

Liste des acronymes

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

AEE : Agence Européenne pour l'Environnement

ADE : Algérienne des Eaux

ANBT : Agence Nationale des Barrages et de Transfert

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BNEDER : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural

BV : Bassin Versant

CNTC : Centre National des Technologies et du Consulting

DD : Développement Durable

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire

DSA : Direction des Services Agricoles

DUH : Direction d'Urbanisme et d'Habitat

FIDA : Fond International du Développement Agricole

FAO : Food and Agricultur Organization

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

GPI : Grand Périmètre Irrigué

GIWA : Global International Water Assessment

GWP : Global Water Partnership

IRD : Institut de Recherche en Développement

IWRM : Integrated Water Resource Management

LEM : Laboratire des Etudes Maritimes

MRE : Ministère des Ressources en Eau

OIE : Office International de l'Eau

ONA : Office National d'Assainissement

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

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage

ONM : Office National de Météorologie

ONS : Office National de Statistiques

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

PDE : Plan Directeur de l'Eau

PME : Partenariat mondial de l'eau

PMH : Petite et Moyenne Hydraulique

PNE : Plan National de l'Eau

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

PPDAMOS : Projet Pilote de Développement de l'Agriculture de Montagne dans l'Oued Saf-Saf

RGPH: Recensement Général de Population et d'Habitat

RIOB: Le Réseau International des Organismes des Bassins

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur de l'Aménagement et de Gestion des Eaux

SEMIDE : Système Euro-Méditerranéen d'Information sur les savoir-faire dans le Domaine de l'Eau

SIG : Système d'Information Géographique

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire

STEP : Station d'Epuration

WEAP : Water Evaluation And Planning system

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
ملخص.....	iii
Liste des acronymes.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1

1^{ère} Partie :

Portrait du bassin versant du Saf-Saf

Chapitre I :

Contexte physique du bassin du Saf-Saf

I. Description du bassin versant.....	3
I.1. Localisation et superficie.....	3
I.1.1. Aperçu socio-économique.....	3
I.1.1.1. Contexte démographique du bassin du Saf-Saf.....	3
I.1.1.2. Contexte agricole.....	6
I.1.1.3. Contexte industriel.....	7
I.1.2. Organisation administrative.....	9
I.1.3. Géomorphologie générale et chevelu hydrographique du bassin	9
I.1.3.1. Ensembles morpho-structuraux du bassin.....	9
I.1.3.2. Chevelu hydrographique	10
I.2. Caractéristiques physiques.....	10
I.2.1. Caractéristiques morphométriques.....	10
I.2.1.1. Superficie	10
I.2.1.2. Forme du bassin	10
I.2.1.3. Dimensions du rectangle équivalent.....	11
I.2.1.4. Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique.....	11
I.2.1.5. Indices de pente et le relief	13
I.2.1.6. Classes des pentes.....	13
I.2.1.7. Temps de concentration.....	14
I.2.2. Réseau hydrographique et caractères morphométriques.....	16

I.2.2. 1. Constitution du réseau hydrographique	16
I.2.2.2. Relation entre la morphométrie et le réseau hydrographique.....	18
Conclusion.....	18
II. Contexte géologique du bassin du Saf-Saf.....	19
II.1. Cadre géologique régional.....	19
II.1.1. Domaine interne.....	19
II.1.1.1. Socle kabyle (Paléozoïque).....	19
II.1.1.2. Chaîne calcaire ou dorsale kabyle (Mésozoïque, Cénozoïque).....	20
II.1.1.2.1. Chaîne calcaire interne	20
II.1.1.2.2. Chaîne calcaire médiane	20
II.1.1.2.3. Chaîne calcaire externe	20
II.1.2. Domaine des flyschs	21
II.1.2.1. Flysch mauritanien	21
II.1.2.2. Flysch massilien	21
II.1.2.3. Flysch numidien (Oligocène moyen- Burdugalien)	21
II.1.3. Domaine externe : séries telliennes.....	21
II.1.3.1. Séries ultra telliennes.....	21
II.1.3.2. Séries telliennes	21
II.1.3.3. Séries pénis telliennes	22
II.1.4. Néritique constantinois (Jurassique- Crétacé supérieur).....	22
II.2. Classification des formations selon leurs intérêts hydrogéologiques.....	22
II.2.1. Formations favorables au développement d'aquifères	22
II.2.1.1. Formations favorables au développement d'aquifères poreux	22
a. Formations du Quaternaires	22
1. Alluvions	22
2. Dunes anciennes.....	23
b. Formations du Tertiaire.....	23
II.2.1.2. Formations favorables au développement d'aquifères karstiques	23
II.2.2. Formations non favorables au développement d'aquifères	24
II.3. Tectonique du bassin.....	25
II.4. Paléogéographie du bassin.....	25
II.4.1. Longue période de sédimentation du Secondaire au Tertiaire	25
II.4.2. Mise en place des volumes montagneux de la fin du Tertiaire	26
II.4.3. Quaternaire	27
Conclusion	27

Chapitre II:

Facteurs hydroclimatiques dans le bassin du Saf-Saf

Introduction	30
I. Equipement hydro-pluviométrique du bassin	30
II. Paramètres météorologiques déterminants.....	32
II.1. Régime des vents	32
II.2. Humidité relative de l'air.....	32
II.3. Précipitations	33
II.3.1. Répartition interannuelle	33
II.3.2. Répartition moyenne mensuelle et saisonnière.....	36
II.3.2.1. Période ancienne de P. Seltzer (1913-1938), station de Skikda et d'El-Harrouch.....	36
II.3.2.2. Période récente des stations de Skikda, El Harrouch, Ramdane Djamel et de Zardézas (1970-1971 / 2011-2012)	36
a. Précipitations moyennes mensuelles (1970/71 – 2011/12).....	36
b. Répartition saisonnière (1970/71 – 2011/12).....	38
Conclusion.....	39
II.4. Températures	39
II.5. Diagramme ombro-thermique.....	41
II. 6. Détermination de la lame d'eau précipitée	42
II. 6.1. Moyenne arithmétique des stations.....	42
II. 6.2. Moyenne de Thiessen	42
III. Bilan hydrique.....	45
III.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite	45
III.2. Calcul de l'ETR par la méthode de Turc.....	49
III.3. Calcul du ruissellement.....	49
III.4. Estimation du bilan.....	50
Conclusion.....	51

