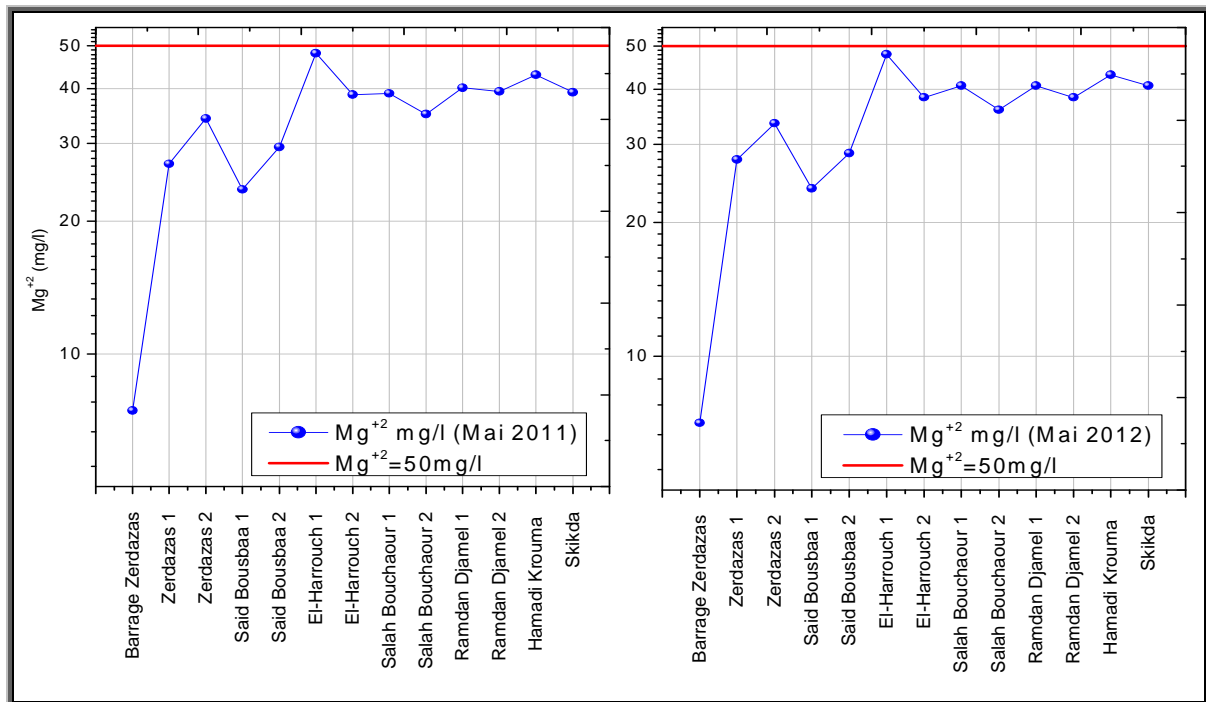


Figure 35: Variation du Mg⁺² des eaux de surface (2011)

b.2. Les eaux souterraines :

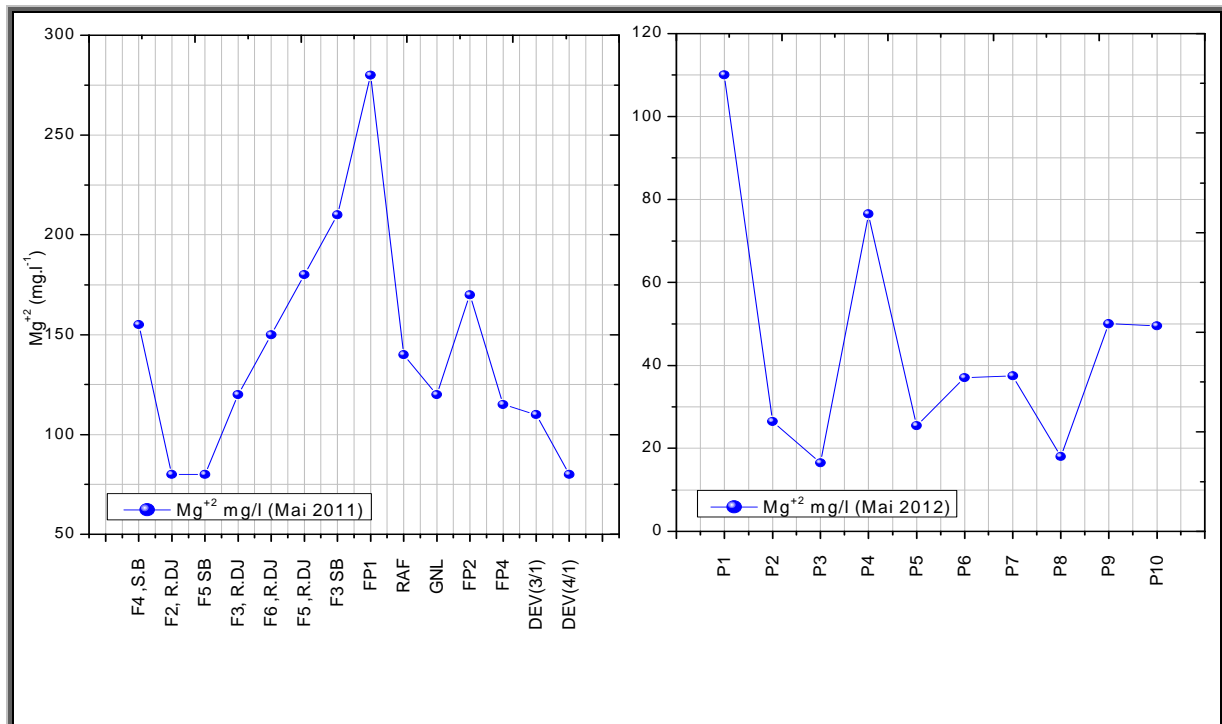


Figure 36: Variation du Mg⁺² des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

Les résultats des analyses du magnésium montrent des concentrations très élevée pour les eaux souterraines de Mai (2011) et moyennes à faibles pour les eaux souterraines de Mai (2012). Des valeurs assez fortes en magnésium, sont enregistrées en Mai (2011), surtout au niveau des forages (FP1), avec une valeur de l'ordre de 280 mg/l, tandis que la valeur minimale est enregistrée à (F4(SB), F2(R.DJ) et DEV (1/4)), avec une concentration de 80 mg/l (*Fig. 36*).

Les eaux analysées en 2012, sont presque toutes sous les normes, à l'exception du puits (P1), qui est marqué par la valeur la plus importante, avec une concentration de 110 mg/l. Les autres puits, ayant des concentrations faibles comprises entre 16.5 et 76.5 mg/l (*Fig. 36*).

C. Sodium (Na⁺):

Le sodium provient du lessivage des formations riches en NaCl, des formations argileuses, argilo-marneuses et des rejets des eaux usées d'origine domestique (Beaudry et Henry, 1984).

c.1. Les eaux de surfaces :

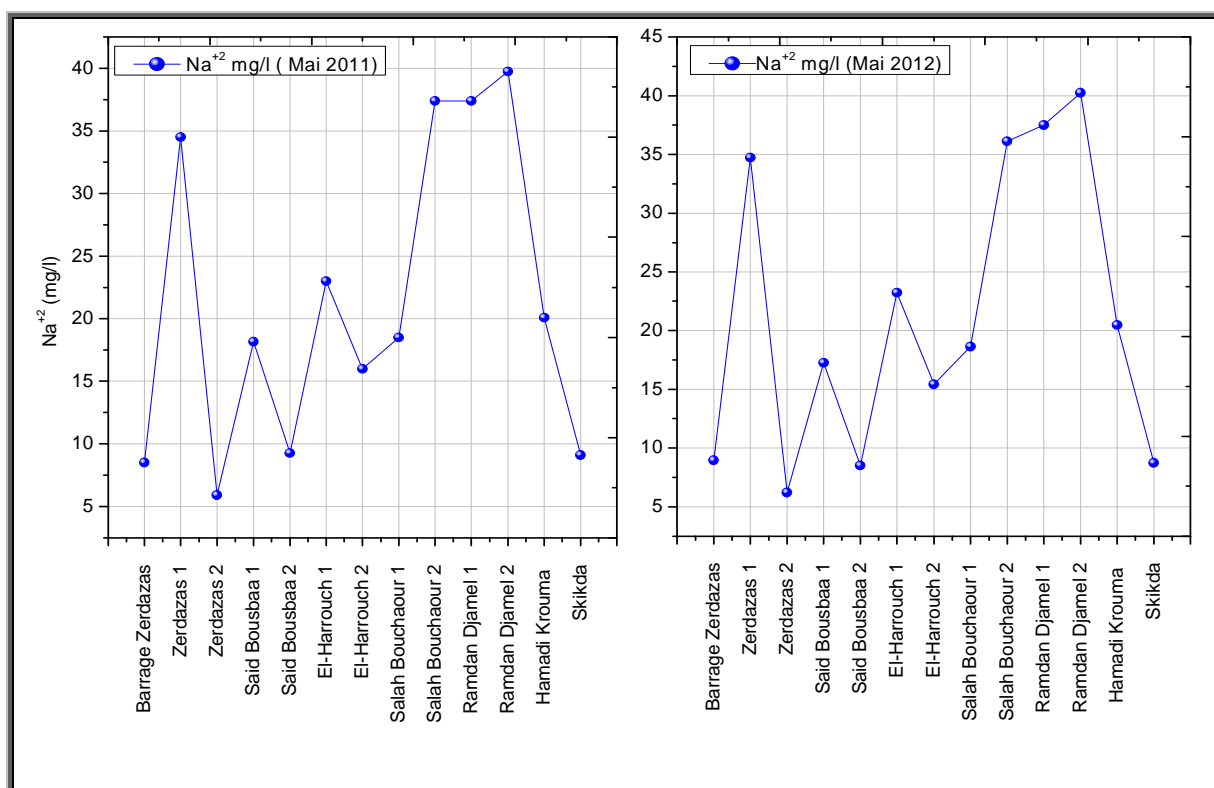


Figure 37: Variation du Na⁺² des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

Les concentrations en sodium pour les eaux de surface de Mai 2011 (*Fig. 37*), montrent des valeurs maximales de 37.4 mg/l (Salah Bouchaour 2 et Ramdan Djamel 1) et 39.7 mg/l (Ramdan Djamel 2), par contre la faible concentration en sodium est enregistrée à (Zerdazas 2), 5.9 mg/l.

Pour l'année 2012, les concentrations en sodium (*Fig. 37*), sont proches de celle de l'année 2011, avec des petites différences. La station (Ramdan Djamel 2), est la station marquée par la valeur la plus importante 40.25 mg/l, tandis que la valeur faible est toujours marquée au niveau de (Zerdazas 2), avec une concentration de 6.21 mg/l.

c.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines analysées, montrent des concentrations très élevées en sodium, et qui dépassent les normes admissibles dans la majorité des eaux analysées. Les eaux souterraines (Mai 2011), sont remarquées par un excès de sodium qui donne une mauvaise qualité aux eaux, qui devenaient non potables (*Fig. 38*).

Les eaux souterraines (Mai 2012), sont aussi trop chargées par cet élément, où on note toujours des concentrations dépassent largement les normes, avec des concentrations aboutissent les 300 mg/l (*Fig. 38*).

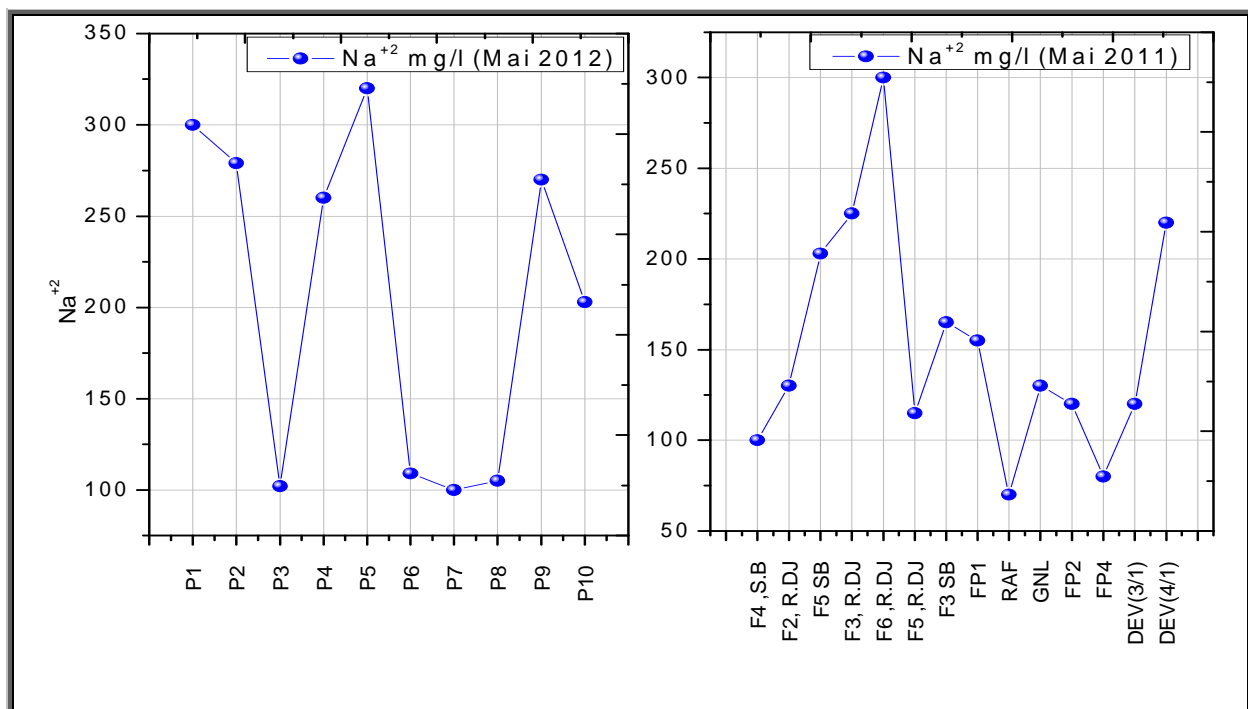


Figure 38: Variation du Na⁺² des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

d. Potassium (K^+) :

Le potassium beaucoup moins abondant que le sodium et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le K soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau (Potelon et Zyman, 1998).

d.1. Les eaux de surfaces :

Les concentrations en potassium en période de Mai (2011), sont des très faibles concentrations qui ne dépassent pas les 1 mg/l le long de l'oued. Le barrage de Zardazas, est la station marquée par la plus faible concentration 0.005 mg/l, tandis que la station de Ramdan Djamel 2, remarquée par une valeur maximale de l'ordre de 0.49 mg/l (*Fig. 39*).

En période de Mai (2012), les concentrations sont aussi faibles dans toutes les eaux analysées, avec des concentrations qui varient entre 0.006 mg/l au Barrage de Zerdazas et 0.056 mg/l à Ramdan Djamel (*Fig. 39*). On remarque une évolution très faible durant les deux périodes d'observation, ce qui donne une bonne qualité à ces eaux vis-à-vis le potassium.

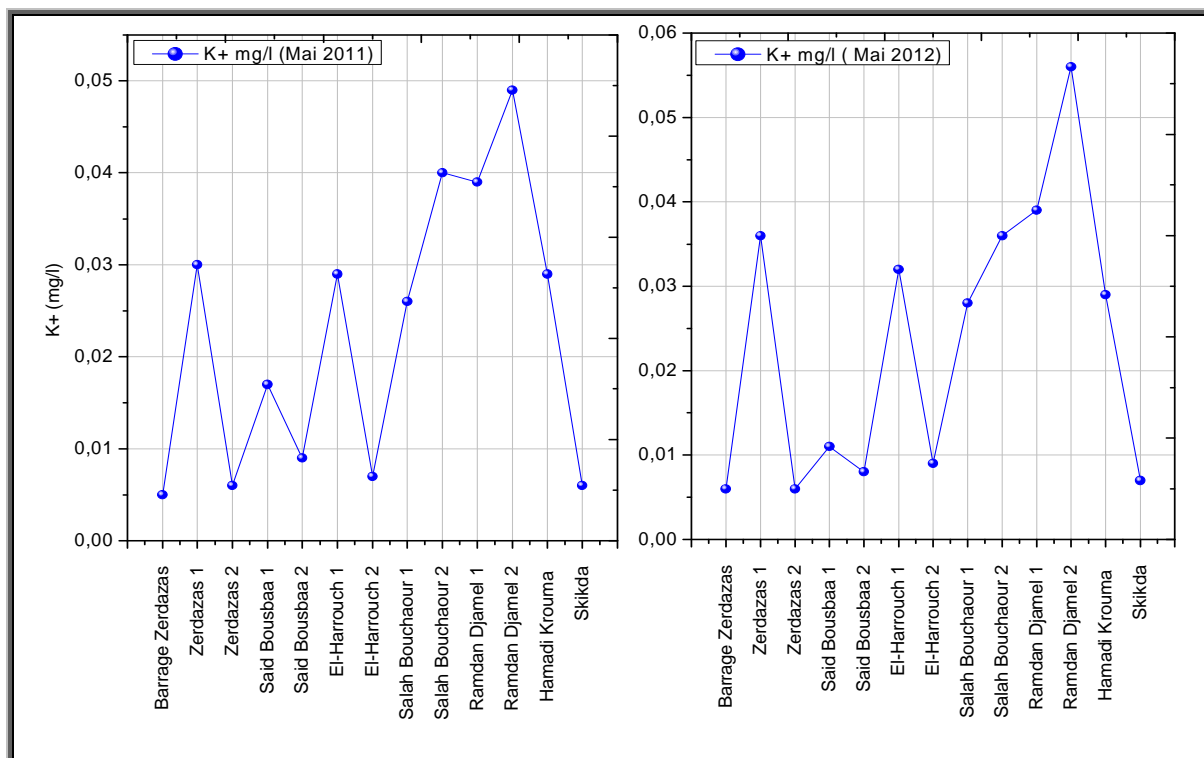


Figure 39: Variation du K^+ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

d.2. Les eaux souterraines :

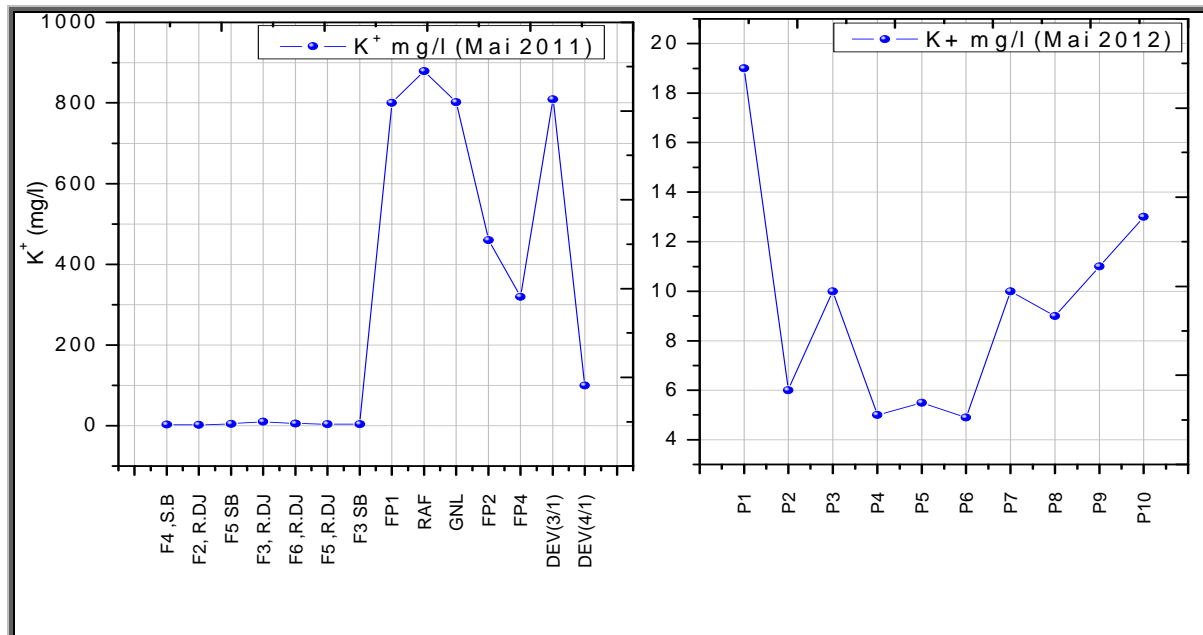


Figure 40: Variation du K⁺ des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

Les eaux analysées en 2011, montrent des concentrations très élevées au niveau de la plaine de Skikda [FP1, RAF, GNL, FP2, FP4, DEV (1/3) et DEV (1/4)], qui peuvent être expliquées par la contamination de la nappe par les effluents industriels, sachant que tous ces forages situent dans la zone industrielle pétrolière de Skikda. Des analyses comprises entre 100 mg/l et 879 mg/l (*Fig. 40*) conduisent ces eaux vers une pollution aggravante via le Potassium. En 2012 (*Fig. 40*), l'ensemble des points montrent des concentrations acceptables en potassium, avec une concentration de 4.9 mg/l (P6), qui est considérée comme la concentration la plus faibles, et 19 mg/l (P1).

e. Chlorure :

Les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorure alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage (Beaudry et Henry, 1984). Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées (Beaudry et Henry, 1984).

e.1. Les eaux de surfaces :

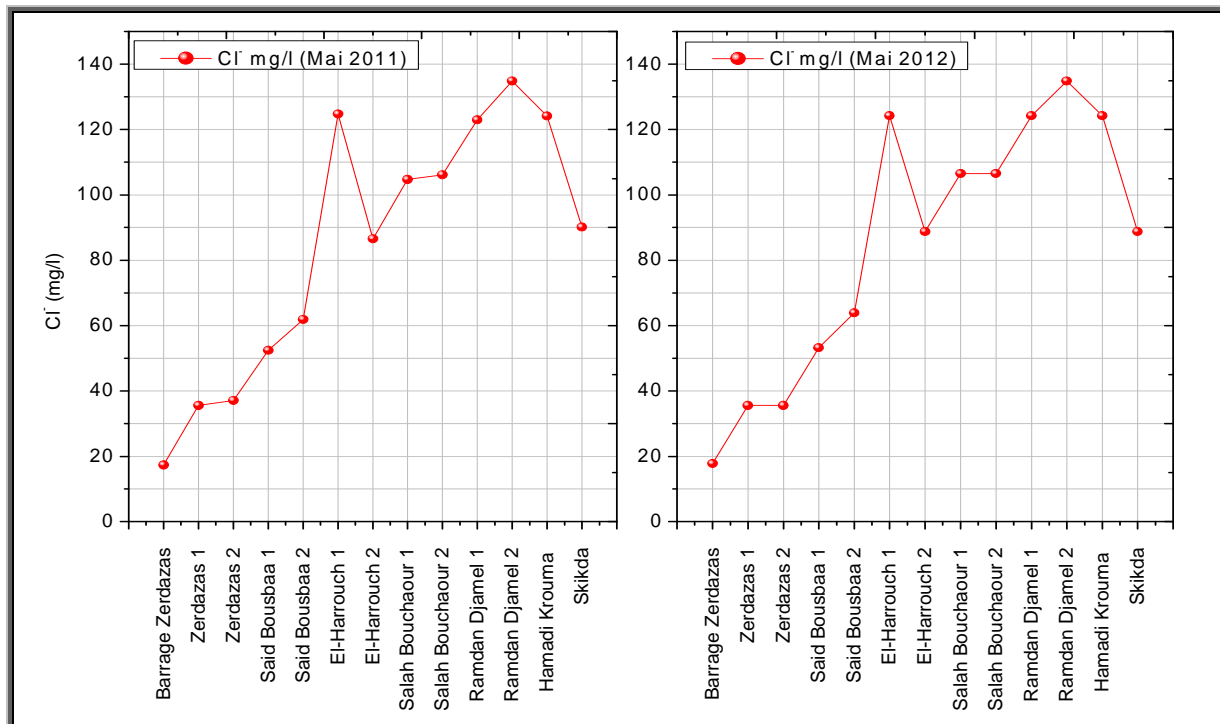


Figure 41: Variation du Cl⁻ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

La concentration en chlorure varie entre 17.35 mg/l (Barrage de Zerdazas) et 134.9 mg/l (Ramdan Djamel 2), pour les eaux de surface analysées en 2011 et de 17.75 mg/l (Barrage de Zerdazas) et 134.9 mg/l (Ramdan Djamel 2), pour l'année 2012 (**Fig. 41**).

e.2. Les eaux souterraines :

Les eaux analysées en 2011, montrent des concentrations très élevées au niveau de la plaine de Skikda [FP1, RAF, GNL, FP2, FP4, DEV (1/3) et DEV (1/4)], qui dépassent les 1000 mg/l et qui peuvent être due à une contamination de la nappe par les effluents industriels. Des analyses comprises entre 155 mg/l et 2800 mg/l (**Fig. 42**), guident ces eaux vers une concentration importante via les chlorures. Par contre, les forages situés à Salah Bouchaour et Ramdan Djamel, sont moins chargés en chlorures, si on compare aux forages de la plaine de Skikda, mais elles restent importantes.

En 2012 (**Fig. 42**), l'ensemble des échantillons montrent des concentrations acceptables en potassium, avec une concentration de 11.25 mg/l (P7), qui est considérée comme la concentration la plus faibles, et 109.37 mg/l (P1).

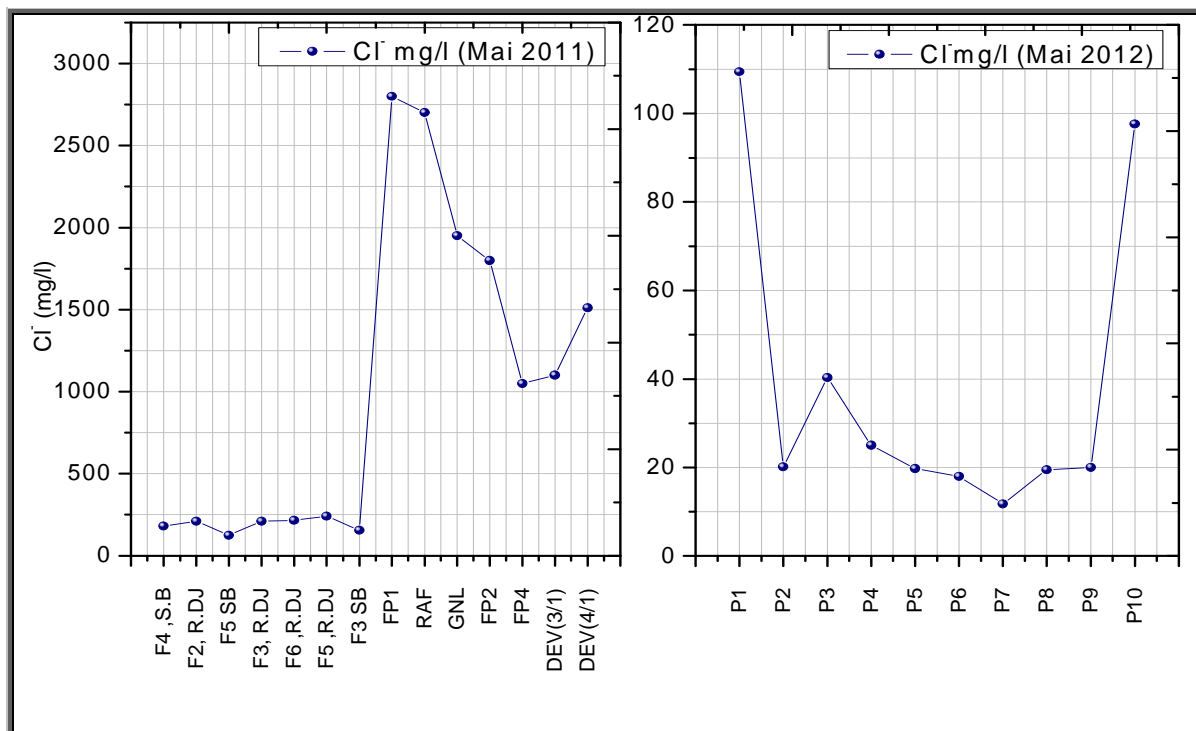


Figure 42: Variation du Cl⁻ des eaux souterraines de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

f. Sulfates (SO₄):

Ils ont comme origine la solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites). La forte concentration en sulfates provoque de troubles gastro-intestinaux; aussi elles peuvent donner un goût désagréable (Beaudry et Henry, 1984)

f.1. Les eaux de surfaces:

Les concentrations des sulfates observées restent très faibles aux normes, environ 42 mg/l (**Fig. 43**). En effet, Les eaux de surface étudiées, renferment des concentrations faibles pour les deux périodes d'observation. Pour les eaux étudié en 2011, les concentrations oscillent entre 31.2 mg/l (Saïd Bousbaa) et 42.7 mg/l (Skikda) et pour les eaux de l'année 2012, ces eaux enregistrent des valeurs comprise entre 32 mg/l (Zerdazas 2 et Saïd Bousbaa 2), et 42 mg/l (Skikda).

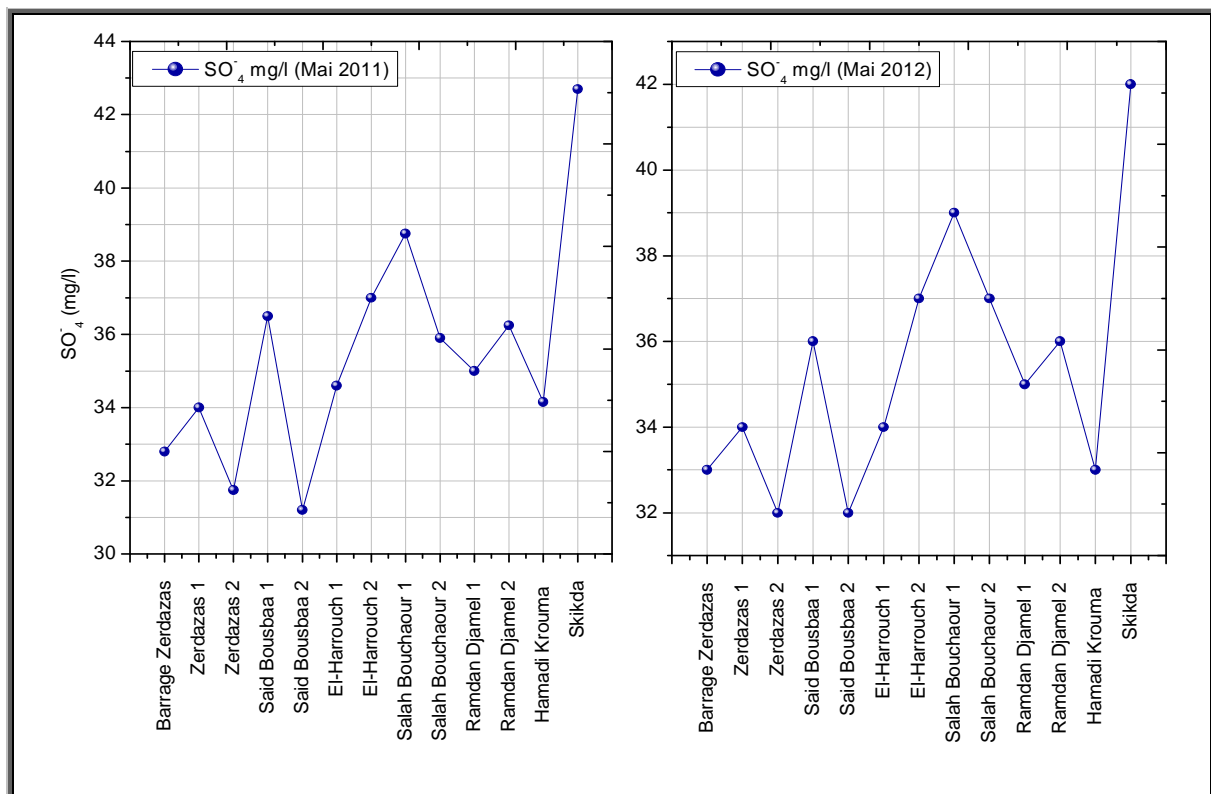


Figure 43: Variation du SO₄²⁻ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

f.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines, renferment des concentrations élevées en sulfates. Pour les eaux étudié en 2011, les concentrations oscillent entre 250 mg/l (F2.SB) et 1512 mg/l [DEV (1/4)] et pour les eaux de l'année 2012, ces eaux enregistrent des valeurs comprise entre 49,6 mg/l (P10), et 337,7 mg /l (P1).

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuse. Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution des gypses. D'une part, des pesticides provenant des eaux d'irrigation.

Les concentrations en sulfates varient de 250 mg/l (F4, S.B) et 1603 mg/l (DEV (1/3)), pour l'année 2011 et de 18.29 mg/l (P10) et 295 mg/l (P4) pour l'année 2012. L'OMS, à fixer la concentration des sulfates des eaux potables à 250 mg/l, ce qui montre l'état de ces eaux non potable par rapport aux normes admissibles (*Fig. 44*).

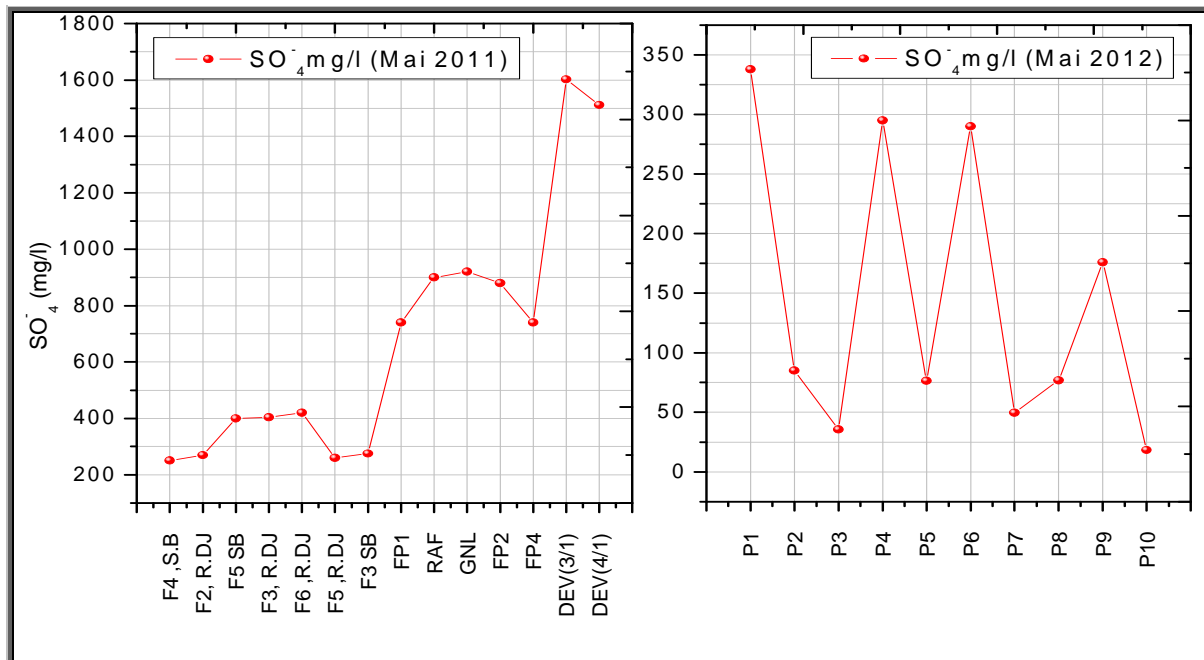


Figure 44: Variation du SO_4^{2-} des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

g. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) (Belhadj, 2006).

g.1. Les eaux de surfaces :

Les concentrations en bicarbonates en période de Mai (2011), sont des très fortes concentrations qui dépassent largement les 30 mg/l, admissible par l'OMS, le long de l'oued. Le barrage de Zardazas, est la station marquée par la plus faible concentration 172 mg/l, tandis que la station de Salah Bouchaour 2, est remarquée par une valeur maximale de l'ordre de 305.8 mg/l (*Fig. 45*).

En période de Mai (2012), les concentrations sont aussi fortes dans toutes les eaux analysées, avec des concentrations varient entre 170.8 mg/l (Barrage de Zardezas), et 305 mg/l (Salah Bouchaour 2 et Ramdan Djamel 2) (*Fig. 45*). On remarque une évolution très faible durant les deux périodes d'observation, mais la qualité des eaux vis-à-vis les carbonates, est toujours n'est pas bonne.

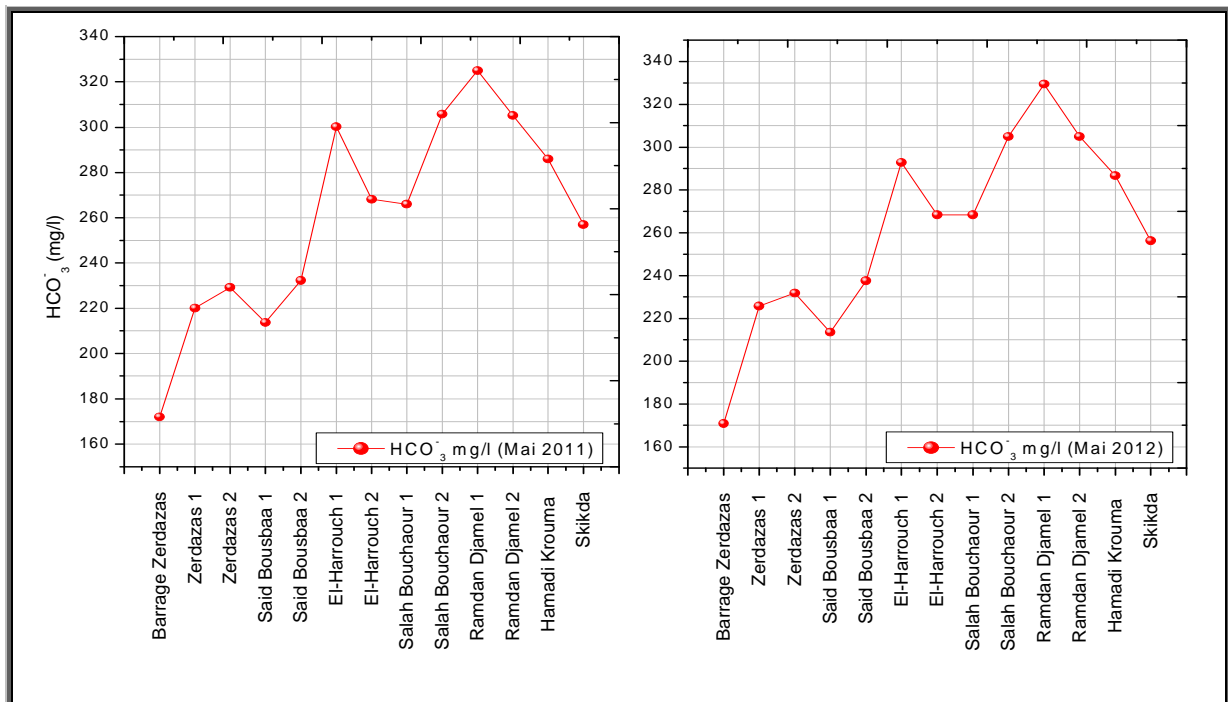


Figure 45: Variation du HCO₃⁻ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012)

g.2. Les eaux souterraines :

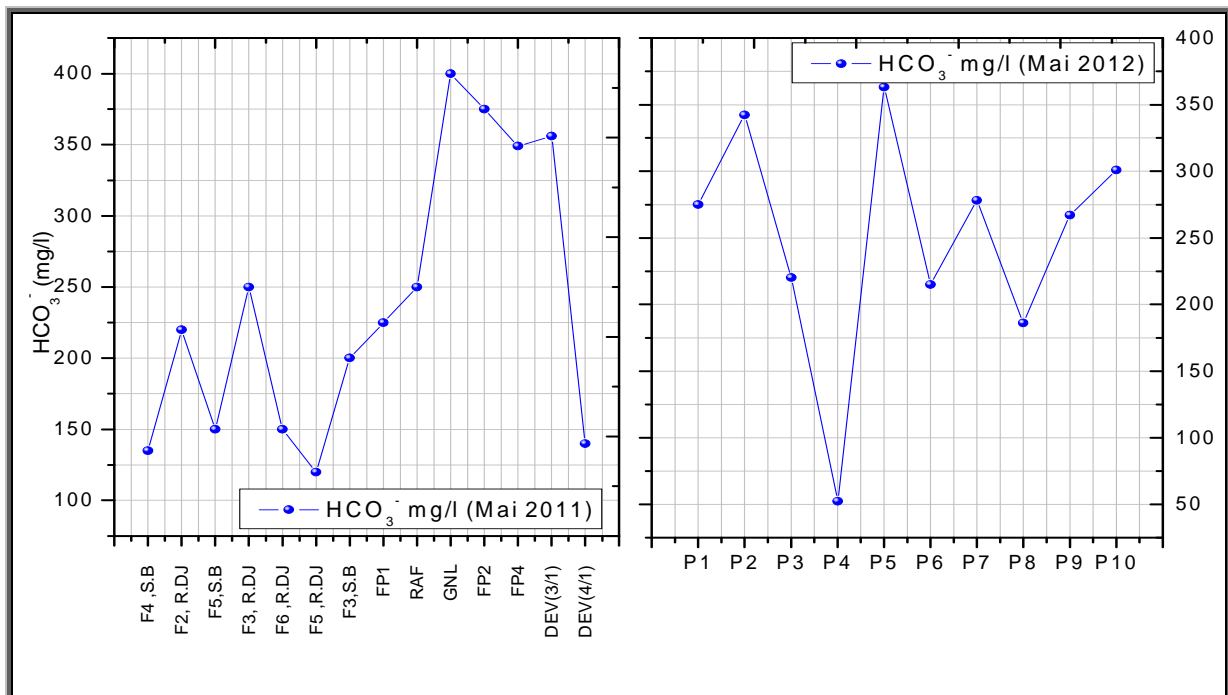


Figure 46: Variation du HCO₃⁻ des eaux souterraines (Mai 2011 et 2012)

Les eaux souterraines durant les deux périodes d'observation, montrent un excès en bicarbonates avec des concentrations arrivées à 400 mg/l à GNL (*Fig. 46*).

4.3. Faciès chimiques :

L'interprétation des résultats des analyses des eaux de surface et souterraine du bassin versant d'oued Saf-Saf a pour but de déterminer les faciès chimiques et d'effectuer une comparaison spatio-temporelle.

4.3.4. Les eaux de surfaces :

4.3.4.1. Le diagramme de Piper :

La représentation graphique des données physico-chimiques sur le diagramme de Piper montre un seul faciès chimiques **Bicarbonaté-calcique** (*Fig. 47*), ce qui résume la dominance de deux éléments chimiques, soit pour les anions, soit pour les cations.

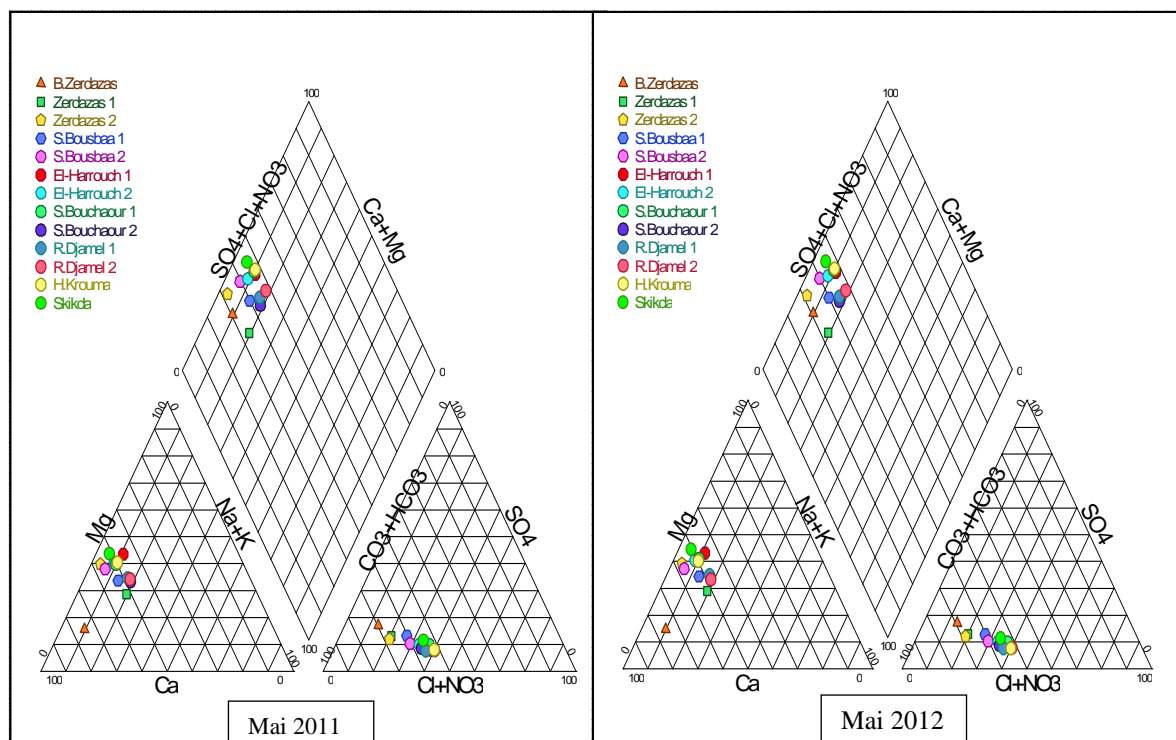


Figure 47: Diagramme de Piper (Mai 2011 et 2012)

4.3.4.2. Le diagramme de Schoeller- Berkaloff :

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l.

D’après le diagramme de Schoeller- Berkaloff, on remarque que le faciès chimique dominant est le bicarbonaté - calcique avec le pourcentage de 100% (Fig. 48).

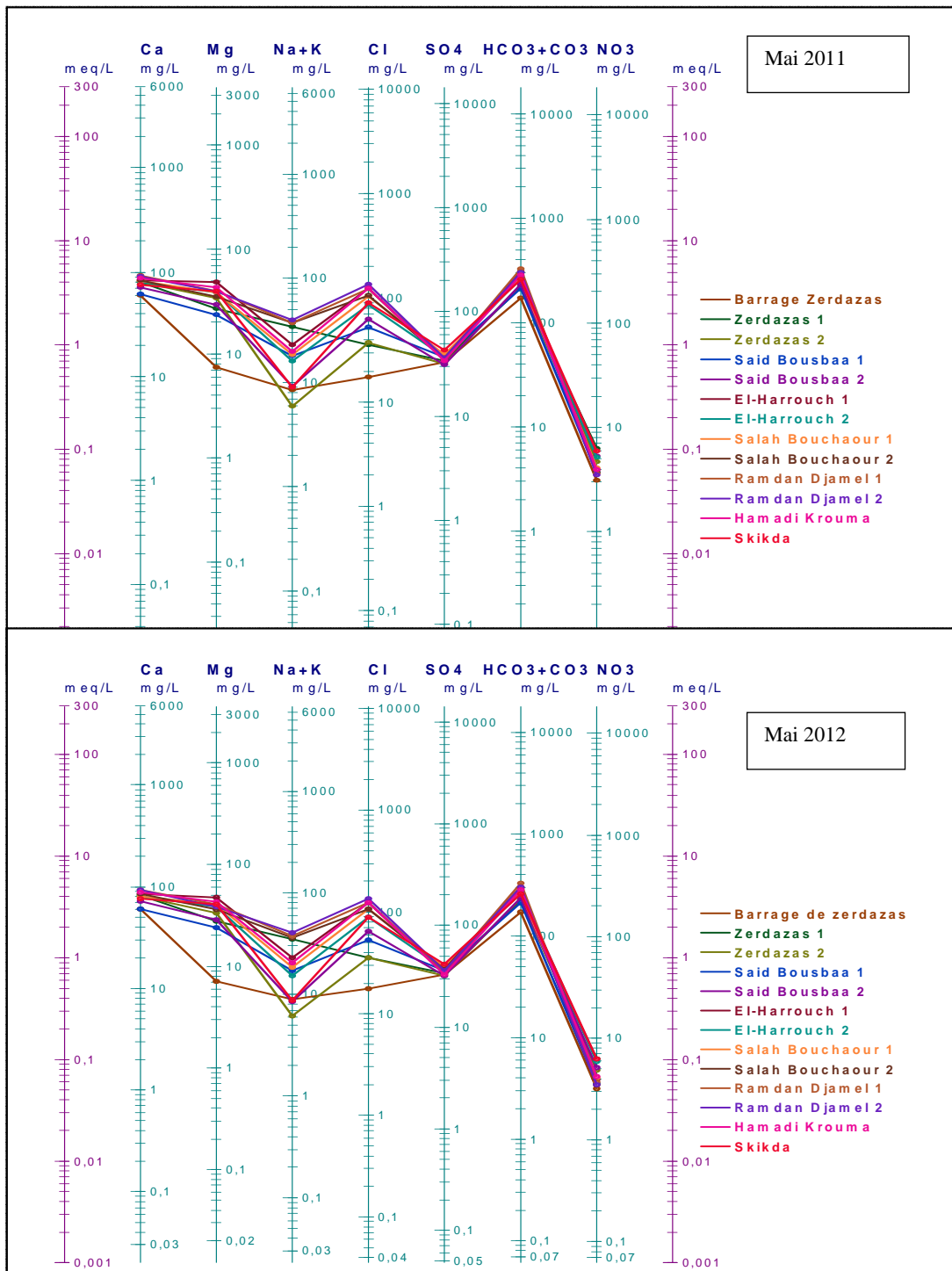


Figure 48: Diagramme de Schoeller- Berkaloff (Mai 2011 et 2012).

Vu la prédominance de ces ions (HCO_3^- , Ca^{+2} , Cl^- et Mg^{+2}) dans l'eau de surface on a réalisé une représentation des faciès chimiques dans un diagramme $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ et $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ (Fig. 49). Ce diagramme montre l'existence d'un seul pôle caractéristique des eaux, dans les deux périodes d'observation (Faciès Bicarbonaté-calcique).

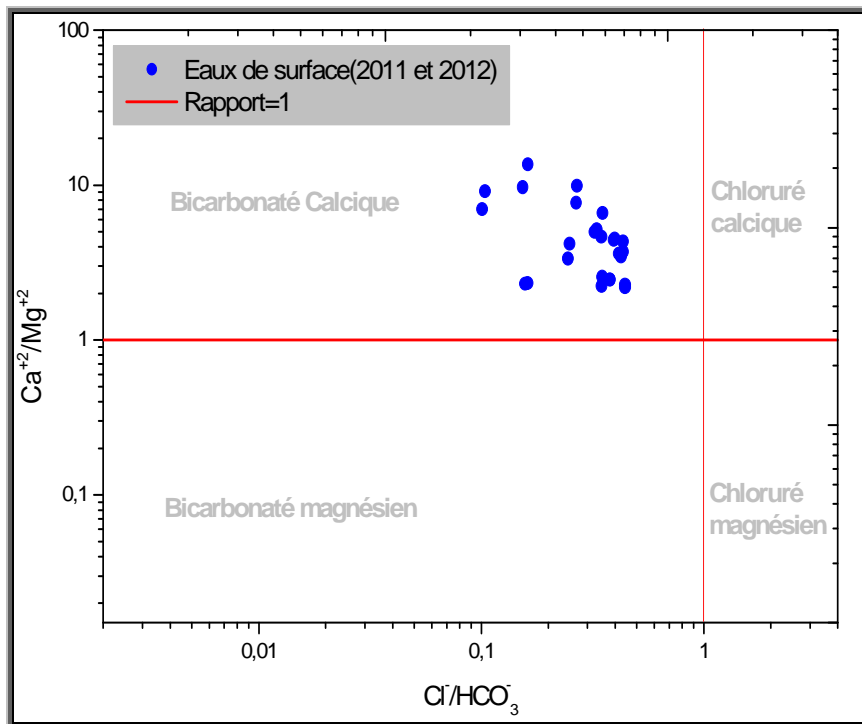


Figure 49: Variation de faciès chimiques des eaux de surface (2011/2012)

4.3.4.4. Répartition des faciès chimiques :

Tableau 15: Répartition des faciès chimiques selon les périodes

Période		Faciès chimique	Faciès caractéristique
Mai 2011	Tous les échantillons	Bicarbonaté-calcique	$\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Ca}^{+2}} > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^-$ $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Na}^{+2}$
Mai 2012	Tous les échantillons		$\frac{r\text{HCO}_3^-}{r\text{Ca}^{+2}} > r\text{SO}_4^- > r\text{Cl}^-$ $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Na}^{+2}$

4.3.5. Les eaux de souterraines :

4.3.5.1. Diagramme de piper :

La représentation graphique des données physico-chimiques sur le diagramme de Piper (*Fig. 50*) montre plusieurs faciès chimiques (*Tab. 16*).