Chapitre III :

Caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques

I. Hydrologie du bassin.....	52
I.1. Etude de l'écoulement superficiel.....	52
I.1.1. Présentation.....	52
I.1.2. Hydrographie.....	52
I.2. Débits moyens annuels et variabilité	53
I.2.1. Fluctuations interannuelles	53
I.2.2. Débits maximaux annuels et variabilité.....	53
I.3. Variations mensuelles des écoulements moyens et maximaux.....	56
I.4. Evaluation de la lame d'eau écoulée et bilan d'écoulement.....	57
Conclusion	58
II. Caractéristiques hydrogéologiques du bassin.....	59
Introduction.....	59
II.1. Horizons aquifères	59
II.1.1. Aquifère poreux	59
II.1.2. Aquifère karstique.....	59
II.1.3. Aquifère à système binaire	59
II.2. Profils hydrogéologiques.....	60
II.3. Inventaire des points d'eau.....	62
II.4. Etude de la piézométrie de l'aquifère superficiel.....	64
II.4.1. Limites de l'aquifère superficiel	64
II.4.2. Piézométrie	64
II.4.3. Alimentation de l'aquifère superficiel.....	64
II.5. Etude de la piézométrie de l'aquifère profond.....	66
II.5.1. Limites et alimentation de l'aquifère profond	66
II.5.2. Piézométrie	66
Conclusion	68

2^{ème} Partie :

Ressources en eau : qualité et gestion intégrée

Chapitre IV :

Hydrochimie et qualité des eaux

Introduction.....	69
A. Chimisme et qualité des eaux dans le bassin du Saf-Saf	69
I. Chimie et qualité des eaux de surface.....	69
I.1. Chimie des eaux de surface en amont du bassin.....	69
I.1.1. Mesures <i>in situ</i>	70
I.1.1.1. Paramètres physiques.....	70
a. Température.....	70
b. Potentiel d'hydrogène pH	71
c. Conductivité électrique	71
d. Salinité.....	72
e. Oxygène dissous.....	72
I.1.2. Analyses aux laboratoires.....	73
I.1.2.1. Éléments majeurs.....	73
a. Calcium.....	73
b. Potassium.....	74
c. Sodium.....	75
d. Magnésium.....	75
e. Chlorures.....	76
f. Sulfates.....	77
g. Bicarbonates.....	77
I.1.2.2. Métaux lourds et nitrates.....	78
a. Fer.....	78
b. Manganèse.....	79
c. Nitrates.....	79
I.1.2.3. Analyses physico-chimiques	80
a. Turbidité.....	80
b. DBO ₅ et DCO.....	80
c. Matières en suspension (MES)	81
I.1.2.4. Analyses bactériologiques	82

a. Germes totaux	83
b. Coliformes totaux et fécaux	83
c. Streptocoques fécaux	83
d. Clostridium sulfito-réducteurs	83
I.1.3. Représentation graphique des analyses chimiques	83
a. Diagramme de Stabler.....	84
b. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	85
c. Diagramme de Piper	86
d. Diagramme de Stiff	86
I.2. Qualité des eaux du barrage de Zardézas	87
I.2.1. Représentation graphique des analyses chimiques	88
a. Diagramme de Stabler.....	88
b. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	90
c. Diagramme de Piper	90
d. Diagramme de Stiff	91
I.2.2. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	92
I.2.3. Normes de potabilité des éléments majeurs.....	93
Conclusion	95
I.3. Chimie des eaux de surface en aval du bassin	95
I.3.1. Faciès chimiques	97
I.3.2. Représentation graphique des analyses chimiques	99
a. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	99
b. Diagramme de Piper	102
I.4. Qualité des eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf	104
I.4.1. Salinité	104
I.4.2. Conductivité électrique.....	105
I.4.3. Chlorures.....	105
I.4.4. Sulfates.....	106
I.4.5. Sodium.....	107
I.4.6. Bicarbonates.....	107
I.4.7. Potentiel d'Hydrogène des eaux d'irrigations.....	108
I.4.8. Nitrates.....	109
I.5. Etats des minéraux dissous dans les eaux de surface.....	110
Conclusion	111
II.2. Chimie et qualité des eaux souterraines du bassin.....	112
II.1. Chimie des eaux souterraines en amont du bassin	112
II.2. Chimie des eaux souterraines en aval du bassin.....	117
II.2.1. Résultats des analyses chimiques.....	119
II.2.2. Représentation graphique des analyses chimiques.....	120

II.2.2.1. Diagramme de Stiff.....	120
II.2.2.2. Diagramme de Piper.....	122
a. Triangle des cations	122
b. Triangle des anions	123
II.2.2.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	124
II.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	127
II.2.3.1. Principe du diagramme.....	127
II.2.3.2. Normes et qualités des eaux	129
a. Chlorures.....	129
b. Conductivité électrique.....	130
c. Sulfates.....	131
d. Magnésium.....	132
e. Nitrates.....	133
f. Nitrites.....	134
g. Ammonium.....	135
h. Phosphates	136
II.2.4. Etude des valeurs relatives	137
II.2.4.1. Indice des échanges de bases (i.e.b)	137
II.2.4.2. Rapports caractéristiques	137
a. Rapport $r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$	138
b. Rapport $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$	138
c. Rapport $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$	138
II.3. Etats des minéraux dissous dans les eaux souterraines.....	140
Conclusion	141
III. Analyse en composante principale (A.C.P)	142
III.1. Généralités.....	142
III.2. Application de l'analyse en composantes principales	143
III.2.1. A.C.P des eaux souterraines de la basse vallée de l'oued Saf-Saf	143
III.2.2. A.C.P des eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf	148
III.2.3. Conclusion.....	151
B. Vulnérabilité du bassin à la pollution.....	151
I. Différents types de pollutions dans le bassin du Saf-Saf.....	151
I.1. Pollution urbaine	151
I.2. Pollution industrielle	152
I.3. Pollution agricole	154
II. Carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du Saf-Saf : méthode DRASTIC	155
Conclusion.....	157

Chapitre V :

Diagnostic quantitatif des ressources en eaux

Introduction	158
I. Diagnostic quantitatif des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf	158
I.1. Potentialités hydriques dans le bassin du Saf-Saf	158
I.1.1. Potentiel hydrique superficiel.....	158
a. Oueds.....	158
b. Barrages.....	158
c. Retenues collinaires.....	159
d. Dessalement de l'eau de mer.....	159
I.1.2. Potentiel hydrique souterrain.....	160
a. Forages.....	160
b. Puits.....	160
c. Sources.....	160
I.2. Mobilisation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf	161
I.2.1. Mobilisation des eaux de surface	163
I.2.2. Mobilisation des eaux souterraines.....	164
I.3. Affectation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf	165
II. Alimentation en eau dans le bassin du Saf-Saf.....	165
II.1. Alimentation en eau potable (AEP).....	166
II.1.1. Ressources et approvisionnement en eau potable	166
a. Eau potable en milieu urbain.....	168
b. Eau potable en milieu rural.....	168
II.2. Alimentation en eau d'irrigation (AEA).....	170
II.2.1. Périmètre irrigué du Saf-Saf; présentation physique.....	170
II.2.2. Besoins et alimentation en eau d'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf.....	173
II.2.3. Superficies irriguées et volumes d'eau distribués	173
Conclusion.....	175
II.3. Alimentation en eau industrielle (AEI).....	175
III.3.1. Ressources en eau pour l'industrie.....	176
III.3.1.1. Industries pétrochimiques.....	176
III.3.1.2. Industries agro-alimentaires et autres.....	177
Conclusion.....	177

Chapitre VI :

Modélisation de la gestion intégrée des ressources en eau : - Application du modèle WEAP -

Introduction.....	179
I. Méthode d'approche pour la simulation de la gestion intégrée	179
I.1. Description du modèle de GIRE appliqué (DPSIR)	179
I.2. Description analytique du modèle de GIRE appliqué (DPSIR)	181
I.3. Présentation du logiciel	183
I.4. Acquisition du logiciel WEAP 21	184
II. Application du modèle WEAP dans le bassin du Saf-Saf.....	186
II.1. Cartographie	186
II.2. Réglage des paramètres généraux.....	187
II.3. Fonctionnement du logiciel	189
II.3.1. Création de la zone d'étude	189
II.3.2. Création des hypothèses clés et références.....	189
II.3.2.1. Hypothèses clés.....	189
II.3.2.2. Références	189
II.3.3. Proposition des scénarios	189
II.3.4. Saisie des données	189
II.3.5. Présentation des résultats	189
III. Analyse et traitement des données nécessaires.....	191
III.1. Etude de l'offre et de la demande en eau.....	191
III.2. Compte d'état actuel « Current account ».....	191
III.2.1. Sites des demandes.....	192
III.2.2. Sites des offres : ressources et lieux de captage	194
III.2.3. Priorités d'approvisionnement.....	196
III.3. Création des hypothèses clés.....	197
IV. Résultats d'application du modèle WEAP.....	198
IV.1. Création et analyse des scénarios.....	198
IV.1.1. Changement d'horizon de temps du secteur	198
IV.2. Analyse du scénario de référence	199
IV.2.1. Niveau d'activité annuelle.....	199
IV.2.1.1. Projection d'accroissement de la population	200

IV.2.1.2. Projection d'augmentation des superficies irriguées.....	201
IV.3. Résultats du scénario de référence	202
IV.3.1. Sources de production	202
IV.3.2. Demande en eau.....	202
IV.3.2.1. Demande de la population (domestique).....	202
IV.3.2.2. Demande de l'irrigation.....	204
IV.3.3. Eau distribuée.....	205
IV.3.4. Débits entrants et sortants du bassin du Saf-Saf.....	207
Conclusion.....	207
IV.4. Analyse du scénario 2 : simulation d'un fort accroissement de la population....	208
IV.4.1. Evolution de la demande en eau	208
IV.4.2. Eau distribuée.....	210
Conclusion.....	211
IV.5. Analyse du scénario 3: simulation d'augmentation des superficies irriguées....	212
IV.5.1. Projection d'augmentation des superficies irriguées.....	212
IV.5.2. Evolution de la demande en eau d'irrigation.....	213
IV.5.3. Demande en eau globale dans le bassin du Saf-Saf.....	214
IV.5.4. Eau distribuée.....	215
IV.5.5. Demande en eau non satisfaite dans le bassin.....	216
Conclusion.....	216
IV.6. Analyse du scénario 4: simulation d'augmentation de la production d'eau....	217
IV.6.1. Installation d'une nouvelle station de dessalement de l'eau de mer.....	217
IV.6.2. Installation d'une nouvelle station d'épuration (STEP)	218
IV.6.3. Priorités de demande et d'approvisionnement.....	220
IV.6.4. Résultats des simulations.....	220
IV.6.4.1. Evolution de la production en eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement	220
IV.6.4.2. Débits de liaison de transmission des nouvelles source d'approvisionnement.....	222
IV.6.4.3. Débits de retour des nouvelles sources d'approvisionnement.....	223
Conclusion.....	224
V. Comparaison entre les différents scénarios analysés.....	224
VI. Calibration et vérification du modèle.....	228
Conclusion.....	230
VII. Confrontation offre-demande en eau dans le bassin du Saf-Saf.....	233

VIII. Contraintes et défis à relever par la GIRE.....	235
VIII.1. Approvisionnement en eau potable.....	236
VIII.2. Sécurité de la population des inondations.....	237
VIII.3. Conservation et restauration des écosystèmes aquatiques	238
VIII.4. Gestion des données et amélioration des connaissances	238
Conclusion	239
Conclusion générale et recommandations.....	240
Références bibliographiques.....	244
Annexes.....	252