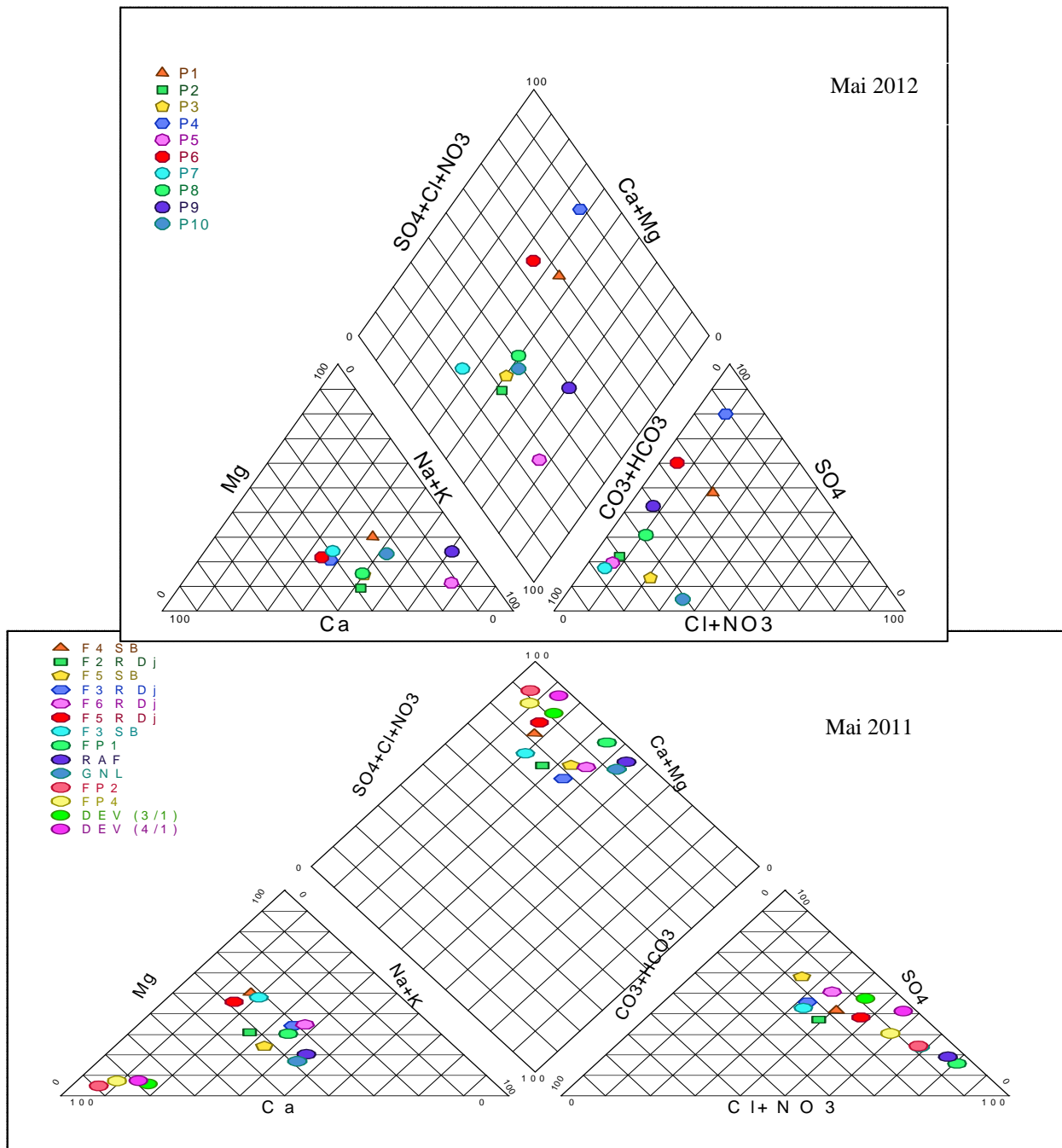


Figure 50: Diagramme de Piper des eaux souterraines du bassin de l'Oued Saf-Saf

4.3.5.2. Diagramme Schoëller-Berkhaloff :

D’après le diagramme de Schoeller- Berkhaloff (*Fig. 51*), on remarque plusieurs faciès chimiques, qui sont résumés au (*Tab. 16*).

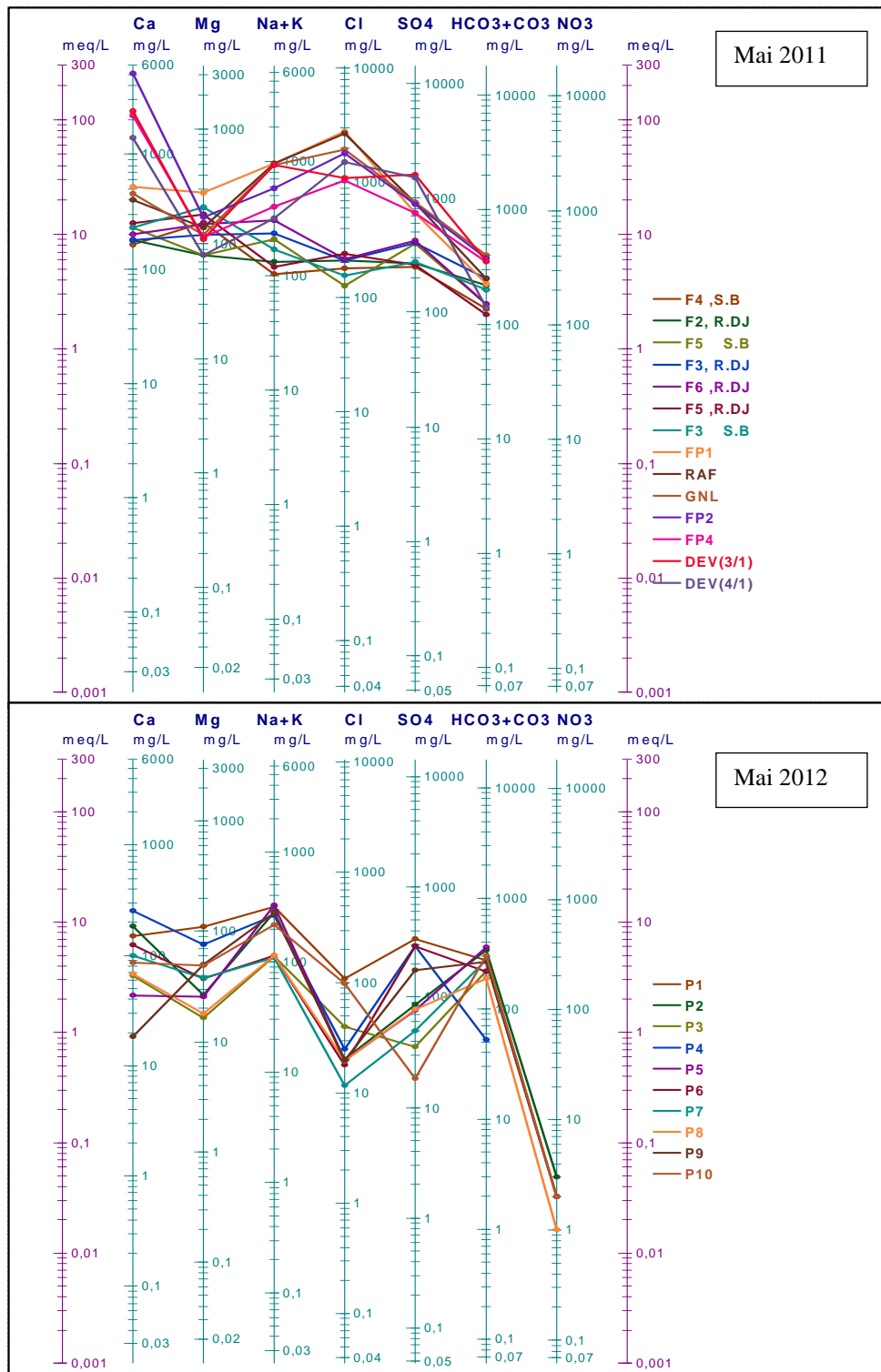


Figure 51: Diagramme de Schoëller-Berkhaloff des eaux souterraines

4.3.5.3. Répartition des faciès chimiques :

Tableau 16: Répartition des faciès chimiques

Faciès chimique	Faciès caractéristique	Période	
		Mai 2011	Mai 2012
Bicarbonaté sodique	$\frac{rHCO_3}{rNa} > \frac{rSO_4}{rMg} > rCl > rCa$		P9, P10
Bicarbonaté sodique	$\frac{rHCO_3}{rNa} > \frac{rSO_4}{rCa} > rMg$		P2, P3, P5, P8
Bicarbonaté calcique	$\frac{rHCO_3}{rCa} > \frac{rSO_4}{rNa} > rCl > rMg$		P7
Sulfaté calcique	$\frac{rSO_4}{rCa} > \frac{rHCO_3}{rNa} > rCl > rMg$		P4, P6
Sulfaté calcique	$\frac{rSO_4}{rCa} > rCl > \frac{rHCO_3}{rMg}$	DEV(1/3), F5.SB,	
Sulfaté calcique	$\frac{rSO_4}{rCa} > rCl > \frac{rHCO_3}{rMg} > rNa$	F2,RDj	
Sulfaté sodique	$\frac{rSO_4}{rNa} > rCl > \frac{rHCO_3}{rMg}$	F3.RDj, F6.RDj	
Sulfaté sodique	$\frac{rSO_4}{rNa} > \frac{rHCO_3}{rMg} > rCl > rCa$		P1
Chloruré calcique	$rCl > \frac{rSO_4}{rCa} > \frac{rHCO_3}{rMg} > rNa$	FP1, FP2, FP4	
Chloruré calcique	$rCl > \frac{rSO_4}{rCa} > \frac{rHCO_3}{rMg}$	RAF, GNL, DEV(1/4)	
Chloruré magnésien	$rCl > \frac{rSO_4}{rMg} > \frac{rHCO_3}{rCa} > rNa$	F4.SB, F5.RDj	
Sulfaté magnésien	$\frac{rSO_4}{rMg} > rCl > \frac{rHCO_3}{rCa} > rNa$	F3.SB	

4.4. L'influence climatique sur la salinité des eaux de surface :

4.4.4. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :

Les analyses physico-chimiques des eaux du bassin versant d'oued Saf-Saf (Eaux de surface et souterraines) durant les deux années d'observation, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces concentrations dépassent les normes dans certains cas. Le facteur climatique à un rôle important sur a ces fortes concentrations.

a. Température :

Les eaux de surfaces (*Fig. 52*), montrent une variation moyenne, due à la relation directe avec l'atmosphère, sauf à quelques points comme Zerdazas 2, El-Harrouch et Ramdan Djamel, ou on note une diminution de la température.

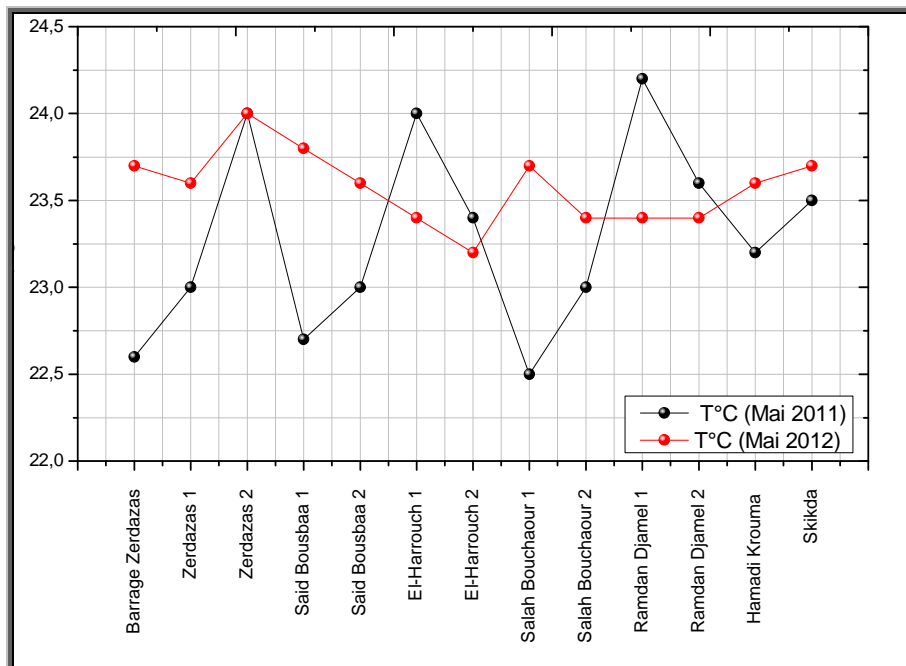


Figure 52: Evolution de la température des eaux de surface de l’Oued Saf-Saf (Mai 2011,2012)

b. Potentiel d’hydrogène (pH) :

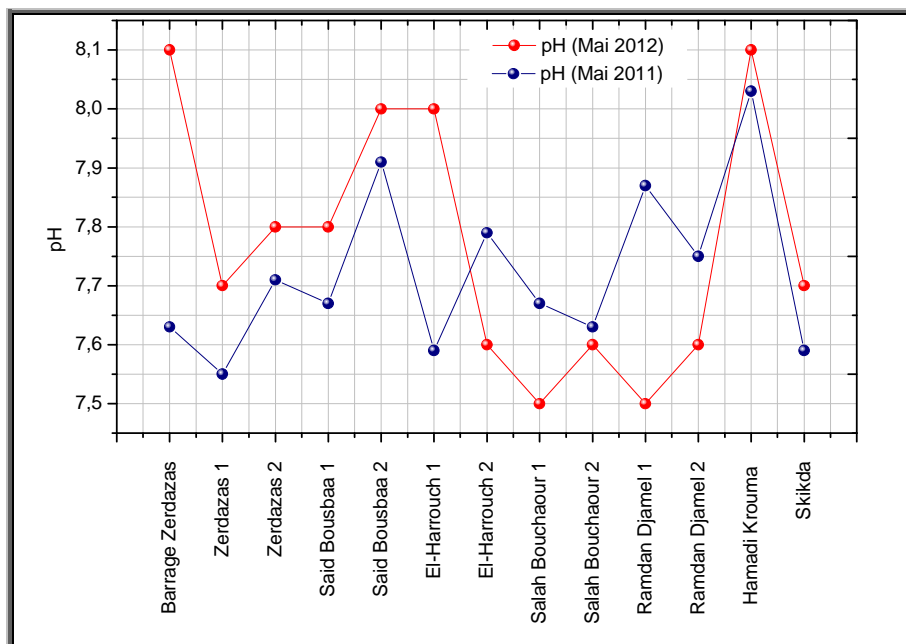


Figure 53: Evolution du pH des eaux de surface de l’oued Saf-Saf (Mai 2011, 2012)

L'évolution du pH entre les deux périodes d'observations (*Fig. 53*) montre une nette tendance à l'alcalinisation dans la majorité des eaux de surface, à l'exception d'El-Harrouch 2, Salah Bouchaour 1 et 2 et Ramdan Djamel 1 et 2, montrent une tendance vers la neutralité.

c. Conductivité (CE) :

On note presque une stabilité de la salinité dans les deux périodes d'observation (*Fig. 54*), avec des faibles augmentations, qui peuvent être expliquées par l'augmentation de la température et par conséquent par l'évaporation.

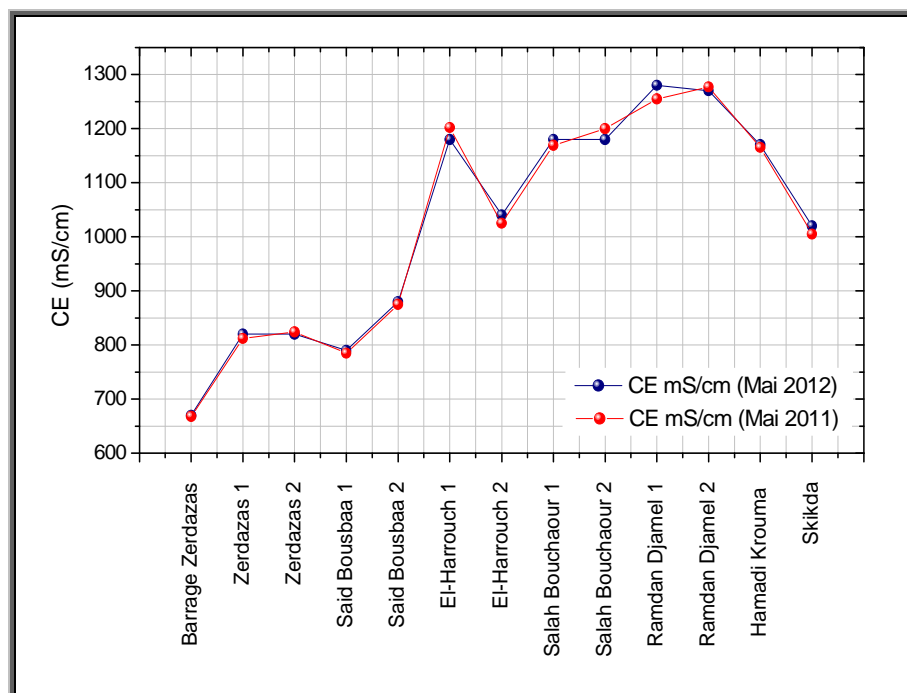


Figure 54: Evolution de la conductivité des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011 et 2012)

4.4.5. Les éléments majeurs :

b. Calcium (Ca^{+2}):

L'évolution temporelle des concentrations en calcium (*Fig. 55*), montre une augmentation au niveau de Zerdazas 1, El-Harrouch 1, Ramdan Djamel 2 et Hamadi Krouma. Par contre on remarque une diminution de la concentration aux autres prélèvements, qui se traduit par une précipitation du CaCO_3 due à un apport de HCO_3 par les eaux usées. La diminution des bicarbonates au niveau des eaux de surface confirme cette précipitation.

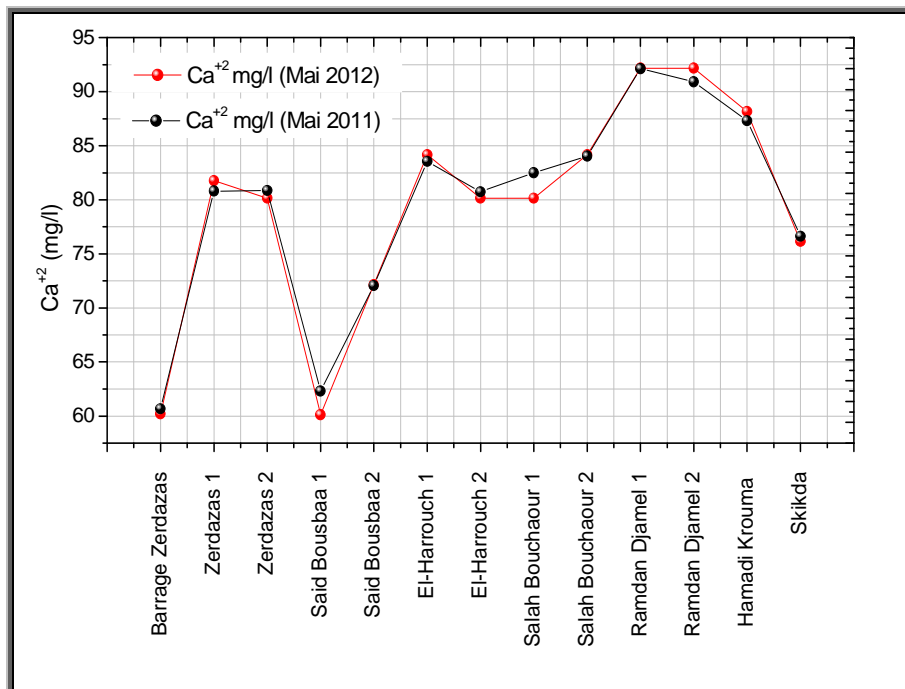


Figure 55: Evolution du Ca²⁺ des eaux de surface de l’Oued Saf-Saf (Mai 2011, 2012)

c. Magnésium (Mg²⁺) :

L’évolution temporelle du magnésium (*Fig. 56*) montre une augmentation dans le temps et dans l’espace par l’effet de l’évaporation et par la grande solubilité du magnésium.

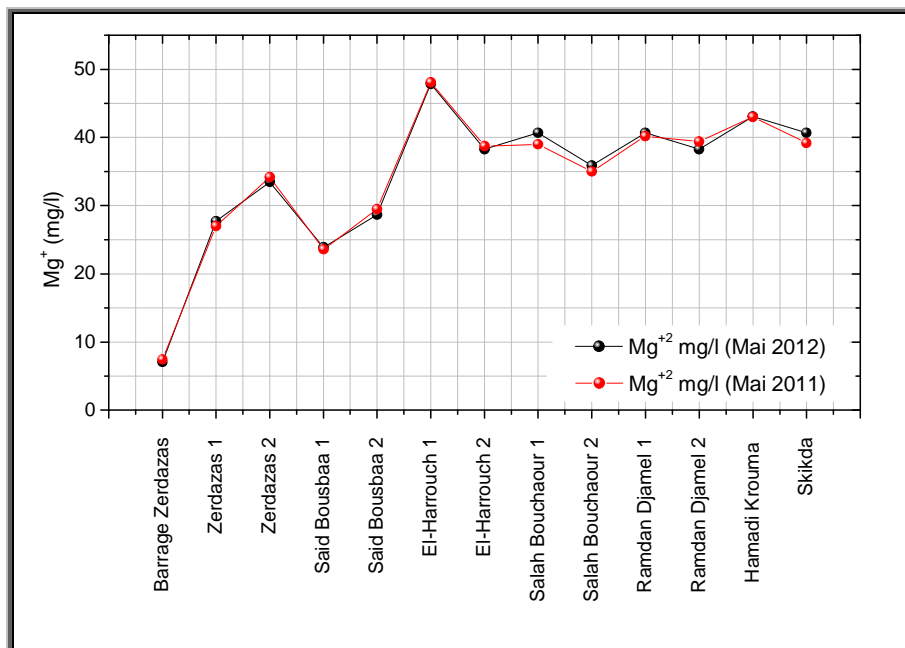


Figure 56: Evolution du Mg²⁺ des eaux de surface de l’Oued Saf-Saf (Mai 2011,2012)

d. Sodium (Na^{+2}) :

L'évolution temporelle du sodium (*Fig. 57*), montre une diminution da concentration au mois de Mai 2012 par l'effet de la faible évaporation (Une très grande solubilité du NaCl).

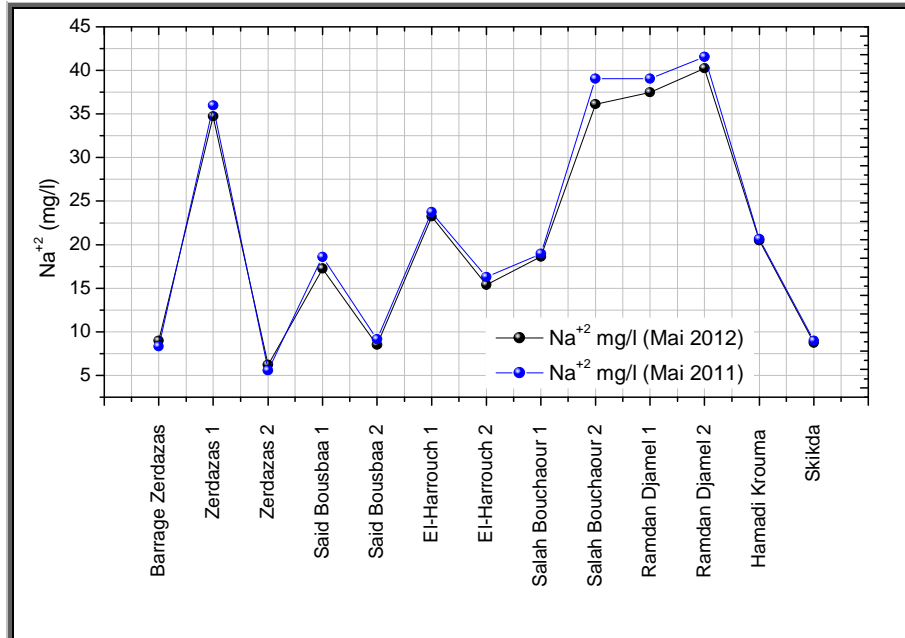


Figure 57: Evolution du Na^{+2} des eaux de surface de l'oued Saf-Saf (Mai 2011,2012)

d. Potassium (K^{+}) :

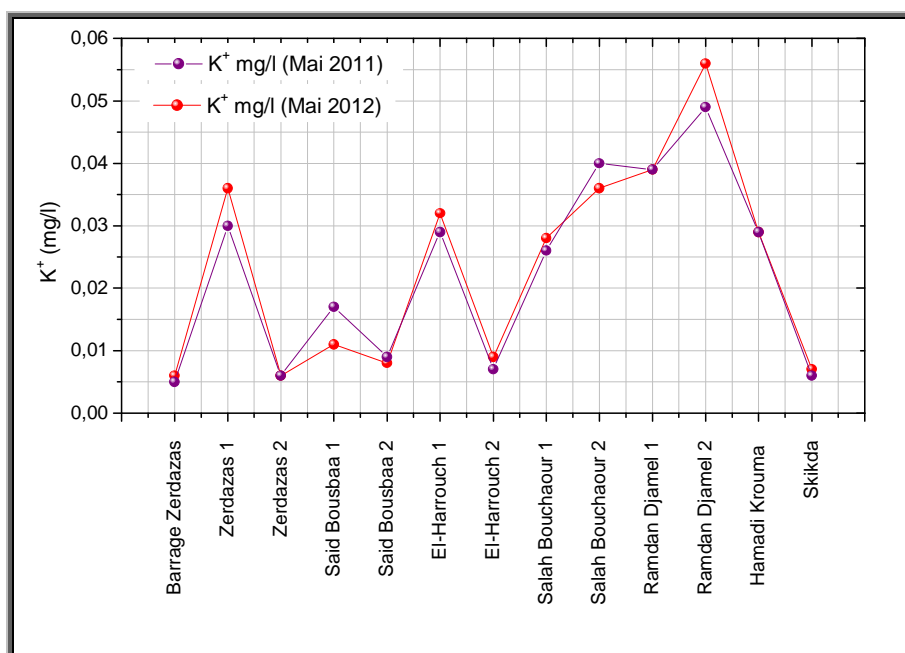


Figure 58: Evolution du K^{+} des eaux de surface de l'oued Saf-Saf (Mai 2011,2012)

L'évolution temporelle du potassium (*Fig. 58*), montre toujours une faible augmentation de la concentration durant les deux périodes d'observation. Seuls les points d'eau de surface de Said Bousbaa 1 et Salah Bouchaour 2 montrent une diminution.

e. Chlorures (Cl⁻) :

L'évolution temporelle des chlorures (*Fig. 59*) montre toujours une faible augmentation de la concentration en chlorure aux eaux de surface durant la période d'observation par l'effet d'évaporation (NaCl d'une grande solubilité).

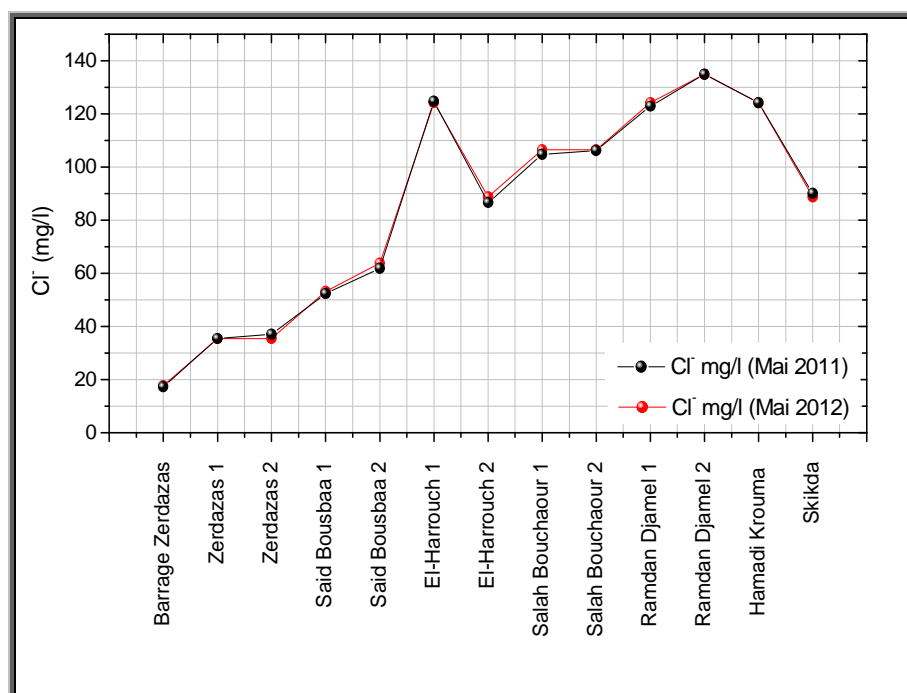


Figure 59: Evolution du Cl⁻ des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011,2012)

f. Sulfates (SO₄⁻) :

L'évolution temporelle des sulfates (*Fig. 60*) montrent une diminution de la concentration dans tous les points d'eau à l'exception de Salah Bouchaour 1 et 2, qui ont marqué par une augmentation en concentration. Généralement l'augmentation de la concentration en sulfates est due à l'évaporation (CaSO₄) d'une grande solubilité) et la diminution traduisent une précipitation des gypses atteignent la saturation dans une telle minéralisation.

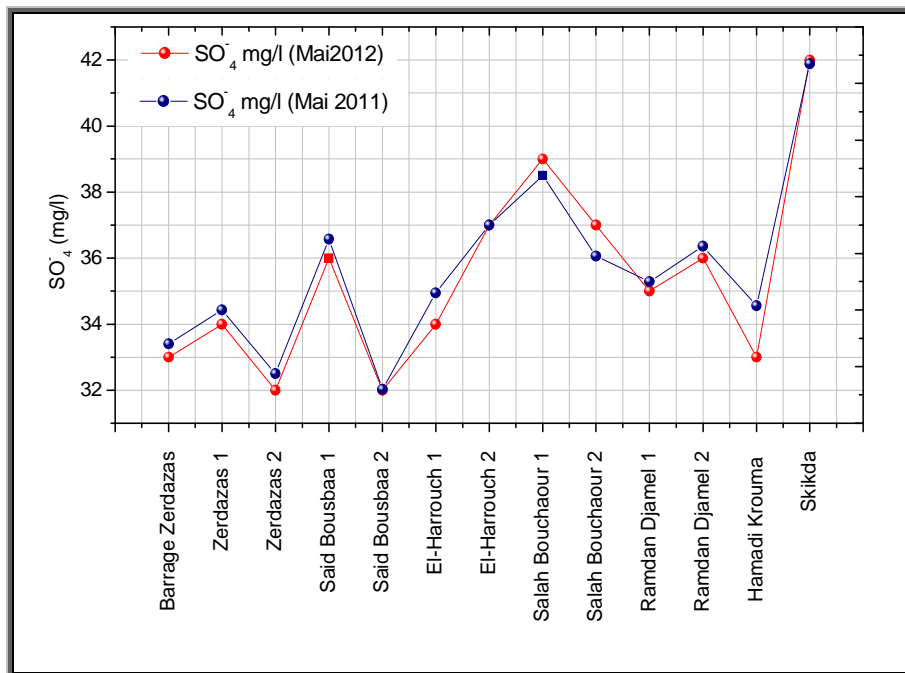


Figure 60: Evolution du SO_4^{2-} des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011, 2012)

g. Bicarbonate (HCO_3^-) :

L'évolution temporelle des bicarbonates (Fig. 61), montre une diminution de la concentration au niveau de tous les points d'eaux analysés, ce qui conduit à une précipitation du $CaCO_3$.

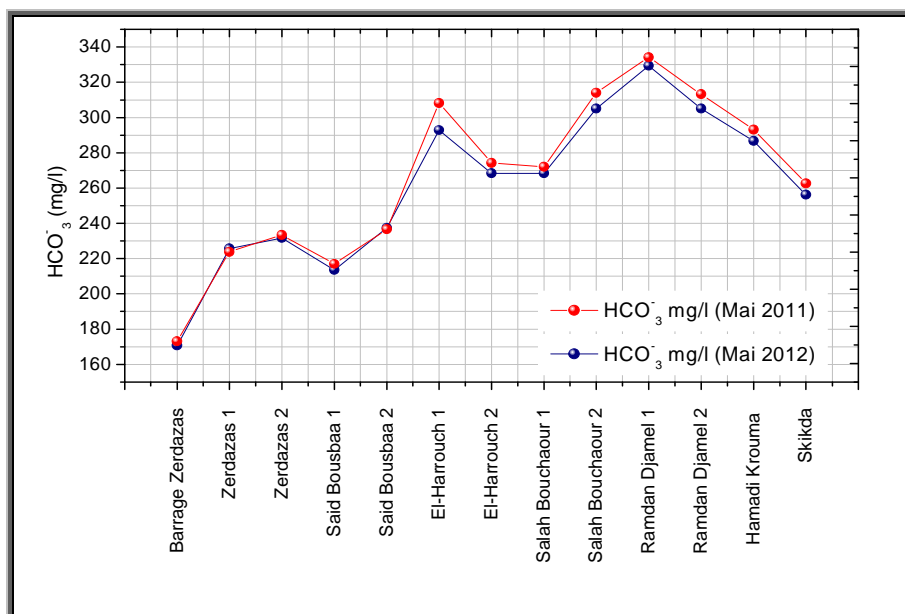


Figure 61: Evolution du HCO_3^- des eaux de surface de l'Oued Saf-Saf (Mai 2011, 2012)

4.5. Influence des eaux de surface sur la salinité des eaux souterraines :

Les analyses physico-chimiques des eaux de surfaces et souterraines du bassin versant de l'oued Saf-Saf durant les deux années d'observation 2011 et 2012, ont montré une grande variation des éléments chimiques. Mais la relation entre les eaux de surface et souterraines reste encore à approuver.

4.5.4. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ) :

a. Température (T), Conductivité (CE) et potentiel d'hydrogène :

L'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques (*Fig. 62*), montre que les eaux de surface au niveau de :

- Salah Bouchaour présente un pH alcalin (7,2 et 7,3) pour les deux prélèvements respectivement, une très forte conductivité (1169 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à Salah Bouchaour 1 et (1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à Salah Bouchaour 2 et une température comprise entre 22,5°C et 23°C. Les eaux de forages, montrent le même comportement avec des valeurs moindres, à l'exception du pH (pH entre 7,6 et 7,9). La température est comprise entre 14°C et 18°C, tandis que la conductivité oscille entre 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indiquent la contamination des eaux souterraines par les eaux de surface.
- Ramdan Djamel présente toujours un pH alcalin (7,5 à 7,9), une conductivité élevée de 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1277 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une température comprise entre 23,6 et 24,2°C. Les piézomètres, montrent un pH alcalin de l'ordre de 8,2 comme valeur maximale et 7,7 comme valeur minimale, une conductivité entre 1500 à 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ plus grande que celle des eaux de surface et une température faible entre 15 et 18°C, traduisent le contact eau-roche et aussi la contamination des eaux souterraines par les eaux de surfaces.
- La plaine de Skikda présente un pH alcalin atteint (8,2), une conductivité forte oscille entre 1005 et 1165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une température qui atteint 23,5 au maximum. Les eaux souterraines, sont observées par des températures plus élevées atteignent les 27°C, des pH de l'ordre de 7,6 qui nous donne une solution alcaline et des conductivités très élevées peuvent atteindre 2418 $\mu\text{S}/\text{cm}$, traduisent la contamination de la nappe par les eaux de surface et aussi l'influence des roches environnantes, surtout si on connaît que cette nappe est très vulnérable à la pollution.

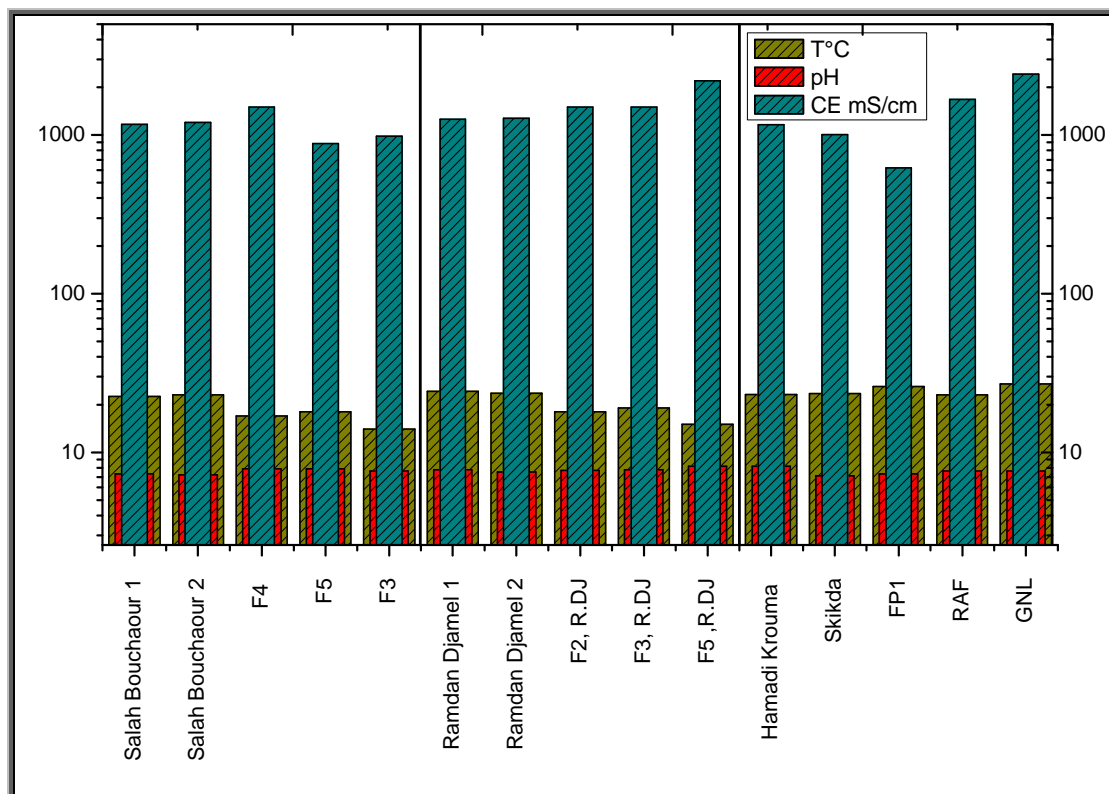


Figure 62: Evolution de la Température, de la Conductivité et du potentiel d'hydrogène

4.5.5. Les éléments majeurs :

a. Salah Bouchaour :

L'évolution des concentrations en éléments majeurs (*Fig. 63*) montre que les ions des eaux souterraines sont supérieurs à ceux des eaux de surface, à l'exception des bicarbonates au barrage de Zardezas présente une inversion de concentrations. La concentration élevée en bicarbonates est liée aux eaux usées après la précipitation des sels dissous. Par contre l'allure générale du diagramme montre le non parallélisme des teneurs entre les eaux de surface et les eaux souterraines, impliquant une corrélation forte, par conséquent une contamination de la nappe par les eaux de surface.

b. Ramdan Djamel :

L'évolution des concentrations au niveau de Ramdan Djamel (*Fig. 64*) montre que les concentrations en :

- Bicarbonates des eaux de surface sont supérieurs que celles des forages.
- Chlorure, potassium, calcium, sulfates, sodium et magnésium des eaux de surfaces, inférieurs que celles des forages.

Les grandes valeurs en élément majeurs, sont dues probablement à une contamination par les eaux de surface, infectées aux rejets domestiques et industriels.

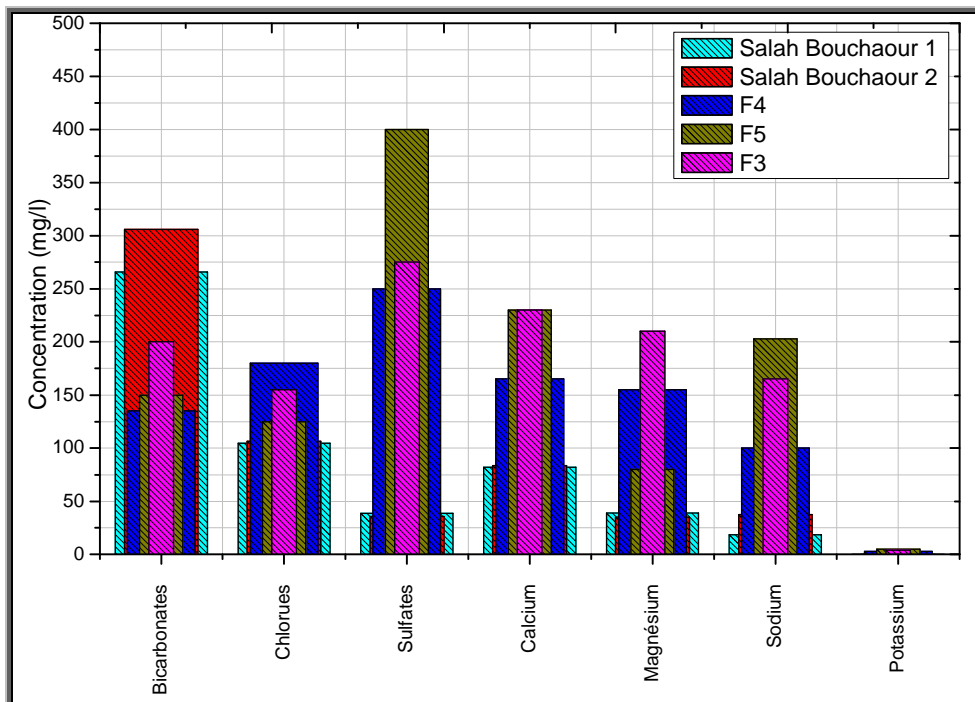


Figure 63: Evolution des éléments majeurs au niveau de Salah Bouchaour

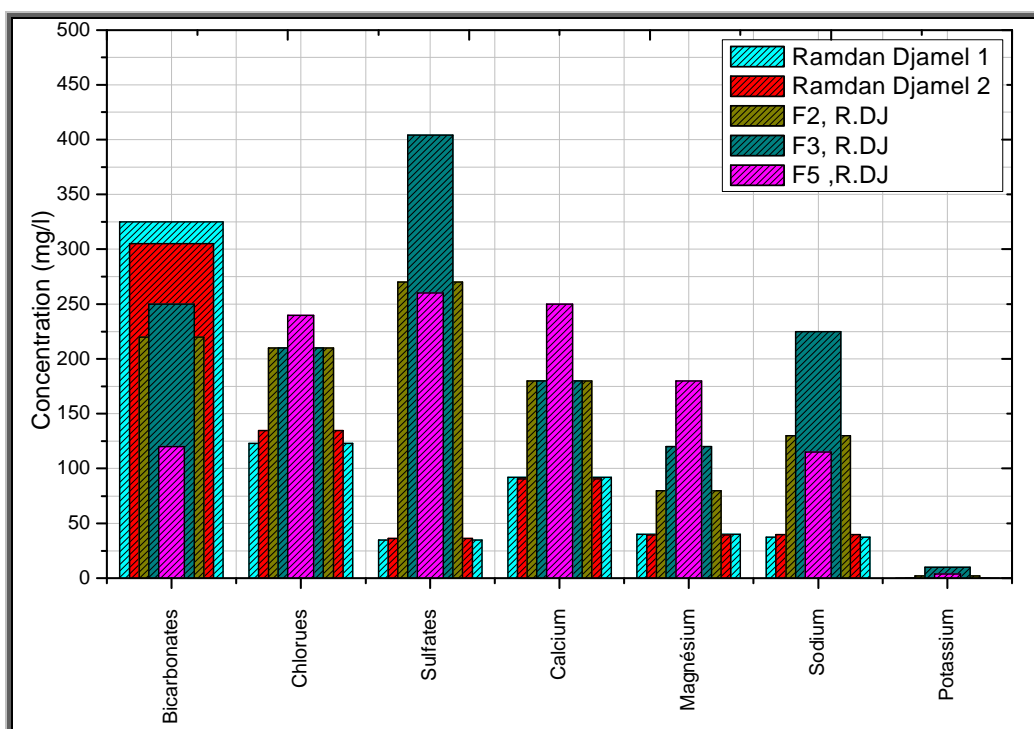


Figure 64: Evolution des éléments majeurs au niveau de Ramdan Djamel

c. Skikda :

L'évolution des concentrations en éléments majeurs au niveau des eaux de surfaces de la plaine de Skikda (*Fig. 65*), montre des concentrations en :

- Bicarbonates des eaux de surface sont supérieurs que celles des forages, à l'exception du forage (GNL), qui montre une concentration élevée que celle des eaux de surfaces.
- Chlorure, potassium, calcium, sulfates, sodium et magnésium des eaux de surfaces, inférieurs que celles des forages, surtout pour les chlorures, qui sont marqués par des concentrations très élevés.

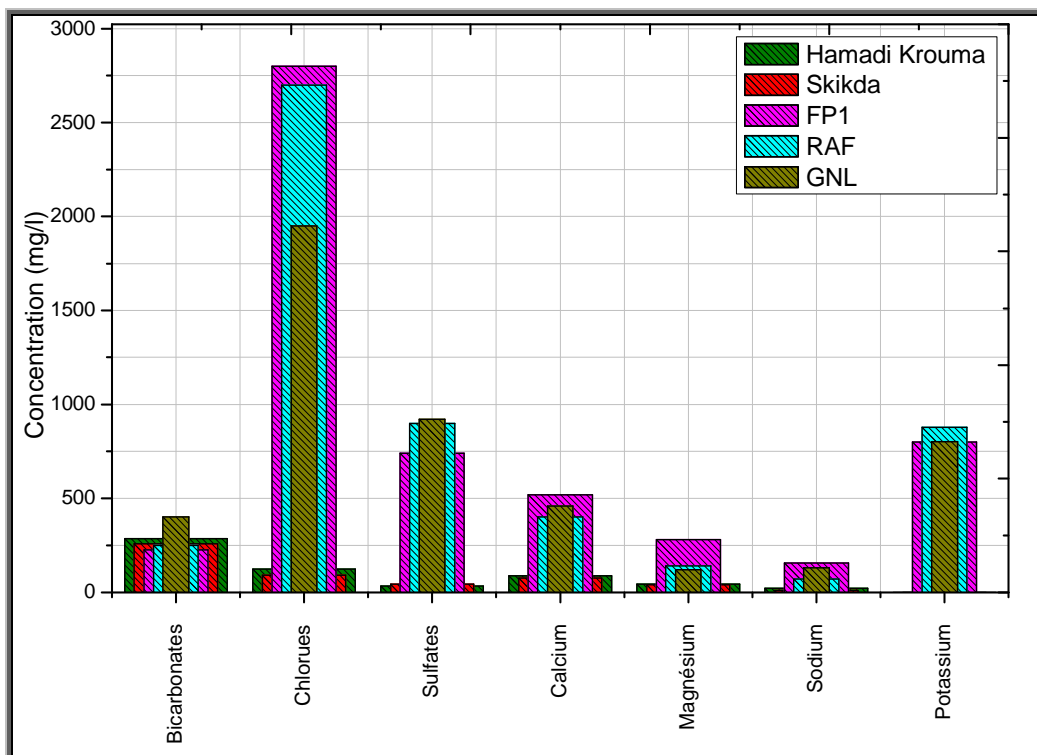


Figure 65: Evolution des éléments majeurs au niveau de Skikda.

Ici on remarque que les concentrations en éléments majeurs sont très remarquables, au niveau de la plaine, qui peut être dû à une contamination par les eaux de surface (rejets industriels et domestique) et aussi à l'utilisation des engrais chimiques.

4.6. Influence lithologique sur la salinité des eaux :

4.6.4. Les titres de l'eau :

Une représentation graphique (*Fig. 66*) de la composition de l'eau sur diagramme de Stabler, où on reporte en meq.l^{-1} les concentrations des différentes espèces, montrant ses différents titres.

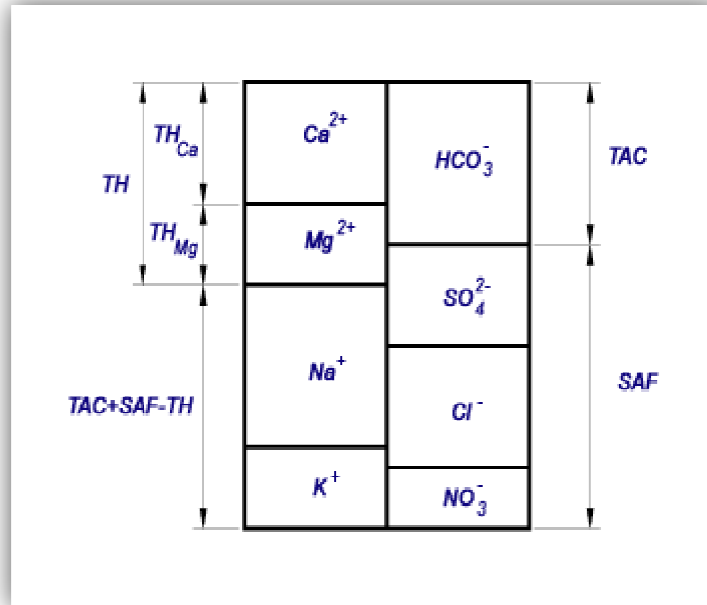


Figure 66: Les titres de l'eau.

a. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le titre alcalimétrique complet exprimera l'alcalinité totale de l'eau.

Ce titre est donné par la relation suivante :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{en meq.l}^{-1})$$

Les répartitions dans le TA et le TAC des espèces hydroxydes, carbonates, et hydrogencarbonates sont fournies dans le tableau suivant :

Tableau 17: Classification des titres alcalimétriques

Espèces	Valeurs comparées des titres alcalimétriques				
	TA=0	TA<1/2TAC	TA=1/2 TAC	TA>1/2TAC	TA=TAC
OH ⁻ =	0	0	0	2TA-TAC	TAC
CO ₃ ²⁻ =	0	2TA	TAC	2(TAC-TA)	0
HCO ₃ ⁻ =	TAC	TAC-2.TA	0	0	0

Si le pH de l'eau est : < 4.5 → TAC= 0

>8.3 → TAC= (CO₃²⁻) + (OH⁻)

<8.3 → TA =0

Les valeurs comparées des titres alcalimétriques des eaux de surfaces et souterraine du bassin versant d'oued Saf-saf fonction des valeurs de pH < 8.3 montrent que le TAC = HCO₃.

a.1. Les eaux de surfaces :

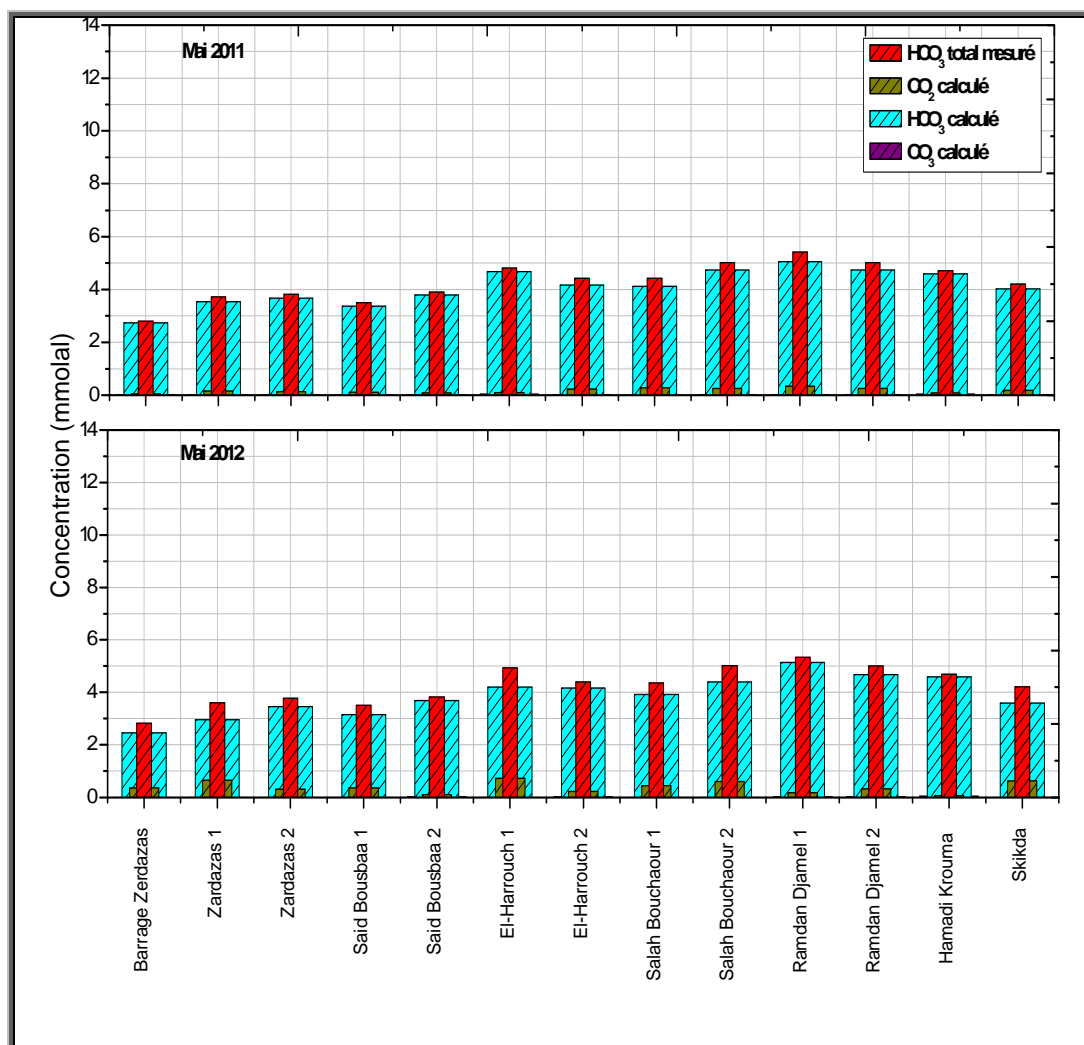


Figure 67: Evolution des Carbonates au niveau des eaux de surface.

Les bicarbonates (HCO_3) se présentent dans les eaux de surfaces (*Fig. 67*), par des concentrations fortes en bicarbonate comparativement aux autres éléments. Les valeurs les plus élevés sont au niveau de Ramdan Djamel 1.

Les carbonates (CO_3) et le dioxyde carbonique (CO_2) se présentent avec des concentrations très faibles, montrent que les concentrations $\text{CO}_2 > \text{CO}_3$ au niveau de tous les points analysés.

a.2. Les eaux souterraines :

Les bicarbonates (HCO_3) se présentent dans les eaux souterraines (*Fig. 68*), par des concentrations fortes en bicarbonate comparativement aux autres éléments. Les valeurs les plus élevés sont au niveau des forages (GNL) pour les eaux souterraines de Mai 2011, et (P5) pour les eaux souterraines de Mai 2012.

Les carbonates (CO_3) et le dioxyde carbonique (CO_2) se présentent avec des concentrations très faibles, montrent que les concentrations $\text{CO}_2 > \text{CO}_3$ au niveau de tous les points analysés, durant les deux périodes d'observation.

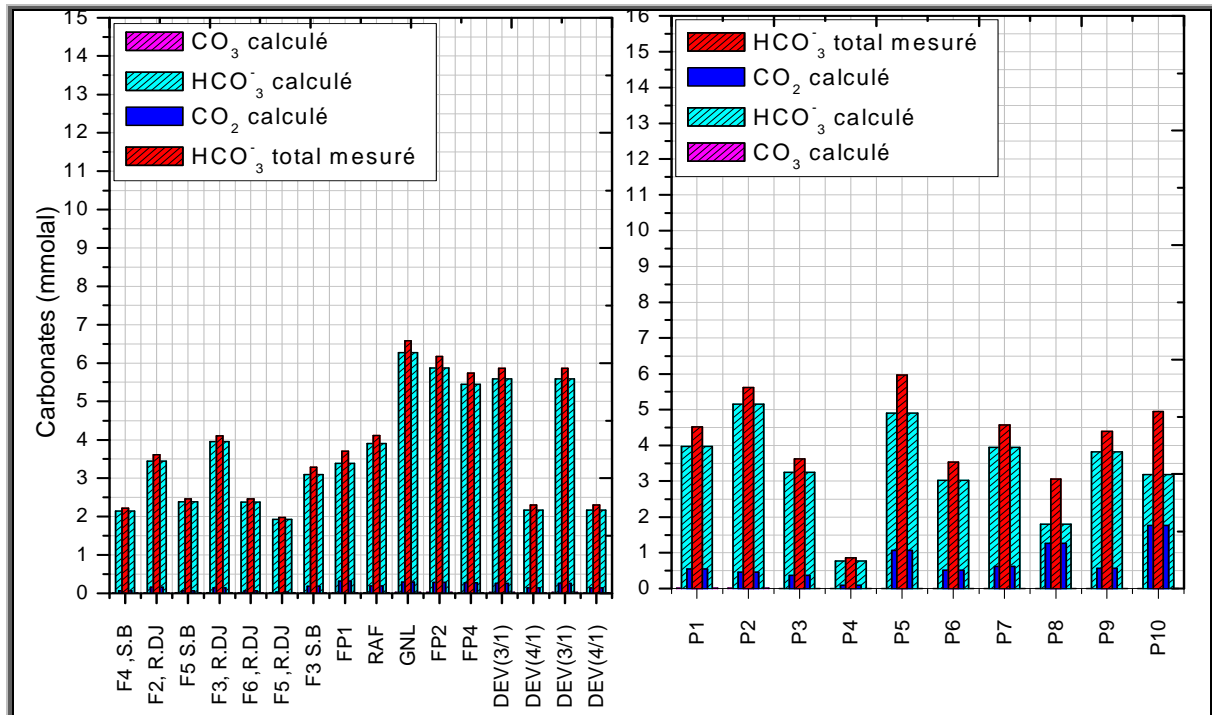


Figure 68: Evolution des Carbonates au niveau des Souterraines (Mai 2011 et 2012).

b. Titre en sels d'acides forts :

$$\text{SAF} = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] \quad (\text{en meq.l}^{-1})$$

La dénomination SAF vient de Sels d'Acides Forts.

En effet les anions cités sont présents dans les trois acides forts suivants : Acide, sulfurique, acide chlorhydrique et acide nitrique.

b.1. Les eaux de surface :

L'évolution du TAC (**Fig.69**) montre que les concentrations sont faibles et ne dépassent pas 6 meq.l^{-1} pour toutes les eaux analysées, durant les deux périodes d'observation (**Fig. 69**). Le SAF, montre des concentrations faible que celles du TAC, avec des concentrations faibles à 5 meq.l^{-1} .

Donc l'alcalinité des eaux de surface d'oued Saf-saf est carbonatée.

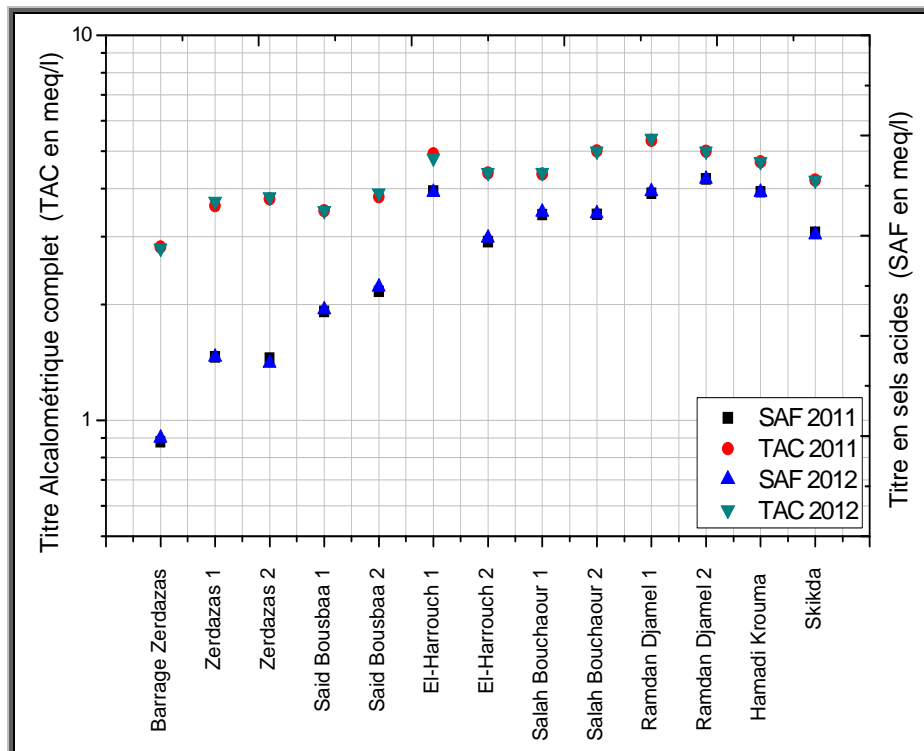


Figure 69: Evolution du TAC et SAF des eaux de surfaces (Mai 2011 et 2012).

b.2. Les eaux de souterraines :

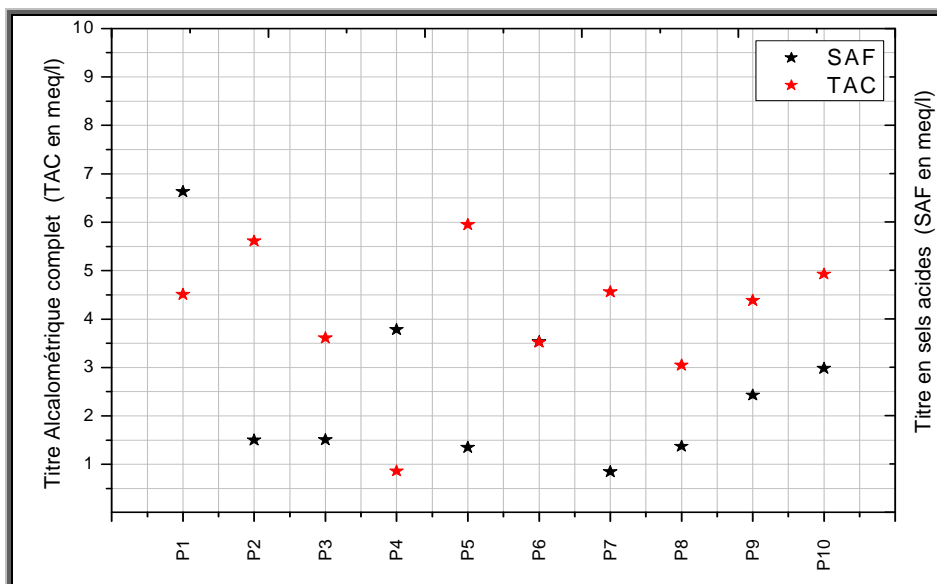


Figure 70: Evolution du TAC et SAF des eaux souterraines (Mai 2012).

L'évolution du TAC (*Fig.70*) montre que les concentrations sont faibles et ne dépassent pas 6 meq.l⁻¹ pour toutes les eaux analysées. Le SAF, montre des concentrations faibles que celles du TAC, à l'exception des deux puits (P1) et (P4) avec des concentrations atteignent à 6.60 meq.l⁻¹.

Donc l'alcalinité des eaux de surface d'oued Saf-Saf est carbonatée, sauf pour les deux puits, elle est liée aux sels dissous selon la richesse lithologique.

c. Titre hydrotimétrique (TH) :

Il mesure la concentration en ions alcalino-terreux : calcium et magnésium essentiellement.

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad (\text{en meq.l}^{-1})$$

Le titre hydrotimétrique de l'eau permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau.

d. Dureté carbonatée et non carbonatée :

Les carbonates et bicarbonates précipitent une partie des alcalino-terreux (calcium, magnésium), après une ébullition prolongée, et la quantité précipitée est liée au TAC.

La dureté liée au TAC est appelée dureté temporaire, la dureté résiduelle: dureté permanente. On préfère utiliser la notion de dureté carbonatée qu'est identique à la notion de dureté temporaire et qui est donc égale au TAC si $TH > TAC$.

d.1. Les eaux de surfaces :

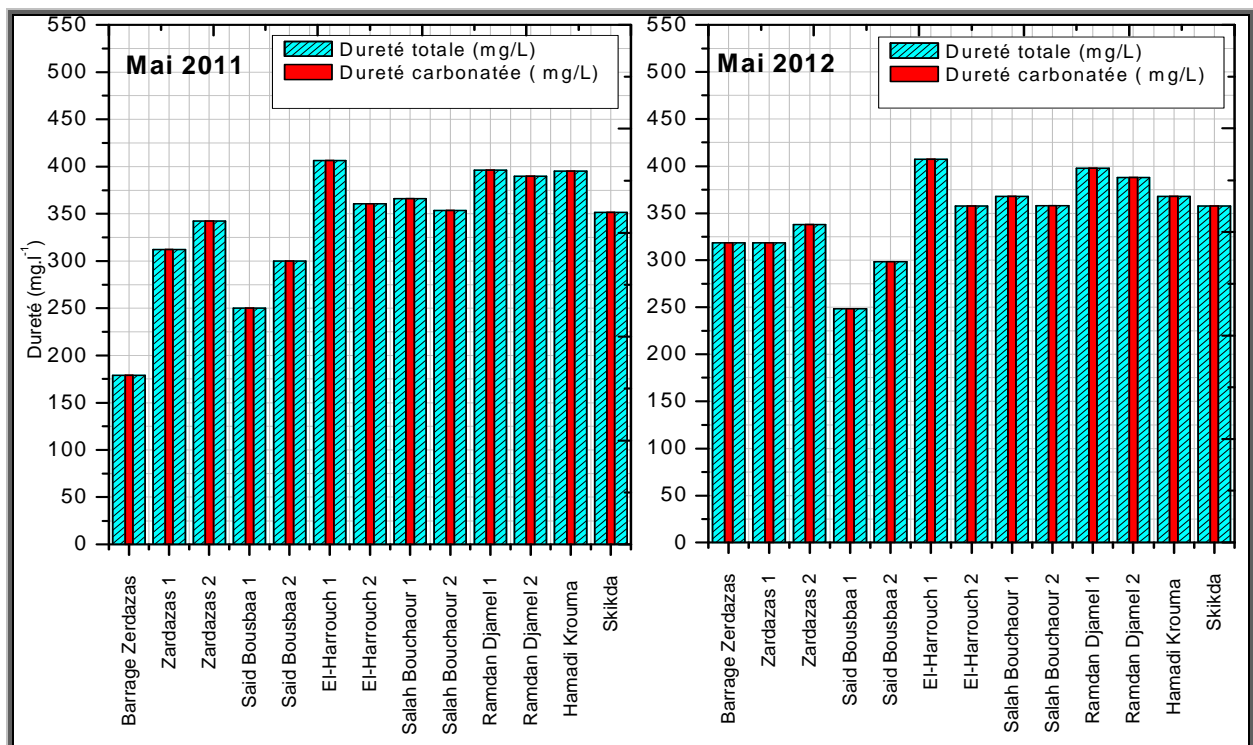


Figure 71: Evolution de la dureté au niveau de surface (Mai 2011 et 2012).

Les eaux de surface montrent des valeurs élevées de la dureté (*Fig. 71*), avec une valeur maximale à El-Harrouch 1, pour les deux périodes d'observation ($\sim 400 \text{ meq.l}^{-1}$), et une valeur minimale au niveau du barrage de Zerdzas de l'ordre de 160 meq.l^{-1} .

Les eaux de surface d'oued Saf-Saf, montrent une dureté carbonatée (dureté temporaire) égale à la dureté totale, et l'absence totale de la dureté non-carbonatée (dureté permanente). La dominance de la dureté temporaire (carbonatée) liée aux carbonates, représente la totalité de la dureté des eaux. Cela est dû essentiellement à la lithologie (sol riche en carbonates).

d.2. Les eaux souterraines :

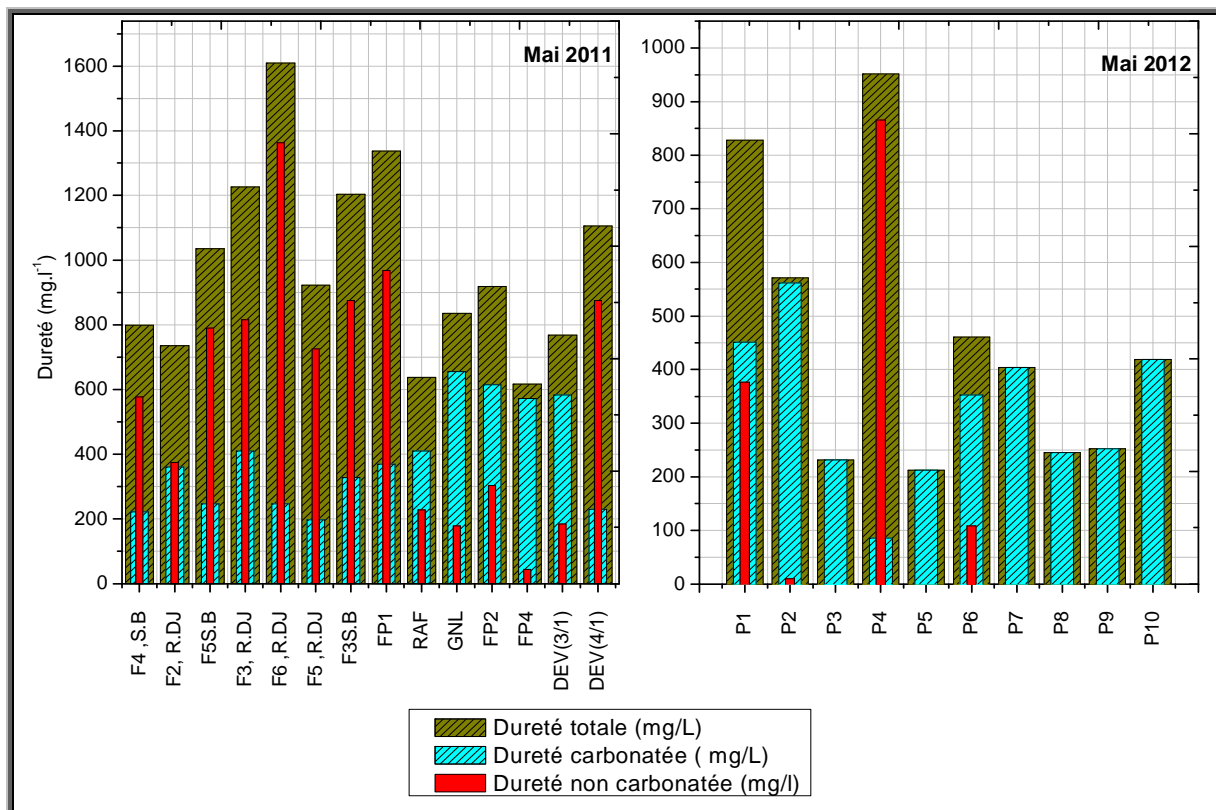


Figure 72: Evolution des Carbonates au niveau des Souterraines (Mai 2011 et 2012).

Généralement les eaux souterraines (*Fig.72*) montre que le titre hydrotimétrique TH est supérieur au titre alcalimétrique complet (TH>TAC), ce qui indique que la dureté temporaire (carbonatée) = TAC, cette dernière est très faible par rapport à la dureté totale surtout au niveau des forages situés à Salah Bouchaour et Ramdan Djamel et au forage (DEV 1/4) situé dans la plaine de Skikda.

La dureté permanente (non-carbonatée) liée aux sels d'acides forts, représente presque la totalité de la dureté des eaux souterraines étudiées, à l'exception de quatre forges (GNL, FP2,

FP4, DEV (1/4) et DEV (1/3)), par contre elle est moindre pour une majorité de la Dureté carbonatée au niveau des puits de la région étudiée. Cela est dû essentiellement à la lithologie (sol remanié riche en débris en évaporites) et eaux de la nappe profonde.

4.6.5. La dissolution /précipitation :

4.6.5.1. Les eaux de surfaces :

a. Les carbonates :

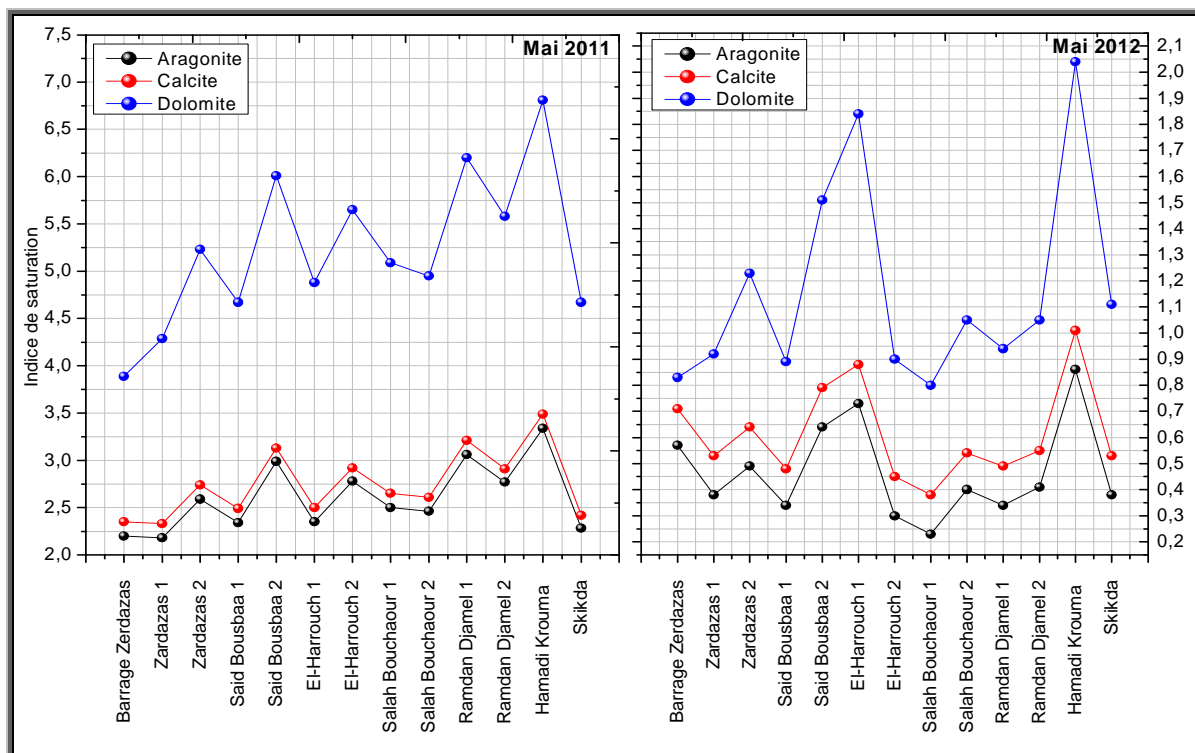


Figure 73:Indice de saturation des carbonates (Mai 2011 et 2012)

Les minéraux carbonatés sont sursaturés et tendent à se précipiter sous forme d'Aragonite, de Calcite et surtout de Dolomite (**Fig.73**). L'indice de saturation des carbonates des eaux de surface d'oued Saf-Saf montre que ces eaux sont tous sursaturées durant les deux périodes d'observation. La dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ montre un indice de saturation plus élevé que ceux de la calcite (CaCO_3) et l'aragonite (CaCO_3) dans toute la section étudiée et pour les deux périodes, surtout au niveau de la région d'El-Harrouch et de Hammadi Krouma là où on observe les valeurs les plus élevées. La saturation en carbonates dépend principalement de la concentration en bicarbonates (HCO_3^-).

b. Les sulfates :

Pour les eaux de surface de Mai 2011 (**Fig. 74**), on note que les indices de saturations vis-à-vis du gypse ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et d'anhydrite (Ca SO_4) montrent une sursaturation en ce qui concerne le gypse, tandis que ces eaux sont sous-saturées via l'anhydrite avec des piques loins de l'équilibre dans les eaux de (Said Bousbaa 1 et 2, El-Harrouch 1, Salah Bouchaour 2, Ramdan Djamel 1 et Hamadi Krouma), et une saturation pour les autres points analysés.

Par contre les eaux de surfaces de mai 2012 (**Fig.74**), montrent une sous-saturation, soit pour l'anhydrite, soit pour le gypse en montrant des piques loin de l'équilibre dans toute la région étudiée, ce qui provoque une précipitation sous forme de gypse et d'anhydrite pour les eaux présentant un faciès sulfaté – calcique.

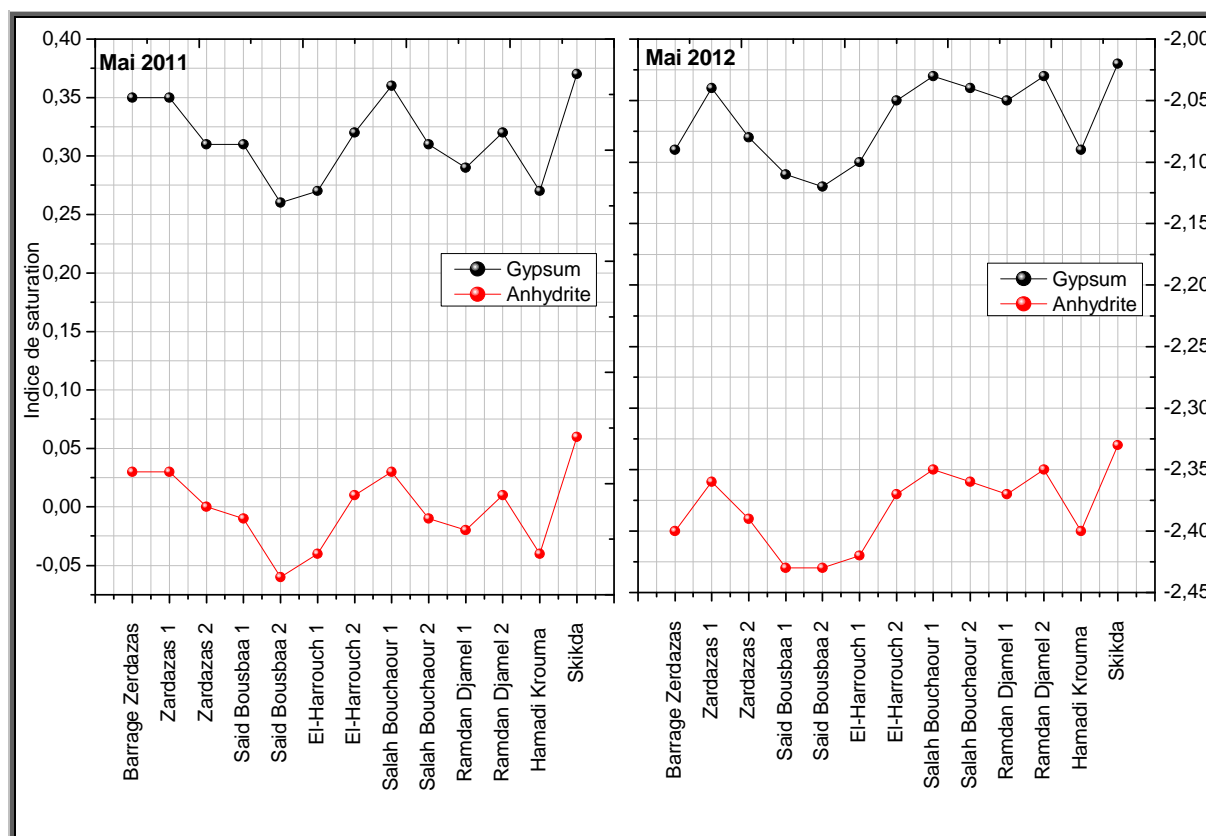


Figure 74: Indice de saturation des sulfates (Mai 2011 et 2012)

c. Les chlorures :

Les eaux de surface de la région possèdent un indice de saturation très faible par rapport à la halite et la sylvite pour les deux périodes d'observation (**Fig.75**), tan disque ces minéraux sont sous-saturés et très loin de l'équilibre, surtout la sylvite qu'est marqué par les valeurs les plus faibles. Les sels d'halite et de la sylvite diluée rapidement dans l'eau et se concentrer par

évaporation, l'absence de cette dernière et la dissolution rapide de ces sels dans l'eau entraînant un enrichissement des eaux en sodium et en chlorures.

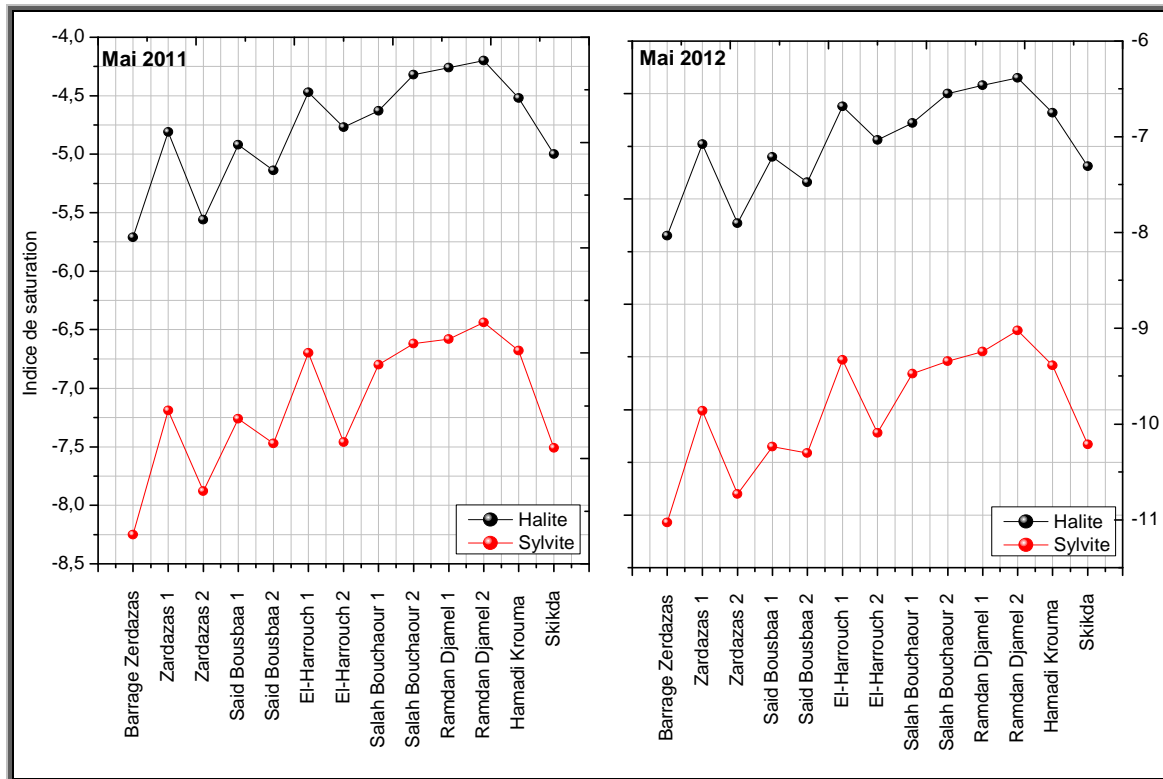


Figure 75: Indice de saturation des Chlorures (Mai 2011 et 2012).

d. Les phosphates :

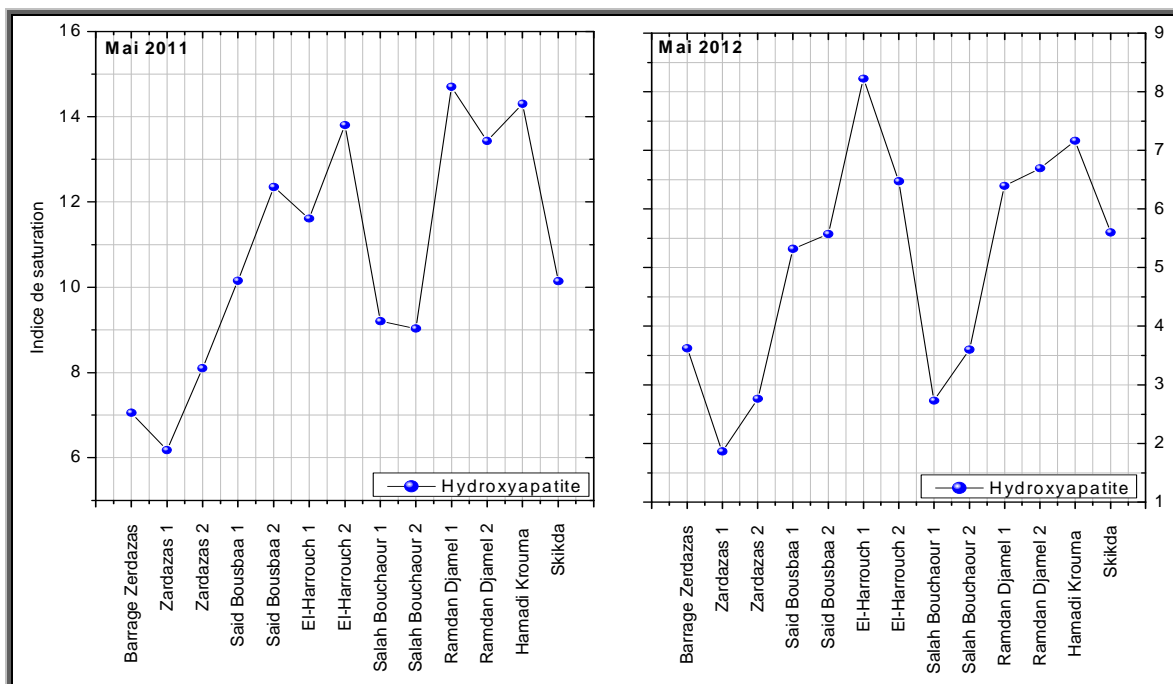


Figure 76: Indice de saturation des Phosphates (Mai 2011 et 2012)

Les indices de saturations des Phosphates (*Fig. 76*) montrent que les eaux de surface d'oued Saf-Saf sont sursaturées dans tous les échantillons prélevés de l'amont jusqu'à l'aval. L'hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, prend des valeurs faibles à l'amont, puis ces valeurs augmentent le long du cours d'eau à l'exception d'El-Harrouch, cette sursaturation est due à la concentration élevée en phosphate PO_4^- et en calcium.

e. Les spéciations de plomb :

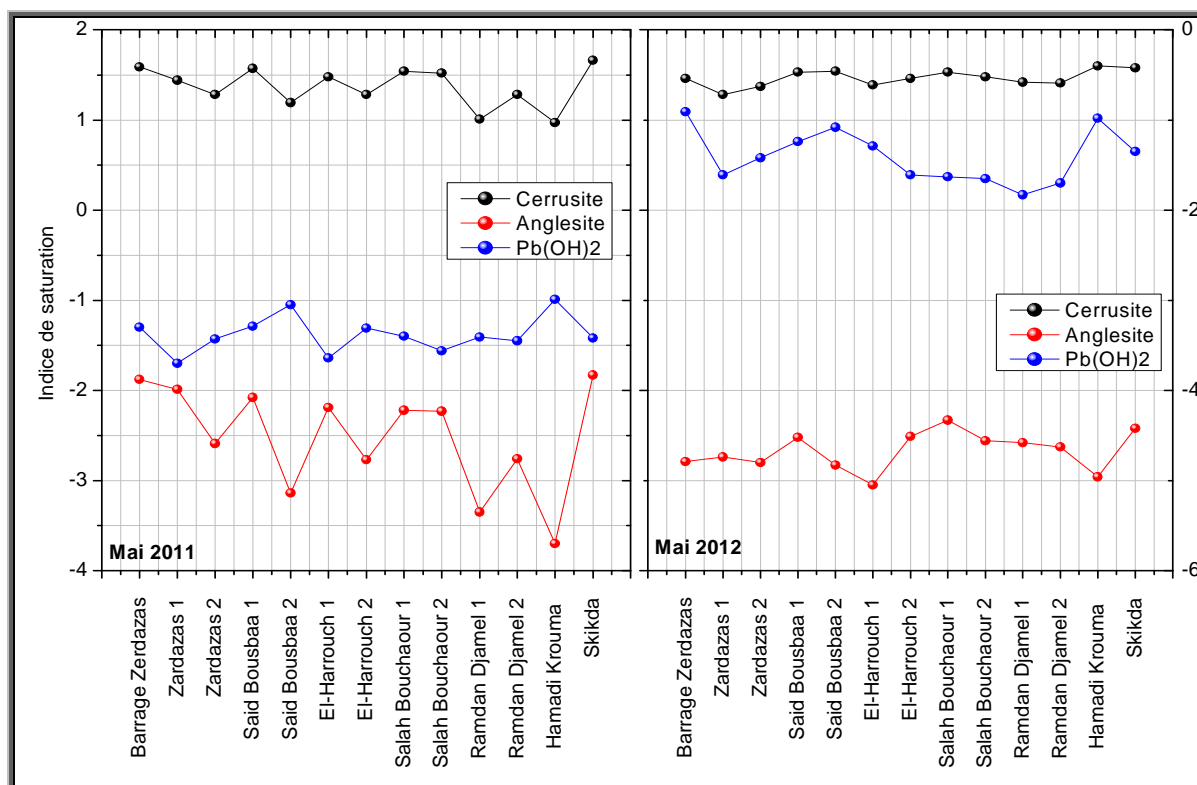


Figure 77: Indice de saturation des spéciations du Plomb (Mai 2011 et 2012)

Trois minéraux sont observés, la cérusite (PbCO_3), l'anglesite (PbSO_4) et l'hydroxyde de plomb Pb(OH)_2 . Les indices de saturation des composés de plomb de Mai 2011 (*Fig. 77*) montrent des piquets sous-saturés via l'anglesite et l'hydroxyde de plomb dans tous les échantillons étudiés, notamment pour l'anglesite et une sursaturation vis-à-vis la cérusite. La sursaturation en cérusite est due à la richesse des eaux de surface d'oued Saf-Saf en bicarbonate (HCO_3^-). Par contre les eaux de surface de Mai 2012 (*Fig. 77*), montrent des piquets sous-saturés pour les trois minéraux dans toutes les eaux analysées, cette sous-saturation implique une dissolution des spéciations de plomb.

Le plomb est une substance toxique et il n'existe pas de seuil sous lequel l'exposition au plomb serait sans danger.

f. Les gaz dissous :

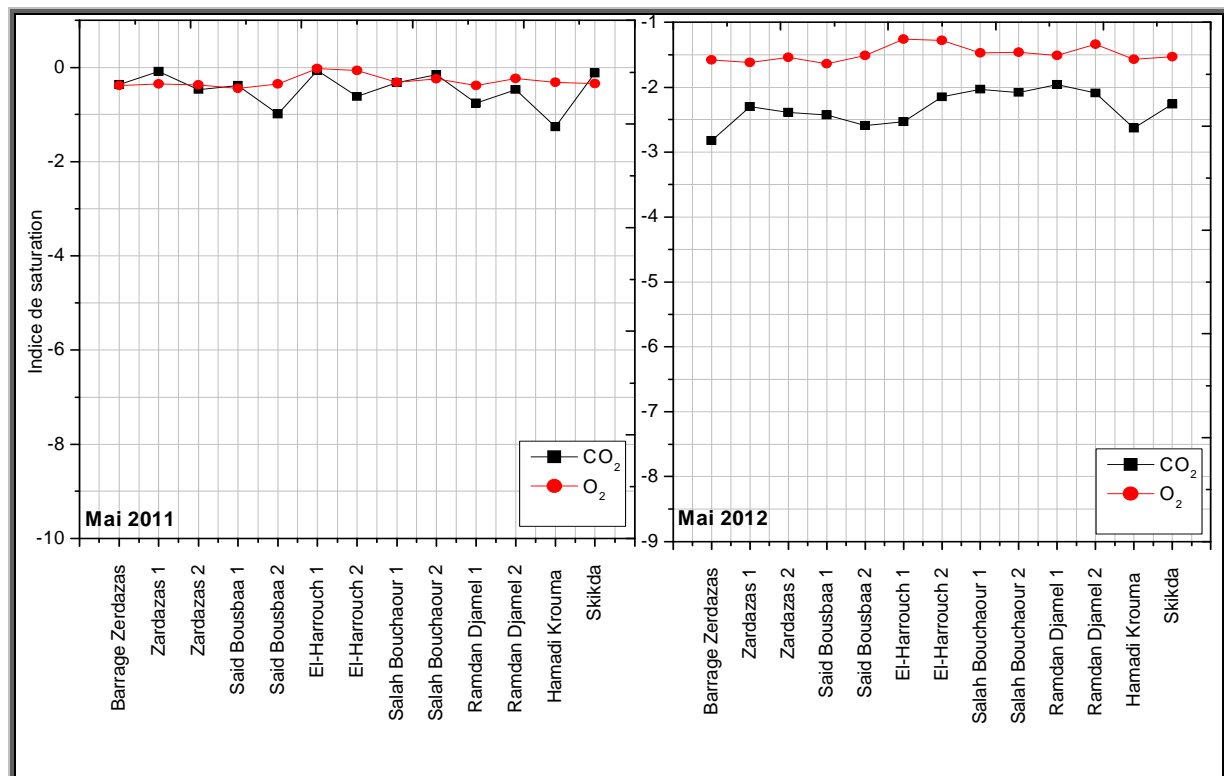


Figure 78: Indice de saturation des Gaz dissous (Mai 2011 et 2012).

L'indice de saturation en CO₂ et O₂ (*Fig. 78*) montre une sous-saturation vis-à-vis l'oxygène et le dioxyde de carbone vu le milieu riche en bicarbonates, mais on note que les eaux de Zardzas 1, montrent une saturation via le CO₂ se qui favorise la dissolution des calcaires est conduite vers une richesse de plus en plus en bicarbonates et les eaux d'El-Harrouch 1, montrent un équilibre entre l'oxygène dissous et le dioxyde de carbone qui se trouvent presque saturés. Durant le jour, les plantes, les algues et certaines bactéries utilisent les rayons solaires et le gaz carbonique (CO₂) afin de fabriquer leur nourriture. Ce processus complexe, qu'on appelle photosynthèse, libère de l'oxygène dans l'eau. Durant la nuit, la photosynthèse s'interrompt et la production d'oxygène s'arrête, mais les organismes continuent de respirer.

4.5.2.1. Les eaux souterraines :

a. Les carbonates :

Les minéraux carbonatés sont sursaturés et tendent à se précipiter sous forme d'Aragonite, de Calcite et surtout de Dolomite (*Fig. 79*). L'indice de saturation des carbonates des eaux

souterraines du bassin d’oued Saf-Saf montre que ces eaux sont tous sursaturées durant les deux périodes d’observation. La dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ montre un indice de saturation plus élevé que ceux de la calcite (CaCO_3) et l’aragonite (CaCO_3) dans toute la section étudiée, surtout au niveau du puits (P2) là où on observe les valeurs les plus élevées. La saturation en carbonates dépend principalement de la concentration en bicarbonates (HCO_3)

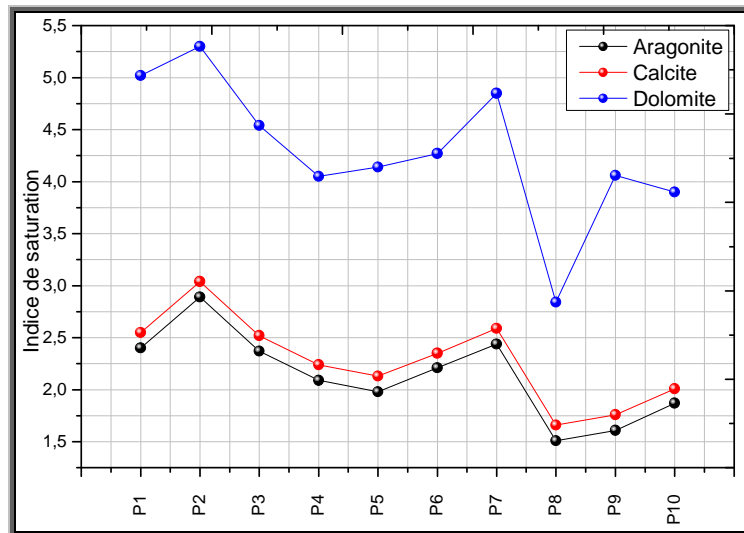


Figure 79: Indice de saturation des carbonates des eaux souterraines (Mai 2012).

b. Les sulfates :

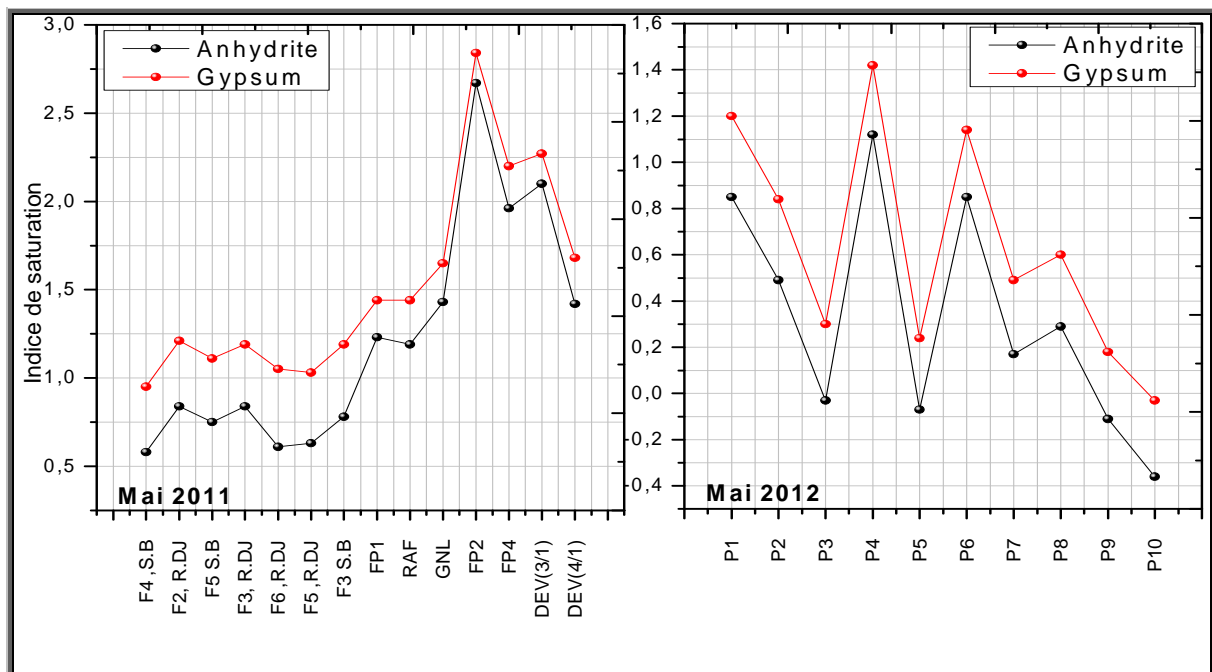


Figure 80: Indice de saturation des sulfates (Mai 2011 et 2012).

Pour les eaux souterraines de Mai 2011 (*Fig. 80*), on note que les indices de saturations vis-à-vis du gypse et d'anhydrite, montrent une sursaturation, surtout au niveau du forage (FP2). Pour les eaux souterraines de Mai 2012 (*Fig.80*), on observe une sursaturation en gypse et anhydrite, sauf pour (P3, P5, P9 et P10) en ce qui concerne l'anhydrite et (P10) pour le gypse. Cette saturation est due à la forte concentration en Sulfates (SO_4^-) dans tous les forages et puits. Cette qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et d'Anhydrite pour les eaux présentant un faciès sulfaté – calcique.

c. Les chlorures :

Les indices de saturation en Halite et Sylvite (*Fig. 81*), montrent que les eaux de la région sont sous saturées par rapport à la halite (NaCl) et la Sylvite (KCl), ce qui provoque sa dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en sodium, en chlorures et en Potassium.

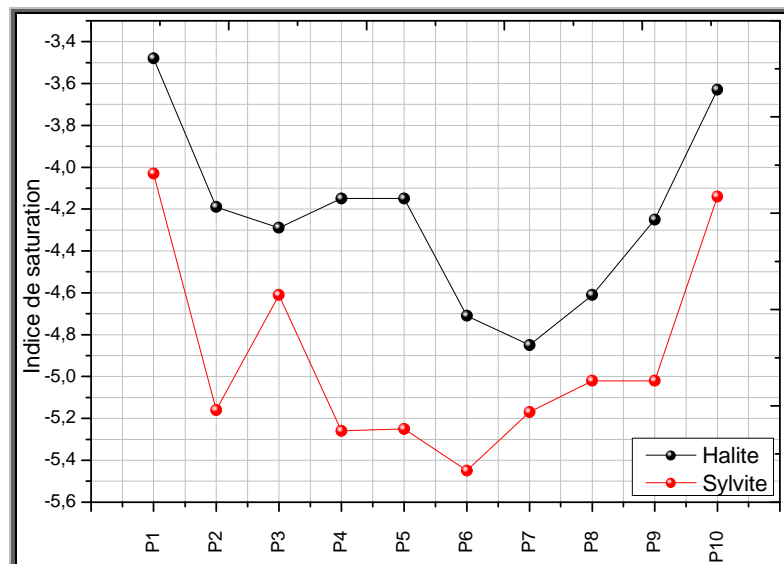


Figure 81:Indice de saturation des Chlorures des eaux souterraines (Mai 2012)

d. Les phosphates :

Les indices de saturations des Phosphates (*Fig. 82*) montrent que les eaux souterraines sont sursaturées dans tous les échantillons analysés. L'hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, prend une valeur faible au puits (P10), et un maximum au puits (P4), cette sursaturation est due à la concentration élevée en phosphate PO_4^- et en calcium.