Liste des figures

Fig. I.1. Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf.....	5
Fig. I.2. Carte du découpage administratif communal dans le bassin du Saf-Saf.....	8
Fig. I.3. Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques	12
Fig. I.4. Carte des pentes du bassin versant du Saf-Saf.....	15
Fig. I.5. Carte du réseau hydrographique du bassin versant du Saf-Saf.....	17
Fig. I.6. Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf.....	28
Fig. I.7. Carte géologique de la région de Skikda extrait de la carte géologique de l'extrême Nord-Est algérien (J.M.VILA. 1978).....	29
Fig. II.1. Carte du réseau d'observation pluviométrique dans le bassin du Saf-Saf.....	31
Fig. II.2. Variation interannuelle des précipitations (1970/71 - 2011/12).....	35
Fig. II.3. Moyenne des précipitations mensuelles (1970/71 – 2011/12).....	37
Fig. II.4. Répartition saisonnière des précipitations (1970/71 – 2011/12).....	38
Fig. II.5. Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Skikda (1970/71 - 2011/12).....	40
Fig. II.6. Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Zardézas (1987/88 - 2011/12).....	40
Fig. II.7. Diagramme ombro-thermique de la station de Skikda (70/71-11/12).....	41
Fig. II.8. Diagramme ombro-thermique de la station d'El Harrouch (70/71-11/12)....	41
Fig. II.9. Carte des polygones de Thiessen du bassin versant du Saf-Saf.....	44
Fig. II.10. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12).....	47
Fig. II.11. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station d' El Harrouch (1970/71-2011/12).....	48
Fig. III.1. Variations interannuelles des débits moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2001/02).....	55
Fig. III.2. Variations mensuelles des débits interannuels moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2011/12).....	57
Fig. III.3. Profil hydrogéologique de la nappe alluviale du Saf-Saf (NW-SE).....	60
Fig. III.4. Profil hydrogéologique de la nappe alluviale du Saf-Saf. (SW-NE).....	61
Fig. III.5. Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine du Saf-Saf	63
Fig. III.6. Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine du Saf-Saf (Mai 2010).....	65
Fig. III.7. Carte piézométrique de la nappe profonde de la plaine du Saf-Saf (Mai 2010).....	67

Fig. IV.1. Variation de la température dans les eaux de surface en amont du bassin...	70
Fig. IV.2. Variation du pH dans les eaux de surface en amont du bassin.....	71
Fig. IV.3. Variation de la conductivité dans les eaux de surface en amont du bassin...	71
Fig. IV.4. Variation de la salinité dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.....	72
Fig. IV.5. Concentrations de l'oxygène dissous dans les eaux de surface en amont....	72
Fig. IV.6. Concentrations du calcium dans les eaux de surface en amont.....	74
Fig. IV.7. Concentrations du potassium dans les eaux de surface en amont	74
Fig. IV.8. Concentrations du sodium dans les eaux de surface en amont.....	75
Fig. IV.9. Concentrations du magnésium dans les eaux de surface en amont	76
Fig. IV.10. Concentrations des chlorures dans les eaux de surface en amont.....	76
Fig. IV.11. Concentrations des Sulfates dans les eaux de surface en amont	77
Fig. IV.12. Concentrations des bicarbonates dans les eaux de surface en amont.....	78
Fig. IV.13. Concentrations du fer dans les eaux de surface en amont du bassin.....	78
Fig. IV.14. Concentrations du manganèse dans les eaux de surface en amont.....	79
Fig. IV.15. Concentrations des nitrates dans les eaux de surface en amont.....	80
Fig. IV.16. Variation des turbidités dans les eaux de surface en amont.....	80
Fig. IV.17. Concentrations de la DBO_5 dans les eaux de surface en amont.....	81
Fig. IV.18. Concentrations de la DCO dans les eaux de surface en amont.....	81
Fig. IV.19. Variation des M.E.S dans les eaux de surface en amont.....	82
Fig. IV.20. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Stabler (2000-2013)	84
Fig. IV.21. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Schöoller- Berkaloff (2000-2013)	85
Fig. IV.22. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Piper (2000-2013).....	86
Fig. IV.23. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Stiff (2000-2013).....	87
Fig. IV.24. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Stabler (2000-2013)	89
Fig. IV.25. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Schöoller- Berkaloff (2000-2013)	90
Fig. IV.26. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Piper (2000-2013).....	91
Fig. IV.27. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Stiff (2000-2013).....	92
Fig. IV.28. Représentation graphique des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Wilcox (2000-2013).....	93
Fig. IV.29. Carte de la zone de prélèvements en aval du Saf-Saf.....	96

Fig. IV.30. Carte d'inventaire des points de prélèvements en aval du Saf-Saf.....	97
Fig. IV.31. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoëller –Berkaloff.....	100
Fig. IV.32. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoëller –Berkaloff.....	101
Fig. IV.33. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.....	102
Fig. IV.34. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.....	103
Fig. IV.35. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la salinité.....	104
Fig. IV.36. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la conductivité électrique.....	105
Fig. IV.37. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des chlorures.....	106
Fig. IV.38. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des sulfates.....	107
Fig. IV.39. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction du sodium.....	107
Fig. IV.40. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des bicarbonates.....	108
Fig. IV.41. Courbe de la qualité des eaux d'irrigations en fonction du pH.....	109
Fig. IV.42. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates.....	110
Fig. IV.43. Evolution des minéraux évaporitiques dans les eaux de surface.....	111
Fig. IV.44. Evolution des minéraux carbonatés dans les eaux de surface.....	111
Fig. IV.45. Carte d'inventaire des points de prélèvements en amont et du Saf-Saf.....	112
Fig. IV.46. Diagramme de Piper des eaux souterraines en amont du Saf-Saf	114
Fig. IV.47. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux souterraines en amont du bassin sur le diagramme de Stabler.....	116
Fig. IV.48. Carte de désignation des points de prélèvements.....	118
Fig. IV.49. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff des eaux souterraines en aval du bassin.....	121
Fig. IV.50. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff des eaux souterraines en aval du bassin.....	122
Fig. IV.51. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines en aval du bassin.....	123
Fig. IV.52. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines en aval du bassin.....	124
Fig. IV.53. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoëller –Berkaloff des eaux souterraines en aval du bassin.....	125
Fig. IV.54. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoëller –Berkaloff des eaux souterraines en aval du bassin.....	126
Fig. IV.55. Classification de Wilcox des eaux d'irrigation de la nappe alluviale de l'oued Saf-Saf.....	128