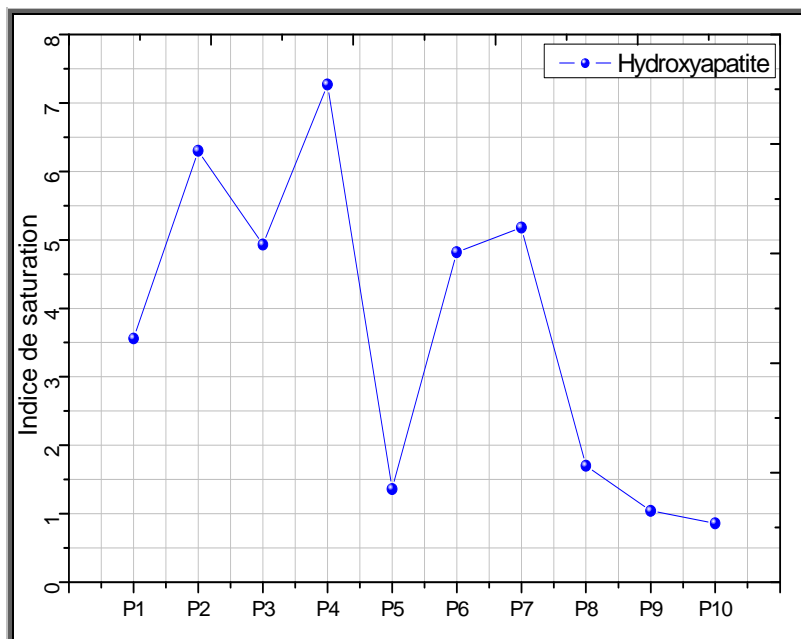


Figure 82: Indice de saturation des Phosphates des eaux souterraines (Mai 2012)

e. Spéciations de Manganèse (Mn) :

Les indices de saturation en manganèses (*Fig. 83*), montrent des piquets sous saturés, soit pour l'hausmannite, le manganite, pyrochroite et la pyrolusite, ce qui provoque sa dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en manganèse, oxygène et en hydrogène.

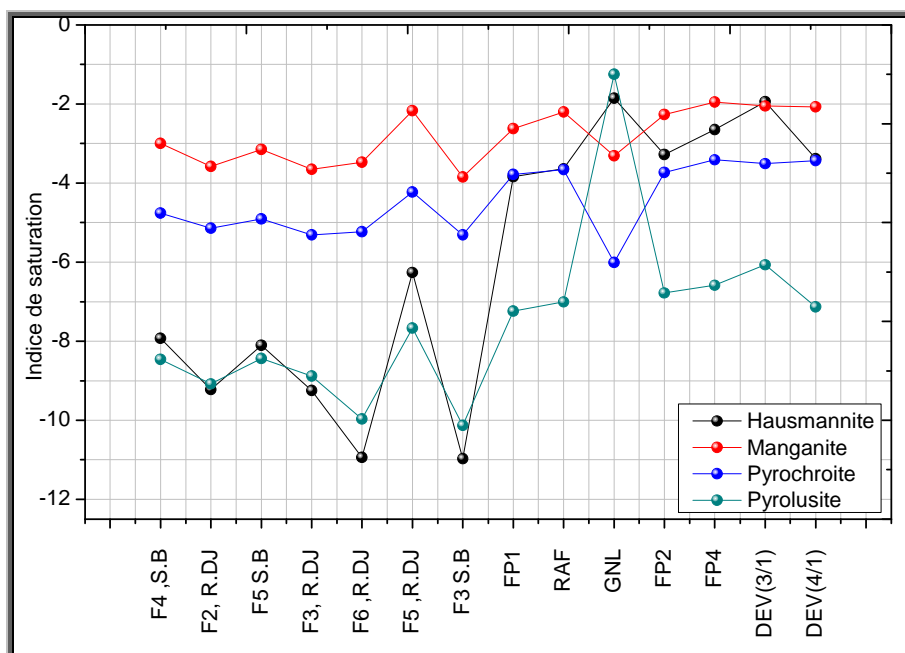


Figure 83: Indice de saturation des Manganèses des eaux souterraines (Mai 2012)

f. Les Gaz dissous :

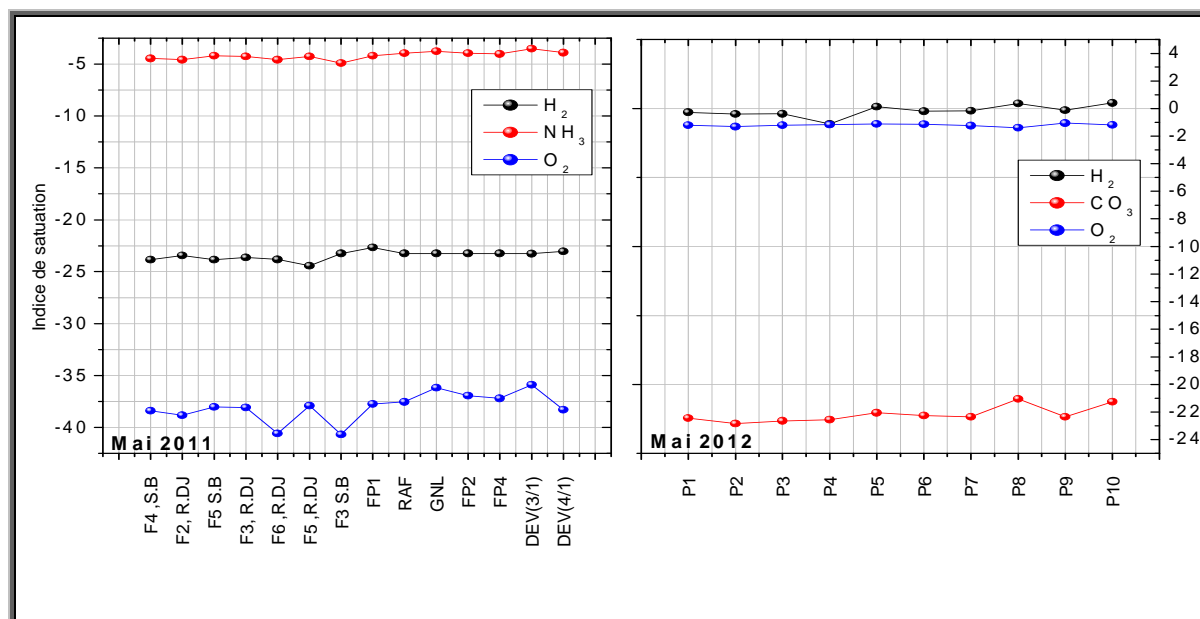


Figure 84: Indice de saturation des Gaz dissous (Mai 2011 et 2012)

Pour les souterraine de Ma 2011 (*Fig. 84*), l'indice de saturation en gazs dissous, montre que l'oxygène est sous saturé et la même remarque pour le dihydrogène (H₂) et l'ammoniac (NH₃). On note que l'ammoniac est le minérale le plus proche de la saturation.

Pour les eaux souterraines da Mai 2012 l'indice de saturation en CO₂, O₂ et NH₃ (*Fig. 84*) montre une sous saturation pour le dioxyde de carbone et l'oxygène vue le milieu riche en bicarbonates et une saturation via l'ammoniac au niveau des puits (P5, P6, P7, P8, P9 et P10) et une sous saturation aux puits (P1, P2, P3 et P5).

4.6. Diagramme de concentration :

On représente les analyses dans des diagrammes de concentration par le logarithme des molalités (mécq.l⁻¹) en ordonnée et le logarithme des facteurs de concentration en abscisse. Le facteur de concentration des eaux (FC) peut être estimé grâce au rapport entre la teneur en Cl⁻ d'une eau et la valeur minimale de teneur en Cl⁻ de la base de données. Ceci permettra un classement relatif des échantillons les uns par rapport aux autres (Barbière et al, 1992).

L'ion chlorure (Cl⁻) est un bon indicateur de l'état de concentration d'une eau, puisque cet ion ne précipite qu'à des forces ioniques plus élevées.

4.6.1. Diagramme de concentration des éléments majeurs :

Le faciès carbonaté est dominant dans les eaux de surface prélevées à oued Saf-saf. La concentration de l'alcalinité carbonatée dans les eaux de la région peut provenir de la dissolution des calcaires ou des dolomies présents tous les deux dans la zone d'étude. On note que l'alcalinité carbonatée évolue avec la concentration globale et semble être prélevée de la solution pour participer à des dissolutions dès le départ (*Fig. 85*).

Lorsque les eaux se concentrent, les teneurs en calcium augmentent, l'alcalinité (Alc) augmente puis diminue conformément à la loi de l'alcalinité résiduelle (Tardy, 1980). Tant que les eaux sont sous saturées par rapport à la calcite, Ca^{+2} et Alc peuvent augmenter simultanément. Lorsque l'équilibre avec ce minéral est atteint, la teneur en Ca^{+2} augmente et l'alcalinité diminue car $\text{Ca}^{+2} > \text{Alc}$, alcalinité résiduelle calcite positive (Rodier, 1984).

Le calcium est moins important que les carbonates mais il est marqué par une évolution plus rapide que le facteur de concentration au début, puis l'évolution du facteur de concentration devient plus important que lui. L'importance de l'ion calcium par rapport aux bicarbonates indique un excès de ce dernier dans les eaux de la région, dû probablement à une autre origine que les carbonates (le gypse par exemple).

Le sodium est marqué par une évolution importante avec le facteur de concentration. Ceci peut être expliqué par une dissolution simultanée des chlorures et du sodium issus de la même origine ; on parle ici de l'halite qui est marquée par un indice de saturation compris entre -8.35 et -6.85, donc sous-saturée.

La teneur en Mg^{+2} augmente mais légèrement moins que le facteur de concentration et les sulfates restent presque stables. Ce résultat suggère une légère adsorption de Mg^{+2} par le complexe argilo humique et donc une augmentation du rapport $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ adsorbé (Ouardi et al., 2014).

Le potassium, montre des concentrations très faibles. Il est remarqué cependant par une importante augmentation à certains échantillons (participation à des précipitations probable de la Sylvite (KCl) puis un apport de cet élément qui fait augmenter sa concentration) et une diminution pour d'autres échantillons. D'une manière générale l'évolution du potassium reste très lente que le facteur de concentration.

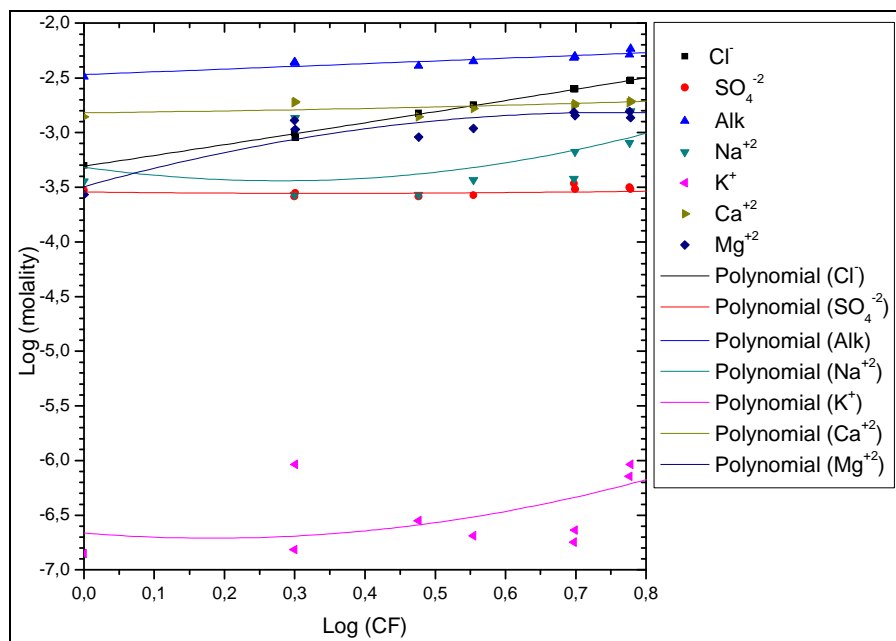


Figure 85: Diagramme de concentration des éléments majeurs

4.6.2. Diagramme de concentration des Nutriments :

La figure 86 indique une parfaite évolution des sels d'ammonium NH_4^+ , l'ammoniac NH_3^+ et de l'ion phosphate PO_4^{-3} avec le facteur de concentration à part quelques échantillons. Les phosphates sont considérés comme le principal responsable du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface. Cette importance concentration en PO_4^{-3} est due principalement à la sursaturation en hydroxyapatite marqué par un indice de saturation compris entre 1.86 et 8.22. Au vu de la grande concentration en NH_3^+ et l'évolution parfaite du CO_2 (**Fig.86**), les eaux de surface étudiées deviennent empoisonnées.

Pour les nitrates NO_3^- et le nitrite NO_2^- , on remarque une diminution de l'évolution de ces derniers avec le facteur de concentration. Pour les nitrites et l'ammonium leur présence dans l'eau serait liée au processus de dénitrification par consommation de l'oxygène. La concentration en ammonium s'accroît lorsque l'eau contient une forte teneur en CO_2 et une faible teneur en O_2 comme dans le cas de la figure 87. En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène (Gaujous, 1995). L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique et la présence d'ammonium en quantité importante est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle.

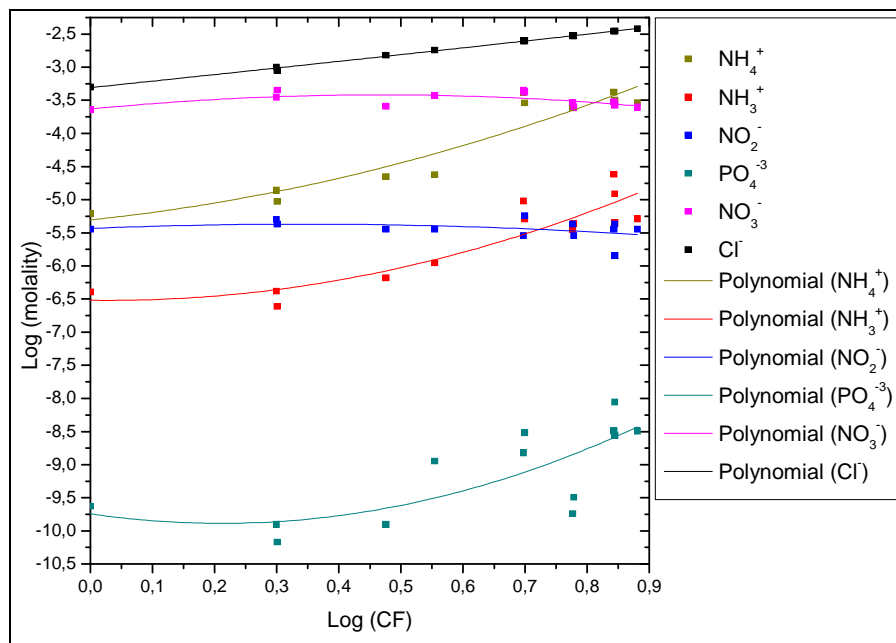


Figure 86: Diagramme de concentration des Nutriments.

4.6.3. Diagramme de concentration des carbonates et des métaux :

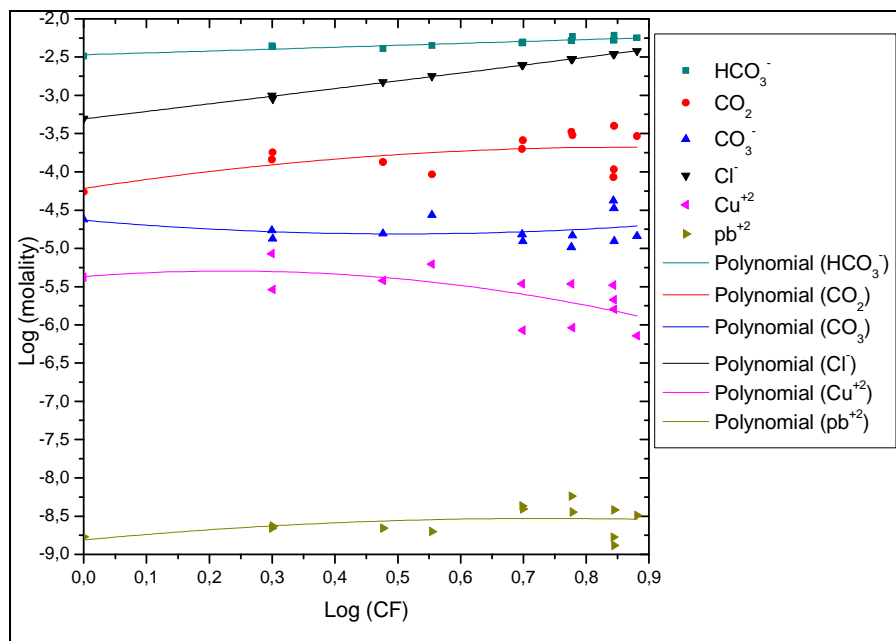


Figure 87: Diagramme de concentration des carbonates et des métaux.

La teneur en bicarbonates HCO_3^- augmente plus rapidement que le facteur de concentration. Celle-ci est due à la dissolution des calcaires et des dolomies et la dominance du faciès carbonaté des eaux de surface. L'évolution de l'ion CO_3^- est due essentiellement à la présence

de ce dernier dans les composés de l'aragonite CaCO_3 , de la Calcite CaCO_3 et la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ qui sont marquées par un indice de saturation sursaturés.

Le gaz carbonique CO_2 est marqué par une évolution avec le facteur de concentration. Cette évolution dépend soit de la décomposition des plantes et poissons morts qui sont réduits par les bactéries, soit de la respiration des poissons qui relâchent beaucoup de CO_2 .

En ce qui concerne les métaux, le cuivre (Cu) montre une diminution de l'évolution avec le facteur de concentration, mais malheureusement ce n'est pas le cas pour le plomb (Pb) qui est marqué par une évolution tangible due certainement à la dissolution de la Cérusite (PbCO_3) et de l'Anglésite (PbSO_4).

Le plomb est une substance toxique et il n'existe pas de seuil sous lequel l'exposition au plomb serait sans danger.

4.7. Diagramme d'équilibre eau-calcite :

La pCO_2 des eaux des rivières est généralement en équilibre avec l'atmosphère par contre une pCO_2 plus élevée ($\text{Log pCO}_2 > -1.5$) est le résultat d'une circulation profonde des eaux souterraines, ayant eu une interaction avec les carbonates (Thilagavathi et al ; 2012).

On remarque que la sursaturation en calcite augmente lorsque la pCO_2 diminue (**Fig.88**), ce phénomène a déjà été observé dans la littérature (Dosso, 1980 et Valles, 1987)

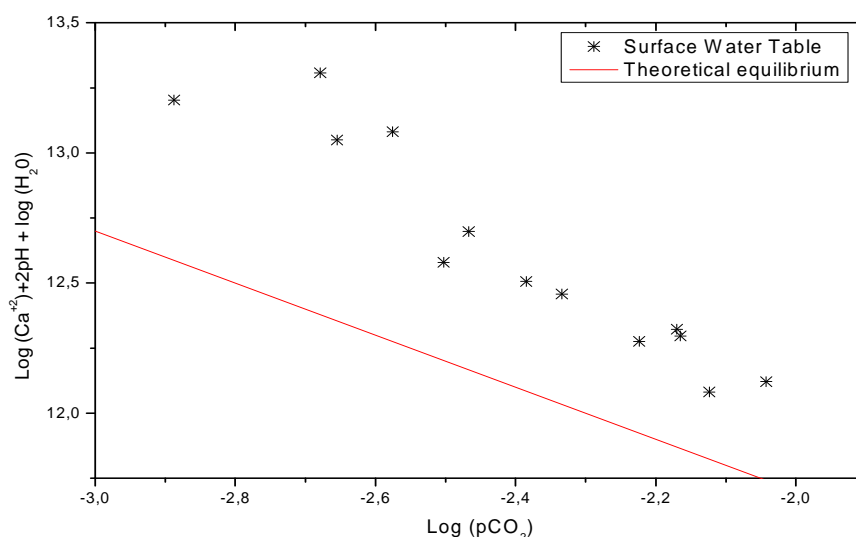


Figure 88: Diagramme d'équilibre eau – calcite

4.8. Indice de stabilité des minéraux carbonatés selon le pH :

Les indices de stabilité des principaux minéraux carbonatés (Aragonite, Calcite et Dolomite) montrent que ces derniers sont à l'état d'équilibre. Cet état des minéraux carbonatés indique que l'eau a subi des changements importants suite à un dégazage du CO_2 . Ceci induit une précipitation d'une partie des minéraux carbonatés (Djidi et al, 2008).

Les indices de saturation de la Calcite, l'Aragonite et la Dolomite augmentent régulièrement avec le pH (*Fig. 89a*). L'alcalinité produite par la dissolution des carbonates est la cause principale de l'augmentation du pH. Les IS de ces minéraux suivent une tendance linéaire positive ce qui permet de dire que les phases minérales sont en train de changer avec une tendance similaire suite au même processus hydrogéochimique (*Fig. 89b*).

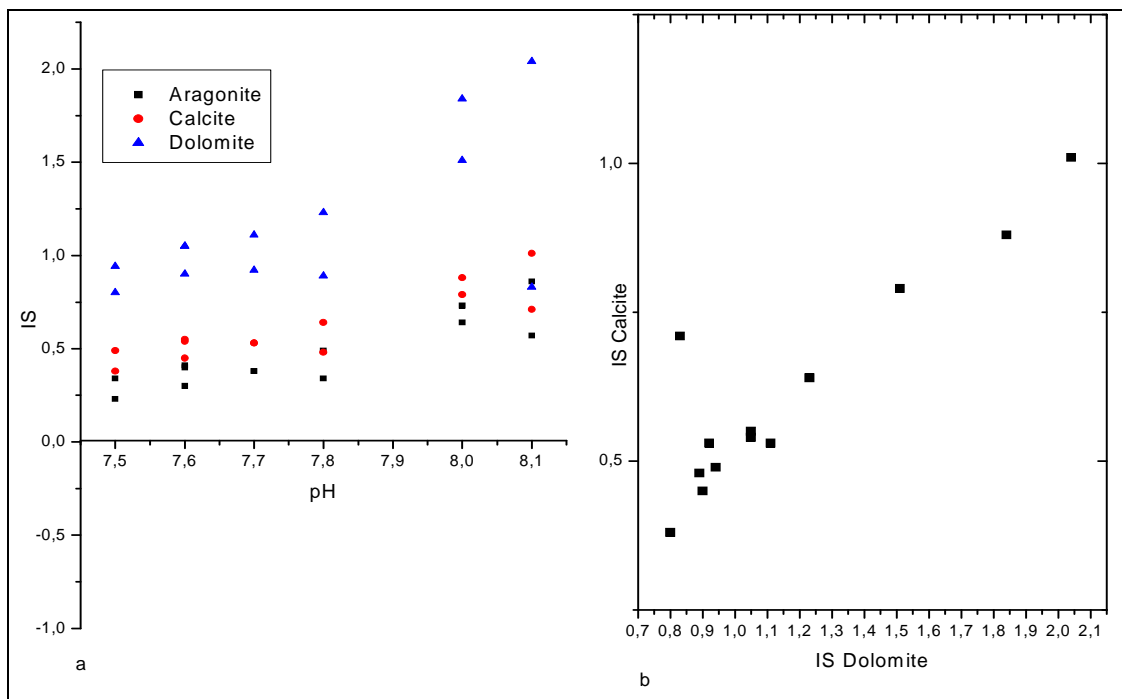


Figure 89: Variation de l'indice de stabilité des minéraux carbonatés selon le pH.

4.9. Relation Log (Pco_2) vs IS calcite et IS dolomite :

Afin d'apporter des précisions sur le processus hydrochimiques de la région d'étude, une utilisation de la pression partielle du gaz carbonique (PCO_2) associé à celle du pH et l'indice de saturation de la Calcite et de la Dolomite est souvent très nécessaire.

Les liaisons $\log(\text{PCO}_2)$ et $\text{IS}_{\text{calcite}}$ et $\log(\text{PCO}_2)$ et $\text{IS}_{\text{dolomite}}$ permettent de constater que tous les échantillons étant sursaturés et tant à précipiter (*Fig.90*).

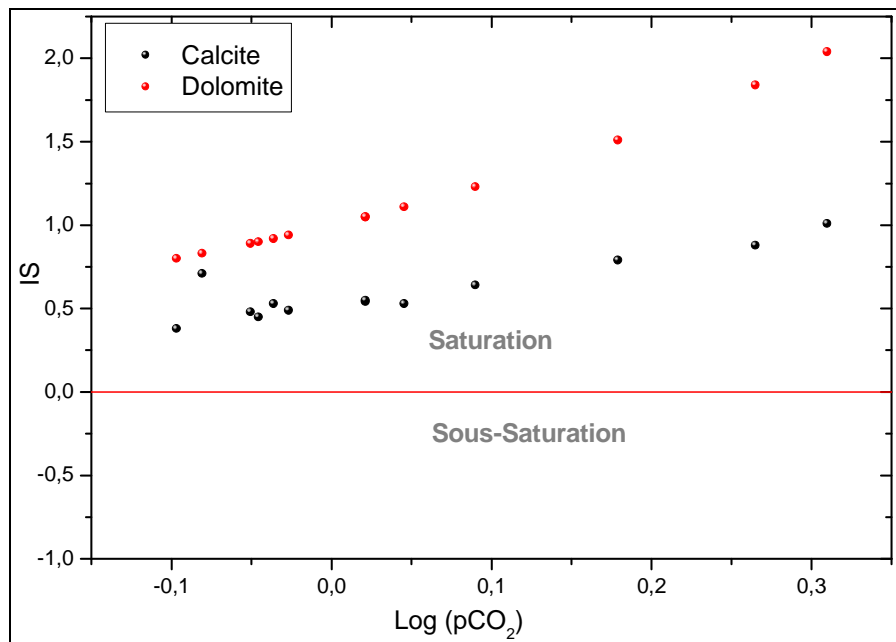


Figure 90: Relation Log (Pco₂) vs IS Calcite et IS Dolomite appliquée aux eaux de surface

4.10. Les échanges de base :

4.10.1. Les eaux de surfaces :

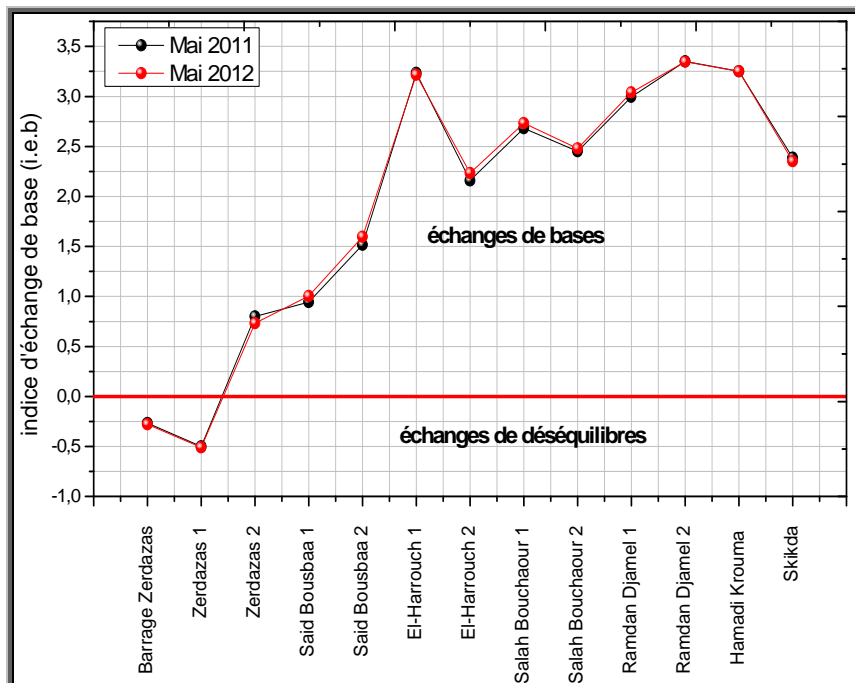


Figure 91: Indice d'échange de bases des eaux de surfaces (Mai 2011, Mai 2012)

Les indices de change de bases des deux périodes d'observation (**Fig. 91**) montrent que la majorité des échanges aux niveaux des eaux de surface sont des échanges de bases, qui sont due généralement à la richesse du sol en argile et en matière organique, sauf au niveau du Barrage de Zardezas et Zardezas 1, les échanges sont des échanges de déséquilibres, qui sont due à la richesse en matière salifères.

4.10.2. Les eaux souterraines :

Les indices de change de bases des eaux souterraines de Mai 2011 (**Fig. 92**) montrent que la totalité des échanges aux niveaux des eaux souterraines sont des échanges de bases, qui sont due généralement à la richesse du sol en argile et en matière organique. Par contre les eaux souterraines de Mai 2012 (**Fig. 92**), montrent des échanges de déséquilibres, qui sont due à la richesse en matière salifères et la pauvreté en argile.

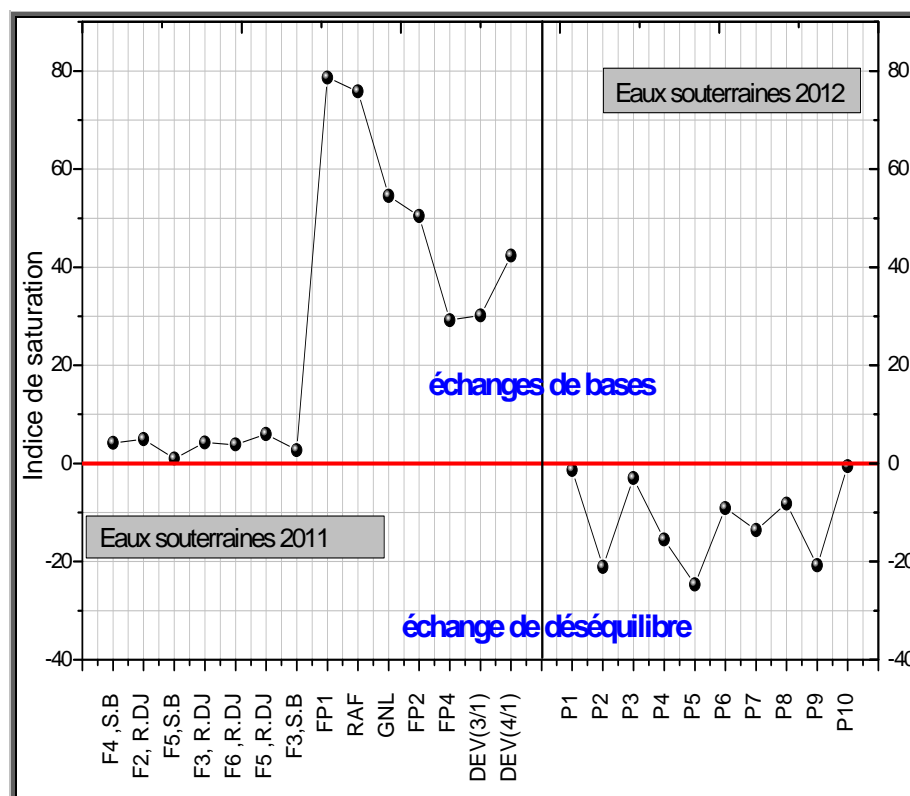


Figure 92: Indice d'échange de bases des eaux souterraines (Mai 2011, Mai 2012).

5. La pollution organique :

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (ordures ménagères, excréments), agricoles (lisiers) ou industriels (papeterie, tanneries, abattoirs, laiteries, huileries, sucreries...), lorsque ceux-ci sont rejetés sans traitement préalable (M. Nogaret, 2014).

Les fertilisants agricoles comme les nitrates, les pesticides et les phosphates proviennent du drainage et du lessivage des terres arables et contaminent les eaux souterraines.

La pollution microbiologique est une autre forme de pollution organique. L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (Lounnas, 2008).

Les bactéries attaquent les matériaux organiques, par conséquent, on assiste à un processus oxydant qui réduit les composés organiques en composés inorganiques stables comme le CO_2 , l' H_2O et le NH_3 .

5.1. Les nutriments :

Les écosystèmes aquatiques et les activités anthropiques (fertilisation, rejets urbains...) sont les facteurs principaux de l'augmentation des nutriments dans les rivières, notamment l'azote et le phosphore (Howarth et al, 1996), principaux nutriments favorisent le phénomène d'eutrophisation (Smith et al, 1999, Anderson et al. 2002, Ma et al. 2008).

5.1.1. L'oxygène dissous (O_2) :

L'atmosphère et la photosynthèse, sont les deux sources les plus importantes d'oxygène dans le milieu aquatique, alors que la consommation est faite par la respiration des communautés biologiques (Edwards et Owens, 1965).

Selon IBGE (2005), plus la concentration en oxygène dissous (OD) n'est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande :

- Une valeur inférieure à 1 mg d' O_2 par litre indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible.

- Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
- Une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible.
- Une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité ;
- Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense.

L'évolution des teneurs en oxygènes dissous dans les deux périodes d'observation pour les eaux de surface (**Fig. 93**) montre des faibles teneurs, surtout en amont est plus exactement au niveau de Said Bousbaa 1, là où on observe la faible teneur en oxygène 0.91 mg/l en 2011 et 0.96mg/l en 2012. Ceci admet une contamination des eaux de surface par consommation de l'oxygène dissous.

Pour les eaux souterraines (**Fig. 93**), la teneur en oxygène dissous est très faible que celle des eaux de surface avec une concentration qui oscille entre 0.1 mg/l et 0.2 mg/l, donc le milieu est réducteur.

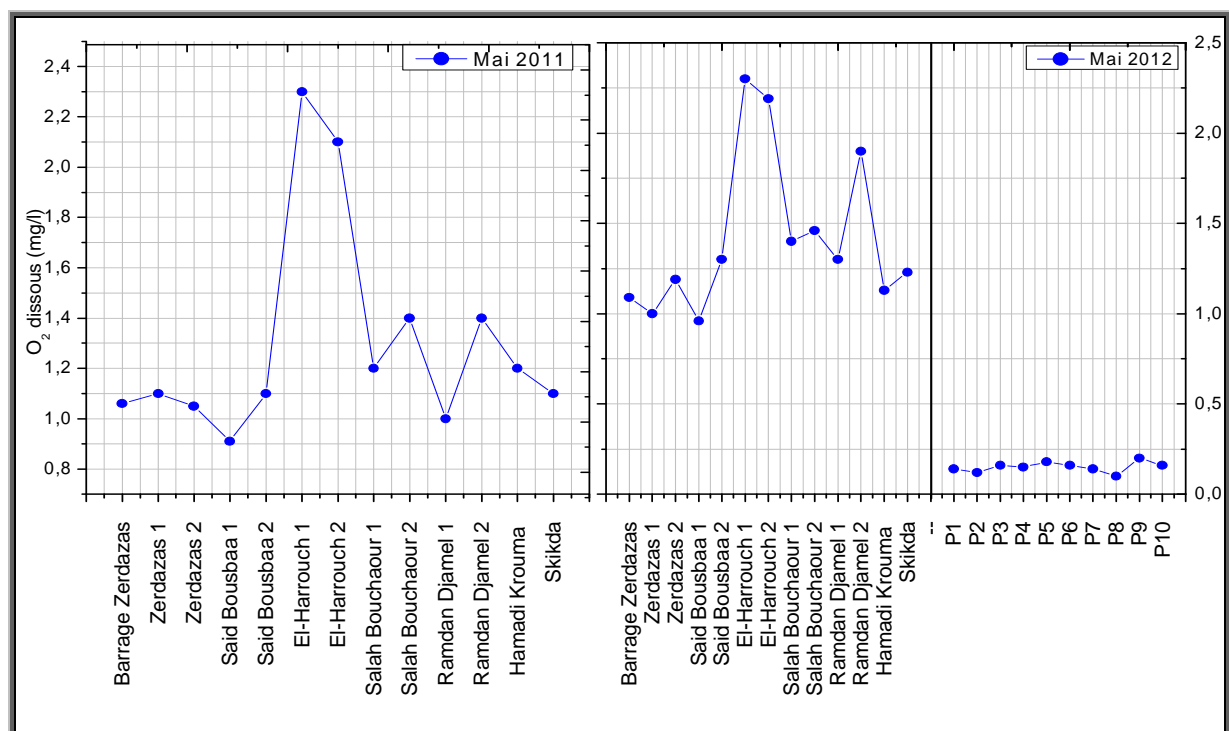


Figure 93: Variation de l'O₂ des eaux de surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines (Mai 2012)

Les valeurs en oxygène sont très faibles, soit pour les eaux de surface, soit pour les eaux souterraines ce qui traduit la richesse des eaux usée en matière organiques, donc la consommation de l'oxygène par les micro-organismes.

5.1.2. Les nitrates :

Le nitrate est la forme oxydée de l'azote qui est la plus stable, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. Le nitrate étant un sel très soluble dans l'eau, très mobile dans le sol, pénètre dans la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser. (Kemoukh, 2007).

Les eaux de surface des deux périodes d'observation (**Fig. 94**) ont des valeurs faibles en nitrates qui ne dépassent pas 7 mg/l, surtout au niveau du barrage de Zerdazas qui est marqué par la valeur la plus basse 3.1mg/l. Pour les eaux souterraines (**Fig. 94**) les concentrations en nitrates sont très faible que celles des eaux souterraines avec des concentrations proches de 0 mg/l pour les puits (P3, P4, P5, P6, P7) et une valeur maximale au niveau du puits (P2) 3mg/l.

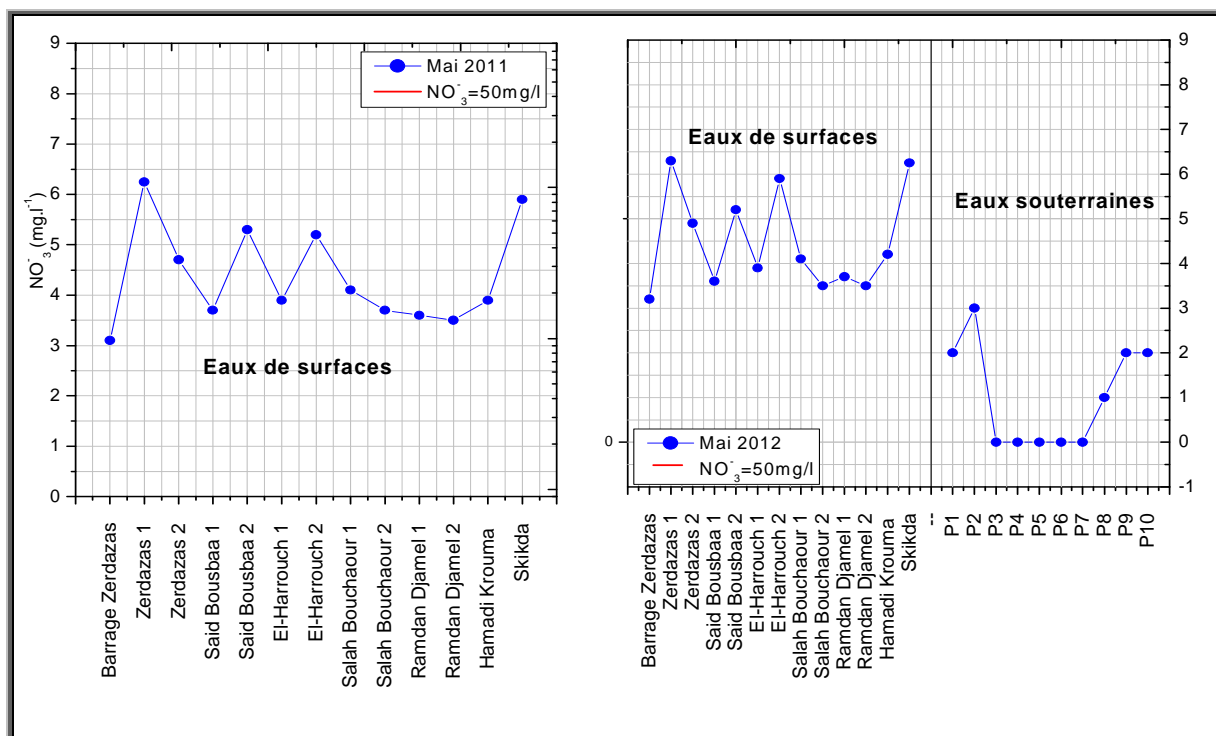


Figure 94: Variation des nitrates Eaux de Surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines (Mai 2012)

5.1.3. Les nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates. Peu stable en rivière, on ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation ou de la flore bactérienne de la rivière.

Les eaux de surface des deux périodes d'observation (**Fig. 95**) ont des valeurs faibles en nitrites qui ne dépassent pas les normes 0.1 mg/l, sachant que la valeur la plus faible est observée au niveau de Ramdan Djamel 1 avec une concentration de 0.01 mg/l. Pour les eaux souterraines (**Fig.95**) on remarque des concentrations en nitrites oscillent entre 0.01mg/l (P10) et 0.06 mg/l (P2).

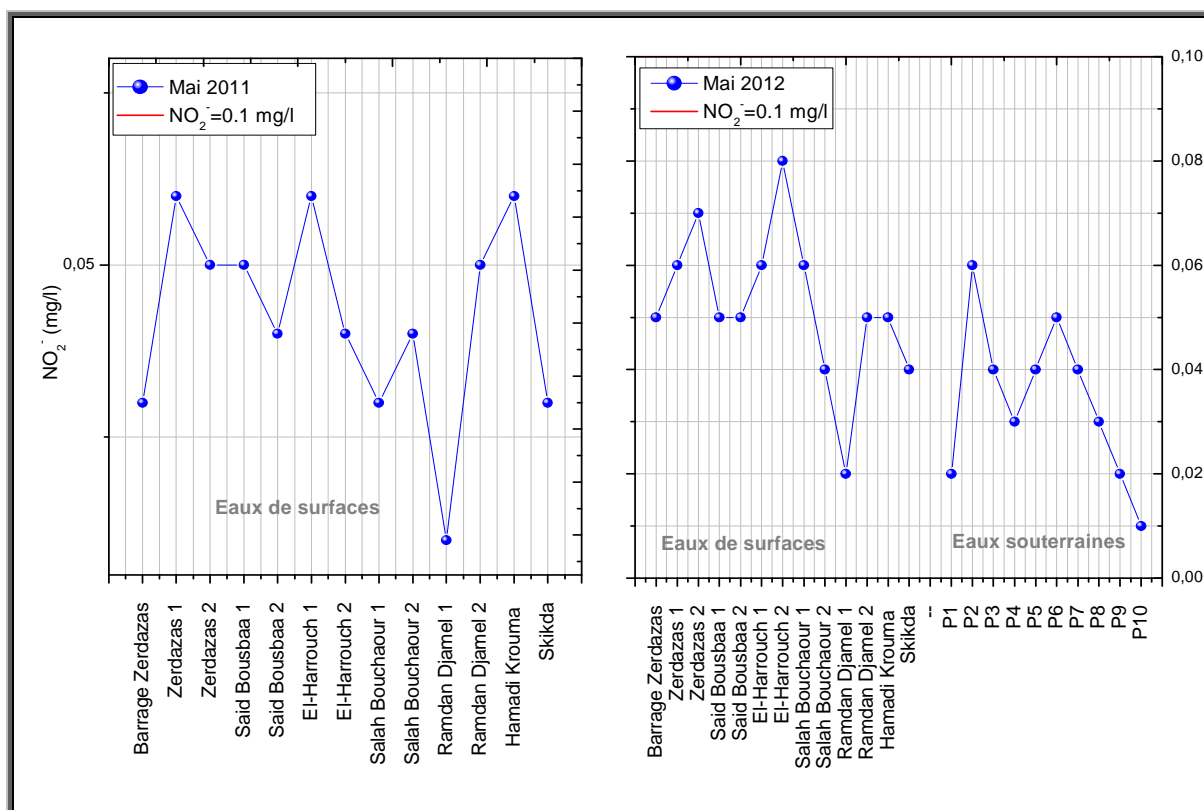


Figure 95: Variation des nitrites eau de surface (Mai 2011 et 2012) et souterraines

(Mai 2012)

5.1.4. L'ammonium (NH_4^+) :

On trouve l'azote ammoniacal (NH_3 et NH_4^+) dans les eaux polluées à cause de la biodégradation des protéines des acides aminés de l'urée ; sa présence indique une pollution récente, il est graduellement oxydé en nitrites, puis en nitrates. L'ammonium est la forme

d'azote la plus toxique et La présence d'ammonium en quantité importante est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. (OFEV, 2010).

Pour l'ammonium nous n'avons que les analyses de surface (**Fig. 96**). Pour les eaux de surface de mai 2011, on note des valeurs très faible en ammonium de l'amont jusqu'à l'aval avec des concentrations allant de 0.01 mg/l à 0.05 mg/l. Par contre les eaux de surfaces de Mai 2012, montrent une augmentation de la concentration dans tous les points analysés, surtout au niveau de Hamadi Krouma, là où on observe une concentration de 6.2 mg/l. L'ammonium est dû à la réduction des nitrates et nitrites provenant des engrais chimiques et pesticides utilisées en agriculture le long d'oued Saf-Saf.

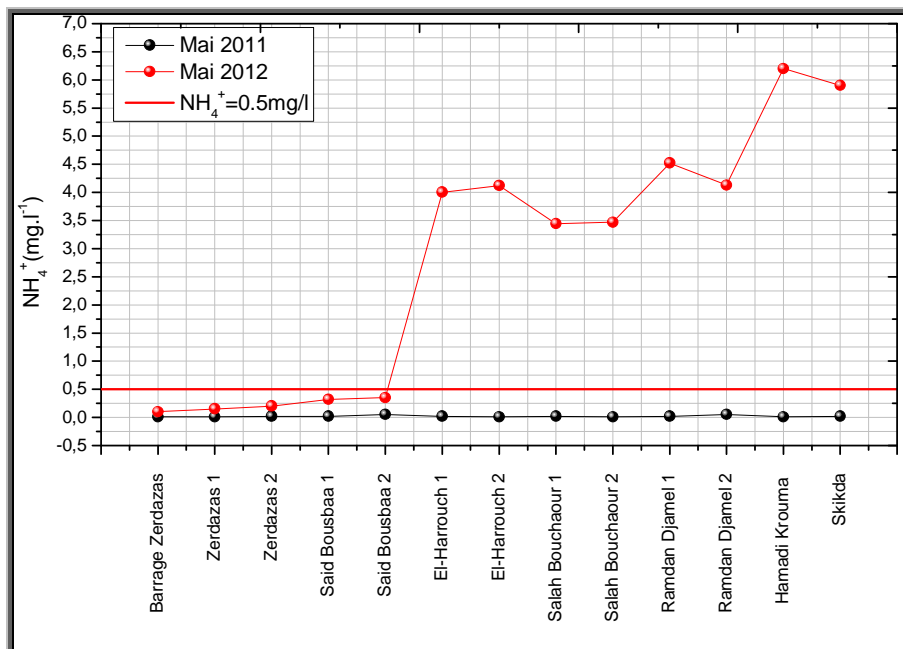
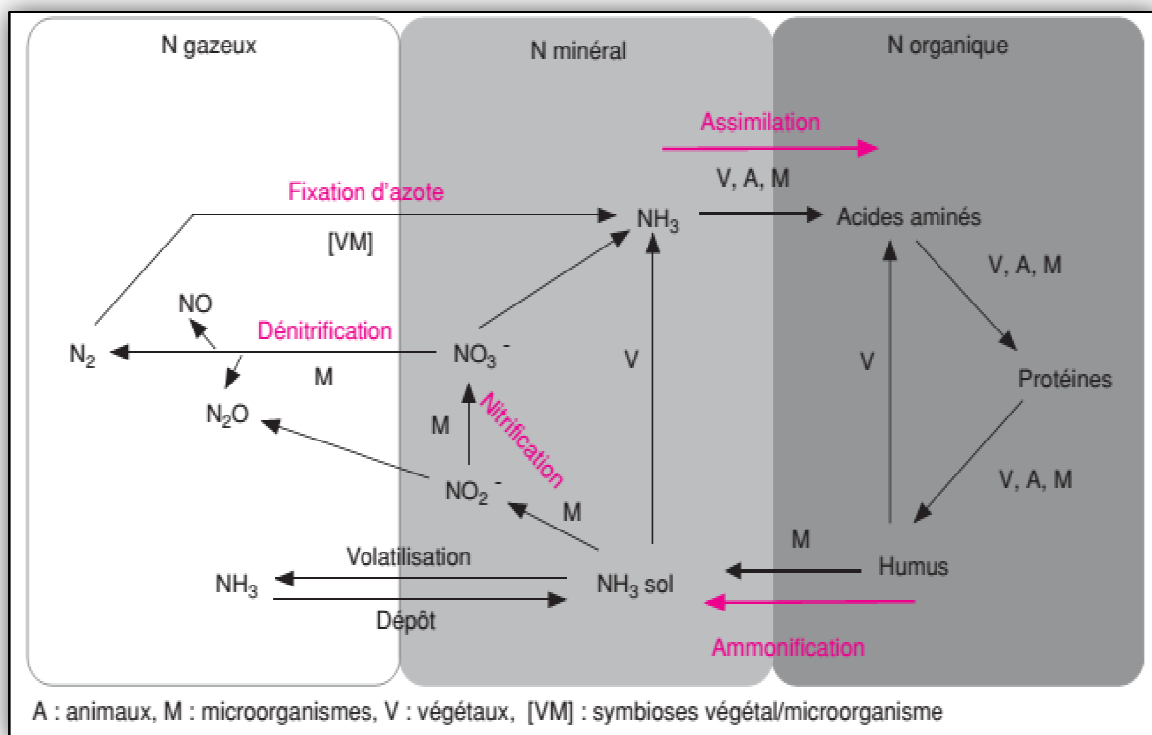


Figure 96: Variation de l'ammonium (Eaux de surfaces, Mai (2011 et 2012)).

Le transfert naturel de l'azote dans les eaux est résumé dans le schéma suivant :

L'origine des nitrates dans les eaux de surface d'oued Saf-Saf, aurait pour origine les eaux usées domestiques et les eaux d'irrigation chargées en nitrate. Pour les nitrites et l'ammonium leur présence dans l'eau serait liée au processus de dénitrification (**Fig. 97**) par consommation de l'oxygène. La concentration en ammonium s'accroît lorsque l'eau contient une forte teneur en CO₂ et une faible teneur en O₂.



Source INRA 2002

Figure 97: Cycle de l'azote.

5.1.5. Les phosphates :

Le phosphate est un élément essentiel à la vie aquatique. Les fortes concentrations en phosphates rencontrées dans l'estuaire indiquent un enrichissement d'origine domestique et agricole, ainsi que des apports directs des activités industrielles. Les phosphates sont considérés comme principal responsable du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface. Avec l'azote, les phosphates forment les nutriments qui contribuent au développement du plancton végétal printanier (Hakmi, 2006).

b. Période de Mai 2011 :

Les eaux de surface de Mai 2011 (*Fig.98*) montrent des concentrations en phosphates faibles dans la partie amont, tandis qu'au centre du bassin on remarque une augmentation de la concentration notamment à Salah Bouchaour, où les concentrations dépassent les normes admissibles, puis une diminution de la concentration dans la partie aval qui retournant aux normes. Les eaux souterraines (*Fig. 98*) montrent des concentrations conformes aux normes.