Fig. IV.56. Classification de Wilcox des eaux d'irrigation de la nappe alluviale de l'oued Saf-Saf.....	129
Fig. IV.57. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des chlorures...	130
Fig. IV.58. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction de la conductivité électrique.....	131
Fig. IV.59. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des sulfates.....	132
Fig. IV.60. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction du magnésium..	133
Fig. IV.61. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des nitrates.....	134
Fig. IV.62. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des nitrites.....	135
Fig. IV.63. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction d'ammonium..	136
Fig. IV.64. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction de phosphates..	136
Fig. IV.65. Evolution des minéraux évaporitiques dans les eaux souterraines.....	138
Fig. IV.66. Evolution des minéraux carbonatés dans les eaux souterraines.....	141
Fig. IV.67. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1et F2.....	145
Fig. IV.68. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F3.....	147
Fig. IV.69. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F5.....	150
Fig. IV.70. Rejets d'eaux usées urbaines dans le bassin du Saf-Saf.....	152
Fig. IV.71. Rejets d'eaux usées industrielles dans le bassin du Saf-Saf.....	153
Fig. IV.72. Irrigation et agriculture intensive dans le périmètre du Saf-Saf.....	155
Fig. IV.73. Carte de vulnérabilité de la plaine alluviale du Saf-Saf	156
Fig. V.1. Répartition du potentiel hydrique dans le bassin du Saf-Saf.....	162
Fig. V.2. Répartition des ressources mobilisables dans le bassin du Saf-Saf.....	162
Fig. V.3. Répartition des ressources mobilisées dans le bassin du Saf-Saf.....	163
Fig. V.4. Taux de mobilisation des ressources en eau de surface	163
Fig. V.5. Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines	164
Fig. V.6. Affectation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf.....	165
Fig. V.7. Alimentation en eau potable dans le milieu rural à partir des sources captées en amont du bassin du Saf-Saf.....	169
Fig. V.8. Schéma directeur de distribution de l'eau dans le périmètre irrigué du Saf-Saf.....	172
Fig. V.9. Evolution des superficies irriguées et des volumes d'eau distribués dans le périmètre du Saf-Saf (1992-2007).....	175
Fig. VI.1. Le modèle DPSIR pour développer les indicateurs.....	180
Fig. VI.2. Pyramide de démarche de la GIRE.....	182
Fig. VI.3. La license WEAP acquise à partir du SEI	185
Fig. VI.4. Carte du monde dans le logiciel WEAP.....	186

Fig. VI.5. Carte du bassin du Saf-Saf avec le réseau hydrographique sous WEAP....	187
Fig. VI.6. Carte du bassin du Saf-Saf avec les priorités d'approvisionnement.....	187
Fig. VI.7. Schéma hydraulique du bassin du Saf-Saf, 2010.....	188
Figure VI.8. Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP 21.....	190
Fig. VI.9. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes domestiques, 2010.....	192
Fig. VI.10. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes d'agriculture, 2010....	193
Fig. VI.11. Consommation annuelle des sites des demandes domestiques, 2010.....	193
Figure VI.12. Consommation annuelle des sites des demandes d'agriculture, 2010....	194
Fig. VI.13. Débit de tête de l'oued Saf-Saf (station de Khemakhème), 2010.....	194
Fig. VI.14. Prélèvement maximal des nappes alluviales du Saf-Saf, 2010.....	195
Fig. VI.15. Capacité de stockage initiale des nappes alluviales du Saf-Saf, 2010.....	195
Fig. VI.16. Débits entrants à partir des autres sources dans le bassin, 2010.....	196
Fig. VI.17. Schéma hydraulique du bassin de Saf-Saf selon le modèle WEAP, compte d'état actuel.....	197
Fig. VI.18. Fenêtre montrant les hypothèses clés.....	198
Fig. VI.19. Création des scénarios.....	199
Fig. VI.20. Création du scénario de référence.....	200
Fig. VI.21. Evolution de la population dans le bassin du Saf-Saf, scénario 1.....	201
Fig. VI.22. Evolution des superficies irriguées le bassin du Saf-Saf, scénario 1.....	202
Fig. VI.23. Evolution de la demande en eau domestique dans le bassin, scénario 1....	203
Fig. VI.24. Demande en eau d'irrigation dans le bassin, scénario 1.....	204
Fig. VI.25. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin, scénario 1.....	205
Fig. VI.26. Eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf, scénario 1.....	206
Fig. VI.27. Demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf, scénario 1.....	206
Fig. VI.28. Débits monsuels entrants et sortants du bassin du Saf-Saf, scénario 1.....	207
Fig. VI.29. Evolution de la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf, scénario 2....	208
Fig. VI.30. Effet du fort accroissement de la population sur la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf. 2011-2030	210
Fig. VI.31. Eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf, scénario 2.....	211
Fig. VI.32. Demande en eau non satisfaite dans le bassin Saf-Saf, scénario 2.....	211
Figure VI.33. Evolution des superficies irriguées le bassin du Saf-Saf, scénario 3....	213
Fig. VI.34. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin, scénario 3...	214
Fig. VI.35. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin, scénario 3.....	215
Fig. VI.36. Eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf, scénario 3.....	215
Fig. VI.37. Demande en eau non satisfaite dans le bassin, scénario 3.....	216
Fig. VI.38. Evolution de la production de la nouvelle station de dessalement de l'eau	217

de mer, scénario 4.....	
Fig. VI.39. Débits entrants à partir de la nouvelle station de dessalement de l'eau de mer, scénario 4.....	218
Fig. VI.40. Evolution de la capacité journalière de production de la nouvelle STEP, scénario 4.....	218
Fig. VI.41. Débits entrants et sortants de la station d'épuration, scénario 4.....	219
Fig. VI.42. Schéma hydraulique projeté de l'aval du bassin du Saf-Saf, scénario 4....	219
Fig. VI.43. Evolution de la production en eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement, scénario 4.....	221
Fig. VI.44. Evolution de la production de l'eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement, scénario 4.....	221
Fig. VI.45. Débits entrants à partir des nouvelles sources d'approvisionnement, scénario 4.....	222
Fig. VI.46. Apports de la STEP et des sources à l'approvisionnement, scénario 4.....	223
Fig. VI.47. Débits de retour des nouvelles source d'approvisionnement, scénario 4...	223
Fig. VI.48. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin du Saf-Saf.....	225
Fig. VI.49. Evolution des exigences de distribution dans le bassin du Saf-Saf.....	226
Fig. VI.50. Evolution de l'eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.....	227
Fig. VI.51. Evolution de la demande en eau non satisfaite dans le bassin	228
Fig. VI.52. Comparaison entre les débits observés et simulés dans le bassin.....	229
Fig. VI.53. Ecart entre les débits observés et simulés dans le bassin.....	229
Fig. VI.54. Flux entrant et sortant dans le bassin du Saf-Saf (2010).....	230
Fig. VI.55. Comparaison récapitulative des différents scénarios de mobilisation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf (2011-2030).....	231
Fig. VI.53. Disposition des Scénarios retenus et données de base du modèle WEAP dans le bassin du Saf-Saf.....	232
Fig. VI.54. Courbe de confrontation de l'offre et la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf	234

Liste des tableaux

Tab. I.1. Données des populations des communes du bassin du Saf-Saf.....	4
Tab. I.2. Altitudes des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.....	9
Tab. I.3. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant du Saf-Saf.....	11
Tab. I.4. Tableau Récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Saf-Saf.....	16
Tab. II.1. Stations pluviométriques fonctionnelles dans le bassin du Saf-Saf.....	30
Tab. II.2. Vitesse moyenne des vents à la station de Skikda (1970/71– 2011/12).....	32
Tab. II.3. Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1970/71 – 2011/12).....	33
Tab. II.4. Répartition annuelle des précipitations (1970/71 – 2011/12).....	34
Tab. II.5. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière : Seltzer (1913-1938) à la station de Skikda et d'El Harrouch.....	36
Tab. II.6. Moyenne des précipitations mensuelles (1970/71 – 2011/12).....	37
Tab. II.7. Répartition saisonnière des précipitations (1970/71 – 2011/12).....	38
Tab. II.8. Moyennes mensuelles des températures en (1970-2012).....	39
Tab. II.9. Calcul de la lame d'eau précipitée par la méthode de Thiessen.....	42
Tab. II.10. Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station de Skikda(1970/71-2011/12).....	46
Tab. II.11. Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station d'El Harrouch (1970/71-2011/12).....	46
Tab. II.12. Les différentes composantes du bilan hydrique.....	50
Tab. III.1. Variations interannuelles des débits moyens et maximaux à la station de Khemakhem (1973 – 2002).....	54
Tab. III.2. Les débits mensuels interannuels : Moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2001/02).....	56
Tab. III.3. Estimation de la lame d'eau écoulée et le bilan d'écoulement à la station de Khémakhem (1973/74-2001/02)	57
Tab. IV.1. Paramètres physiques des quatre campagnes d'échantillonnage.....	70
Tab. IV.2. Synthèse des résultats pour les quatre campagnes d'échantillonnage.....	73
Tab. IV.3. Résultats des analyses bactériologiques pour les quatre campagnes d'échantillonnage.....	82
Tab. IV.4. Synthèse des analyses physico-chimiques des eaux de surface en amont du bassin (2012-2013).....	83
Tab. IV.5. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques eaux de surface en amont du bassin (2012-2013).....	84

Tab. IV.6. Résultats des analyses physico-chimiques du barrage de Zardézas (2000-2013).....	88
Tab. IV.7. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques	89
Tab. IV.8. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (S.A.R) du barrage de Zardézas (2000-2013)	92
Tab. IV.9. Potabilité des eaux pour les éléments majeurs du barrage de Zardézas (2000-2013).....	94
Tab. IV.10. Désignation des points de prélèvements.....	95
Tab. IV.11. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques.....	98
Tab. IV.12. Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff.....	99
Tab. IV.13. Classification des eaux selon la salinité.....	104
Tab. IV.14. Classification des eaux de surface selon la conductivité électrique.....	105
Tab. IV.15. Classification des eaux de surface selon les chlorures.....	105
Tab. IV.16. Classification des eaux de surface selon les sulfates.....	106
Tab. IV.17. Classification des eaux de surface selon le Sodium.....	107
Tab. IV.18. Classification des eaux de surface selon les bicarbonates.....	108
Tab. IV.19. Classification des eaux d'irrigation selon le pH	108
Tab. IV.20. Classification des eaux de surface selon les nitrates.....	109
Tab. IV.21. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques.....	115
Tab. IV.22. Désignation des points de prélèvements.....	117
Tab. IV.23. Résultats des analyses et faciès chimiques.....	119
Tab. IV.24. Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff.....	124
Tab. IV.25. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (S.A.R).....	127
Tab. IV.26. Classe des qualités des eaux pour l'irrigation.....	128
Tab. IV.27. Classification des eaux selon les teneurs en Chlorures.....	130
Tab. IV.28. Classe de la minéralisation des eaux.....	130
Tab. IV.29. Classification des eaux selon la teneur en Sulfates.....	131
Tab. IV.30. Classification des eaux selon la teneur en Magnésium.....	132
Tab. IV.31. Classification des eaux selon la teneur en Nitrates.....	133
Tab. IV.32. Classification des eaux selon la teneur en Nitrite.....	134
Tab. IV.33. Classification des eaux selon la teneur en Ammonium.....	135
Tab. IV.34. Classification des eaux selon la teneur en phosphate.....	136
Tab. IV.35. Rapports caractéristiques et Indices des échanges de bases.....	139
Tab. IV.36. Inerties totales de l'A.C.P des eaux souterraines.....	143
Tab. IV.37. Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux souterraines.....	144
Tab. IV.38. Inerties totale de l'A.C.P des eaux de surface.....	148