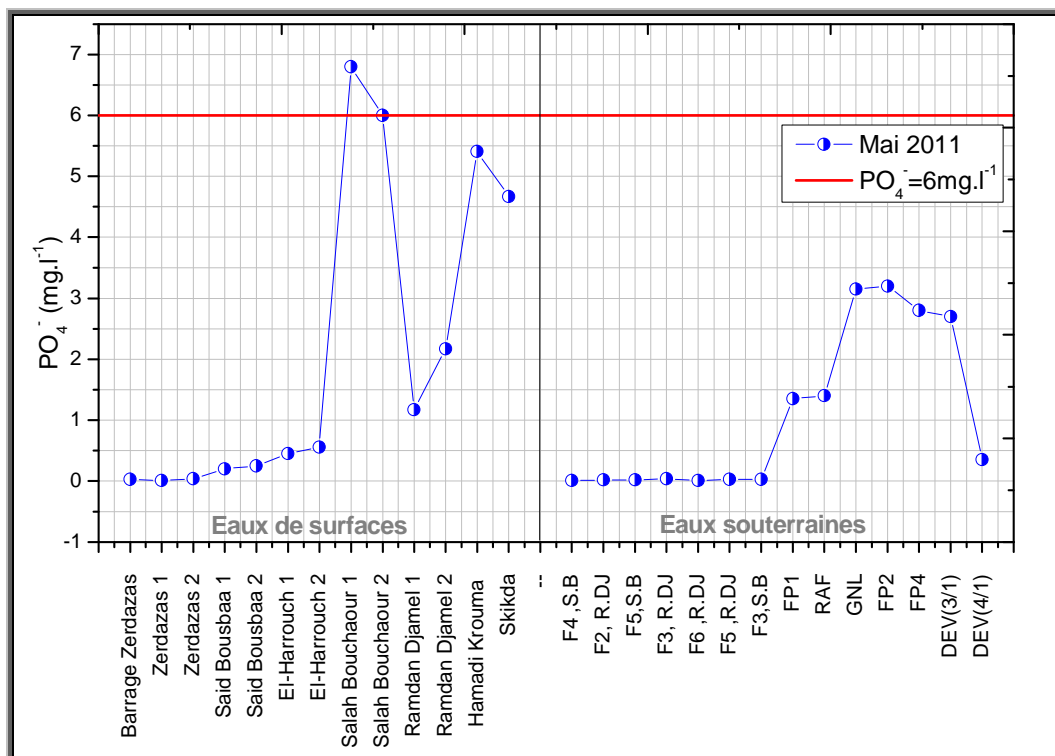


Figure 98: Variation de l’ammonium des eaux de surfaces et souterraines (Mai 2011).

c. Période de Mai 2012 :

Les eaux de surface de Mai 2012 (*Fig.99*) montrent des concentrations en phosphates faibles dans la partie amont, tandis qu’au centre du bassin on remarque une augmentation de la concentration notamment à Salah Bouchaour, où les concentrations dépassent les normes admissible 6 mg/l, puis une diminution des concentrations dans la partie aval qui retournant aux normes. Les eaux souterraines (*Fig. 99*) montrent des concentrations très faibles dans tous les puits.

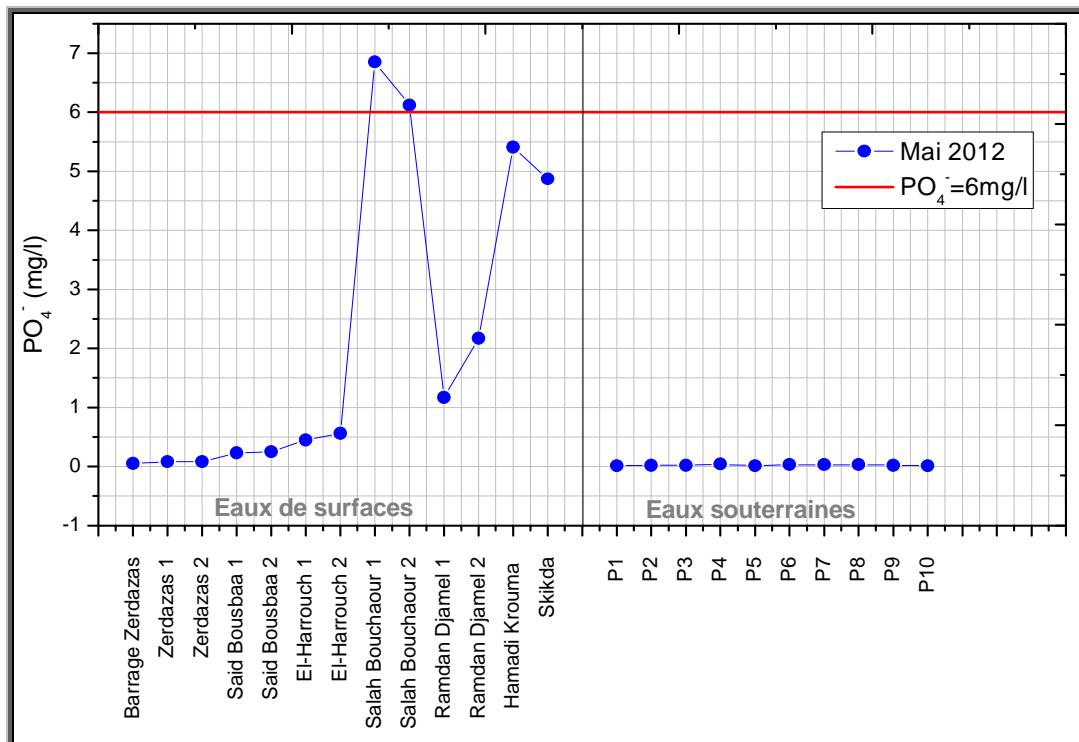


Figure 99: Variation de l'ammonium des eaux de surfaces et souterraines (Mai 2012).

5.2.L'influence climatique sur les nutriments des eaux d'oued Saf-Saf :

5.2.1. L'oxygène dissous (O₂) :

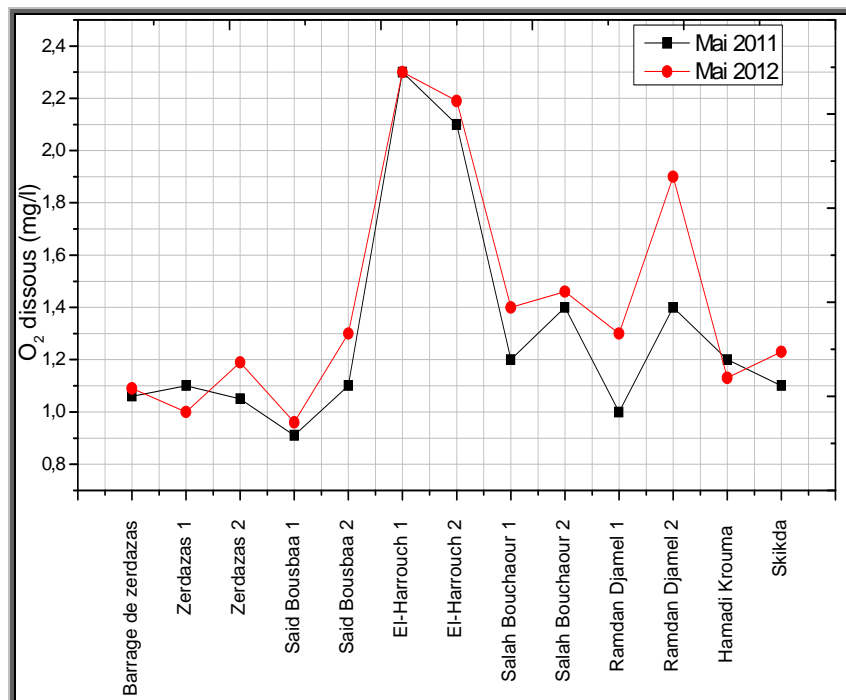


Figure 100: Evolution de l'oxygène dissous au niveau des eaux de surface Mai (2011/2012)

L'évolution temporelle en oxygène des eaux de surface (*Fig. 100*) montre trois types de variation bien distincte :

- Une augmentation de la concentration au niveau du barrage de Zardezas, Zardezas 2, Said Bousbaa 1 et 2, El-Harrouch 2, Ramdan Djamel, Salah Bouchaour 1 et 2 et Skikda
- Une diminution de la concentration à Zardezas 1 et Hamadi Krouma.
- Aucune variation de la concentration à El-Harrouch 1.

5.2.2. Les nitrates (NO_3^-) :

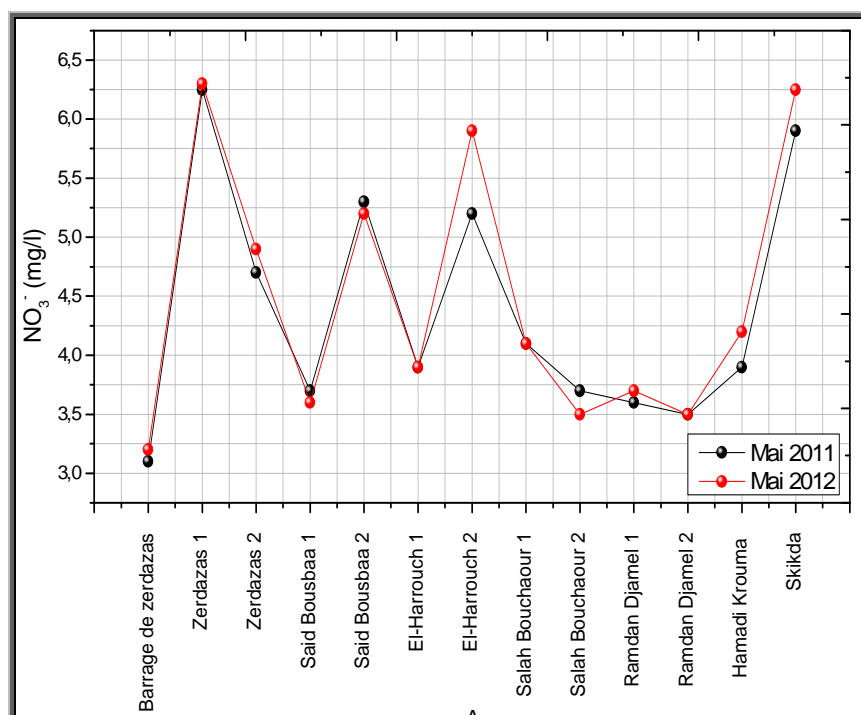


Figure 95: Evolution des nitrates au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012)

L'évolution temporelle en nitrates des eaux de surface (*Fig. 101*) montre trois types de variation bien distincte :

- 1- Une augmentation de la concentration au niveau du barrage de Zardezas, Zardezas 1, Zardezas 2, El-Harrouch 2, Ramdan Djamel, Hamadi Krouma et Skikda
- 2- Une diminution de la concentration à Said Bousbaa 1, Said Bousbaa 2 et Salah Bouchaour 2.
- 3- Aucune variation de la concentration à El-Harrouch 1, Said Bousbaa 2 et Salah Bouchaour 1.

5.2.3. Les nitrites (NO_2^-) :

L'évolution temporelle en oxygène des eaux de surface (*Fig.102*) montre trois types de variation bien distincte :

- Une augmentation de la concentration au niveau du barrage de Zardezas, Zardezas 2, Said Bousbaa 2, El-Harrouch 2, Salah Bouchaour 1, Ramdan Djamel 1 et Skikda
- Une diminution de la concentration à Hamadi Krouma.
- Aucune variation de la concentration à Zardezas 1, Said Bousbaa1, El-Harrouch 1, Salah Bouchaour 2 et Ramdan Djamel 2.

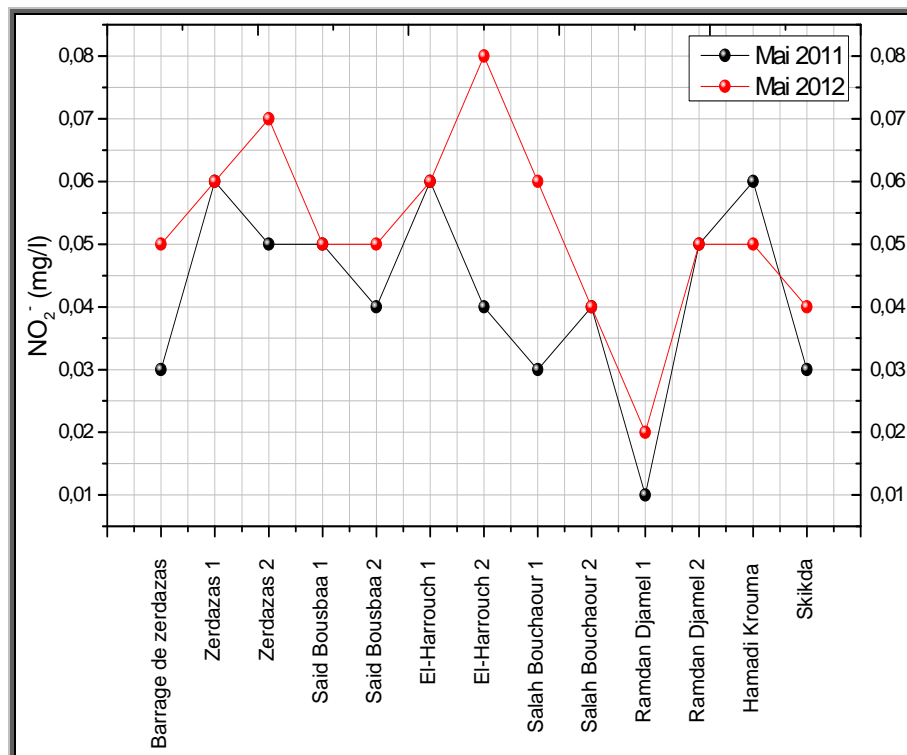


Figure 96: Evolution des nitrites au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012).

5.2.4. Les phosphates :

L'évolution temporelle en phosphates des eaux de surface (*Fig.103*) montre deux types de variation bien distincte :

- Une faible augmentation de la concentration au niveau de Zardezas 1, Salah Bouchaour 2 et Skikda.

- Aucune variation de la concentration au niveau du reste stations.

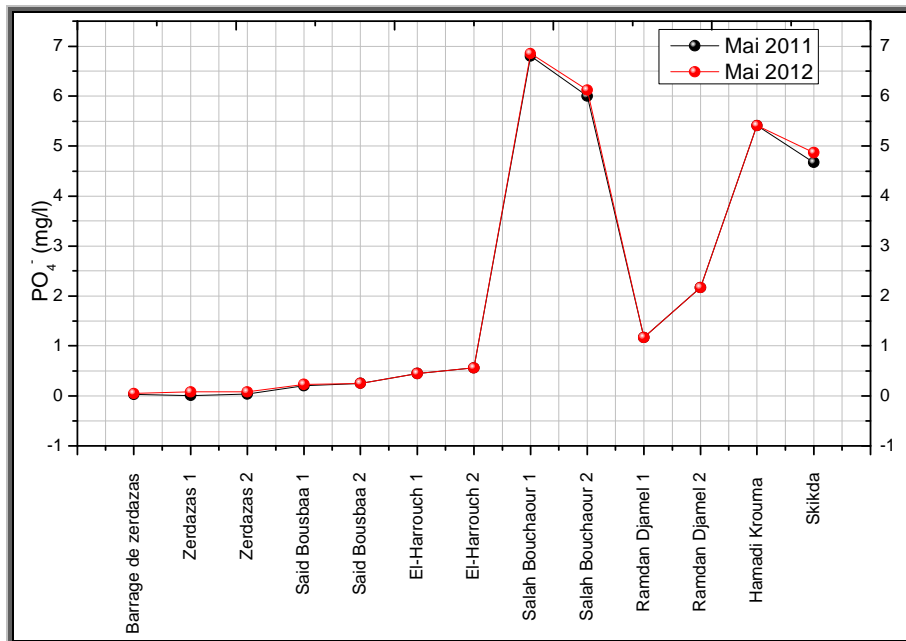


Figure 97: Evolution des Phosphates au niveau des eaux de surface Mai (2011 et 2012).

5.3. Influence des eaux de surfaces sur les nutriments des eaux souterraines :

5.3.1. La plaine de Skikda :

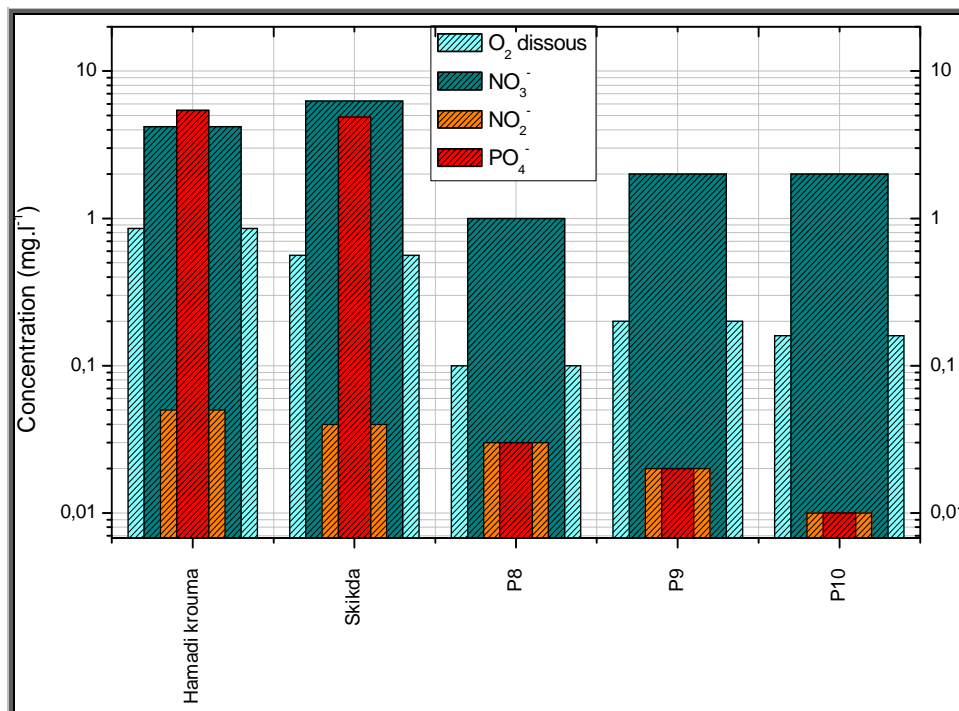


Figure 98: Evolution des nutriments aux niveaux des eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

Nous n'avons que les analyses de Mai 2012, pour montrer l'influence des eaux de surfaces sur les nutriments des eaux souterraines et plus exactement la plaine de Skikda qui est considérée comme la région la plus touchée par la pollution surtout industrielle.

L'évolution des concentrations des nutriments (*Fig. 104*) montre les remarques suivantes :

- Les nitrates (NO_3^-) sont les plus élevés pour les eaux de surface comme pour les eaux souterraines, ce qui indique une contamination des eaux souterraines par les eaux de surfaces.
- Les phosphates (PO_4^-) montrent des concentrations élevées au niveau des eaux de surface et faibles pour les eaux souterraines.
- Des concentrations en O_2 dissous au niveau des eaux de surface plus grandes que celles des eaux souterraines.
- Les concentrations en nitrites sont élevées au niveau des eaux de surface qu'au niveau des eaux souterraines.

5.4. Les indices de pollution :

5.4.1. L'indice de biodégradabilité (IB) :

Les classes d'autoépuration ou de biodégradabilité sont données par l'indice de biodégradabilité (IB). Ces classes décrivant l'état du milieu riche au pauvre en matière organique.

5.4.1.1. Les eaux de surface :

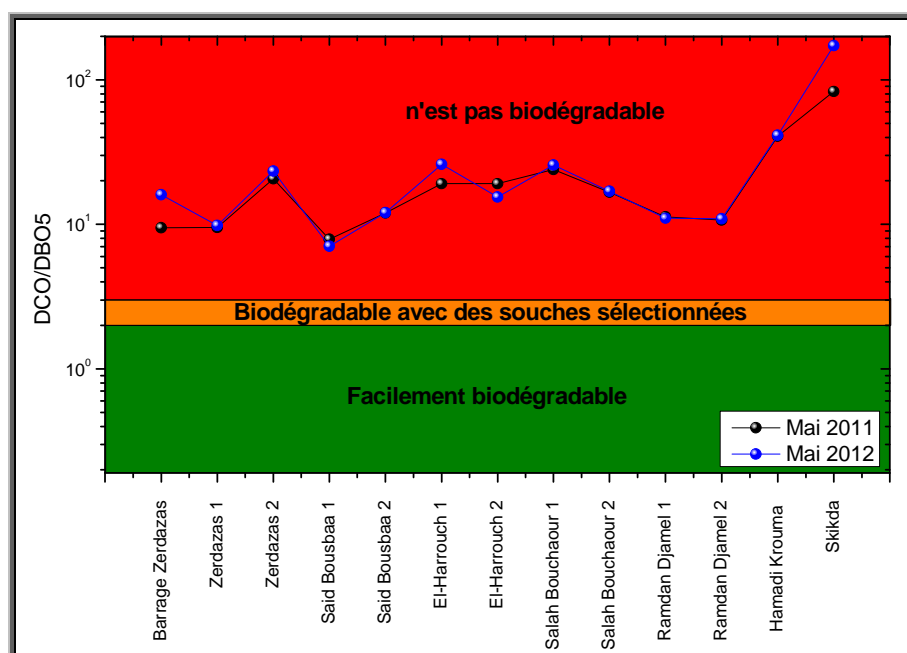


Figure 99: Indice de Biodégradabilité des eaux de surface Mai (2011, 2012).

La variation du rapport DCO/DBO5 monte un indice de biodégradabilité comprise entre 7 et 83 pour les eaux de Mai 2011 et entre 7 et 172 pour les eaux de Mai 2012 (*Fig. 105*), ce qui indique que les eaux de rejet sont des effluents domestiques qui ne sont pas biodégradable.

5.4.2. L'indice de pollution (IPO):

L'indice de pollution organique montre les variations spatio-temporelles des classes de pollution par une dégradation ou autoépuration des eaux.

5.4.2.1. Les eaux de surfaces :

Les variations spatio-temporelles de l'indice de pollution des eaux de surface (*Fig. 106*) montrent trois classes pour les eaux de surface de 2011 et deux classes pour les eaux de Mai 2012.

a. Les eaux de surface de Mai 2011:

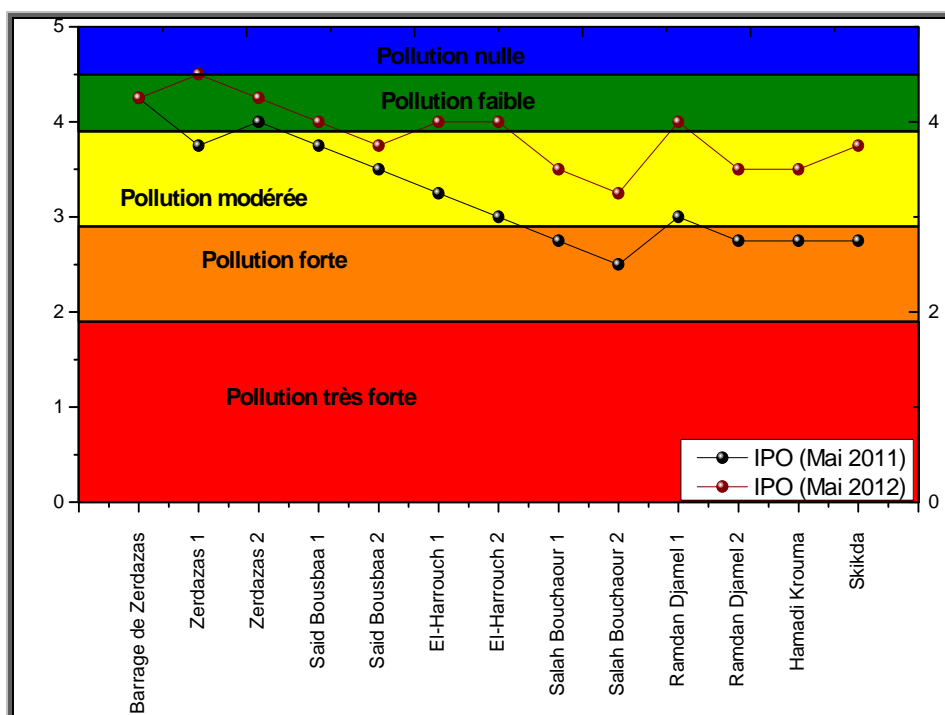


Figure 100: Indice de Pollution organique des eaux de surface Mai (2011 et 2012).

- ✓ Pollution faible pour les eaux du barrage de Zerdazas et Zerdazas 2.
- ✓ Pollution modérée pour les eaux de Zerdazas 1 Said Bousbaa 1 et 2, El-Harrouch 1 et 2, et Ramdan Djamel 1

- ✓ Pollution forte pour les eaux de Salah Bouchaour 1 et 2, Ramdan Djamel 2, Hamadi Krouma et Skikda.

b. Les eaux de surface de Mai 2012 :

- ✓ Pollution faible pour les eaux du barrage de Zerdzas et Zerdzas 1 et 2, Said Bousbaa 1, El-Harrouch 1 et 2 et Ramdan Djamel 1.
- ✓ Pollution modérée pour les eaux de Said Bousbaa 2, Salah Bouchaour 1 et 2, Ramdan Djamel 2, Hamadi Krouma et Skikda.

5.4.2.2. Les eaux souterraines :

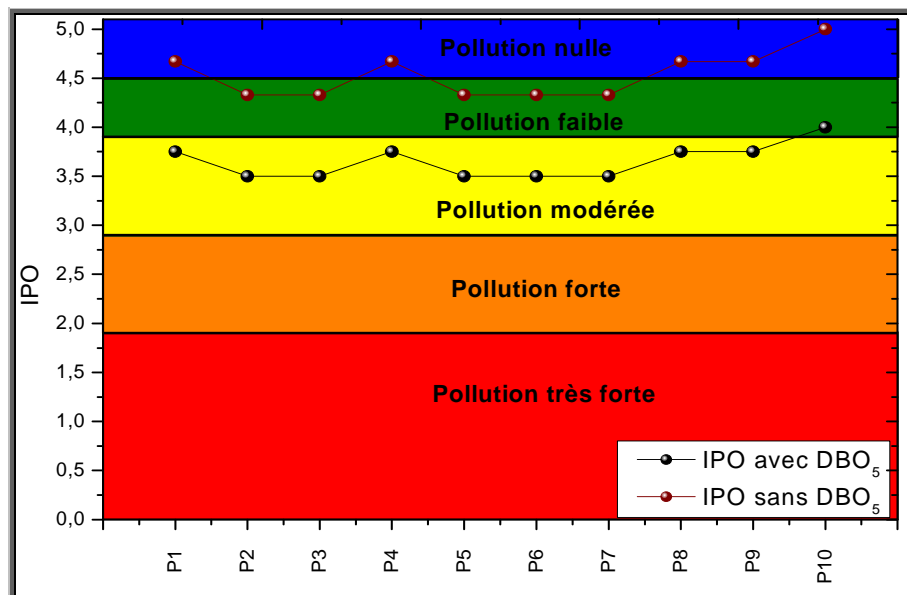


Figure 101: Indice de Pollution organique des eaux souterraines Mai (2012).

La variation de l'indice de pollution des eaux souterraines (*Fig.107*) montre deux classes :

- ✓ Une pollution nulle au barrage de Zerdzas, Said Bousbaa 1, Ramdan Djamel 2, Hamadi Krouma et Skikda.
- ✓ Une pollution modérée à Zerdzas 1 et 2, Said Bousbaa 2 et Salah Bouchaour 1 et 2.

On note que l'indice de pollution organique sans DBO₅ montre une pollution nulle à faible.

5.4.3. L'indice d'Eutrophisation et comportement des nutriments minéraux :

5.4.3.1. Nitrates - ammonium :

Pour une bonne représentation, on a divisé la zone d'étude en deux parties :

a. Partie I (Barrage de Zerdazas à El-harrouch) :

Les variations spatio-temporelles des nitrates et ammonium des eaux de surface d'oued Saf-Saf (**Fig.108**) montrent des valeurs en nitrates variant de 3 mg/l à 6.3 mg/l et des valeurs faibles en ammonium oscillent entre 0.01mg/l à 4.12 mg/l. L'évolution spatiale des nitrates montre des augmentations dans certains points et des diminutions dans d'autres et l'évolution temporelle montre une augmentation dans tous les points, sauf à Said Bousbaa 1 et Said Bousbaa 2. L'augmentation et la diminution des concentrations en nitrates est dû aux phénomènes conjugué nitrification (apport d'engrais) et dénitrification dans le milieu réducteur.

Par contre l'évolution spatiale de l'ammonium montre une augmentation de l'amont ver l'aval et l'évolution temporelle montre une augmentation considérable dans toute la section. La présence de l'ammonium provient des fertilisants et une contamination par la matière organiques humains au niveau des eaux de rejets domestiques.

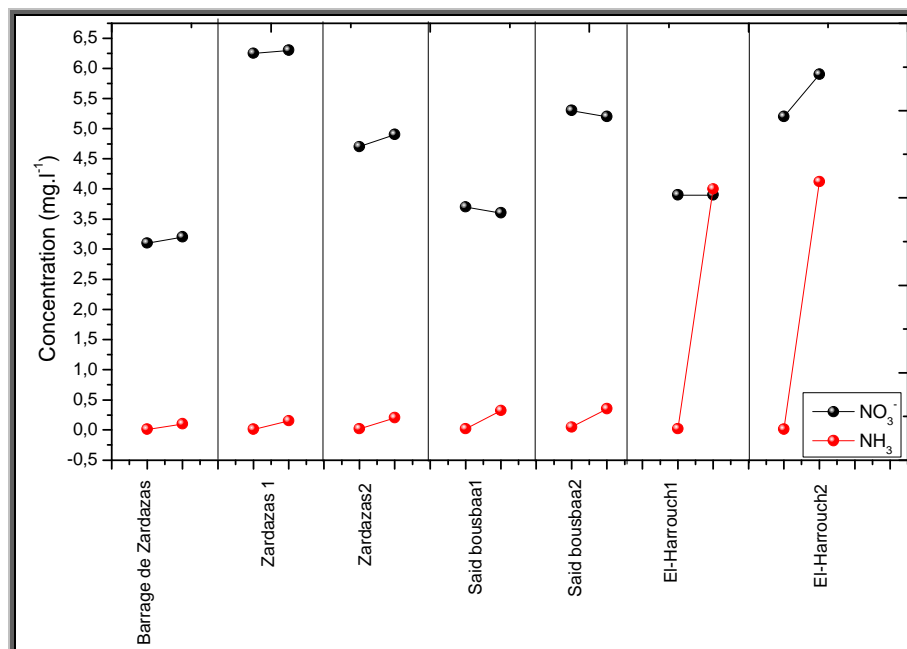


Figure 102: Evolution spatio-temporelle des nitrates et ammonium des eaux de surfaces.

b. Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :

Les variations spatio-temporelles des nitrates et ammonium des eaux de surface d'oued Saf-Saf (*Fig. 109*) montrent des valeurs en nitrates variant de 3.5 mg/l à 6.25 mg/l et des valeurs faibles en ammonium oscillent entre 0.01mg/l à 6.2 mg/l. L'évolution spatiale des nitrates montre des diminutions à Salah Bouchaour 2, Ramdan Djamel 1 et 2 et Hamadi Krouma et une augmentation à Skikda, tandis que l'évolution spatiale de l'ammonium montre une augmentation de l'amont vers l'aval.

L'évolution temporelle des nitrates montre une diminution au niveau de Salah Bouchaour 2 et aucune variation à augmentation pour le reste. Pour l'ammonium on remarque une augmentation considérable pour tous les points.

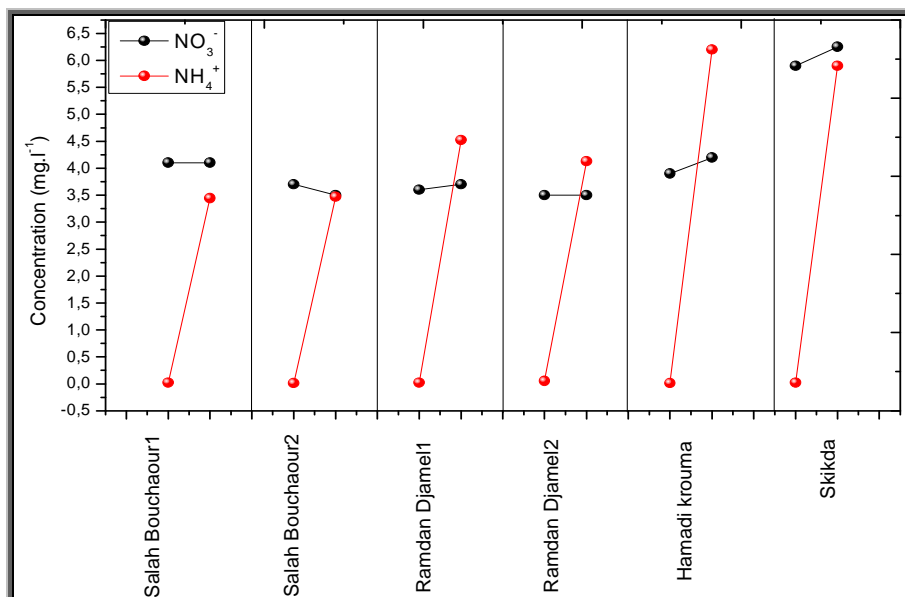


Figure 103: Evolution spatio-temporelle des nitrates et ammonium des eaux de surfaces.

5.4.3.2. Nitrite - phosphates :

a. Partie I (Barrage de Zardezas à El-Harrouch) :

Les variations spatio-temporelles des nitrites et phosphate des eaux de surface d'oued Saf-Saf (*Fig.110*) montrent des valeurs en nitrites variant de 0.3 mg/l à 0.7 mg/l et des valeurs en phosphates oscillent entre 0.01mg/l à 0.45 mg/l.

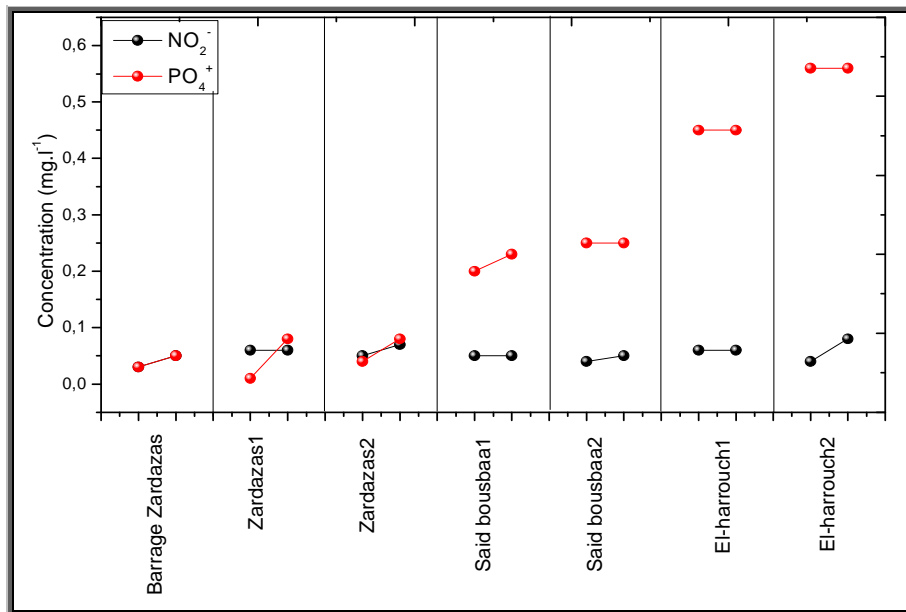


Figure 104: Evolution spatio-temporelle des nitrites et Phosphates des eaux de surfaces.

L'évolution spatiale des nitrites (*Fig. 110*), montre des augmentations dans certains points et une stabilité (aucune variation) dans d'autre le long de l'oued, par contre l'évolution spatiale des phosphates montre une augmentation de l'amont ver l'aval. L'évolution temporelle des nitrites montre une augmentation dans tous les points pour l'ammonium et pour les nitrites une augmentation ou bien aucune variation, mais pas de diminution. Les concentrations en nitrites et phosphates sont due à l'apport d'engrais et rejets domestiques.

b. Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :

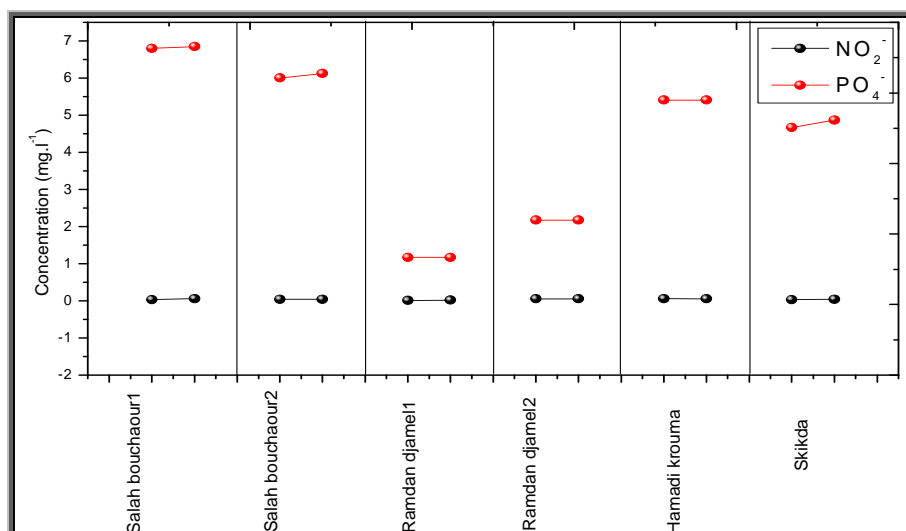


Figure 105: Evolution spatio-temporelle des nitrites et Phosphates des eaux de surfaces.

L'évolution spatiale des nitrites (*Fig. 111*) montre une stabilité (aucune variation) le long de la section étudiée, par contre l'évolution spatiale des phosphates montre une diminution de la concentration. L'évolution temporelle des nitrites montre des très faibles augmentations dans tous les points et la même remarque pour les phosphates.

5.4.3.3. L'indice d'eutrophisation :

5.4.3.3.1. Les eaux de surface :

Les valeurs de cet indice indiquent les variations spatio-temporelles des classes d'eutrophisation par une richesse ou une pauvreté en nutriments.

a. Partie I (Barrage de Zerdazas à El-Harrouch) :

L'évolution spatiale de l'indice d'eutrophisation (*Fig. 112*) montre une augmentation à partir du Barrage jusqu'à El-Harrouch 2 et l'évolution temporelle montre une augmentation pour les quatre premiers points analysés (Barrage du Zardezas à Said Bousbaa 1) et aucune variation pour les eaux de Said Bousbaa 2 et El-Harrouch 1 et 2.

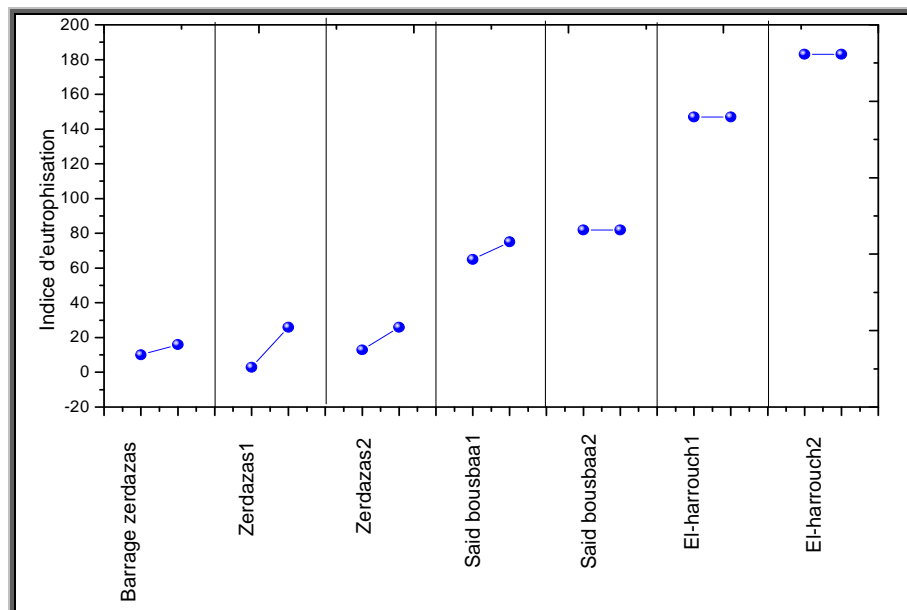


Figure 106: Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux de surfaces.

b. Partie II (Salah Bouchaour à Skikda) :

L'évolution spatiale de l'indice d'eutrophisation (*Fig. 113*) montre une diminution et l'évolution temporelle montre une augmentation pour les eaux de Salah Bouchaour 1 et 2 et la région de Skikda et aucune variation pour les eaux de Ramdan Djamel 1 et 2 et Hamadi Krouma.

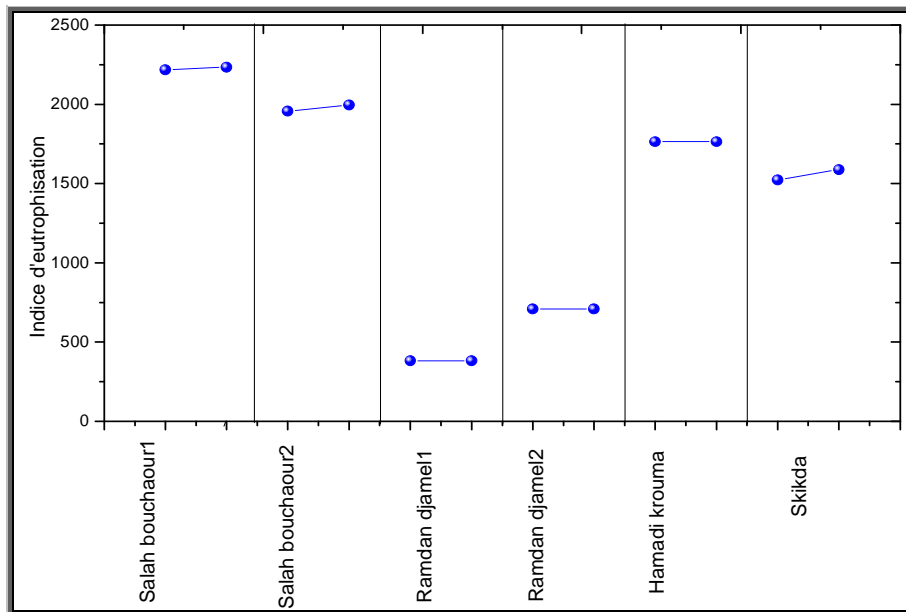


Figure 107: Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux de surfaces.

5.4.3.3.2. Eaux souterraines :

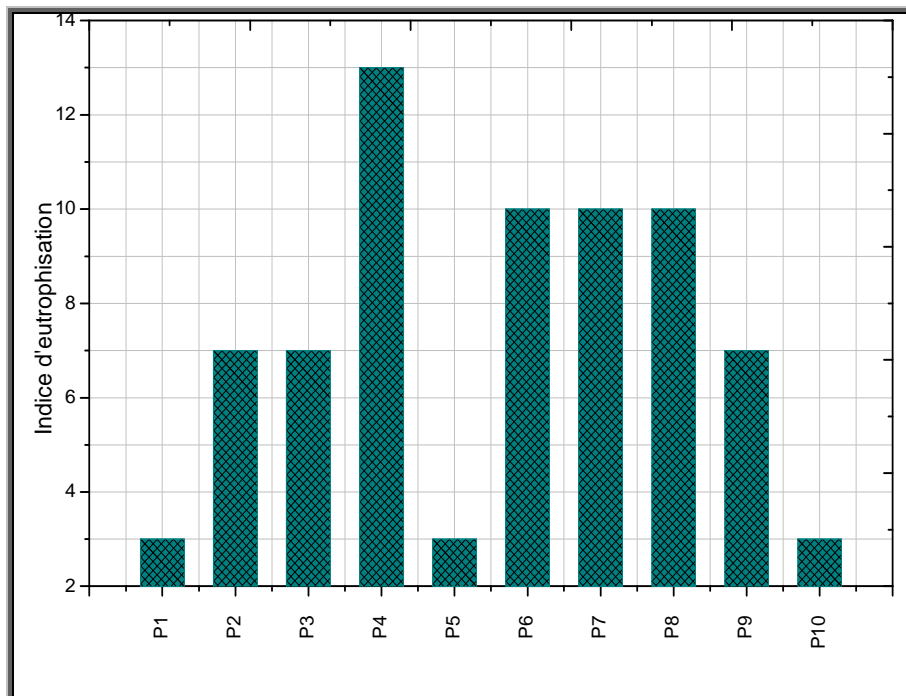


Figure 108: Evolution spatio-temporelle de l'indice d'eutrophisation des eaux souterraines (Mai 2012).

L'indice d'eutrophisation des eaux souterraines (*Fig.114*) montre des valeurs comprise entre 3 et 13 indiquent une eutrophisation nulle dans tous les forages.

5.4.4. L'indice de qualité microbiologique (IQM) :

Les eaux résiduaires urbaines contiennent de nombreux germes (champignons, amibes, protozoaires, bactéries, virus) dont certains sont pathogènes. La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif de les épurer pour préserver le milieu naturel (Olivier et Christelle, 1997).

Comme pour les analyses chimiques, il est possible de calculer pour les cours d'eau un indice de contamination bactériologique à partir du dénombrement de différents germes dont les principaux, généralement associés à la pollution organique, sont les bactéries totales, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

5.4.4.1. Calcul de l'indice de qualité microbiologique (IQM) :

Tableau 18: Les limites des classes ont été établies par BOVESSE & DEPELCHIN (1980).

Classe n°	Bactéries totaux (NPP/ml)	Coliformes Fécaux (NPP/ml)	streptocoques Fécaux (NPP/ml)
5	<2000	<100	<5
4	2000-9000	100-500	5-10
3	9000-45000	500-2500	10-50
2	45000-360000	2500-20000	50-500
1	>360000	>20000	>500

Nous proposons le calcul de la moyenne des numéros de classes, comme pour l'IPO:

Tableau 19 : Classes de l'indice de qualité microbiologique.

IQM	Contamination fécale
4,3-5,0	Nulle
3,5-4,2	Faible
2,7-3,4	Modérée
1,9-2,6	Forte
1,0-1,8	Très forte

a. Qualité microbiologique des eaux de surface :

Les résultats d'analyses obtenues, sont résumés au tableau suivant :

Tableau 20: Analyses bactériologiques des eaux de surface.

Paramètres	échantillon 1 (Amont)	échantillon 2 (Aval)
Germes totaux à 22°C (UFC/ml)	150	160
Germes totaux à 37°C (UFC/ml)	200	180
Coliformes totaux à 37°C NPP/ml	> 24000	> 24000
Coliformes fécaux à 44°C NPP/ml	> 12000	> 12000
Stréptocoque fécaux à 37°C NPP/ml	Abs	Abs
Clostridium sulfito-réducteur à 46°C NPP/20ml	Abs	Abs

Les analyses des eaux de surface, montrent un indice de qualité microbiologique égale à trois, ce qui nous donne une contamination fécale modérée.

6. Impact de la pollution :

6.1. Sur le milieu naturel :

L'incidence des rejets sur notre environnement peut s'apprécier au regard des élévations de températures, des modifications du pH, des consommations d'oxygène du milieu ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes. Les modifications de température de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore. Le rejet de matière organique entraîne une surconsommation d'oxygène par les micro-organismes et en prive d'autant les poissons. Les matières en suspension conduisent aussi au colmatage des branchies des poissons, les rejets d'azote et de phosphore favorisent l'eutrophisation des lacs (René Moletta., 2005).

6.1.1. Sur les eaux de surface :

À la lumière de notre étude, on a conclu que les eaux de surface d'oued Saf-Saf sont contaminées et touchées par une pollution chimique et organique et même microbiologique, qui a dû essentiellement aux rejets domestiques, urbains et industrielles non contrôlés.

Un rejet direct des eaux usées dans l'oued, menace la qualité des eaux qui sont utilisées pour des besoins agricoles, industrielles et même pour l'alimentation en eaux potables.

La quantité des rejets au niveau d'oued Saf-Saf est résumée au tableau suivant :

Tableau 21: Quantité des rejets des eaux usées non traités (Oued Saf-Saf)

Ville	Population permanente (en milliers)	Station d'épuration des eaux usées	Épuration des eaux usées	Eaux usées non traitées (m ³ /j)	Rejet d'eaux usées traitées
Skikda	177.402	En cours de réalisation	Traitement biologique		
Hamrouche Hamoudi	13132	Non			
Hamadi Krouma	21.292	Non			
El Hadaiek	13.913	Non			
Zerdezas	13.879	Non		1665.48	Rejet en mer
Said Bousbaa	8054	Non		966.48	Rejet en mer
El Harrouch	47.159	Non		5659.08	Rejet en mer
Salah Bouchour	29.364	Non		3523.68	Rejet en mer
Ramdane Djamel	26.587	Non		3190.44	Rejet en mer
Beni Béchir	9.567	Non		1148.04	Rejet en mer

Source : UNEP (2009)

Nous n'avons pas des recensements récents pour la quantité des eaux usées rejetées dans les eaux de surface (Oued Saf-Saf), mais sans aucun doute cette quantité est augmentée à cause de l'augmentation de la population et les activités industrielles et agricoles de la région.

6.1.2. Sur les eaux souterraines :

Comme on est déjà montré avant, il y a une influence des eaux de surface sur les eaux souterraines, donc il y a une contamination des eaux souterraines par les eaux de surface surtout au niveau de la plaine de Skikda et Ramdan Djamel, la plus vulnérable comme le montre la carte suivante établie par Chaffai et al en 2006. Les eaux souterraines analysées dans cette partie (La plaine de Skikda), sont caractérisées par un indice de pollution modéré, ce qui confirme la pollution des eaux souterraines (*Fig. 115*).

La carte de vulnérabilité de la région a permis de visualiser les principales zones à risque qui sont liées à des indices élevés selon la méthode DRASTIC, les plages de vulnérabilité basée sur la classification de l'U.S Environmental Protection Agency (USEEA) sont définies comme suit : (1) Vulnérabilité faible: $ID \leq 100$ (2) Vulnérabilité moyenne: $100 \leq ID \leq 150$ (3) Vulnérabilité forte: $ID \geq 150$ Les calculs des indices DRASTIC correspondants montrent des valeurs oscillant entre 100 et 164. L'observation de la carte de vulnérabilité (*Fig. 115*) met en évidence la dominance de la classe 2 ($100 \leq I \leq 150$), ce qui indique une moyenne vulnérabilité à la pollution dans la majeure partie de la plaine.

Une faible vulnérabilité localisée au sud de la commune d'El Hadaeïk, cependant, les zones une forte vulnérabilité aux alentours de la ville de Skikda (Nord de la plaine) et dans la commune de Ramdane Djamel au Sud. Cette forte vulnérabilité s'explique par la lithologie sableuse du terrain, par la perméabilité et par la nature libre de la nappe (Khalfaoui F, 2014).