Tab. IV.39. Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux de surface.....	149
Tab. IV.40. Débits rejetés en fonction de la population dans le bassin du Saf-Saf.....	152
Tab. IV.41. Types de polluants et volumes d'eaux usées rejetés de quelques unités de la zone industrielle pétrochimique de Skikda.....	153
Tab. IV.42. Quantités d'engrais et de produits phytosanitaires délivrés dans quelques communes du bassin du Saf-Saf.....	154
Tab. V.1. Les différentes retenues collinaires dans le bassin du Saf-saf.....	159
Tab. V.2. Potentiel hydrique global dans le bassin du Saf-Saf.....	161
Tab. V.3. Répartition des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf.....	161
Tab. V.4. Tableau récapitulatif de la population et l'alimentation en eau potable dans le bassin du Saf-Saf (2010).....	167
Tab. V.5. Présentation physique du périmètre irrigué du Saf-Saf.....	170
Tab. V.6. Assolements des cultures dans le périmètre irrigué du Saf-Saf.....	171
Tab. V.7. Ressources en eau et dotations pour l'irrigation du périmètre du Saf-Saf.....	173
Tab. V.8. Evolution des superficies irriguées et des volumes d'eau distribués dans le périmètre du Saf-Saf (1992-2007).....	174
Tab. V.9. Besoins et consommation en eau de la zone industrielle de Skikda (2010)...	176
Tab. V.10. Besoins et consommation en eau des unités industrielles dans le bassin Saf-Saf.....	177
Tab. VI.1. Les informations nécessaires pour les sites de demandes.....	192
Tab. VI.2. Projection de la population totale dans le bassin du Saf-Saf - scénario 1	200
Tab. VI.3. Projection des superficies irriguées dans le bassin du Saf-Saf - scénario 1 ...	201
Tab. VI.4. Evolution de la demande en eau domestique dans le bassin, scénario 1.....	203
Tab. VI.5. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin, scénario 1.....	204
Tab. VI.6. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin, scénario 1.....	205
Tab. VI.7. Eau distribuée et la demande en eau non satisfaite dans le bassin versant du Saf-Saf, scénario 1.....	206
Tab. VI.8. Volumes des débits mensuels entrants et sortants du bassin, scénario 1.....	207
Tab. VI.9. Evolution de la demande en eau dans le bassin, scénario 2.....	208
Tab. VI.10. Pourcentage annuelle sur de la demande en eau domestique et totale, scénario 2.....	209
Tab. VI.11. Eau distribuée et la demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf, scénario 2.....	210
Tab. VI.12. Projection des superficies irriguées dans le bassin du Saf-Saf, scénario 3....	212
Tab. VI.13. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin, scénario 3....	213
Tab. VI.14. Evolution de la demande en eau globale, scénario 3.....	214
Tab. VI.15. Projection de l'eau distribuée dans le bassin du Saf-Saf, scénario 3.....	215

Tab. VI.16. Projection de la demande en eau non satisfaite, scénario 3.....	216
Tab. VI.17. Evolution de la demande en eau globale, différents scénarios.....	224
Tab. VI.18. Evolution des exigences de distribution dans le bassin du Saf-Saf, différents scénarios.....	225
Tab. VI.19. Evolution de l'eau distribuée dans le bassin, différents scénarios.....	226
Tab. VI.20. Evolution de la demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf , différents scénarios.....	227
Tab. VI.21. Demande en eau globale et indices de consommation des différents secteurs usagers dans le bassin versant du Saf-Saf, scénario de référence.....	234

Introduction générale

Introduction générale

Dans un contexte de pénurie croissante dans une partie des pays du pourtour méditerranéen et face aux incertitudes liées aux changements climatiques, ce qui met en avant la nécessité impérieuse d'adapter les politiques de gestion de l'eau, de mieux gérer les différents usages et d'utiliser les ressources de façon plus économique et optimale, pour répondre aux besoins des populations et de développement d'aujourd'hui et de demain.

Les pays de la rive sud ne sont dotés que de 13 % du total. 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 (Plan Bleu, 2008).

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est considérée à l'échelle planétaire comme la solution du problème. Dans l'idéal, la GIRE doit tenir compte des intérêts de protection et d'exploitation, de toutes les contraintes existantes, ainsi que des principaux aspects politiques, juridiques, administratifs, économiques, environnementaux, sociaux et culturels.

L'Algérie ne fait pas exception, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Elles sont déjà surexploitées en maints endroits et la croissance des besoins en eau va rester très forte avec la croissance démographique surtout au Nord, le développement de l'industrie et des terres irriguées.

L'enjeu consiste ainsi, aujourd'hui, à accélérer l'intégration de la gestion de l'eau dans les politiques de l'eau, de l'environnement et améliorer les stratégies de développement durable et « plans d'efficience » (ou plans d'utilisation rationnelle des ressources en eau) dont le principe a été retenu au Sommet de Johannesburg (2002).

Il y a près de 20 ans, que l'ensemble des acteurs de l'eau en Algérie a pris conscience de la nécessité de réformer le système général de la gestion de l'eau. Les notions de base de cette gestion intégrée de l'eau ont été introduites en 1996, et depuis on ne cesse de parler de l'économie de l'eau, le schéma directeur de l'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et la participation citoyenne (concertation). Deux outils ont été installés également à savoir : les agences de bassins hydrographiques (ABH) et les comités de bassins (CB). Un fond national de gestion est mis également à la disposition des acteurs de l'eau pour l'exécution de ses missions. Des réformes institutionnelles importantes ont aussi été engagées plus récemment (création de la police des eaux).

Dans ce contexte, la gestion efficace et équitable de l'eau est l'un des défis les plus importants auxquels le bassin du Saf-Saf doit faire face, surtout avec les enjeux liés à la gestion de la ressource en eau qui ne cessent de croître en importance, sous le double effet de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins par habitant. Ainsi, les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité.

Occupant la partie centrale de la wilaya de Skikda, le bassin du Saf-Saf s'étend sur une superficie de 1158 Km², avec une population de près de 450 milles habitants (49 % de la population totale de la wilaya).

En matière de potentialités hydriques, la moyenne pluviométrique atteint les 690 mm/an sur l'ensemble du bassin, traduisant un apport globalement très important de l'ordre de 800 Mm³ par an. Ce potentiel est malheureusement se trouve confronté à d'importants problèmes de gestion et de maintenance des ouvrages hydrauliques mis en place, réduisant le volume de mobilisation à moins de 50 Mm³ par an.