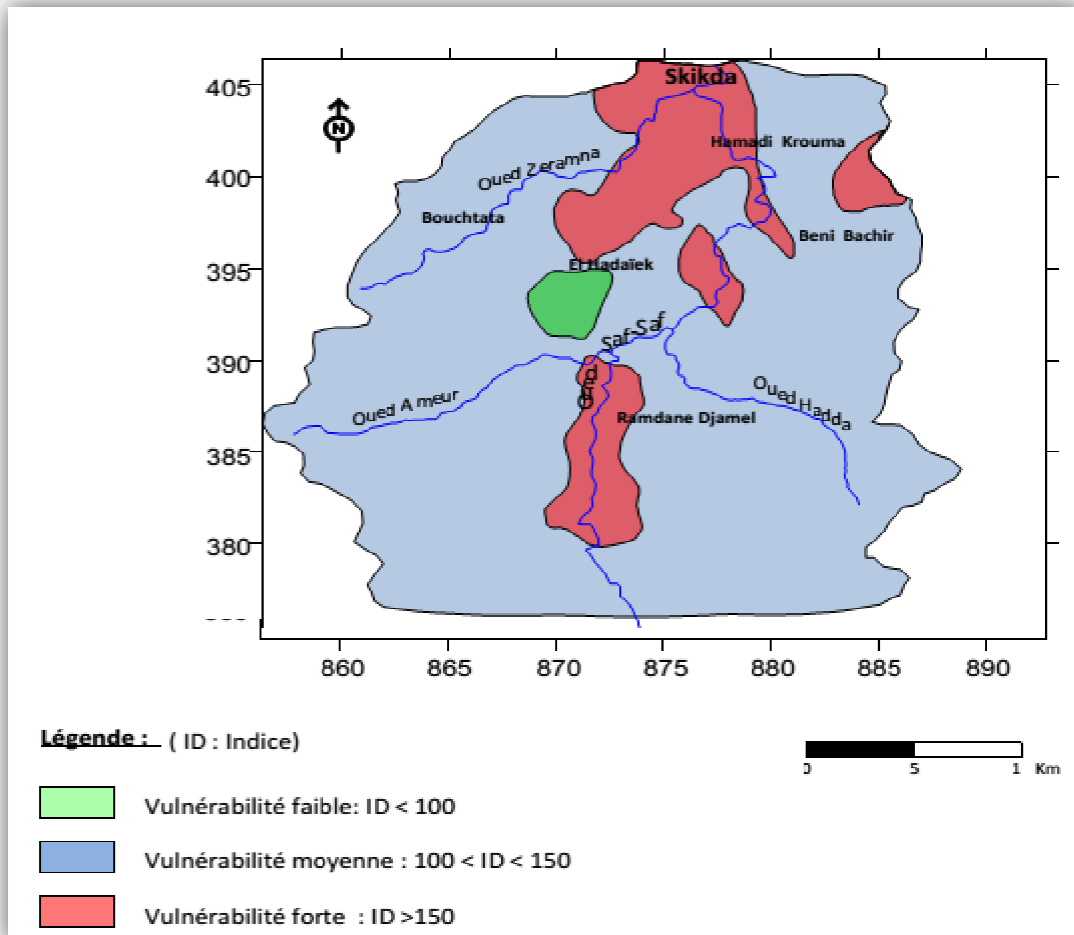


Figure 109: Carte de vulnérabilité de la plaine alluviale du Saf-Saf

(Chaffai et all, 2006.modifiée)

6.1.3. Sur les eaux de Mer :

Des analyses sont effectuées par au niveau du littoral pour cerner le taux de pollution des eaux de Mer par les différents types de rejets. Ces derniers montrent la contribution d'oued Saf-Saf dans cette dégradation. La plupart des eaux de mer se trouvent malheureusement polluées ce qui menace la vie aquatique et l'environnement d'une façon générale.

Les résultats des analyses sont illustrés au tableau suivant.

Tableau 22:Analyses des eaux de Mer.

Nom de la plage	Température (°C)	pH	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	Transparence	Odeur
plage du jeté	19.5	7.90	950	1100	Trouble	+++
plagechâteau vert	18.5	8.01	505	350	Trouble	+++
rejet plage militaire.	18.5	7.90	478	420	Trouble	++

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé respective pour les eaux usées sont résumées au tableau suivant :

Tableau 23:Normes Internationales des rejets.

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NH+4	<0,5 mg/l
NO2	1 mg/l
NO3	<1 mg/l
P2O5	<2 mg/l
Température T	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

Comparativement aux normes internationales des rejets admissibles par l'organisation mondiale de la santé, on trouve que les eaux de Mer sont très polluées vis-à-vis de la DBO5 et la DCO qui dépassent largement les normes surtout au niveau de la plage du jeté, qui est marquée par une DBO5 égale à 950 mg/l c'est-à-dire environ 32 fois les normes et un DCO égale à 1100 mg/l ça veut dire 12 fois les normes.

La même remarque pour l'odeur et la couleur, une eau trouble avec une odeur forte à très forte indique une eau fortement polluée.

6.2. Sur l'économie :

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches. Personne ne peut nier l'absolue nécessité de prendre en compte notre environnement. Il faut que les collectivités et les industries prennent en charge leurs rejets (René Moletta., 2005).

- Pour l'industrie, les conserveries alimentaires, certaines industries chimiques et textiles, les circuits de refroidissement, demandent de l'eau non polluée.
- Pour les loisirs, les aspects inesthétiques de la pollution et les préoccupations sanitaires font qu'un cours d'eau pollué soit impropre à la baignade, à la promenade au bord.
- Pour l'agriculture, La quantité et la qualité de l'eau disponible pour l'irrigation a une incidence sur le choix de la méthode d'irrigation. En effet, une eau contenant des matières en suspension ne saurait être utilisée en irrigation sous pression sans une filtration préalable, de même il est néfaste d'utiliser des eaux à forte teneur en sels minéraux ou toxiques, ces toxines pourraient être retrouvées dans le produit consommé.

En revanche les cultures s'accommodent bien d'une quantité raisonnable de pollution organique (Leroy, 1999).

6.3. Sur la santé :

Les eaux d'oued Saf-Saf possèdent une pollution microbiologique modérée, donc il existe une pollution microbiologique, menace à la fois la santé humaine par la contamination des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable par les eaux de surface et les animaux qui consomment ces eaux directement de la source (Oued).

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues (René Moletta., 2005). Les parasitoses d'origine hydrique dominent très largement la pathologie des habitants du tiers monde :

- Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90% en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites),

- Filaires (maladie due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides),
- Le choléra, du aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées,
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées)
- Et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très grave chez le jeune enfant. Les métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre..... Présentent la particularité de se concentrer dans la chaîne biologique. Ils ne sont pas dégradables, leur présence est donc rémanente. Ils conduisent à des pathologies diverses en fonction de leurs natures, pathologies qui peuvent être très graves, voir mortelles.

7. Conclusion :

L'indice de pollution organique montre une pollution organique faible (Aval) à modérée (Aval) pour l'année 2011 et modérée (Aval) à forte (Aval) pour l'année 2012, ce qui réaffirme le développement de la pollution des eaux de surface. Les eaux souterraines aussi montrent une pollution modérée pour tous les puits, sauf (P10) montre une pollution organique faible.

L'indice de biodégradabilité montre que les effluents rejetés à oued Saf-Saf sont des effluents qui ne sont pas biodégradables.

L'influence climatique sur la salinité des eaux de surface montre une stabilité de concentration pour les éléments chimiques durant les deux périodes d'observation et par fois une augmentation faible à l'exception de certains endroits.

Influence des eaux de surface sur les eaux souterraines : généralement les eaux de surface ont des concentrations supérieures à celle des eaux souterraines, cela influe directement sur la qualité des eaux souterraines par infiltration, et d'autre part le niveau piézométrique des eaux de surface est supérieur à ce des eaux souterraines, sachant que la nappe est libre, donc l'oued alimente la nappe ce qui menace la qualité des eaux souterraines.

L'influence lithologique sur la salinité des eaux, montre que le TAC = HCO_3 et que la dureté de l'eau est totalement carbonatée pour les eaux de surface, tandis que les eaux souterraines la dureté permanente (non-carbonatée) liée aux sels d'acides forts, représente presque la totalité de la dureté des eaux souterraines étudiées, à l'exception de quatre forges (GNL, FP2, FP4, DEV (1/4) et DEV (1/3)), par contre elle est moindre pour une majorité de la Dureté carbonatée au niveau des puits de la région étudiée.



**GESTION
QUALITATIVE
DES EAUX**

Gestion qualitative des eaux

La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la santé des écosystèmes et la biodiversité. En conséquence, la qualité de l'eau a également une influence sur la détermination des niveaux de pauvreté, de richesse et d'éducation de l'homme.

Vue sous l'angle de la gestion, la qualité de l'eau est déterminée par l'utilisation finale qui en est souhaitée. En conséquence, l'eau destinée aux loisirs, à la pêche, à la boisson et à l'habitat des organismes aquatiques exige des niveaux de pureté plus élevés tandis que pour celle consacrée à la production d'énergie hydraulique les normes de qualité sont beaucoup moins importantes. C'est la raison pour laquelle la qualité de l'eau est définie largement comme les « caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau nécessaires pour les utilisations qui en sont souhaitées » (UN/ECE 1995). Il convient de remarquer qu'après avoir été utilisée, l'eau retourne généralement au système hydrologique et, si elle n'est pas traitée, elle peut avoir de graves effets sur l'environnement.

1. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

On a basé sur les normes européennes de potabilité des eaux CCE (1975). Voir annexe

1.1. Les éléments (mesure in situ) :

Parmi les paramètres nécessaires pour déterminer la qualité chimique des eaux, on a la température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous. Ces paramètres sont facilement mesurables sur terrain.

a- La température :

L'évolution dans l'espace de la température des eaux de surface et souterraines destinées à l'alimentation en eau potables (*Fig. 116*) montre que les eaux ne dépassent pas les normes de potabilité via la température à l'exception du puits (P9) qui se trouve loin de satisfaire les besoins humains en eau potable.

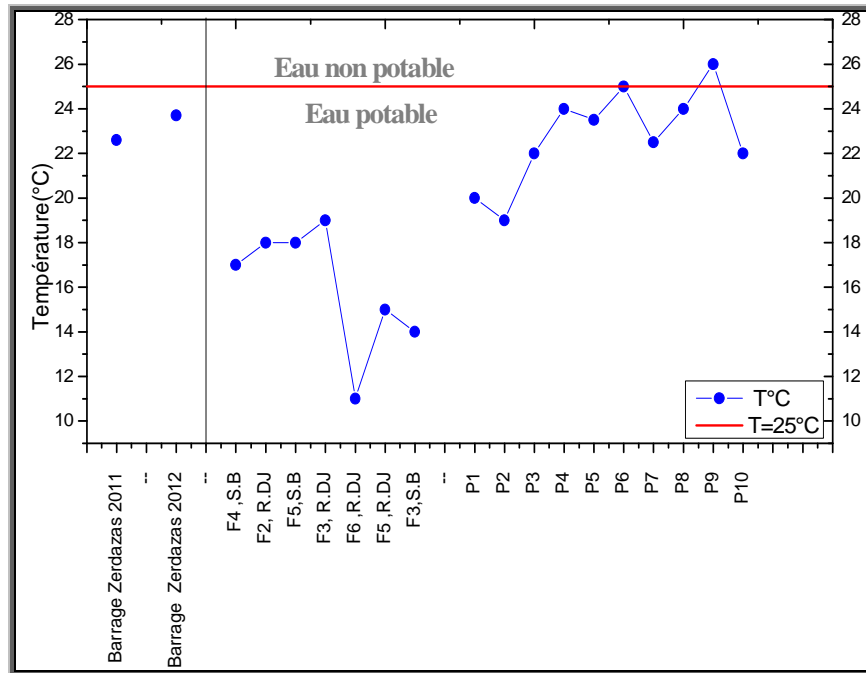


Figure 110: Qualité des eaux vis-à-vis la température (Mai 2011 et 2012).

b- Potentiel d'hydrogène (pH) :

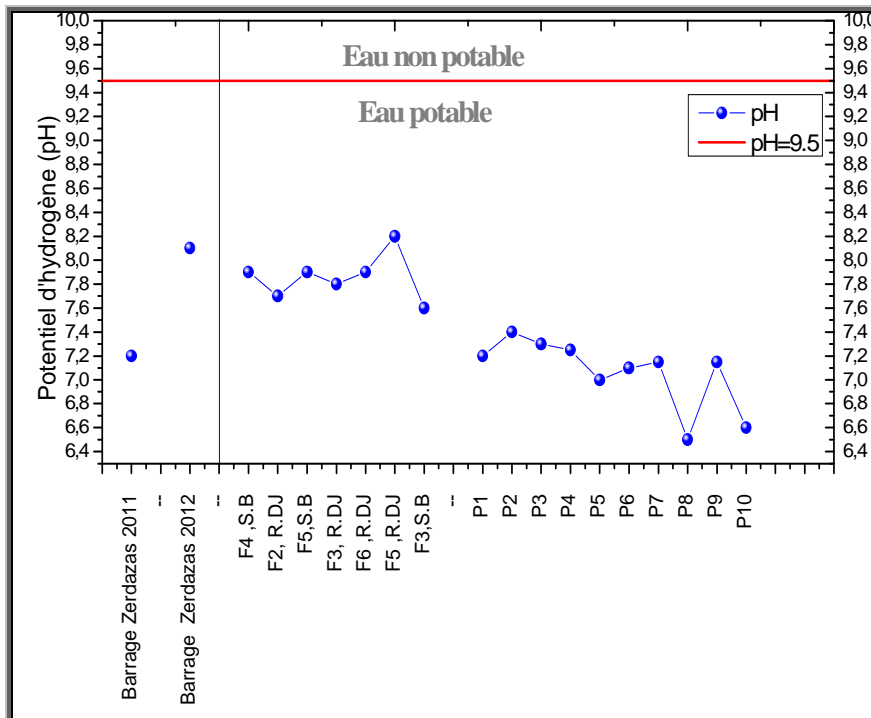


Figure 111: Qualité des eaux vis-à-vis du pH (Mai 2011 et 2012).

L'évolution dans l'espace du pH des eaux de surface comme des eaux souterraines (*Fig. 117*) montre une potabilité vis-à-vis le pH pour le barrage et les puits dans les deux périodes d'observation sans exception. Les valeurs du pH comprises entre 6.5 et 8.2 ce qui nous donne une eau de bonne qualité est satisfaisante les besoins humains en eaux potables.

c- Oxygène dissous (O_2) :

L'évolution dans l'espace et dans le temps des eaux de surface (*Fig.118*) montre une potabilité des eaux vis-à-vis l'oxygène dissous et la même remarque pour les eaux souterraines ou l'évolution dans l'espace indique une potabilité via l'oxygène dissous (*Fig. 118*).

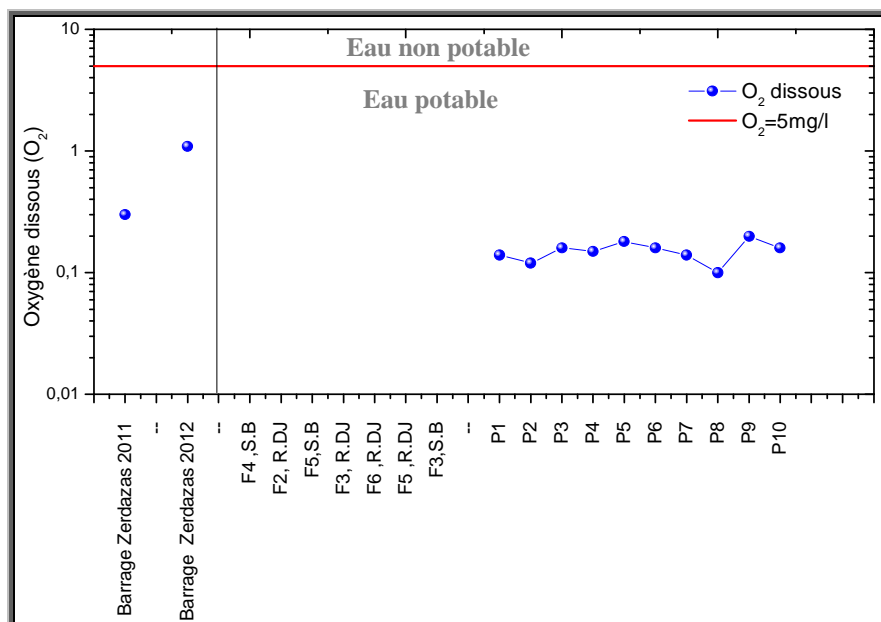


Figure 118: Qualité des eaux vis-à-vis l'oxygène dissous (Mai 2011 et 2012).

d- Conductivité (CE) :

Les eaux de surface (*Fig. 119*) montrent une évolution dans l'espace et dans le temps conforme aux normes de potabilité via la conductivité. L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (*Fig.119*) montre un contraste via la qualité des eaux, des eaux de bonne qualité qui montrent une potabilité via la conductivité (F5 S.B, F3.SB, P2, P3, P5, P6, P8 et P10) et

de eaux non potables via la conductivité, c'est le cas des puits (F4.SB, F2.R.DJ, F3.R.Dj, F5.R.Dj, P1, P4, P7, P9).

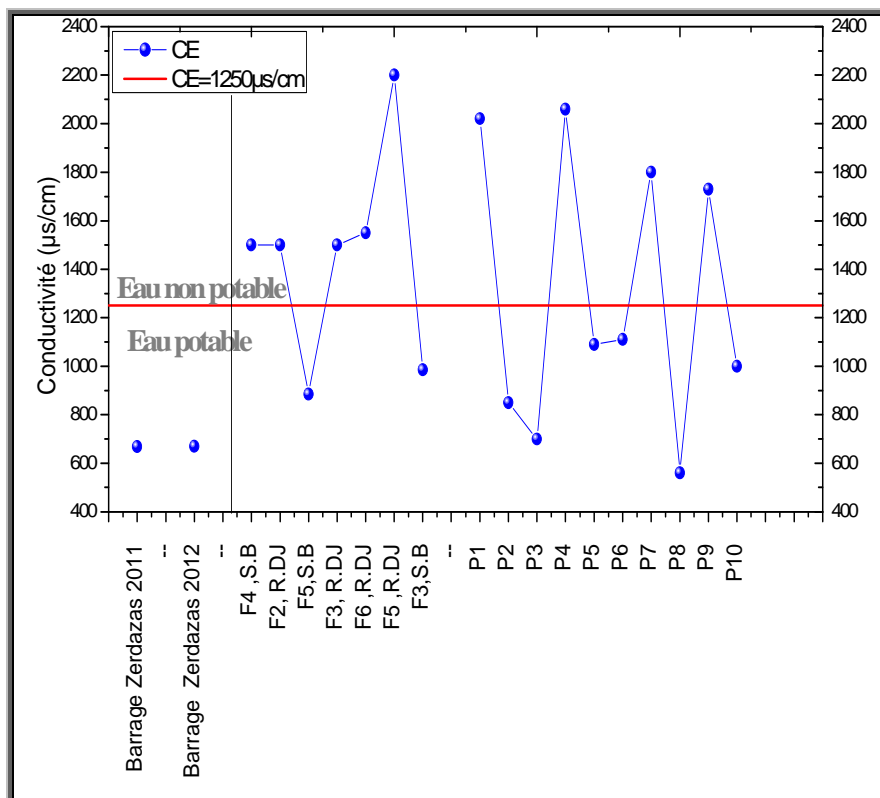


Figure 112: Qualité des eaux vis-à-vis la conductivité (Mai 2011 et 2012)

1.2. Les anions :

Les anions sont des paramètres utiles pour déterminer la salinité des eaux en combinaison avec les cations.

a- Les sulfates :

L'évolution des sulfates dans l'espace et dans le temps de eaux de surface (*Fig. 120*) montre une potabilité de ces eaux, par contre l'évolution dans l'espace des sulfates pour les eaux souterraines montre des eaux potables (P2, P3, P5, P7, P8, P9 et P10) et des eaux non potables pour le reste.

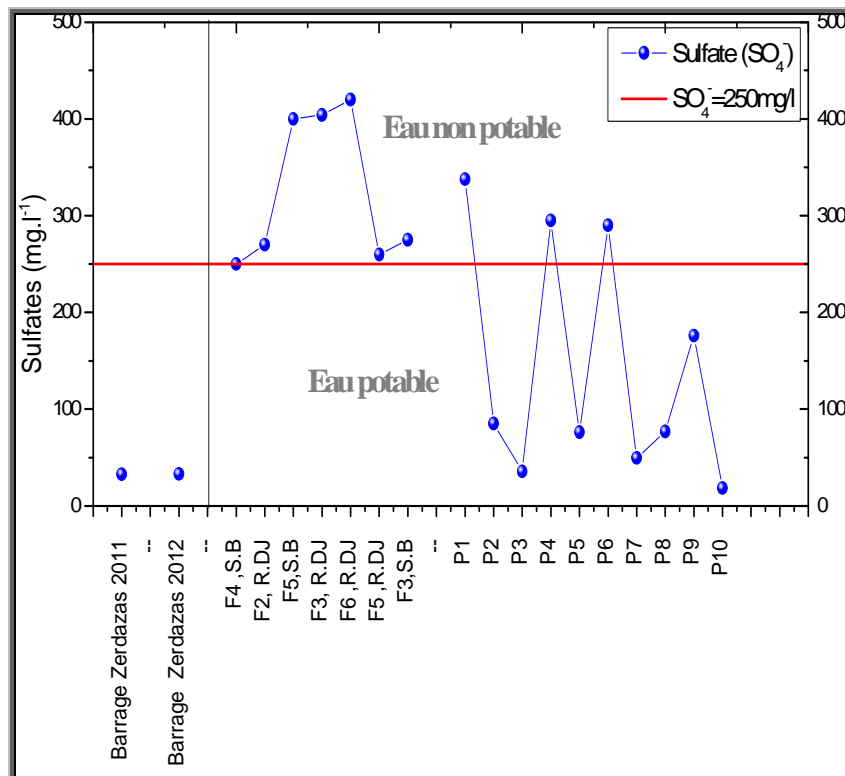


Figure 113: Qualité des eaux vis-à-vis les Sulfates (Mai 2011 et 2012)

b- Les chlorures :

L'évolution dans l'espace et dans le temps pour les eaux de surface (*Fig. 121*) indique une potabilité des eaux de surface en chlorures. Ces eaux restent conformes aux normes de potabilité avec des concentrations très petites. Pour les eaux souterraines (*Fig. 121*) l'évolution dans l'espace montre une potabilité via les chlorures pour la majorité des puits et forages, sauf pour les forages de Ramdan Djamel qui se trouvent loin à satisfaire les besoins humains en eau potable.

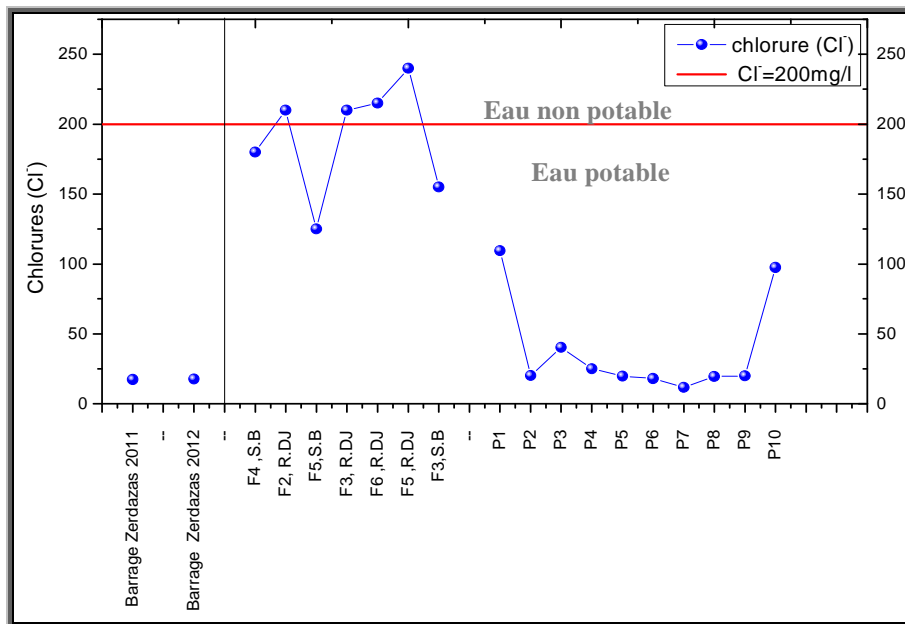


Figure 114: Qualité des eaux vis-à-vis les Chlorures (Mai 2011 et 2012)

c- Bicarbonates :

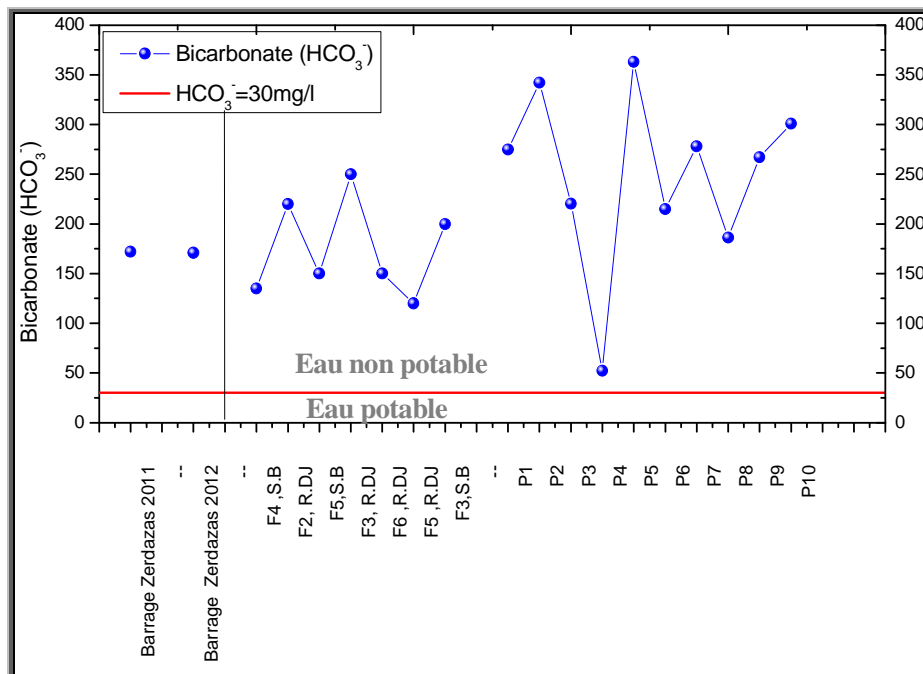


Figure 115: Qualité des eaux vis-à-vis les Bicarbonates (Mai 2011 & 2012).

L'évolution dans l'espace et dans le temps pour les eaux de surface (*Fig.122*) indique le non potabilité des eaux de surface en bicarbonates. Ces eaux dépassant largement les normes de

potabilité 30 mg/l. Pour les eaux souterraines (*Fig. 122*) l'évolution dans l'espace montre la même chose pour les puits et les forages, un excès en bicarbonates, conduit au non potabilité des eaux.

1.3. Les cations :

Les cations avec les anions jouent un rôle important dans la détermination de la salinité des eaux.

a- Sodium (Na^{+2}) :

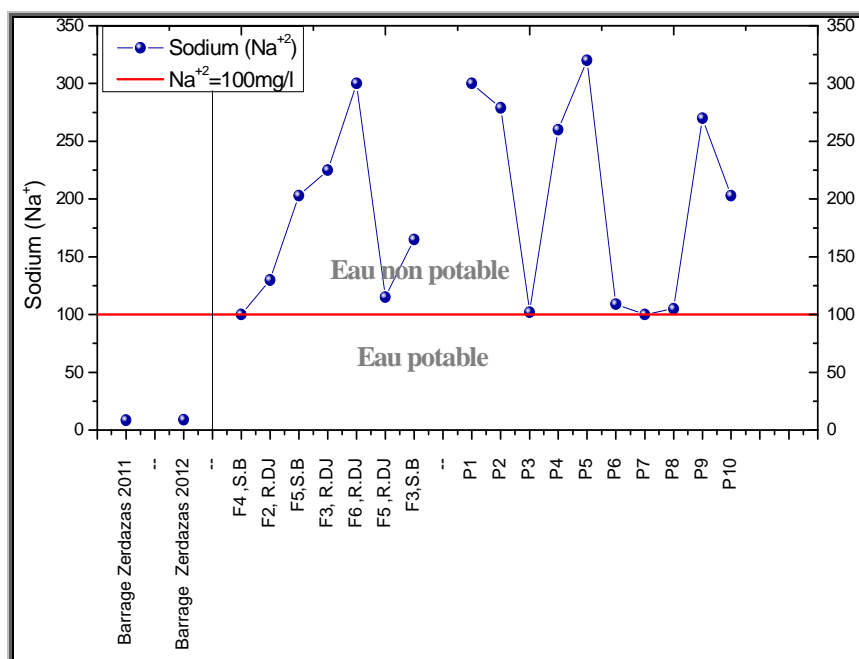


Figure 116: Qualité des eaux vis-à-vis le Sodium (Mai 2011 et 2012).

L'évolution du sodium dans l'espace et dans le temps pour les eaux de surface (*Fig.123*) montre une potabilité des eaux, tandis que les eaux souterraines (*Fig.123*) montrent des concentrations qui dépassent les normes admissibles et qui conduisent ces eaux vers le non potabilité vis-à-vis le sodium à l'exception de (F4.SB et P7) qui montrent une potabilité avec des concentrations égales aux normes (100mg/l).

b. Potassium (K^+) :

Les eaux de surface et souterraines étudiées montrent des concentrations faibles en potassium (K^+), sauf aux puits (P1 et P10). Pour les eaux de surface (*Fig.124*) montrent une évolution dans l'espace et dans le temps conforme aux normes admissibles ce qui rend ces eaux potable. L'évolution dans l'espace du potassium pour les eaux souterraines (*Fig.124*) montre une potabilité sauf pour (P1 et P10).

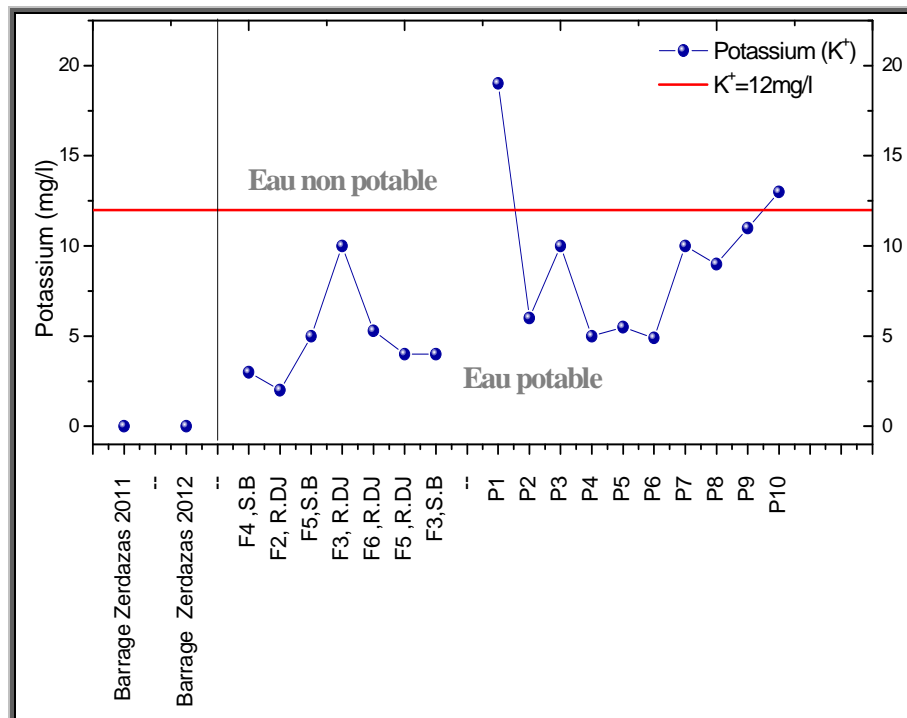


Figure 117: Qualité des eaux vis-à-vis le Potassium (Mai 2011 et 2012).

c- Calcium (Ca^{+2}) :

Les eaux de surface dans les deux périodes (*Fig.125*) montrent une potabilité des eaux. L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (*Fig. 125*) montrent que la majorité des eaux sont non potables vis-à-vis le Calcium sauf pour les eaux des puits (P3, P5, P7, P8, P9 et P10).

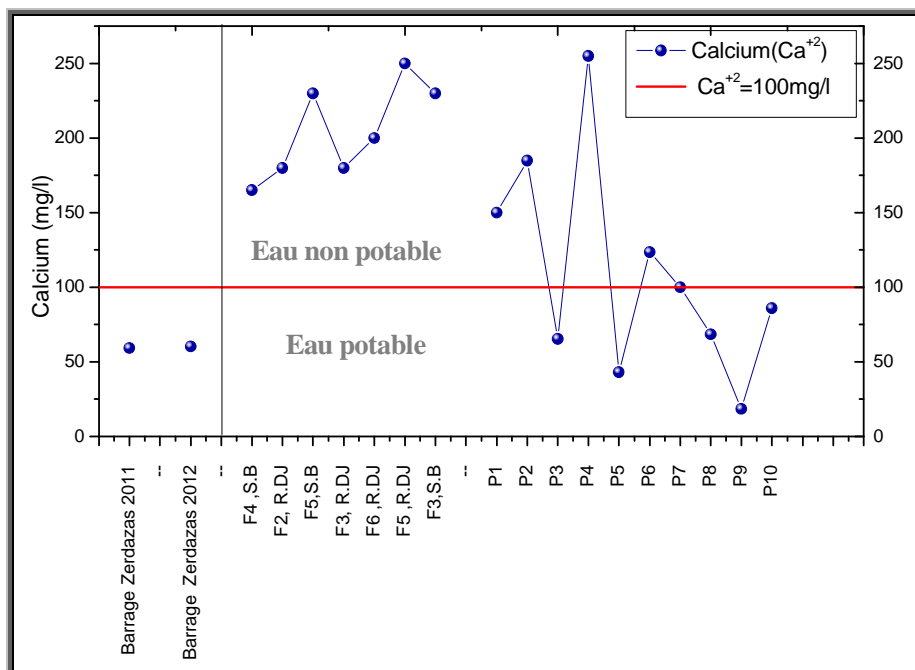


Figure 118: Qualité des eaux vis-à-vis le Calcium (Mai 2011 et 2012).

d- Magnésium (Mg²⁺) :

Les eaux de surface dans les deux périodes (*Fig.126*) montrent une potabilité des eaux via le magnésium. Les eaux souterraines (*Fig.126*) montrent une potabilité via le magnésium, sauf à la plaine de Skikda (P2, P3, P5, P6 et P8).

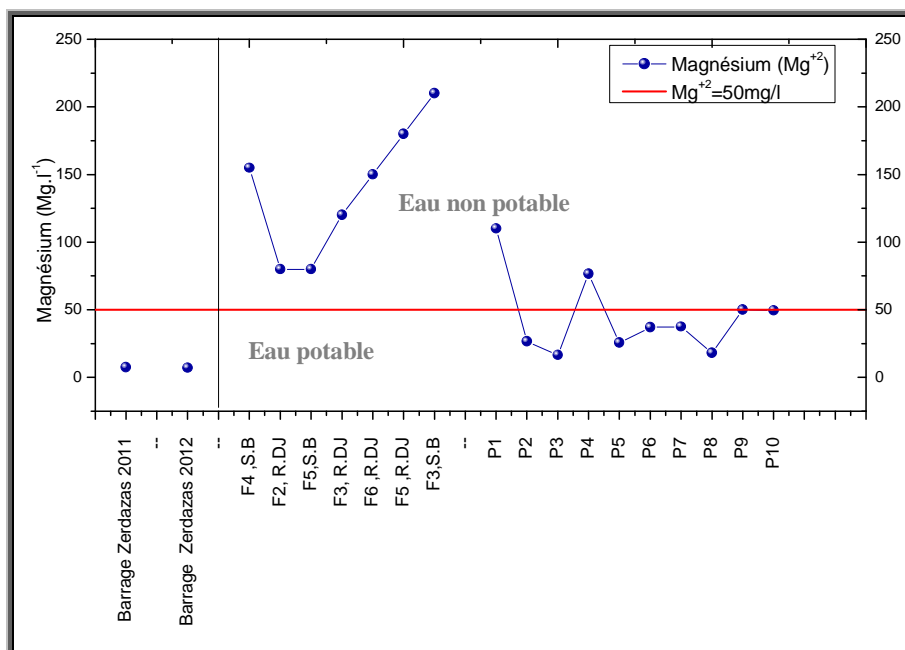


Figure 119: Qualité des eaux vis-à-vis le Magnésium (Mai 2011 et 2012).

1.4. Les nutriments :

Sont aussi des paramètres utiles pour déterminer la pollution des eaux surtout anthropique.

a- Nitrates (NO_3^-) :

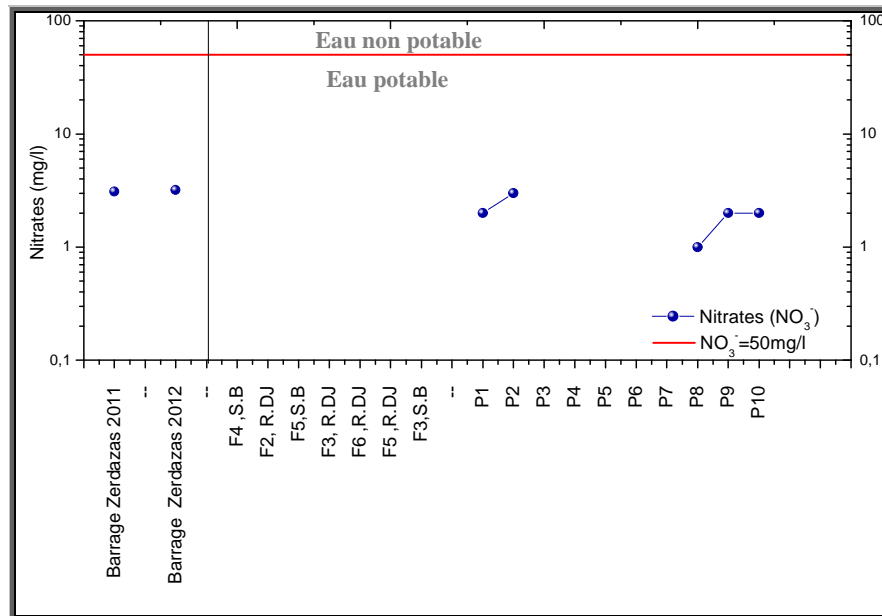


Figure 120: Qualité des eaux vis-à-vis les Nitrates (Mai 2011 et 2012).

Les analyses disponibles montrent que les eaux de surface et souterraines (*Fig.127*) ont des valeurs faibles en nitrate et donc une potabilité des eaux vis-à-vis des nitrates.

a- Nitrite (NO_2^-) :

A cause de leur danger sur la santé humaine, l'OMS donne une valeur limite égale à 0.1 mg/l. L'évolution dans le temps et dans l'espace des nitrites pour les eaux de surface (*Fig.128*) montre une augmentation de la concentration, mais malgré cette augmentation les eaux restent potables. L'évolution dans l'espace en nitrates (*Fig.128*) pour les eaux souterraines montre que tous les eaux analysées sont potables.

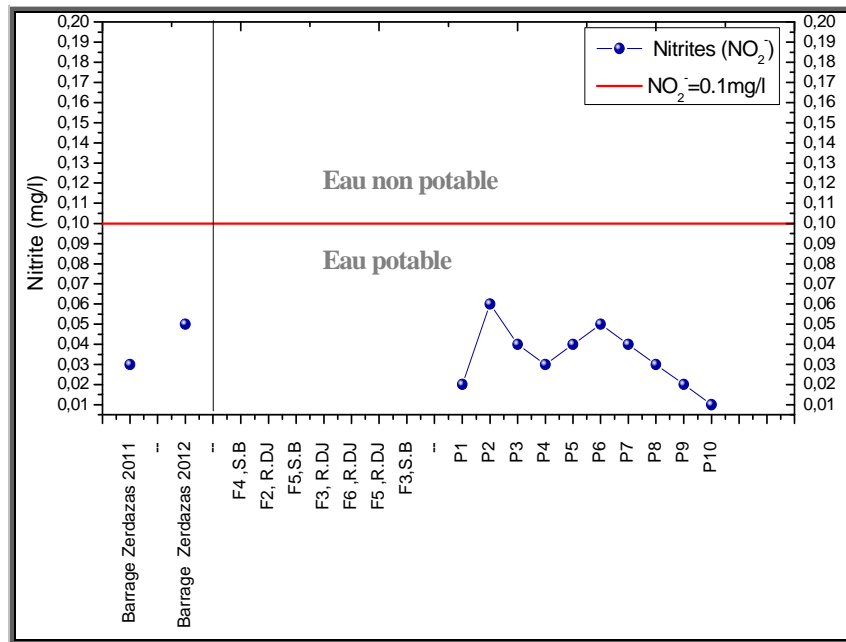


Figure 121: Qualité des eaux vis-à-vis les nitrites (Mai 2011 et 2012).

b- Phosphates (PO_4^-) :

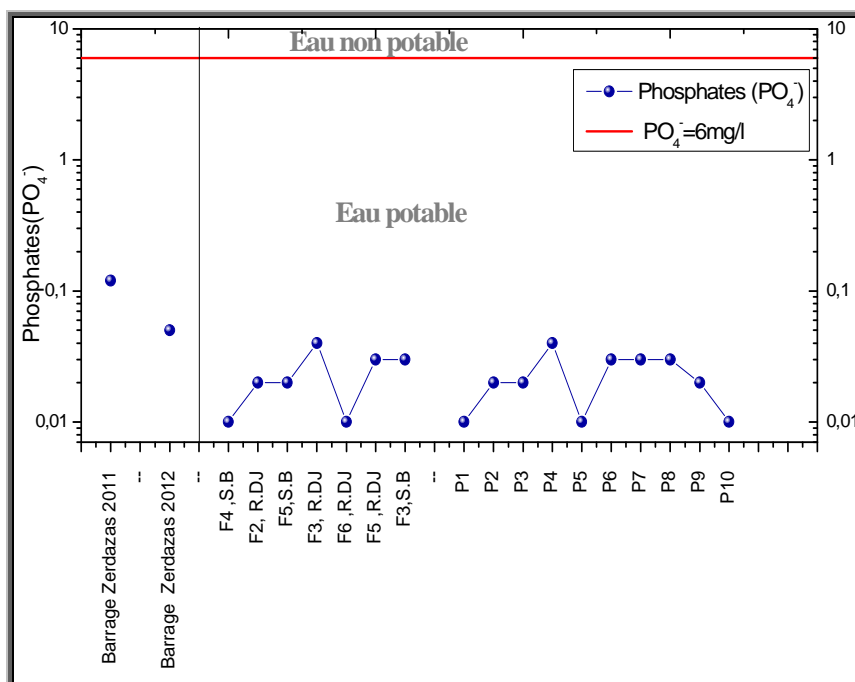


Figure 122: Qualité des eaux vis-à-vis les Phosphates (Mai 2011 et 2012).

L'évolution dans l'espace en phosphates pour les eaux de surface (*Fig.129*) montre des concentrations faibles en phosphates, tandis que l'évolution temporelle montre une

diminution de la concentration. Généralement les eaux de surface possèdent une potabilité vis-à-vis des phosphates. La même remarque pour les eaux souterraines, qui sont marquées par un bon état et une potabilité via les phosphates.

c- L'ammonium (NH_4^+) :

Les eaux de surface et souterraines de la région (*Fig.130*) sont distinguées par une potabilité vis-à-vis de l'ammonium, ce dernier est marqué par des très faibles concentrations et ne dépasse plus les normes admissibles.

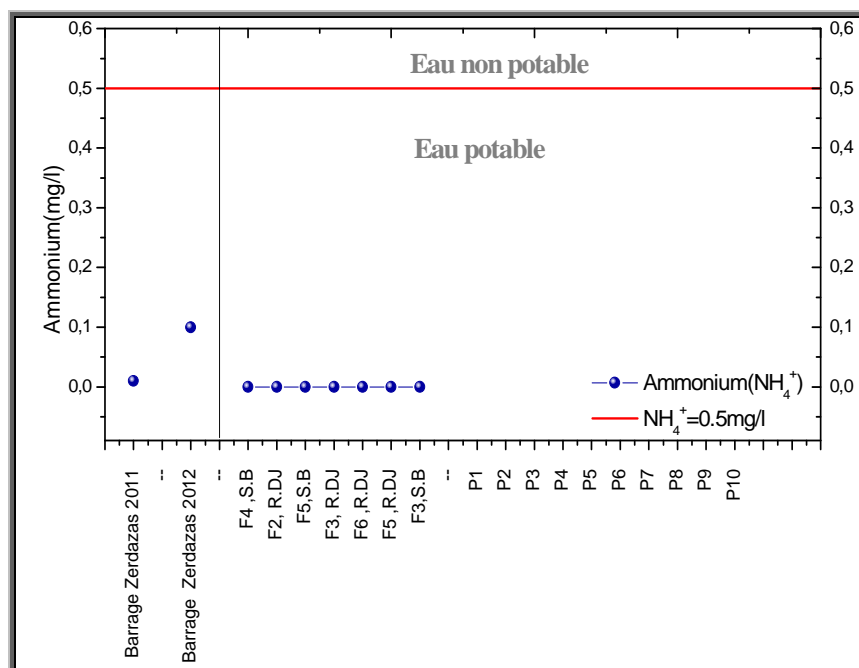


Figure 123: Qualité des eaux vis-à-vis les Phosphates (Mai 2011 et 2012).

2. Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI) :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols conduisant parfois à la baisse de leur fertilité par le processus

salinisation. Plus de 20 % des terres cultivées sur le globe seraient aujourd'hui affectées à des degrés de dégradation variables par la salinisation (Nefidsa, Keltoum, 2013).

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique au laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

- pH
- Risque de Salinité
- Risque de Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR)
- Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca et Mg.
- Autres traces d'éléments
- Anions toxiques
- Aliments
- Chlore libre

2.1. Les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation :

L'irrigation non contrôlée engendre des dégradations importantes de la qualité des sols. En effet, aussi bien la quantité d'eau disponible que sa qualité affecte fondamentalement le sol et les cultures qui y sont cultivées. La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides (Lahlou et *al*, 2002). Comme le montre la figure 12, la salinisation secondaire est un processus de dégradation de la qualité des sols qui s'auto-entretient lorsque les eaux de drainage ou de nappe phréatique sont recyclées. La salinisation secondaire est la forme de dégradation la plus rapide dans les périmètres irrigués (Umali, 1993 ; Badraoui et *al*, 1998 ; Lahlou et *al*, 2002)

2.2. Les risques du Sodium Adsorption Ratio (SAR) :

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calciums et les magnésiums adsorbés (échange de bases) sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le

magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire) (Djidel. M, 2008).

L'eau destinée à l'irrigation doit répondre à certaines exigences de sa qualité. Dans ce sens, on utilise le SAR et la minéralisation. L'indice utilisé est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium (Djidel. M, 2008).

Tableau 24:Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.

	SAR	Notes
Nul	<3.0	Pas de restriction sur l'utilisation de l'eau
Légère à modéré	3.0 à 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Dommmage sévère.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

Avec :

Na⁺ : Sodium (meq/l).

Ca⁺²: Calcium (meq/l).

Mg⁺²: Magnesium (meq/l).

a- La période de Mai 2011:

L'ensemble des points des eaux de surface (*Fig. 131*) montre un risque nul du SAR pour l'irrigation, soit pour les plantes, soit pour les sols. En ce qui concerne les eaux souterraines (*Fig.131*) la majorité des eaux montrent un risque nul via le SAR, sauf pour les forages situés à Ramdan djamel (F5, F3 et F6).

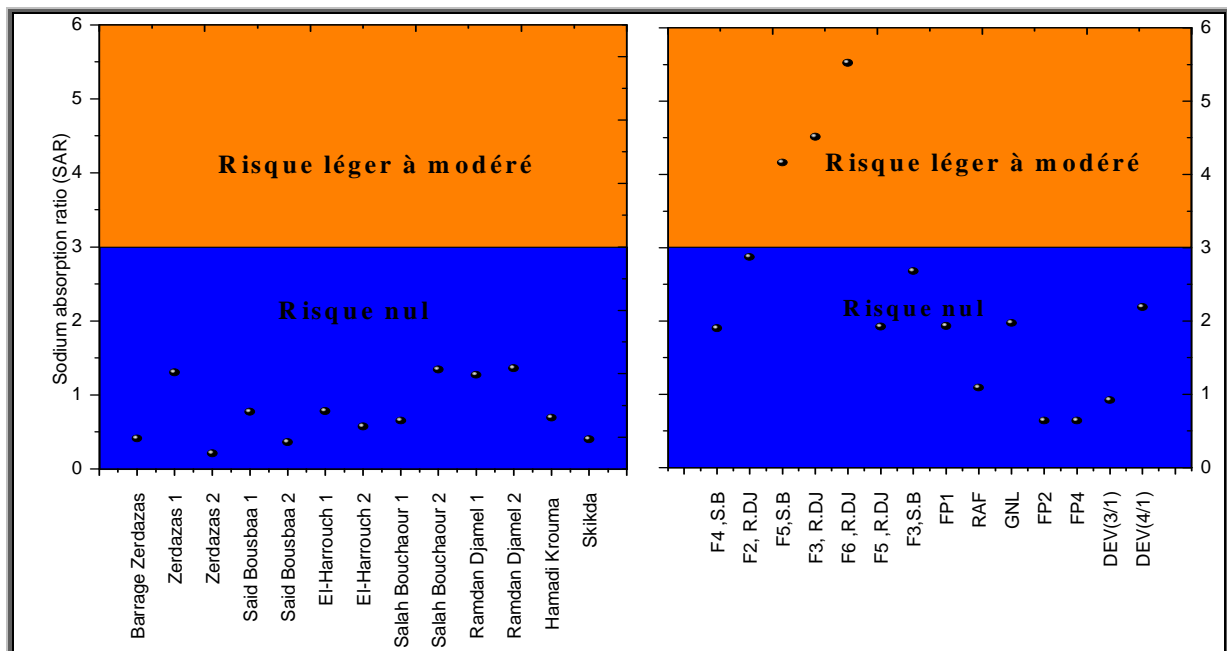


Figure 124: Risque du SAR eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

b- Période de Mai 2012 :

Les eaux de surface d'oued Saf-Saf (*Fig.132*) montrent une dégradation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation, ceci dû à la richesse de ces eaux par le Sodium en premier lieu qui a comme origine les rejets d'eaux domestiques et urbains et la dissolution de certains métaux comme le sel d'halite. Les eaux de surface montrent un risque nul du SAR pour l'irrigation dans tous les points, sauf pour Zardezas 2 et Said Bousbaa 1 et 2 qui montrent un risque léger à modéré du SAR pour l'irrigation.

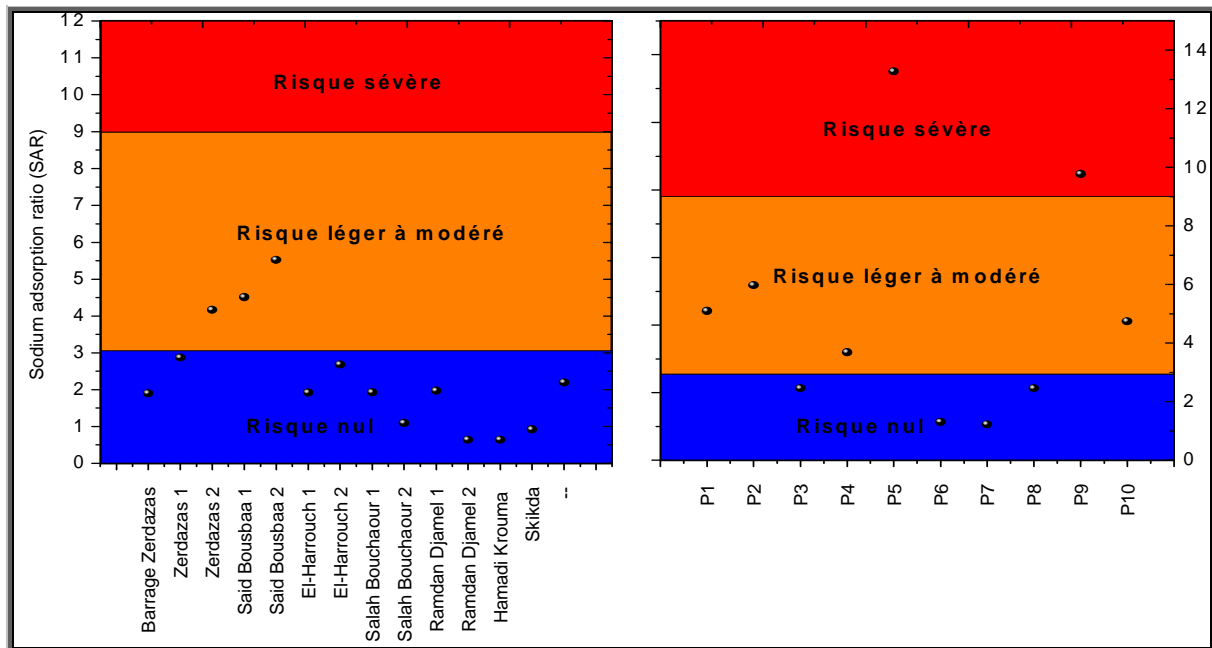


Figure 125: Risque du SAR eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

2.2. Relation entre le SAR et l'indice de salinité :

Le SAR et la salinité (CE) sont utilisés en combinaison pour évaluer certains problèmes potentiels comme le problème d'infiltration.

Tableau 25: SAR/Risque de salinité pour l'eau d'irrigation

SAR de: Risques	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40
	et CE (dS/m) de :				
Nul	>0.7	>1.2	>1.9	>2.9	>5.0
Léger	0.7	1.2	1.9	2.9	5.0
Modéré	0.2	0.3	0.5	1.3	2.9
Sévère	<0.2	<0.3	<0.5	<1.3	<2.9

Le taux de salinité et le SAR sont des indices proportionnelles, plus la salinité est élevée, plus l'indice SAR pourra poser des problèmes d'infiltration. Mais, plus la salinité sera basse, plus les problèmes d'infiltration seront indépendants de la valeur du SAR. Les averses de pluie peuvent réduire la salinité des sols et, par conséquent, augmenter l'indice SAR et affecter la pénétration d'eau dans ces sols (Djidel. M, 2008).

2.2.1. Diagramme de Wilcox :

Les classes, qui sont issues de la projection des classes de la CE en abscisses et les classes du SAR en ordonnées, permettent de déterminer la qualité de l'eau. Plusieurs auteurs ont interprété les classes issues du diagramme de Riverside.

Selon Durant (1982), ces classes sont qualifiées de la façon suivante :

C1S1 : Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.

C1S2, C2S1 : Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles

C1S3, C2S2 et C3S1 : Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

C1S4, C2S3, C3S2 et C4S1 : Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

C2S4, C4S2 et C3S3 : Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.

C3S4, C4S3 : Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.

C4S4, C5S3 et C5S4 : Eau déconseillée pour l'irrigation.

a- Les eaux de surface (Mai 2011 et 2012) :

La composition chimique des eaux de surface d'oued Saf-Saf pour les deux périodes d'observation montre qu'elles ont un faciès dominant Carbonaté-calcique. Sur le diagramme de Wilcox (*Fig. 133*), le classement de ces eaux montre une eau de classe **C2S1** résume une eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles et une classe **C3S1** qui résume une qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

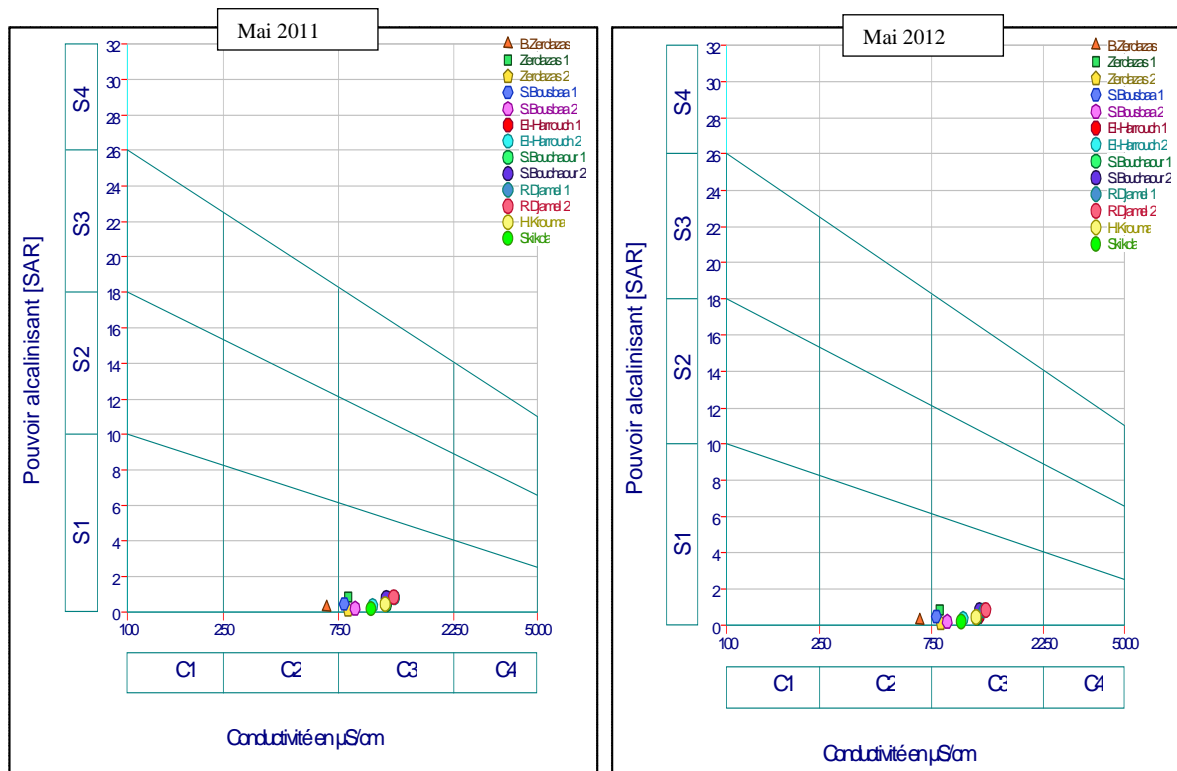


Figure 126: Diagramme de Wilcox (Mai 2011 et 2012).

b- Les eaux souterraines (Mai 2011 et 2012) :

La composition chimique des eaux souterraines pour les deux périodes d'observation montre plusieurs faciès chimiques. Sur le diagramme de Wilcox (*Fig. 134*) le classement des eaux montre trois classes pour les eaux de Mai 2011 comme pour les eaux de Mai 2012. Les eaux souterraines de Mai 2011, montrent une classe **C2S1** indique une eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles et une deuxième classe **C3S1** de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse et une classe **C4S1** de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse. Pour les eaux souterraines de Mai 2012, on a aussi trois classe, une classe **C2S1** indique une eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles et une deuxième classe **C3S1** de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou

apport de gypse et une classe **C3S2** avec une eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

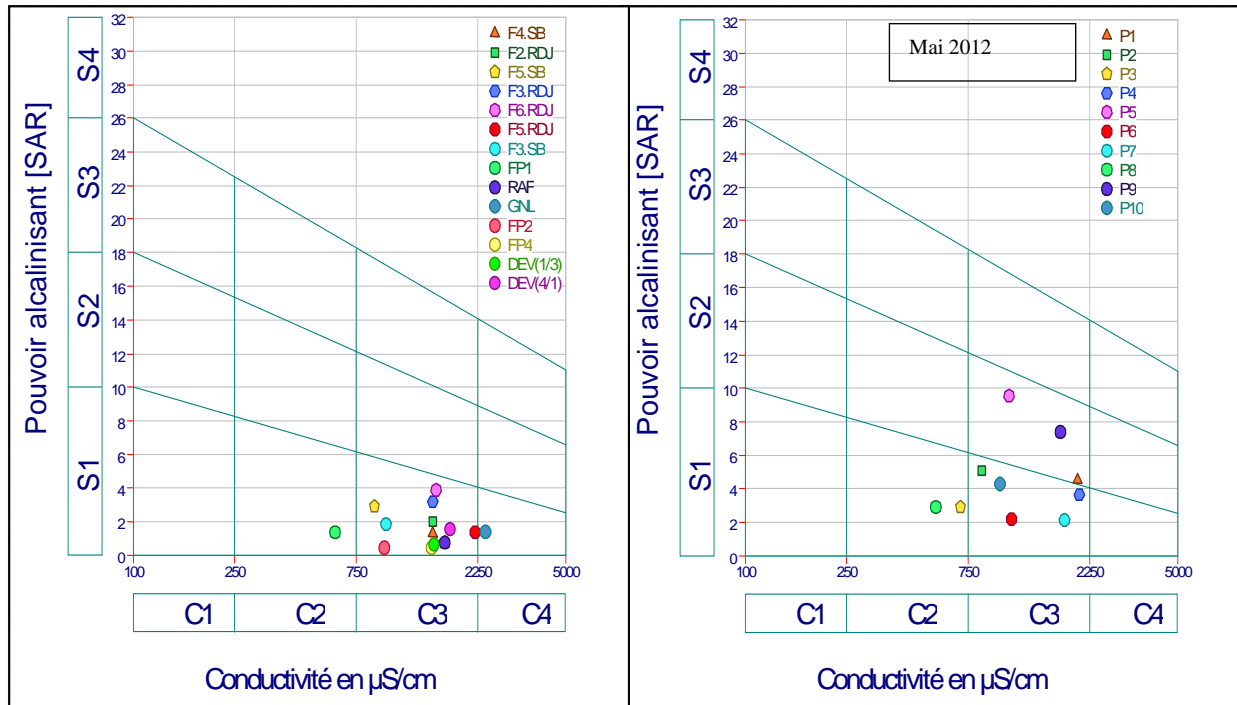


Figure 127: Diagramme de Wilcox (Mai 2011 et 2012).

2.3. Les risques de la salinité :

La salinisation est l'accumulation des sels dans les sols. Elle a pour principales conséquences une augmentation de la pression osmotique, une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont Na^+ , et une dégradation du sol. C'est une cause de dégradation de l'agriculture et de la biodiversité (Halse et al. 2003).

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs:

- La tolérance en sel de la récolte
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- Les conditions climatiques. La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- Les procédures de gestion des sols de l'eau.

En général, l'eau réutilisée pour l'irrigation doit avoir un degré faible ou moyen de salinité. (i.e. conductivité électrique de 0.6 à 1.7 dS/m).

a- Les eaux de Mai 2011 :

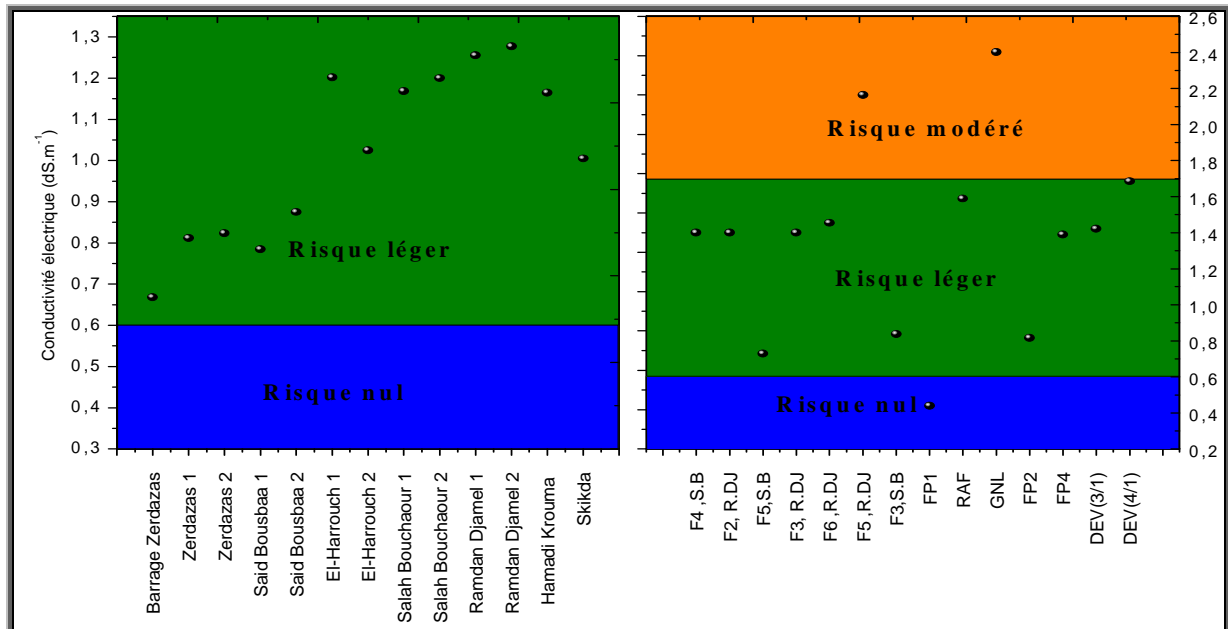


Figure 128:Risque de la salinité eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

Les eaux de surface (*Fig. 135*) présentent un risque de salinité léger de l’amont jusqu’à l’aval, tandis que les eaux souterraines (*Fig. 135*) présentent un risque de salinité léger pour la majorité des points analysés, un risque de salinité faible pour le forage FP1 et un risque de salinité modéré pour les forages (F5. RDJ et GNL).

b- Les eaux de Mai 2012 :

Les eaux de surface (*Fig.136*) présentent un risque de salinité léger de l’amont jusqu’à l’aval, tandis que les eaux souterraines (*Fig. 136*) présentent un risque de salinité léger pour la majorité des points analysés, un risque de salinité faible pour le puits (P8) et un risque de salinité modéré pour les forages (P1, P4, P7 et P9).

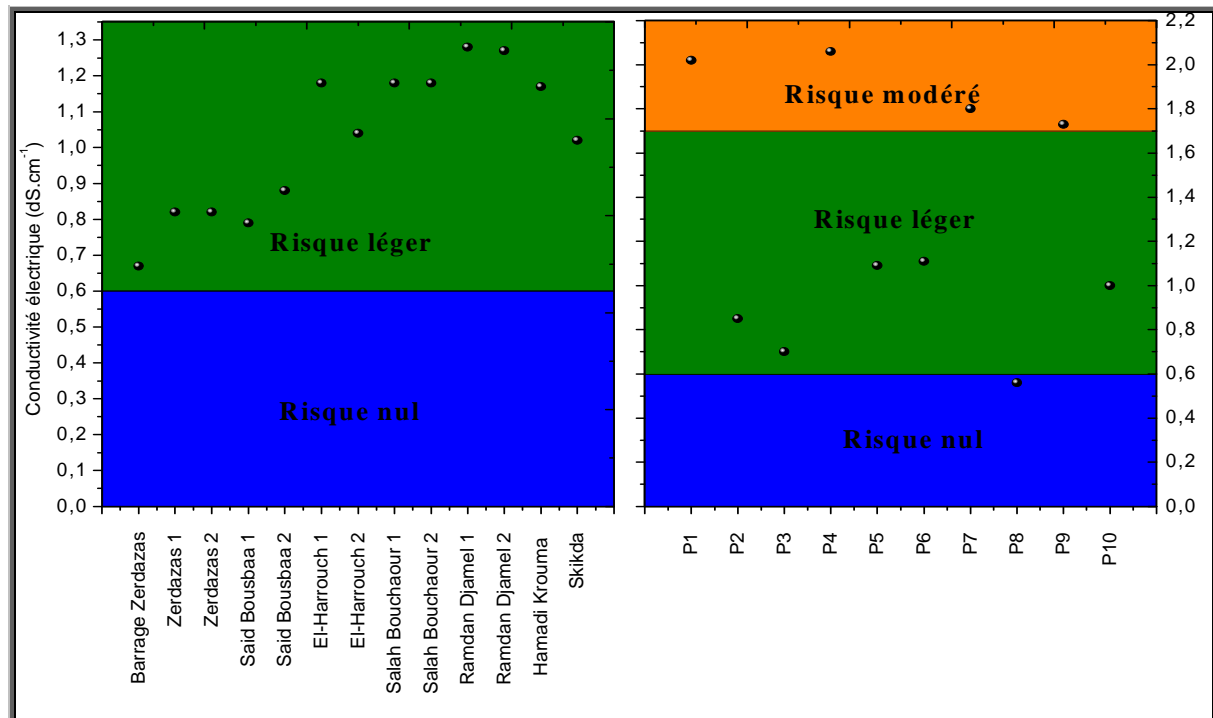


Figure 129: Risque de la salinité eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

2.4. Risques des bicarbonates :

Selon Lenntech (Une forte teneur en carbonate (CO_3) et en bicarbonate (HCO_3^-) augmente la valeur du S.A.R (environ $>3-4$ meq/L ou $>180-240$ mg/L).

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO_3) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur sodium et l'indice SAR deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ce peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2})$$

C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peu apparaître dans certains rapport d'analyse d'eau.

Si le RSC < 1.25 , l'eau peut être utilisée pour l'irrigation

Si le RSC > 1.25 l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation

Tableau 26: Risque des bicarbonates (HCO₃) pour l'eau d'irrigation (meq/l).

	Nul	Léger à modéré	Sévère
(Meq/l)	<1.5	1.5-7.5	>7.5
RSC	<1.25	1.25 à 2.5	>2.5

a- Les eaux de Mai 2011 :

Les eaux de surface (*Fig.137*) présentent un risque en bicarbonates léger à modéré pour tous les échantillons analysés sans exception et la même chose pour les eaux souterraines (*Fig.137*) qui présentent un risque en bicarbonates léger à modéré. Ceci dû à la richesse de ces eaux en bicarbonates.

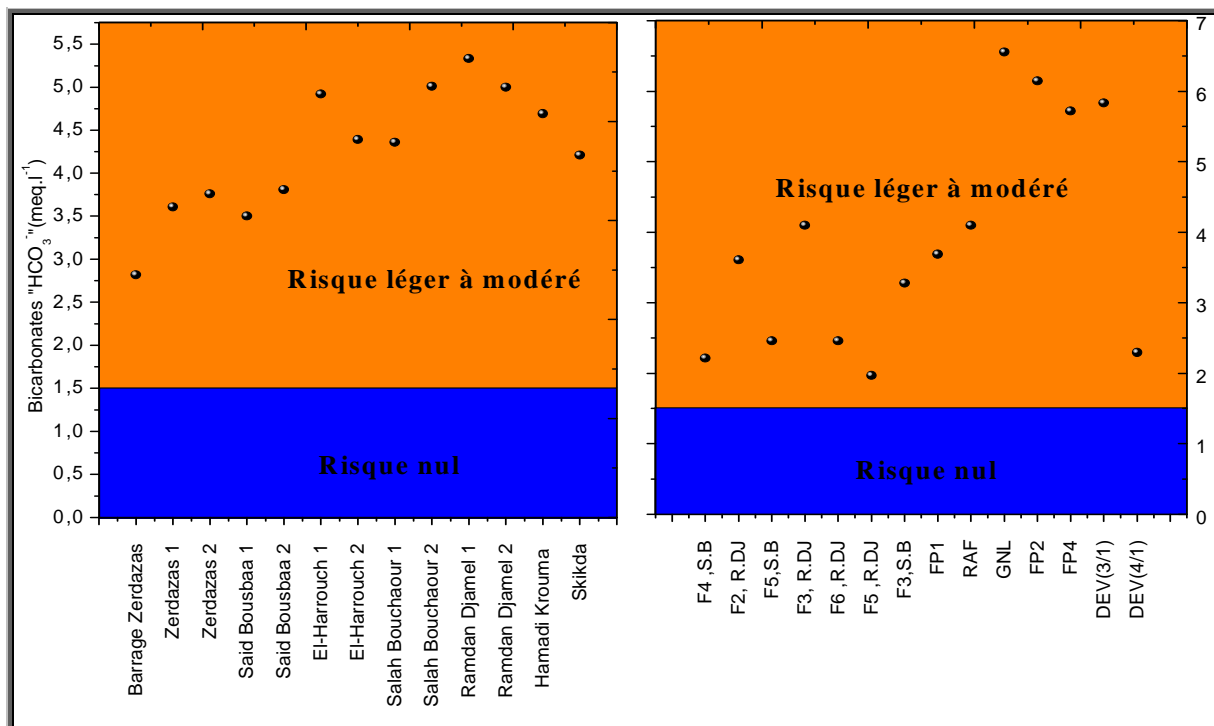


Figure 130: Risque des bicarbonates eau de surface et souterraines (Mai 2011).

b- Les eaux de Mai 2012 :

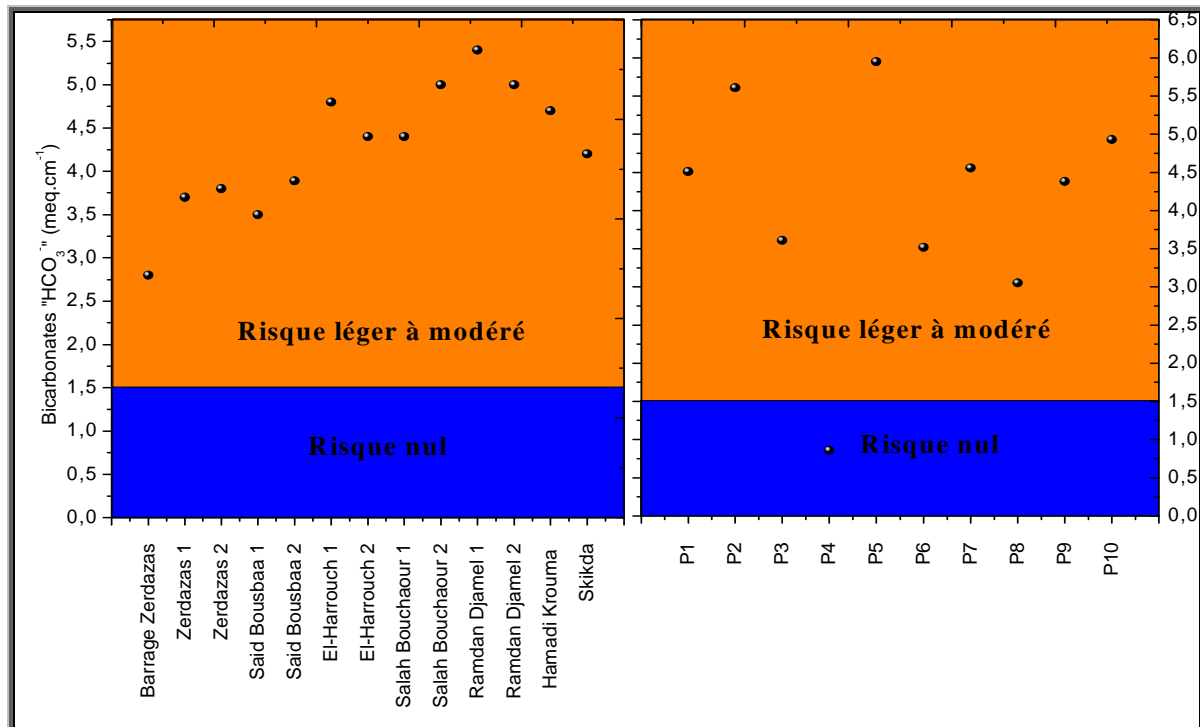


Figure 131: Risque des bicarbonates eau de surface et souterraines (Mai 2011).

Les eaux de surface de Mai 2012 (*Fig.138*) ne montrent aucune variation de risque en bicarbonates, donc les eaux représentent toujours un risque en bicarbonates léger à modéré à tous points analysés. Par contre les eaux souterraines (*Fig.138*) montrent un risque en bicarbonates nul pour le puits (P4) qui reflète une bonne qualité de l'eau vis-à-vis le risque en bicarbonates et un risque léger à modéré pour le reste des points. La richesse des eaux étudiées en bicarbonates augmente le risque en bicarbonates et conduit ces eaux vers une dégradation de qualité via l'utilisation pour l'irrigation.

2.5. Les risques des ions phytotoxiques :

Les ions toxiques les plus communs dans les eaux d'égouts sont :

- Bore (B)
- Chlorure (Cl)
- Sodium (Na)

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures. La convenance de concentration de ces anions dépend du type de récolte, de l'état de croissance, de la concentration en ions, du climat et de l'état des sols.

Selon (Robert Morris et Dr. Dale Devitt, 2002) les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques sont résumés au tableau suivant :

Tableau 27: Les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l)

	Bore	Chlore	Sodium
Nul	< 1	1-3	> 3
Léger à modéré	< 4	4-10	> 10
sévère	< 3	3-9	> 9

2.5.1. Les chlorures :

a-La période de Mai 2011 :

Les eaux de surface (*Fig.139*) montrent un risque nul en chlorures via les plantes pour la région qui s'étale du barrage de Zerdazas jusqu'au village de said Bousbaa, puis ce risque augmente pour arriver à un risque léger à modéré à partir du village d'El-Harrouch à l'exception des eaux d'El-Harrouch 2, Skikda et les eaux de Salah Bouchaour qui se trouvent en équilibre (entre le risque nul et léger à modéré). Les eaux souterraines (*Fig. 139*) représentent un risque sévère (FP1 et RAF), un risque nul à modéré (GNL, FP2, FP4, DEV (1/3) et DEV (1/4)) et un risque nul pour les eaux de forages de Salah Bouchaour et Ramdan Djamel.

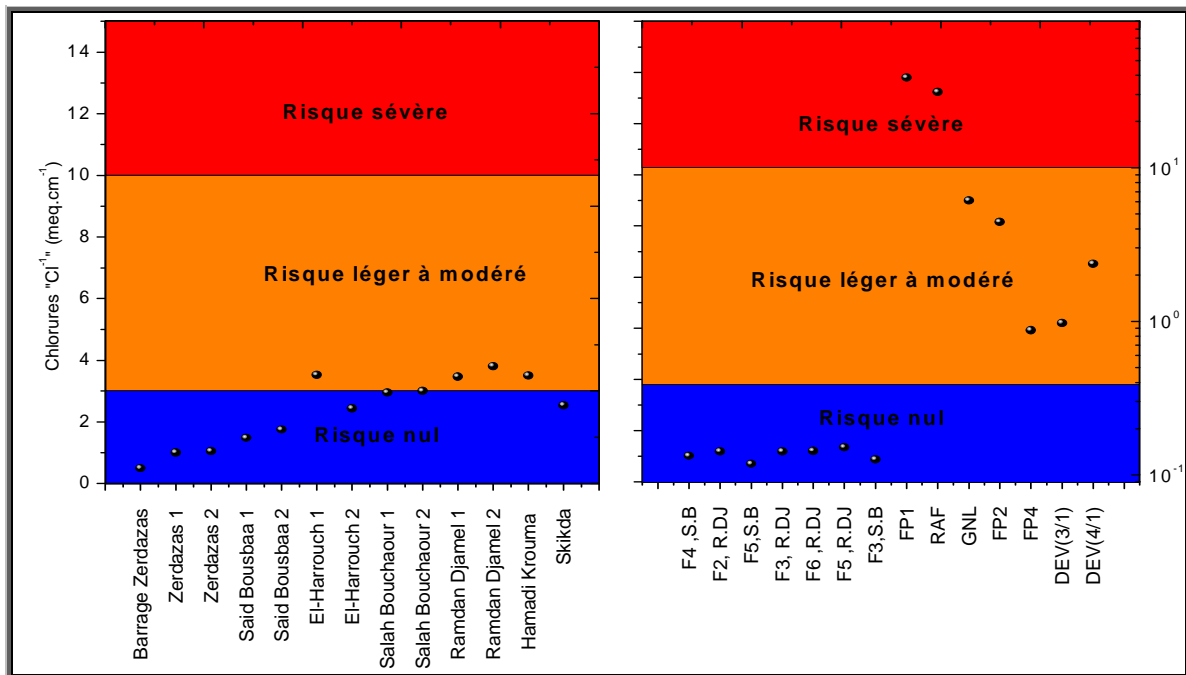


Figure 132: Risque des Chlorures eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

b- La période de Mai 2012 :

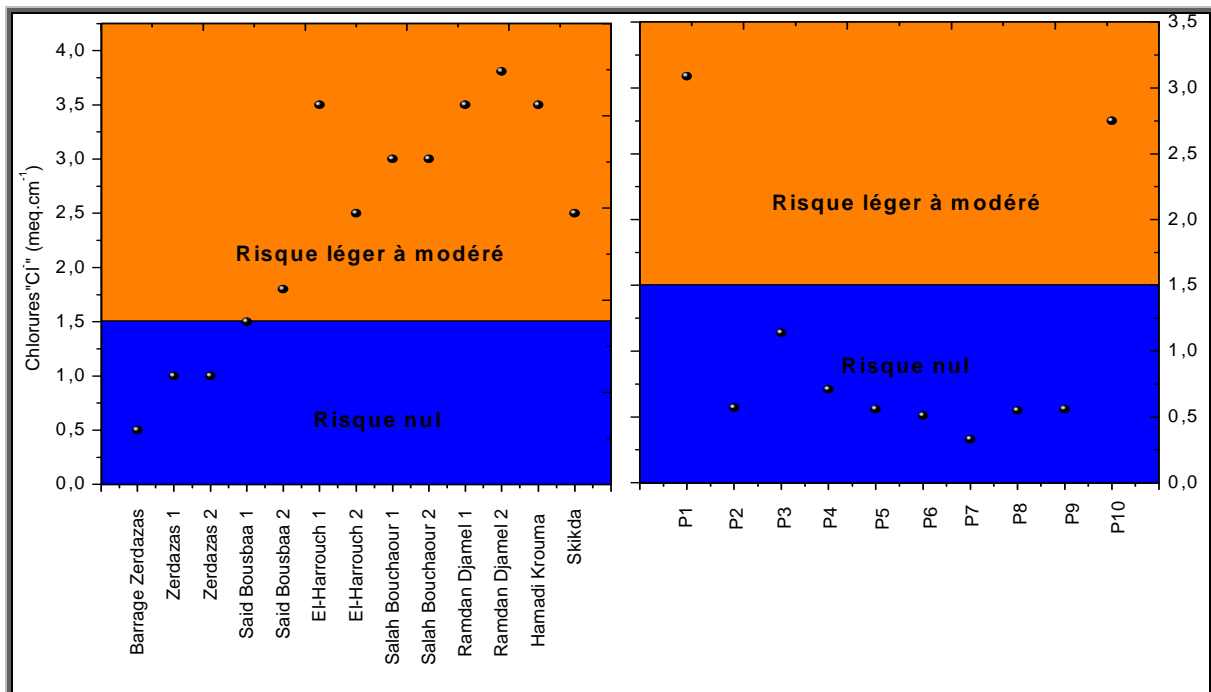


Figure 133: Risque des Chlorures eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

Les eaux de surface (*Fig.140*) montrent une dégradation des eaux via l'utilisation en irrigation (risque léger à modéré) et seules les eaux de Barrage de Zerdazas et Zerdazas 1 et 2 restent bonne pour l'irrigation avec un risque nul. Par contre les eaux souterraines (*Fig. 140*) représentent un risque nul pour toutes les eaux, sauf pour les puits (P1 et P10) marqués par un risque léger à modéré.

2.5.2. Le sodium :

a- La période de Mai 2011 :

Les eaux de surface (*Fig.141*) montrent un risque nul en sodium via les plantes pour la région qui s'étale de l'amont jusqu'à l'aval et pour les eaux de souterraines (*Fig.141*), seules les eaux de forage(RAF) représente un risque nul, par contre les eaux des forages ((F4, F5 et F4) Salah Bouchaour et (F2,F5) Ramdan Djamel et (FP1,FP2,FP4,GNL et DEV(1/3)) Skikda) représentent un risque léger à modéré et en ce qui concerne les trois forages (F3 RDJ, F6 RDJ et DEV (1/4)), ces forages représentent un risque sévère en sodium pour les plantes. Les teneurs élevées en sodium posant un problème crucial lorsque la vitesse d'infiltration est réduite. Dans ce cas, la perméabilité du sol est faible et l'eau d'irrigation atteint difficilement la plante.

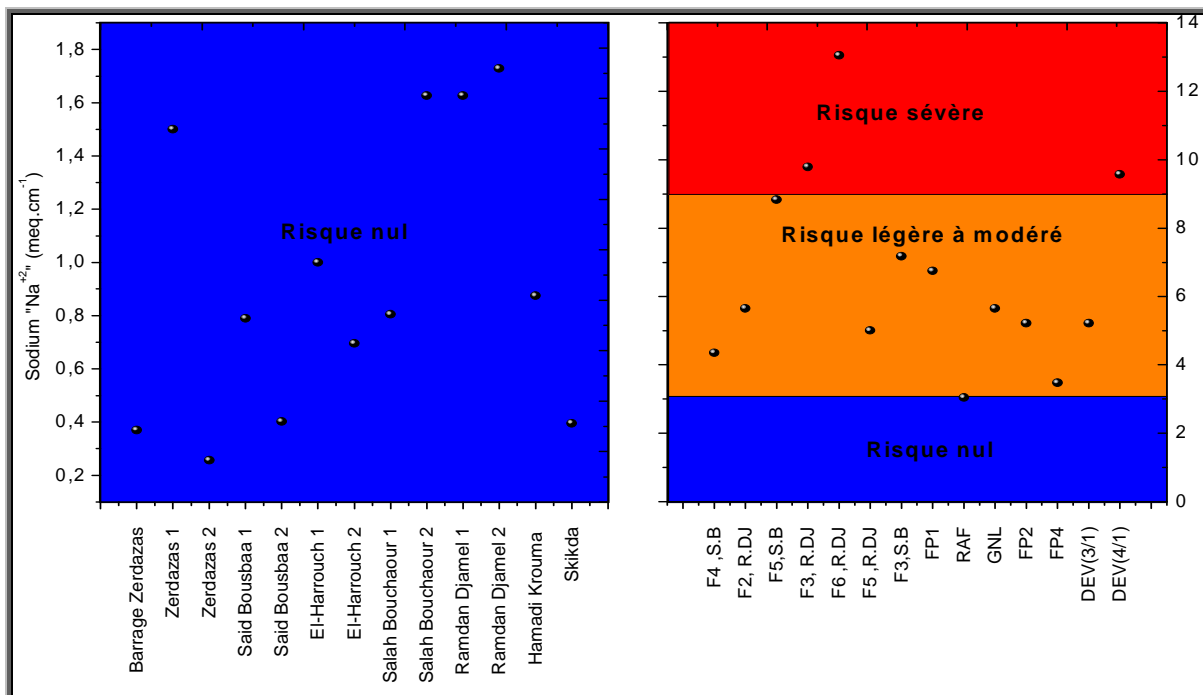


Figure 134: Risque des Chlorures eau de surface et souterraines (Mai 2011)

b- La période de Mai 2012 :

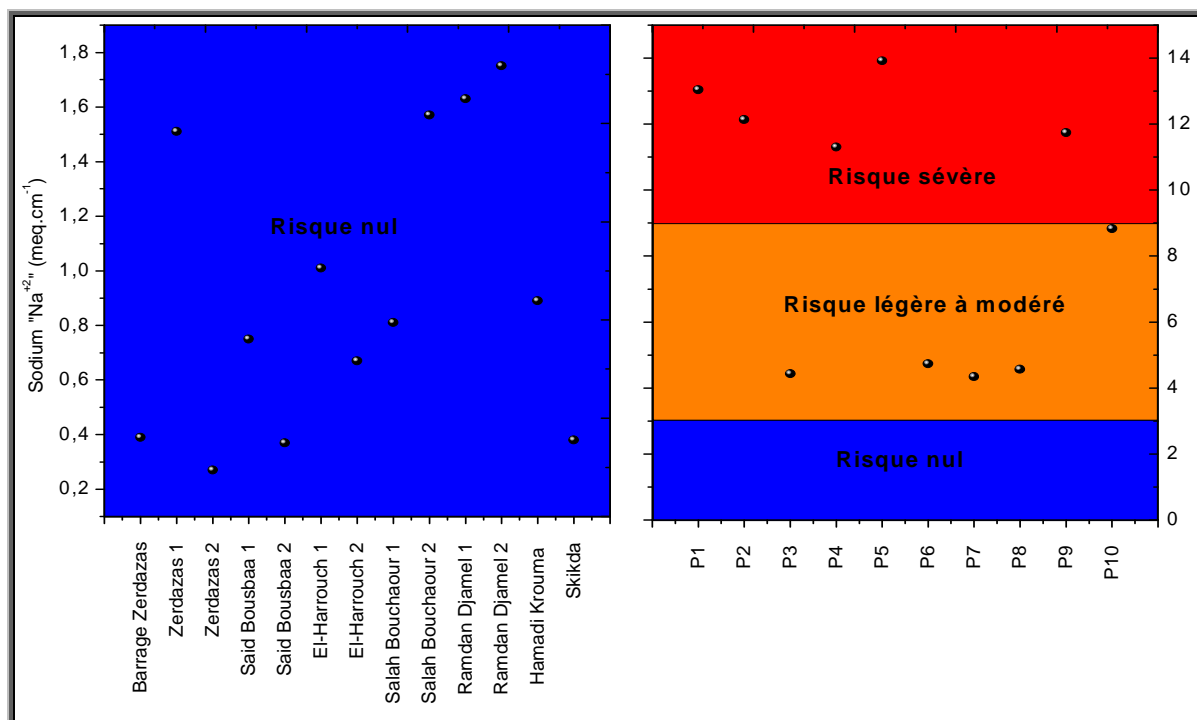


Figure 135: Risque des Chlorures eau de surface et souterraines (Mai 2012)

Les eaux de surface (*Fig.142*) montrent un risque nul en sodium vis-à-vis les plantes pour tous les échantillons analysés et pour les eaux de souterraines (*Fig.142*), on remarque un risque léger à modéré pour les puits (P3, P6, P7 et P8) et un risque sévère en sodium pour les plantes pour les forages (P1, P2, P4, P5, P9 et P10)

3. Qualité des eaux destinées à l'industrie:

Les eaux chargées en calcaires et en métaux dissous provoquant soit un entartrage, soit une corrosion et donc l'arrêt des unités industrielles pour la réparation et aussi la dégradation de la qualité des produits manufacturés en contact avec l'eau chargée en métaux dissous.

3.1. Indicateurs calco-carboniques :

3.1.1. L'indice de Ryznar (indice de stabilité) :

Cet indice est mesuré à l'aide de l'équation suivante : $IR = 2pH_S - pH$.

Où pH_S = pH théorique de saturation et pH = pH mesuré à 25°C

Il permet de définir la tendance agressive ou entartrante d'une eau aérée.

Tableau 28: Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau

I _R	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

a- Saison de Mai 2011 :

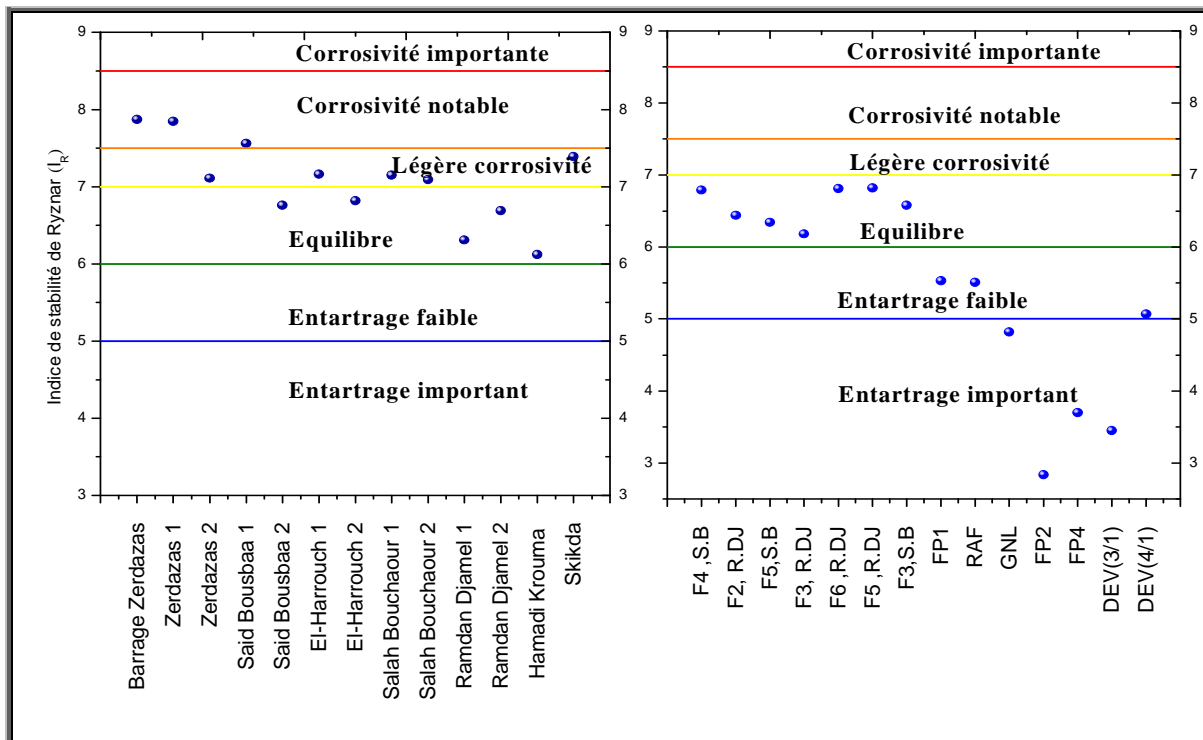


Figure 143: l'indice de stabilité de Ryznar eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

L'indice de Ryznar des eaux de surface (Fig.143) présente une agressivité notable pour les eaux du barrage de Zerdazas, Zerdazas 1 et Said Bousbaa 1, une légère corrosivité à Zerdazas 2, El-Harrouch 1, Salah Bouchaour 1 et 2 et Skikda et un équilibre pour les eaux de Said Bousbaa 2, El-Harrouch 2, Ramdan Djamel 1 et 2 et Hamadi Krouma. Pour les eaux

souterraines (*Fig. 143*) on remarque un équilibre pour les eaux de Salah Bouchour et Ramdan Djamel et un entartrage faible à important pour les eaux de la plaine de Skikda.

b- Saison de Mai 2012 :

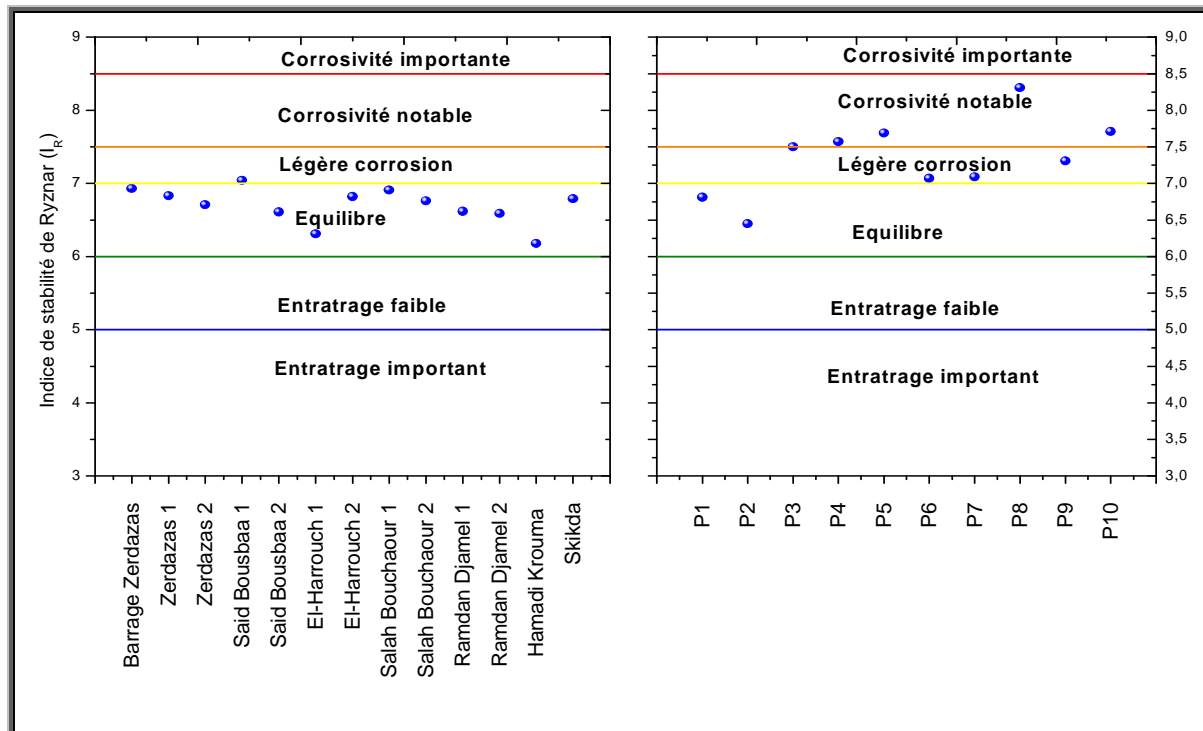


Figure 136: l'indice de stabilité de Ryznar eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

L'indice de Ryznar des eaux de surface (*Fig.144*) présente un équilibre pour tous les eaux, sauf au niveau de Said Bousbaa, on remarque que l'indice de Ryznar présente une légère corrosion. D'une manière générale on note une amélioration de la qualité des eaux de surface de Mai 2012 par rapport aux eaux de Mai 2011. Pour les eaux souterraines (*Fig.144*) on remarque un équilibre pour les puits (P1 et P2) et une légère corrosion pour les puits (P3, P6, P7 et P9) et une corrosivité notable pour (P4, P5 et P8).

3.1.2. L'indice de Langelier (indice de saturation :

L'indice de Langelier est calculé par l'équation suivante : $IL = pH - pHS$

Un indice de Langelier négatif désigne une eau agressive, ce qui peut dire que pH est inférieur au pHS de saturation : l'eau, sous saturée en $CaCO_3$, dissout le calcaire sous l'action du CO_2 agressif. S'il est positif, il y a formation d'une couche de carbonate de calcium qui protège les tuyauteries.

a- Saison de Mai 2011 :

Les eaux de surface (*Fig.145*) montrent qu’une partie des eaux de l’oued sont agressives vis-à-vis du calcaire, c’est le cas des eaux de Zardezas 2, Said Bousbaa 2, El-Harrouch 2, Salah Bouchaour 1 et 2, Ramdan Djamel 1 et 2 et Hamadi Krouma, et des eaux entartrentes au niveau du Barrage de Zardezas et Zerdazas 1, Said Bousbaa 1, El-Harrouch 1 et Skikda. Les eaux souterraines (*Fig. 145*) sont répartir en deux groupes, des eaux entartrentes pour les eaux de la région de Salah Bouchaour et Ramdan Djamel et des eaux agressives vis-à-vis du calcaire pour la plaine de Skikda.

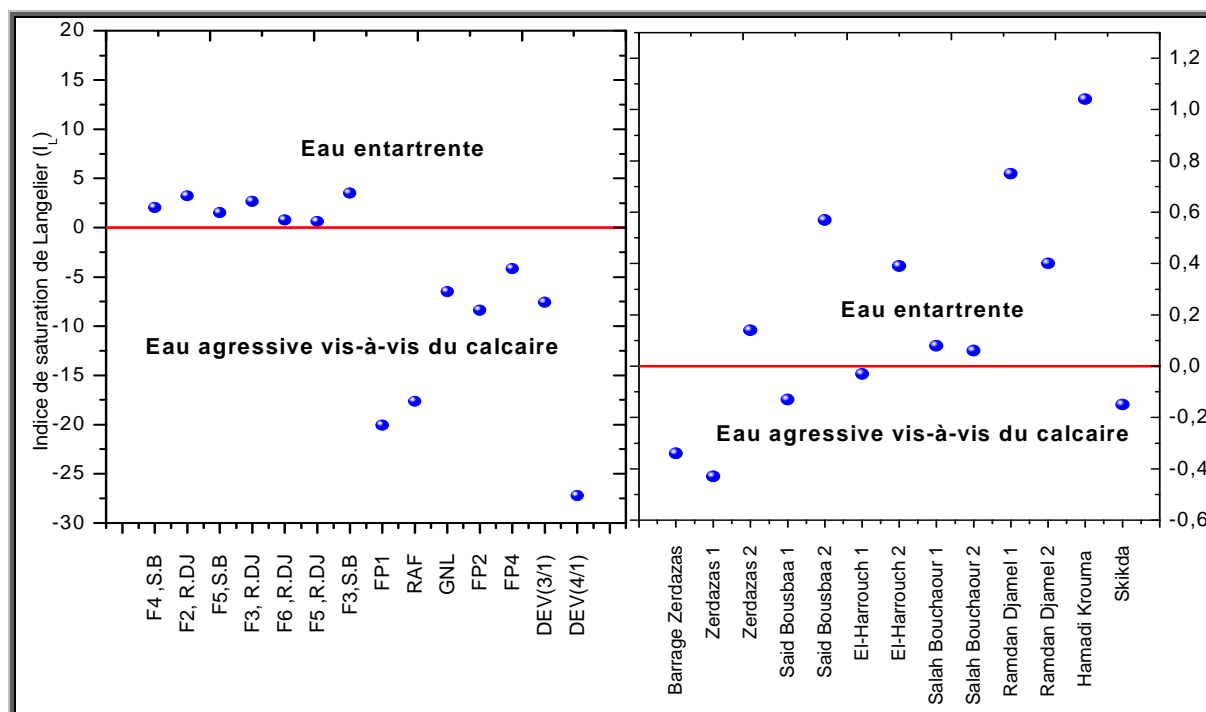


Figure 137: l’indice de Langelier eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

b- Saison de Mai 2012 :

L’indice de Langelier des eaux de surface (*Fig.146*) montre une eau entartrente pour l’ensemble des eaux analysées de l’amont jusqu’à l’aval, tandis que les eaux souterraines (*Fig.146*) montrent un indice de saturation de Langelier positif, indique une eau entartrente pour tous les puits à l’exception du puits (P4) qui reflète une eau agressive vis-à-vis du calcaire.

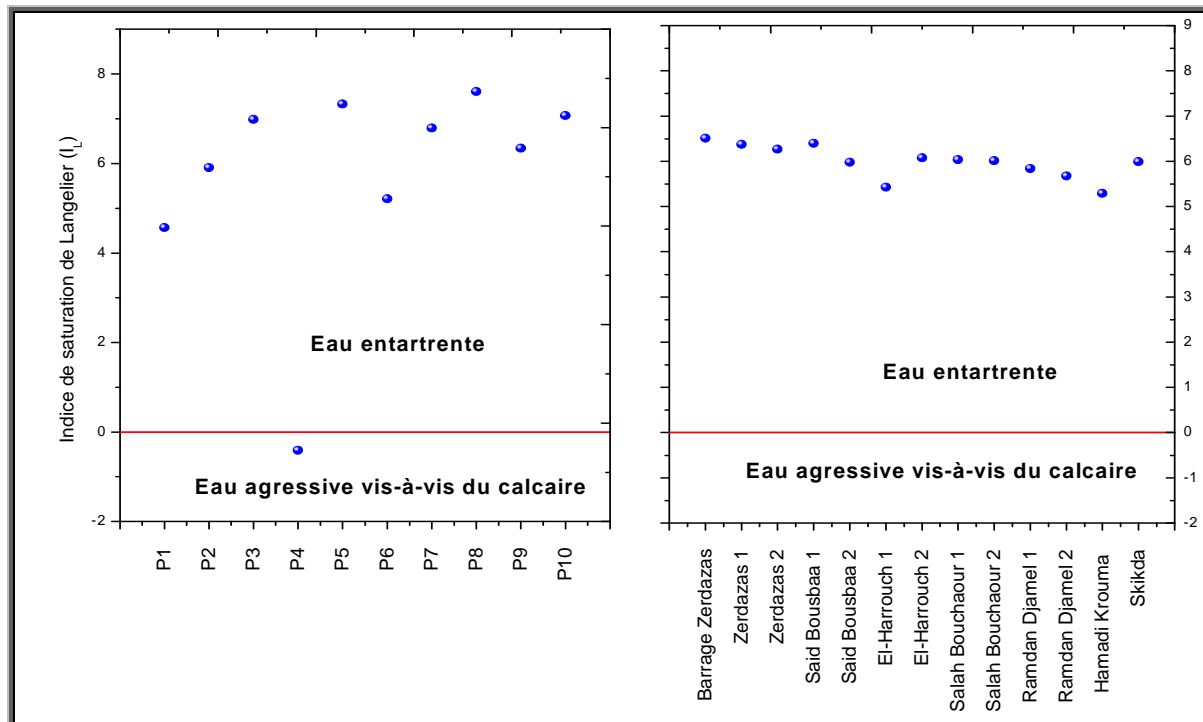


Figure 138: l'indice de Langelier eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

3.1.3. Indication de CCPP (calcium carbonate précipitation potentiel) :

Le calcul du CCPP sera calculé comme suit, pour une eau considérée de paramètres calco-carboniques déterminés, en particulier, TAC de l'eau donnée = TAC_1 et TAC de l'eau à l'équilibre = TAC_{eq} , avec les TAC en °F.

$$CCPP \text{ (mg CaCO}_3\text{/L)} = 10[TAC_1 - TAC_{eq}]$$

On va donc par calcul itératif procéder :

- pour une eau agressive : neutralisation de cette eau avec du $CaCO_3$ jusqu'à l'équilibre de saturation ($pH = pH_s$) et donc obtenir l'alcalinité (le TAC) à l'équilibre (indice de saturation, $IS = -0.1 \leq IS \leq 0.1$).
- pour une eau entartrente : réduction itérative du TAC de cette eau (valeur de décrémente = 0.1) jusqu'à obtention de l'équilibre de saturation ($pH = pH_s$) et donc obtenir l'alcalinité (le TAC) à l'équilibre ($IS = -0.1 \leq IS \leq 0.1$).

a- Saison de Mai 2011 :

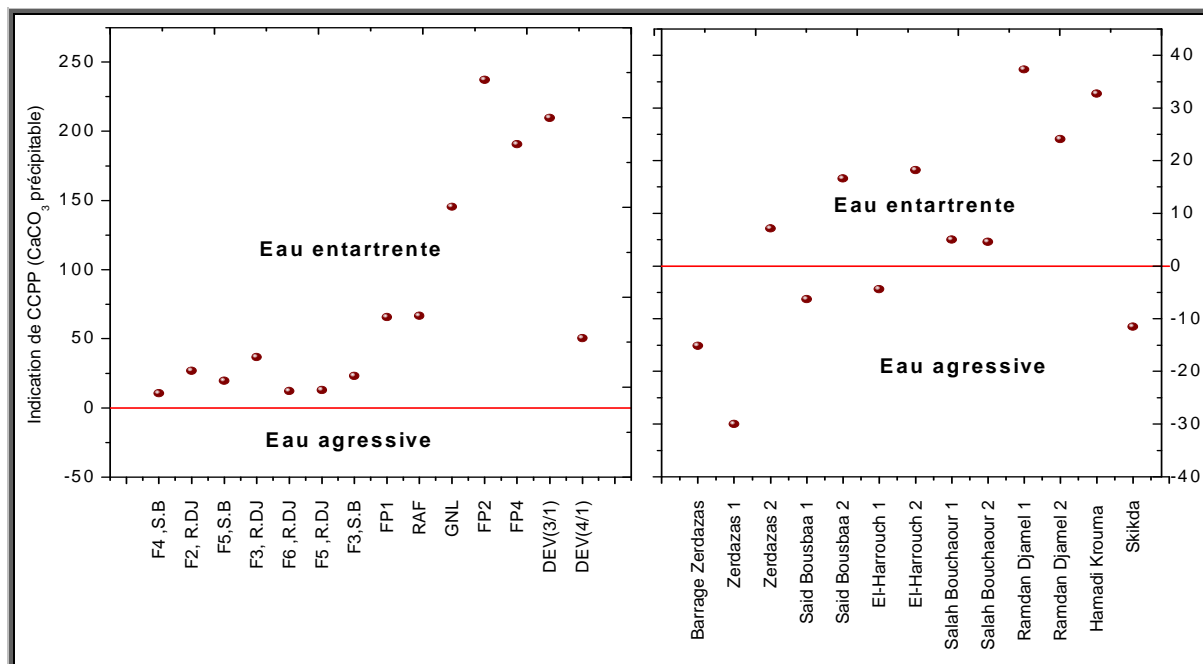


Figure 139: l'indication de CCPP eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

Les eaux souterraines (*Fig. 147*) montrent des eaux entartrentes pour tous les forages, avec des valeurs significatives du CaCO₃ précipitable, par contre les eaux de surface (*Fig.147*) montrent qu'une partie des eaux de l'oued sont agressives vis-à-vis du calcaire, c'est le cas des eaux de Zardezas 2, Said Bousbaa 2, El-Harrouch 2, Salah Bouchaour 1 et 2, Ramdan Djamel 1 et 2 et hamadi Krouma, et des eaux entartrentes au niveau du Barrage de Zardezas et Zardezas 1, Said Bousbaa 1, El-Harrouch 1 et Skikda.

b- Saison de Mai 2012 :

L'indication de CCPP des eaux de surface (*Fig. 148*) montre une eau entartrente pour l'ensemble des eaux analysées de l'amont jusqu'à l'aval, tandis que les eaux souterraines (*Fig.148*) montrent une indication de CCPP, indique une eau entartrente pour tous les puits (P1, P2, P6 et P7) et une eau agressive pour le reste.

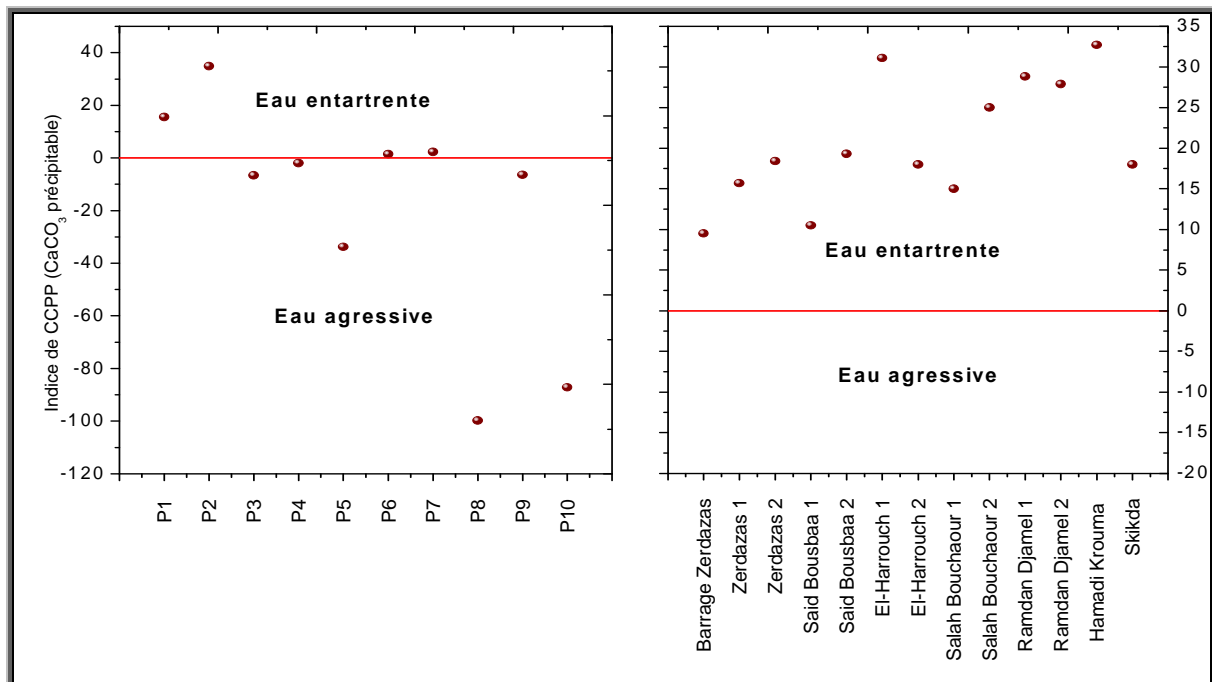


Figure 140: l'indication de CCPP eaux de surface et souterraines (Mai 2011).

3.2.Indicateur de corrosivité :

3.2.1. L'indice de Larson (indice de corrosivité) :

Selon Larson et Skold cet indice est calculé de la façon suivante :

$$IC = ([Cl] + 2 \times [SO_2]) / [HCO_3] \quad (\text{mol/l})$$

Larson et Skold, ont estimé que cet indice ne devrait pas dépasser 0,2 ou 0,3. D'autres ont estimé que des valeurs allant jusqu'à l'unité étaient acceptable. La relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau est résumée au tableau ci-dessous :

Tableau 29:Relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau

I _c	Tendance
< 0,2	Pas de tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance
0,4 à 0,5	Légère tendance
0,5 à 1	Tendance moyenne
> 1	Nette tendance à la corrosion

À partir des concentrations en ions chlorures, sulfates et bicarbonates on peut déterminer la corrosivité d'une eau. Mais il ne tient pas compte des ions calcium et magnésium qui ralentissent le phénomène de corrosion.

a- Saison de Mai 2011 :

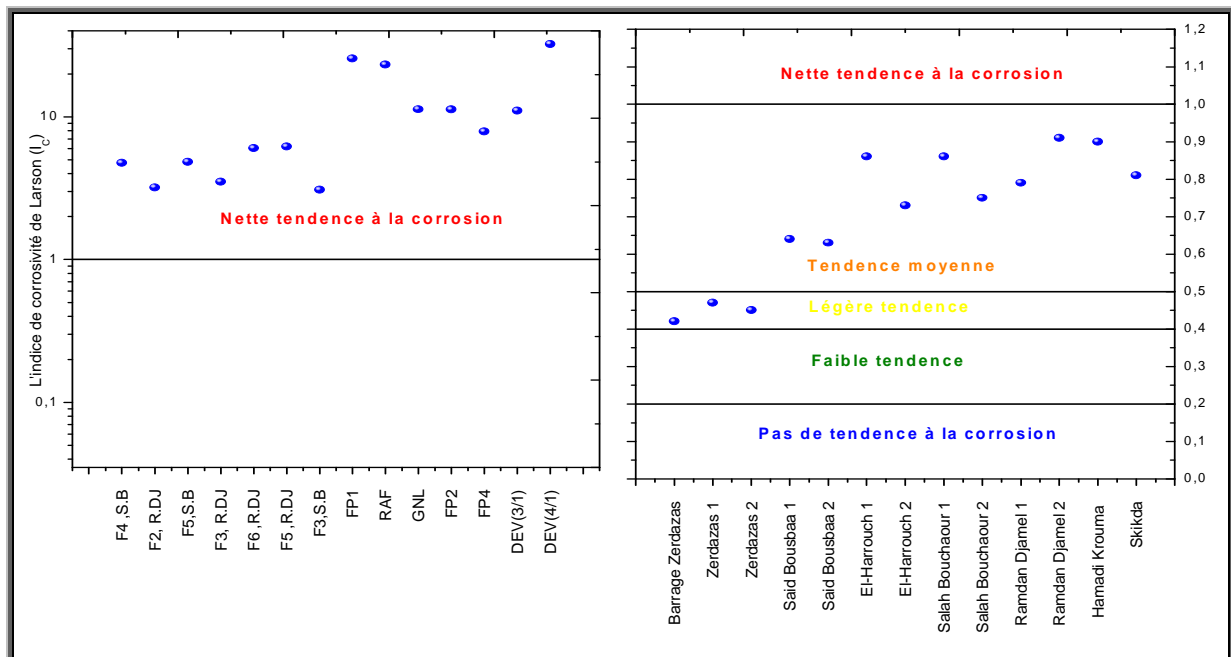


Figure 141: l'indice de Larson eaux souterraines et de surface (Mai 2011).

Les eaux de surface (**Fig. 149**) montrent des eaux à légère tendance à la corrosion au Barrage de Zerdazas et Zerdazas 1 et 2 et une tendance moyenne à la corrosion à partir du village de Said Bousbaa jusqu'à la partie aval (Skikda). Par contre les eaux souterraines (**Fig.149**) représentent une nette tendance à la corrosion pour tous les puits.

b- Saison de Mai 2012 :

Les eaux de surface (**Fig.150**) montrent des eaux à légère tendance à la corrosion au Barrage de Zerdazas et Zerdazas 1 et 2 et une tendance moyenne à la corrosion à partir du village de Said Bousbaa jusqu'à la partie aval (Skikda). Par contre les eaux souterraines (**Fig.150**) représentent une faible tendance à la corrosion pour les puits (P5 et P7), une tendance moyenne à la corrosion (P2, P3, P8, P9 et P10) et une nette tendance à la corrosion (P1, P4 et P6).

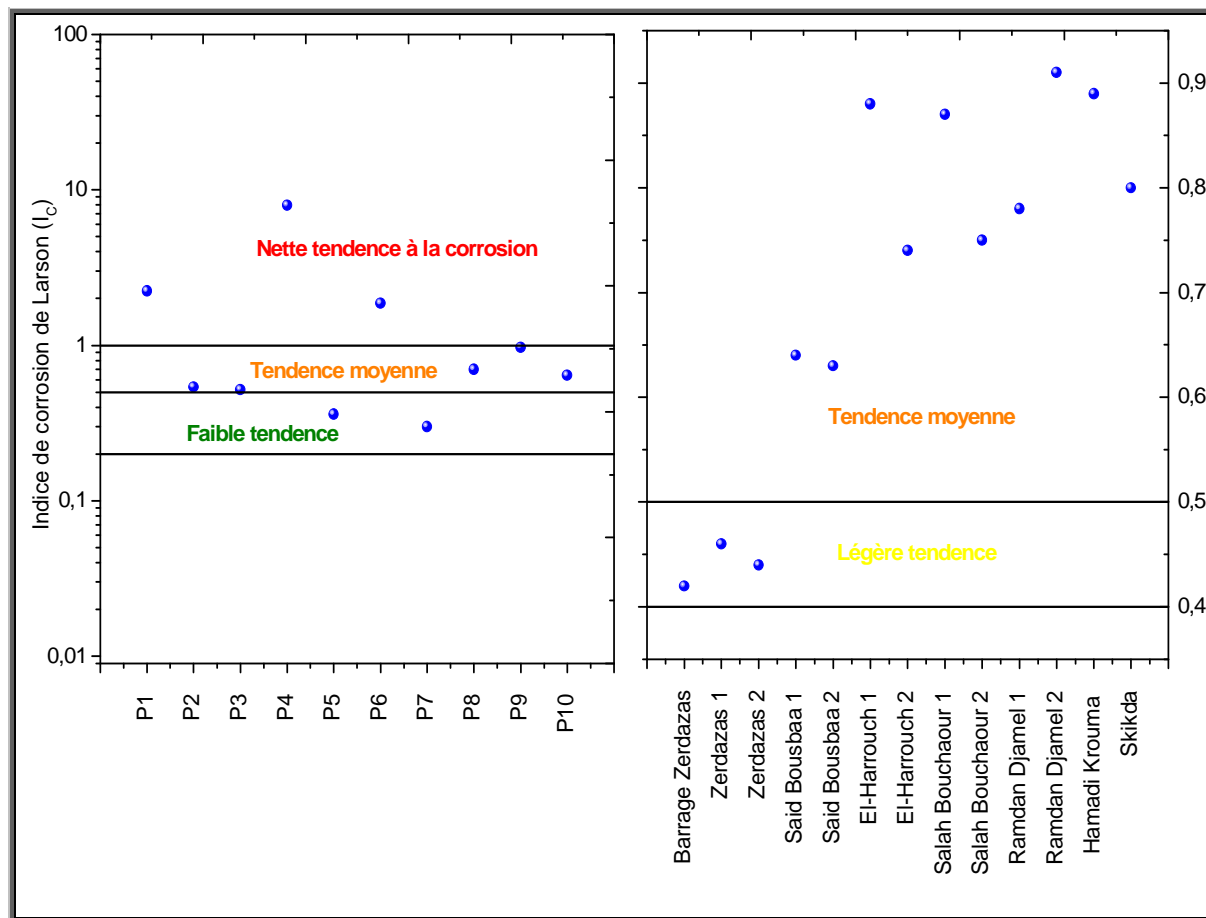


Figure 142: l'indice de Larson eaux souterraines et de surface (Mai 2012).

3.2.2. L'indice de Leroy (indice de corrosivité) :

a- Saison de Mai 2011 :

L'indice de Leroy est le rapport du TAC sur le TH. Cet indice exprimé en (meq/l) est comprise entre 0,7 et 1,3. Il permet de confirmer la tendance à la corrosion d'une eau et il est à utiliser en complément de l'indice de Larson.

L'indice de Leroy (indice de corrosivité) indique que les eaux de surface (**Fig. 151**) sont corrosives de l'amont jusqu'à l'aval et la même chose pour les eaux souterraines (**Fig.151**) qui représentent aussi un caractère corrosif.

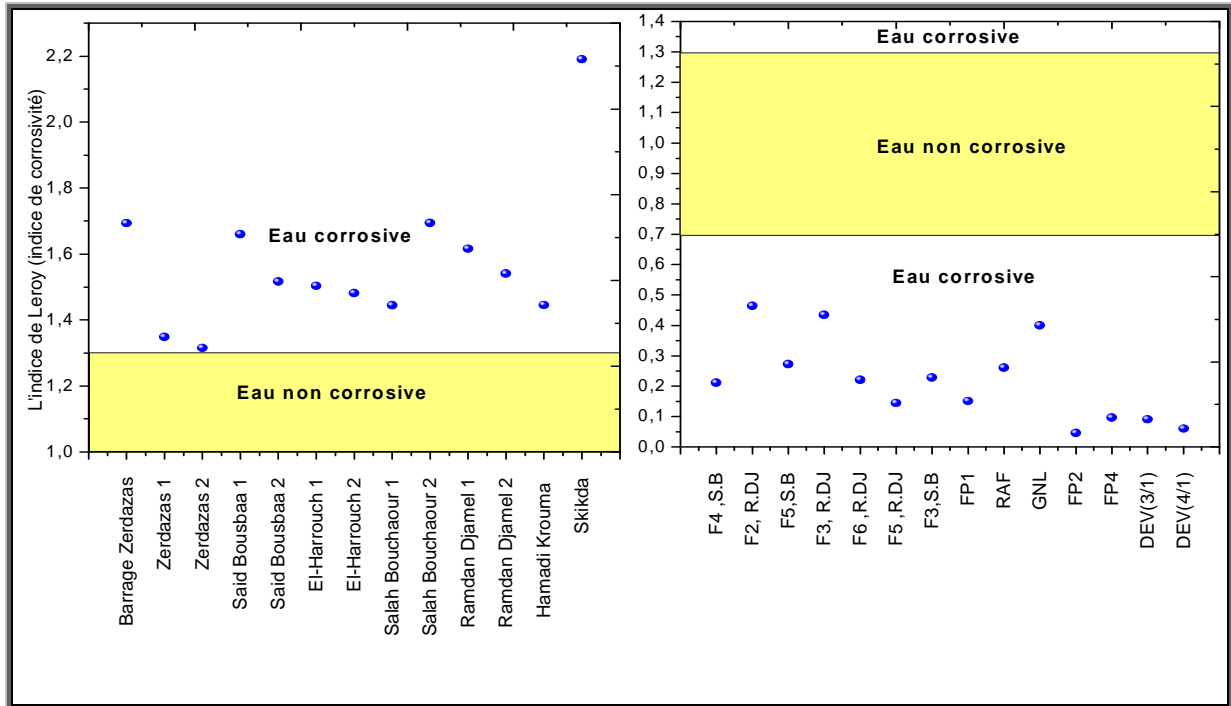


Figure 143: l'indice de Leroy eaux de surface et souterraines (Mai 2011)

b- Saison de Mai 2012 :

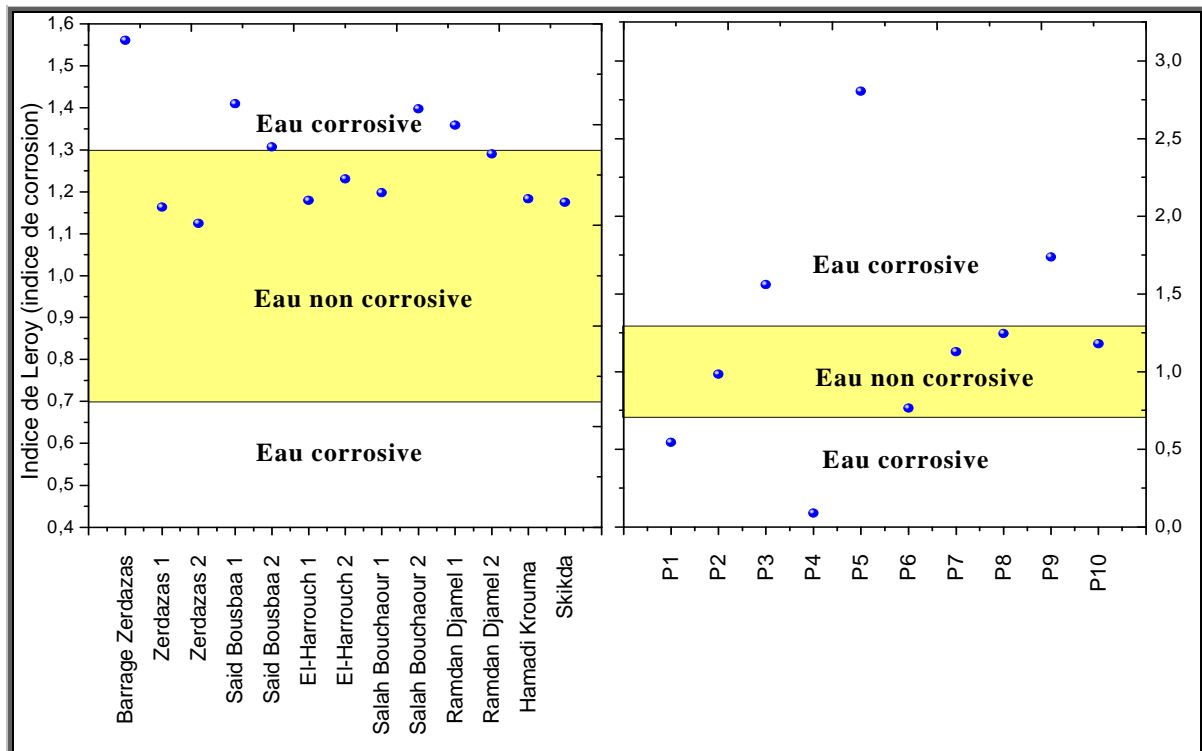


Figure 144: l'indice de Leroy eaux de surface et souterraines (Mai 2012).

L'indice de Leroy (indice de corrosivité) indique une amélioration de la qualité des eaux de surface vis-à-vis la corrosion pour certaines des eaux comparativement à l'année 2011 (Barrage du Zerdazas, Said Bousbaa 1 et 2, Salah Bouchaour 2 et Ramdan Djamel) et une qualité mauvaise à tendance corrosive pour d'autres (*Fig.152*).

Pour les eaux souterraines (*Fig.152*) on remarque une eau corrosive pour les puits (P2, P6, P7, P8 et P10) et une eau non corrosive pour les puits (P1, P3, P4, P5 et P9).

4. Conclusion :

La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la santé des écosystèmes et la biodiversité. En conséquence, la qualité de l'eau a également une influence sur la détermination des niveaux de pauvreté, de richesse et d'éducation de l'homme.

Les eaux de surface d'oued Saf-Saf montrent qu'elles sont potables pour la consommation humaine via les cations et les anions sauf pour les carbonates qui se trouvent en forte concentration.

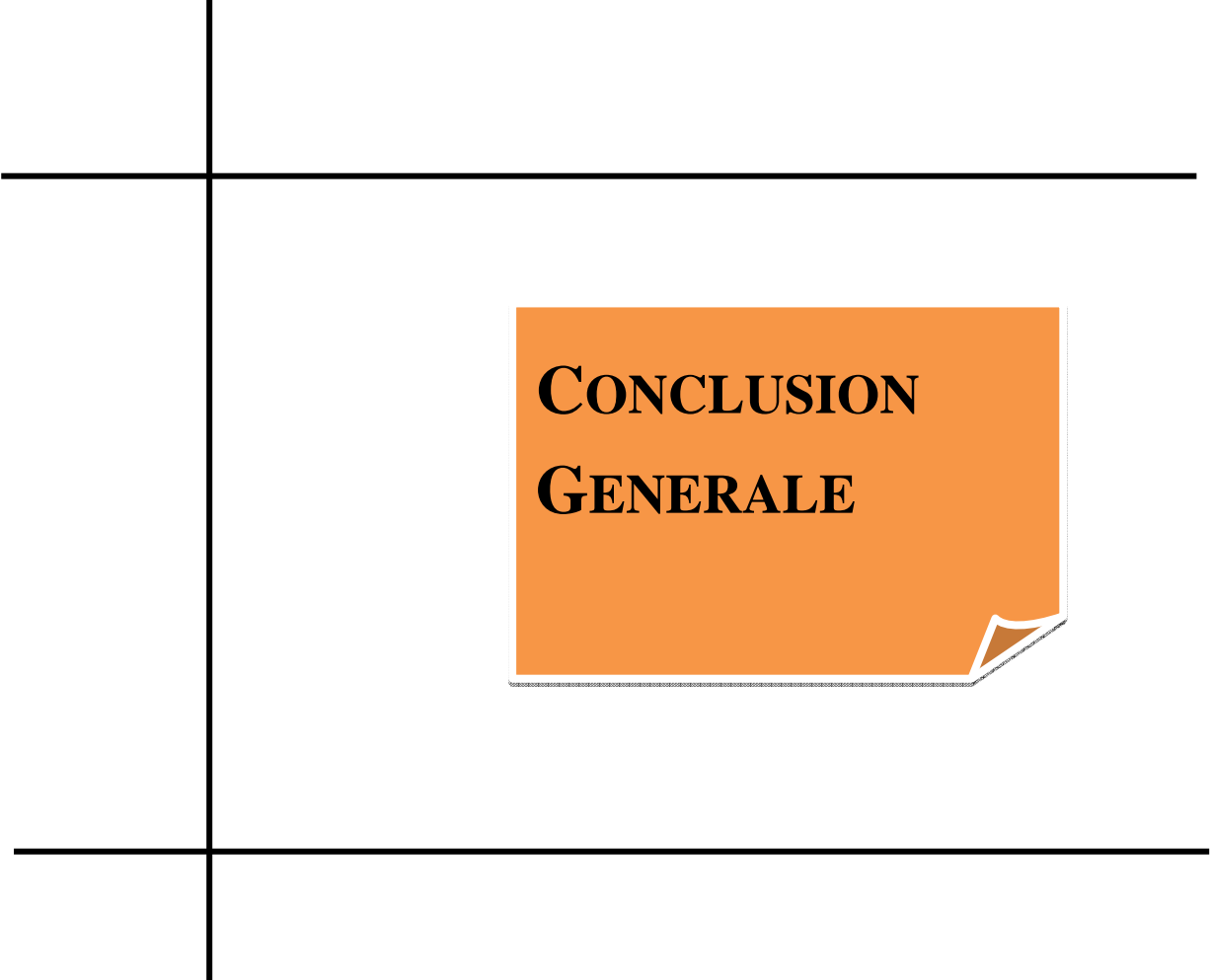
Elles sont aussi potable vis-à-vis les nutriments, mais malheureusement elles montrent une mauvaise qualité microbiologique. Tandis que les eaux souterraines, elles ne sont pas potable via la consommation humaine.

La qualité des eaux destinées à l'irrigation montre un risque nul pour les eaux de surface de Mai 2011 et un risque nul et léger à modérée pour l'année de Mai 2012.

Les eaux souterraines montrent un risque nul et léger à modérée pour l'année de Mai 2011 et un risque nul et léger à modérée et même sévère (P5 et P9) pour l'année de Mai 2012.

Pour les eaux destinées à l'industrie ; l'indice de Leroy (indice de corrosivité) indique une amélioration de la qualité des eaux de surface vis-à-vis la corrosion pour certaines des eaux comparativement à l'année 2011 (Barrage du Zerdazas, Said Bousbaa 1 et 2, Salah Bouchaour2 et Ramdan Djamel) et une qualité mauvaise à tendance corrosive pour d'autres. Pour les eaux souterraines on remarque une eau corrosive pour les eaux de Mai 2011 et une

eau corrosive pour les puits (P2, P6, P7, P8 et P10) et une eau non corrosive pour les puits (P1, P3, P4, P5 et P9).



**CONCLUSION
GENERALE**

Ce travail de thèse a eu pour objectif de connaître l'impact des rejets urbains et domestiques sur la qualité des eaux de l'Oued Saf-Saf. En prenant comme site d'étude l'oued Saf-Saf qui reçoit les rejets domestiques, urbains et industriels de l'agglomération de Skikda, qui sont rejetés sans traitement préalable dans l'oued.

En effet, l'oued Saf-Saf en amont comme en aval est particulièrement occupé par les villages situés aux rives de l'oued pour des besoins agricoles et industriels, tandis que le barrage en amont est utilisé en premier lieu à l'alimentation en eau potable, puis à l'irrigation. Oued Saf-Saf, qui fait partie de la wilaya de Skikda dans sa grande partie, appartient à la zone climatique du littoral qui est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 18 C° et une précipitation moyenne de 900 mm, ce qui favorise la dilution des contaminants.

Le présent travail a été effectué sur deux périodes d'observation (Mai 2011 et Mai 2012), soit pour les eaux de surface, soit pour les eaux souterraines. Pour confirmer la contamination des eaux de surface par les effluents des rejets domestiques et urbains, plus de dizaine d'échantillon a été effectuée le long de l'oued sur des endroits expérimentaux portant sur des points de rejets.

L'indice de pollution organique montre une pollution organique faible (Amont) à modérée (Aval) pour l'année 2011 et modérée (Amont) à forte (Aval) pour l'année 2012, ce qui réaffirme l'évolution de la pollution des eaux de surface. Les eaux souterraines aussi montrent une pollution modérée pour tous les puits, sauf (P10) qui montre une pollution organique faible.

L'indice de biodégradabilité est supérieur à 3 et montre que les effluents rejetés à oued Saf-Saf sont des effluents qui ne sont pas biodégradable.

L'évolution spatiale de l'indice d'eutrophisation montre une augmentation à partir du Barrage jusqu'à El-Harrouch 2 et une diminution à partir de Salah Bouchaour jusqu'à Skikda. Tandis que l'évolution temporelle de l'indice d'eutrophisation montre une augmentation pour les quatre premiers points analysés (Barrage du Zardezas à Said Bousbaa 1) et aucune variation pour les eaux de Said Bousbaa 2 et El-Harrouch 1 et 2 et une augmentation pour les eaux de Salah Bouchaour 1 et 2 et la région de Skikda et aucune variation pour les eaux de Ramdan Djamel 1 et 2 et Hamadi Krouma.

L'influence climatique sur la salinité des eaux de surface montre une stabilité de concentration pour les éléments chimiques durant les deux périodes d'observation et par fois une augmentation faible à l'exception de certain endroit.

L'influence des eaux de surface sur les eaux souterraines : généralement les eaux de surface ont des concentrations supérieures à celle des eaux souterraines, cela influe directement sur la qualité des eaux souterraines par infiltration, et d'autre part le niveau piézométrique des eaux de surface est supérieur à ce des eaux souterraines, sachant que la nappe est libre, donc l'oued alimente la nappe ce qui menace la qualité des eaux souterraines.

L'influence lithologique sur la salinité des eaux, montre que le TAC = HCO_3 et que la dureté de l'eau est totalement carbonatée pour les eaux de surface, tandis que les eaux souterraines la dureté permanente (non-carbonatée) liée aux sels d'acides forts, représente presque la totalité de la dureté des eaux souterraines étudiées, à l'exception de quatre forges (GNL, FP2, FP4, DEV (1/4) et DEV (1/3)), par contre elle est moindre pour une majorité de la Dureté carbonatée au niveau des puits de la région étudiée.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **ABH-CSM., (2000).** Le bassin des côtiers Constantinois Est, cahier de l'agence «Bassin des côtiers constantinois» N°4, Septembre 2000, 55-75.
2. **Anderson, D.M., Glibert, P.M., Burkholder, J.M., (2002).**Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25, 704-726.
3. **Attoui .B, Khadraoui.S, Sedrati.N , Zair.N (2013).** Problème de vulnérabilité et risque de pollution dans la plaine d'el collo. P1.
4. **Badraoui M., Soudi B., Merzouk A., Farhat A., M'hamdi A., (1998).**Changes of soil qualities under pivot irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization.*Advances in GeoEcology*, 31:503-508.
5. **Barbière L, Vallès V. 1992.** Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso. *Cah.Orstom, sér, Pédol*, vol XXVII, n° 2, p. 143-152.
6. **Bartlett, R.J.; Kimble, J.M., (1976).** Behavior of Chromium in Soils: II. Hexavalent Forms. *J. Environ. Qual.*, 5, 383-386.
7. **Beaudry, T., Henry, T., M., (1984).**Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada.537 pp.
8. **BETIER G., (1931).** Organisation du Service de la Carte Géologique.
9. **Beupoil, C., Bornens P., (1997).** Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : seuils d'acceptabilité. Rapport de synthèse, Biotecmer – AELB, 49 pp.
10. **Boubelli, S., (2009).** Identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques de lawilaya de kenchela (nord-est algérien) analyse et synthèse de données.
11. **Bouillin, J.P., (1977) :** Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-milia (Algérie). Thèse Doctorat. Univ. P. et M. Curie, 511p
12. **Bouillin, J.P., (1979) :** La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie) : Une région clef pour l'interprétation de la tectonique Alpine de la chaîne littorale d'Algérie. *Mém. Soc. géol., France*, 135, pp 1-84
13. **Bouillin J.P., (1986).** Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et

l'Afrique à l'ouest des Alpes. Bull. Soc. Géol. France, 8(2) 547-558.

14. **Bovesse and Depelchin., (1980).** The survey of the microbiological contamination indication, succeeds to the establishment of seasonal cards of quality of waters.
15. **Bovesse M. & Depelchin A., (1980).** Cartographie de la pollution des cours d'eau de la province de Namur: analyses bactériologiques. Rapport final (Janvier 1979-Janvier 1980). 25 p.
16. **Chaffai H. Rabah Laouar. Azzeddine Hani., (2006).** Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de Skikda; Application de la méthode DRA.
17. **STIC.** Bulletin du Service Géologique National. Vol.17.n°1, pp 63-74.
18. **Chaoui.W., (2007).** Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien).
19. **Colom G., Castany G. & Durant Delga M. (1954).** Microfaunes pélagiques (Calpionnelles, Fissurines) dans le Nord Est de la Berbérie. Bulletin du Service Géologique de la France, (6), III, 517-533.
20. **Denis BAIZE., (1997).** Les Éléments Traces Métalliques (ETM) dans les SOLS.
21. **Detay, M., (1993).** Forage d'eau: réalisation, entretien, minéralisation. Paris, Ed. Masson, p 380.
22. **DJEBAILI S., (1984).** Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. ed. OPU, Alger. p 159
23. **Djidel, M., (2008).** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'ouargla (Sahara septentrional, Algérie). p182
24. **Djidi K., Bakalowicz M. & Benali A. 2008.** Mixed, classical and hydrothermal karstification in a carbonate aquifer hydrogeological consequence. The case of the Saida aquifer system, Algeria. C.R. *Geosci.*, 340: 462–473.
25. **Dordan O. & Suppo C., (1997).** Qualitative analysis applied to population dynamics. Journal of Biological Systems, 5(1).
26. **Dosso M. 1980.** Géochimie des sols salés et des eaux d'irrigation. Aménagement de la Basse Vallée de l'Euphrate en Syrie. Thèse Doct. Ing. Institut national polytechnique, Toulouse, 181 p.
27. **Dudley, L.M. ; Mclean, J.E. ; Furst, T.H. ; Jurinak, J.J., (1991).** Sorption of Cd and Cu From an Acid Mine Waste Extract by Two Calcareous Soils: Column Studies. Soil Sci., 151, 121-135.
28. **Durand-Delga, M., (1955) :** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. Thèse d'Etat. Paris, 533 p.

29. **Durand-Delga M., (1969).** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ.Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.
30. **Edwards, R.W., Owens, M., (1965).** The oxygen balance of streams and the industrial society. Oxford,UK: Blackwell.
31. **Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kuderyarov, V., Murdoch P.,Zhao-liang, Z., (1996).** Riverine Inputs of Nitrogen to the North Atlantic Ocean: Fluxes and Human Influences. *Biogeochemistry* 35, 75-139.
32. **Enfield CG, Yates SR., (1990).** Organic chemical transport to groundwater. Pesticides in the soil environment processes, impacts and modeling. Book n° 2. Madison (Wisconsin): Soil Science Society of America.
33. **Gaëlle THIVET et Mohammed BLINDA., (2008).** Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques XIIIème Congrès Mondial de l'Eau. Plan Bleu. P1
34. **George, C. Harrap & Co., (1963).** Day, E.H. The chemical elements in nature. London, U.K
35. **Giller, K.E., Witter E., Mcgrath S.P., (1998).** Toxicity of Heavy Metals to Microorganisms and Microbial Processes: A Review. *Soil Biol. Biochem.*, 30:1389.
36. **Gaujous D, (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, Paris. 220p.
37. **GUYOT., (1997).** Climatologie de l'environnement de la plante aux écosystèmes, édition Masson, Paris. 505p.
38. **Hakmi, A., (2006).** Traitement de l'eau de la source Bousfer Oran .Mémoire de Licence. Université des sciences et de la technologie Oran.
39. **Halse SA, Ruprecht JK & Pinder AM., (2003)** Salinisation and prospects for biodiversity in rivers and wetlands of south-west Western Australia. *Australian Journal of Botany*, 51(6), 673-688.
40. **Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D.P., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing J.A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kuderyarov, V., Murdoch P., Zhao-liang, Z., (1996).** Riverine Inputs of Nitrogen to the North Atlantic Ocean: Fluxes and Human Influences. *Biogeochemistry* 35, 75-139.
41. **Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D.P., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing J.A., OFEV., (2010).** (Office fédéral de l'environnement) Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments, Berne. p 46.

42. **HUFTY A., (2001).**Introduction à la climatologie, presse de l'université de Laval, Canada,p 533.
43. **IBGE., (2005).**Qualité physico- chimique et chimique des eaux de Surface: cadre général.
44. **JOLEAUD, L., (1912).**Géologie et paléontologie de la Plaine du Comtat et de ses abords. Description des terrains néogènes. Montpellier: Imprimerie Montane, Sicardi et Valentin, 2: 255–285, pl. 1–11.
45. **Kabata-Pendiasa., PENDIAS H., (2001).**Trace Elements in Soilsa Plants. CRC Press. Boca Raton, FL (3rd Edition), 413 Pp. DOI: 10.1007/978-94-011-73360_12.
46. **Kemoukh, S., (2007).** Dégradation de la qualité des eaux du barrage de zerdezas suite à une pollution naturelle w.de Skikda, mémoire de magister, Univ. Batna. 117 pp.
47. **Khalfaoui, F., (2014).**Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du saf-saf (nord-est algerien). P156.
48. **Khelfaoui H., Hani A. & Chaffai H., (2009).** Etude de la pollution des eaux souterraines en métaux lourds et leur impact sur l'environnement, cas de la région de Berrahal (Annaba, Algérie), 3ième Colloque International sur la Gestion des Ressources en Eau, Tipaza : 27 & 28 janvier 2009 ENSH Blida, 374-383.
49. **Khelfaoui F., Zouini D. & Tandjir L., (2014).** Quantitative and qualitative diagnosis of water resources in the Saf-Saf river basin (north east of Algeria), Desalin. Water Treat. 52, 2017–2021.
50. **Kuperman, R.G., Carreiro, M.M., (1997).** Soil Heavy Metal Concentrations, Microbial biomass and Enzyme Activities in a Contaminated Grassland Ecosystem. Soilbiol. Biochem. 29, 179-190.
51. **Labar S., Hani A., Cunningham C. & Djabri L., (2007).** Groundwater Contamination and Controlling Pollution Factors Within a Coastal Industrial Area, 133 Skikda, Algeria, Online Journal of Earth Sciences 1 (4), 2007, ISSN 1991-7708, 188-193.
52. **LABORDE J.P., (1982).**Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : prise en compte des relations pluviométrie - morphométrie, Houil. Blanc. 4, 331- 338.
53. **Laffitte R., (1938).** Etude géologique de l'Aurès.In-8°, 484 p., 26 fig., 35 pl. h.-t., 10 pl. photos h.-t., esquisse géologique au 1/200 000.

- 54. Lahlou M., Badraoui M., Soudi B. Goumari A. et Tessier D., (2002).** Modélisation del'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. Actes de l'atelier du PCSI, 28-29 mai 2002, Montpellier, France. CEMAGREF, CIRAD, IRD.
- 55. Leclercq L. & Maquet B., (1987).** Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénologiques et diatomiques. Inst. roy. Sc. nat. Belg., Document de travail 38 : 113 p.
- 56. Lenntech L., (2004).** Traitement de l'eau et de l'air. Ed .Hermann. Paris, 120p.
- 57. Leroy, J. B., (1999).** La pollution des eaux. 4^e édition. Paris : Presses Universitaires de France.
- 58. Lounnas, A., (2008).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda, Algérie, mémoire de magister. Univ. du 20 Août 1955 Skikda. p 120.
- 59. Ma, X.B., Wang, Z.Y., Yin, Z.G., Koenig, A., (2008).** Nitrogen flow analysis in Huizhou, South China. Environmental Management 41, 378-388.
- 60. Mahjoub Y. & Merle O., (1990).** Cinématique des déformations tertiaires dans le massif de Petite Kabylie (Algérie orientale). Bulletin de la Société Géologique de France, 8 (4), 629-634.
- 61. Mellahi Dhaouadi., (2015).**Caractérisation et essai de traitement de la matière organique dans les eaux de surface. , P 4.
- 62. MEYBECK M., (2003).** Global analysis of river systems : from earth system controls to Anthropocene controls. Phil. Trans. Royal Acad. London B, 358, 1440, 1935-1955.
- 63. Moletta R. 2005.** Chapitre 4 : La pollution de l'eau, l'eau, sa pollution et son traitement, 1-13.
- 64. Morlot, M., (1996).**Aspects Analytiques du Plomb dans l'environnement, ed Lavoisier TEC&DOC.
- 65. Nefidsa, Keltoum., (2013).** Evolution géochimique des eaux souterraines et leurs impacts sur la qualité des sols irrigués de la plaine du haut Cheliff.
- 66. Nogaret .M., (2014).** Les matières organiques.
- 67. Olivier Dordan, Christelle Suppo., (1997).** Qualitative analysis applied to population dynamics. Journal of Biological Systems, 5(1) et 5(2).
- 68. Ouardi J, (2014).** Geochemical And Statistical Characterization Of Groundwater In Tadla Irrigated Perimeter(Morocco)

- 69. Filippo, P., Pommery, J. et Thomas, P., (1981).** Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques. *Journal français d'hydrologie*. 12,1,7-27.
- 70. Portejoie. S, Martinez. j, Landmann. g., (2002).** L'ammoniac d'origine agricole : impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel *INRA Prod. Anim.*, 15 (3), 151-160.
- 71. Potelon, J.L., Zyman K., (1998).** Le guide des analyses d'eau potable. Edition, La Lettre du Cadre Territorial, Voiron, France.
- 72. Raoult, J.F., (1974) :** Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du constantinois, (Algérie). *Mém. Soc. géol. France*.
- 73. Raoult J.F. & Mouterde R., (1969).** Nouvelles données sur les séries secondaires du Kef M'Souna et du Kef Sebarvoud (Nord du Constantinois). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, (Nlle série), No 39, 171-188.*
- 74. Rassam A., Chaouch A., Bourkhiss B., Ouhssine M., Lakhli T., Bourkhiss M. & El Watik L. 2012.** *Tech. de Lab.* 7, 28.
- 75. Reskin, I. and Ensley, B.D., (2000).** *Phytoremediation of Toxic Metals; Using Plants to Clean Up the Environment.* John Wiley and Sons, New York.
- 76. René Moletta., (2005).** Chapitre 4 : La pollution de l'eau : l'eau, sa pollution, et son traitement.p4.
- 77. Rodier J. 1984.** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.* 7^{ème} Ed. Bordas, 1345 p.
- 78. Robert Morris and Dr. Dale Devitt.,(2002).** *Sampling and interpretation of landscape irrigation water.* University of Nevada.
- 79. Roubault, M., (1934).** *La Kabylie de Collo: Etude géologique.* Thèse d'Etat, Paris, p 272.
- 80. Sakaa B., Chaffai H. & Hani A. 2013.** The use of artificial neural networks in the modeling of socioeconomic category of integrated water resources management (Case study: Saf-Saf river basin, north east of Algeria), *Arabian J. Geosci.* 6, 3969–3978.
- 81. Sakaa B., Merdas S., Mostephaoui T., Chaffai H., Hani A. & Djabri L. 2015.** The application of ANNs and multivariate statistical techniques to characterize a relationship between total dissolved solids and pressure indicators: a case study of the Saf-Saf river basin, Algeria, *Desalination and Water Treatment*, 1-14.

- 82. Serrat, P., Ludwig, W., Navarro, B., Blazi, J.L., (2001).** Variabilité spatio-temporelle des flux de matières en suspension d'un fleuve côtier méditerranéen : la Têt (France) C. R. Académie des sciences Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences 333, 389-397.
- 83. Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C., (1999).** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100, 179-196.
- 84. Sunda, W.G Hanson, A.K., (1987).** Measurement of Free Cupric Ion Concentration in Sea water by a Ligand Competition Technique Involving Copper Sorption onto 18C SEP-PAK Cartridges. *Limnology and Oceanography*, 32, 537-551.
- 85. Tardy Y., (1980).** Géochimie des interactions entre les eaux, les minéraux et les roches, S.A.R.L. ELEMENTS, édit. Tarbes, 199 p.
- 86. Thilagavathi, R., Chidambaram, R., Prasanna, S., Thivya, M.V. & Singaraja, C., (2012).** A study on groundwater geochemistry and water quality in layered aquifers system of Pondicherry region, southeast India. *Appl. Water Sci.* DOI 10.1007/s13201-012-0045-2.
- 87. Umali D.L., (1993).** Irrigation-induced salinity. A growing problem for development and the environment. World Bank technical paper 215, p.78.
- 88. UNEP., (2009).** Rejets des stations d'épuration des eaux usées municipales dans les fleuves et cours d'eau se jetant dans la mer méditerranée
- 89. Valles V., (1987).** Modélisation des transferts d'eau et de sels dans un sol argileux : application au calcul des doses d'irrigation. *Sci. Géol., Mém.*, 79, 148p.
- 90. Vila, J. M., (1980).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doctorat. Paris VI, 663 p.
- 91. Wildi W., (1983).** La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Rev. Géol. Dyn. géog. Phys.*, (24), 3, pp 201-297.

Annexe

Tableau 1 : Normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975)

Variable	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Concentration minimale requise
pH	6.5-8.5	9.5	6.0
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	400	1250	
Résidu sec mg/l		1500	
Dureté totale (degrés français)	35		10
Calcium mg/l	100		10
Magnésium mg/l	30	50	5
Sodium mg/l	<20	100	
Potassium mg/l	<10	12	
Aluminium mg/l		0.05	
Alcalinité mg/l CO_3H	30		
Sulfates mg/l SO_4	5	250	
Chlorures mg/l Cl	5	200	
Nitrates mg/l NO_3		50	
Nitrites mg/l NO_2		0.1	
Ammoniaque mg/l NH_4	0.05	0.5	
Oxygène dissous	5		
DBO5 mg/l		50 % teneur initiale O_2	
Phosphore $\mu\text{g/l}$	300	2000	

Tableau 2 : Equilibre carbonaté eaux de surface 2011.

Nom	CO₃ (mmolal)	HCO₃ (mmolal)	CO₂ (mmolal)	Total (mmolal)	Pression partielle de CO₂ (atm)
Barrage Zerdazas	0,002079	2,467	0,3563	2,826	0,009152
Zardazas 1	0,001679	2,955	0,6601	3,617	0,01713
Zardazas 2	0,005037	3,458	0,304	3,767	0,008084
Said Bousbaa 1	0,003492	3,151	0,3561	3,511	0,00917
Said Bousbaa 2	0,01666	3,696	0,104	3,817	0,002698
El-Harrouch 1	0,003195	4,203	0,7274	4,934	0,01935
El-Harrouch 2	0,009729	4,165	0,2308	4,406	0,006048
Salah Bouchaour 1	0,00454	3,928	0,4381	4,37	0,01122
Salah Bouchaour 2	0,0041	4,406	0,6144	5,025	0,01594
Ramdan Djamel 1	0,0198	5,145	0,1769	5,342	0,004728
Ramdan Djamel 2	0,00892	4,682	0,3234	5,014	0,008516
Hamadi Krouma	0,04331	4,593	0,06369	4,7	0,001661
Skikda	0,002642	3,591	0,6297	4,223	0,01654

Tableau 3 : Equilibre carbonaté eaux de surface 2012

Nom	CO₃ (mmolal)	HCO₃ (mmolal)	CO₂ (mmolal)	Total (mmolal)	Pression partielle de CO₂ (atm)
Barrage Zerdazas	0,0188	2,739	0,04911	2,807	0,001296
Zardazas 1	0,01027	3,542	0,1565	3,709	0,004122
Zardazas 2	0,01345	3,668	0,1283	3,81	0,003411
Said Bousbaa 1	0,01222	3,378	0,1188	3,509	0,003143
Said Bousbaa 2	0,02193	3,797	0,08412	3,903	0,002215
El-Harrouch 1	0,02902	4,681	0,1014	4,812	0,002657
El-Harrouch 2	0,01003	4,171	0,2291	4,41	0,005974
Salah Bouchaour 1	0,007786	4,118	0,2851	4,411	0,007525
Salah Bouchaour 2	0,01128	4,74	0,261	5,012	0,006839
Ramdan Djamel 1	0,009946	5,057	0,346	5,413	0,009067
Ramdan Djamel 2	0,01169	4,743	0,2581	5,012	0,006763
Hamadi Krouma	0,03521	4,597	0,0795	4,712	0,002094
Skikda	0,01208	4,023	0,1756	4,211	0,004634

Tableau 4 : Dureté carbonatée eaux de surface 2011

Nom	Densité (g/cm³)	Dureté totale (mg/L)	Dureté carbonatée (mg/L)
Barrage Zerdazas	0,99785	179,05	179,05
Zardazas 1	0,99786	312,24	312,24
Zardazas 2	0,9976	342,16	342,16
Said Bousbaa 1	0,99791	250,03	250,03
Said Bousbaa 2	0,99786	299,78	299,78
El-Harrouch 1	0,99775	406,49	406,49
El-Harrouch 2	0,99783	360,51	360,51
Salah Bouchaour 1	0,99806	366,07	366,07
Salah Bouchaour 2	0,99799	353,59	353,59
Ramdan Djamel 1	0,99773	396,08	396,08
Ramdan Djamel 2	0,99787	389,68	389,68
Hamadi Krouma	0,99793	395,13	395,13
Skikda	0,9978	351,72	351,72

Tableau 5 : Dureté carbonatée eaux de surface 2012

Nom	Densité (g/cm³)	Dureté totale (mg/L)	Dureté carbonatée (mg/L)
Barrage Zerdazas	0,99776	318,31	318,31
Zardazas 1	0,99772	318,31	318,31
Zardazas 2	0,9976	338,03	338,03
Said Bousbaa 1	0,99764	248,46	248,46
Said Bousbaa 2	0,99772	298,24	298,24
El-Harrouch 1	0,9979	407,34	407,34
El-Harrouch 2	0,99789	357,8	357,8
Salah Bouchaour 1	0,99779	367,68	367,68
Salah Bouchaour 2	0,9979	357,93	357,93
Ramdan Djamel 1	0,99794	397,69	397,69
Ramdan Djamel 2	0,99793	387,81	387,81
Hamadi Krouma	0,99785	367,68	367,68
Skikda	0,99776	357,67	357,67