Outre, le bassin dans sa partie aval est purement dominé par l'industrie pétrochimique polluante, favorisant une dégradation accélérée et continue de la qualité des eaux superficielles et souterraines. Ainsi qu'une pollution agricole dans la plaine du Saf-Saf résultant de certaines pratiques agricoles (engrais et pesticides) n'est pas à exclure.

Une situation qui nécessite une réaction de certaines catégories de bassin Saf-Saf (utilisateurs, administrateurs et décideurs) pour résoudre ou au moins de réduire ces problèmes, par la mise en œuvre d'une nouvelle stratégie basée sur l'utilisation de simulation hydrologique pour étudier l'effet des changements climatiques sur le processus de précipitations et du ruissellement et de la variabilité spatiotemporelle de la demande en eau.

Pour ceci, une modélisation hydrologique des changements de structures et de paramètres des systèmes hydrauliques est adoptée par le biais du modèle WEAP (Water Evaluation and Planning System) pour remédier aux problèmes d'approvisionnement et de demande en eau sur des horizons de planification à long terme dans le bassin du Saf-Saf, selon les projections de changements climatiques et fournir un modèle intégré de la planification des ressources hydriques.

L'objectif principal de la thèse est de développer et valider un modèle de gestion intégrée et durable des ressources en eau, fondé sur une analyse approfondie de l'offre et la demande en eau, des enjeux socio-économique et environnementaux dans le bassin.

Ces travaux de thèse sont présentés en deux parties principales, la première partie traite un portrait du bassin du Saf-Saf. Elle comprend trois chapitres: le premier expose le contexte physique du bassin y compris la morphométrie et la géologie. Le deuxième est consacré aux facteurs hydroclimatiques dans le bassin. Le troisième s'articule sur les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques dans le bassin, où on a pu acquérir une vision plus précise sur la géométrie et l'extension des aquifères ainsi que sur leurs piézométries. L'estimation des écoulements de surface de l'oued Saf-Saf a également été abordée au cours de ce chapitre.

La seconde partie est réservée à la ressource en eau, sa qualité et sa gestion intégrée, où le quatrième chapitre s'intéresse à l'évolution spatiotemporelle des paramètres chimiques, en étudiant la qualité et la vulnérabilité des eaux aux différents types de pollutions. Le cinquième chapitre expose un diagnostic quantitatif de l'état actuel des ressources en eau. Le sixième mis l'accent sur la modélisation hydrologique adoptée par le modèle WEAP sur des horizons de planification à moyen et à long terme dans le bassin du Saf-Saf.

Pour conclure, nous résumerons les principaux résultats obtenus dans cette thèse et proposerons quelques perspectives, afin de fournir aux responsables un modèle transposable, leur permettant de gérer efficacement et durablement les ressources hydriques dans les différents bassins à l'échelle nationale.

1^{ère} Partie:

Portrait du bassin versant du Saf-Saf

*Ce n'est qu'au début des années 1990, que la notion de **bassin versant** a été remise au goût du jour via le concept de la gestion intégrée des ressources en eau, et s'est progressivement imposé comme l'entité naturelle et l'échelle adéquate pour cette gestion « optimale ». Le **bassin versant** n'en demeure pas moins une forme de découpage de la nature qui renvoie toujours à une vision particulière du territoire et de sa finalité. Puisqu'il s'apparente à l'exercice du pouvoir et à sa délimitation, le découpage du territoire, aussi naturel soit-il, n'est pas neutre et s'apparente à un acte d'objectivation de celui-ci. Le bassin versant constitue donc le lieu d'appréhension non seulement de la problématique de l'eau, mais aussi d'un ensemble d'autres questions territoriales concomitantes pouvant être associées à l'eau.*

*L'adoption du **bassin versant** comme espace de référence de la gestion intégrée des eaux imprime certaines caractéristiques à la démarche d'intervention. Il renvoie essentiellement à une structure hydro-géomorphologique du territoire, qui peut, en théorie, englober des raisonnements et des analyses diverses.*

Chapitre: 1

Contexte physique du bassin versant du Saf-Saf

1. Description du bassin versant

1.1. Localisation et superficie

Le bassin versant du Saf-Saf, appartient au bassin côtier constantinois n° 3, il se situe entre le bassin de l'oued Guebli à l'Ouest et celui de l'oued Kebir ouest à l'Est. Il est limité au Sud par Djebel El Hadjar et Djebel Ouchení, à l'Est par Djebel El Alia et Djebel Tengout, à l'Ouest par le massif de Collo et Djebel Boukhallouf, et la mer méditerranéenne au Nord où se déverse le principal cours d'eau de ce bassin à l'Est de la ville de Skikda, drainant une surface de 1158 km².

Le bassin du Saf-Saf est inscrit dans le territoire de la wilaya de Skikda, qui s'étendant sur une superficie de 4137 km². Elle se situe au Nord Est de l'Algérie. Au Sud, sa limite naturelle (chaîne numidienne) se confond avec sa limite administrative (wilaya de Constantine). Au Nord, elle est limitée par la mer méditerranée, à l'Est par le massif de l'Edough (wilaya d'Annaba) et à l'Ouest par la wilaya de Jijel.

I.1.1. Aperçu socio-économique

I.1.1.1. Contexte démographique du bassin du Saf-Saf

La wilaya de Skikda regroupe 38 communes, dont la majorité en zones montagneuses, les agglomérations se concentrent autour des communes situées dans les plaines telles que: Skikda, Azzaba et El Harrouch.

Le bassin du Saf-Saf occupe la partie centrale de la wilaya, six daïras appartiennent à ce bassin; Skikda, El Hadaïk, Ramdane Djamel, El Harrouch et une partie de Sidi Mezghiche et Azzaba, sans oublier une partie de la commune de Zighoud Youcef qui fait partie de la wilaya de Constantine.

L'étude démographique dans un bassin hydrographique pose un problème de zonage, car les données sont collectées dans la plupart des cas selon les limites administratives.

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⁽¹⁾ habitants, 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 %.

Les agglomérations des daïra de Skikda (199 133 hab) et d'El Harrouch (124 530 hab) 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.

⁽¹⁾ : (D'après le RGPH, DPAT et ONS)

Tableau I.1. Données des populations des communes du bassin du Saf-Saf.

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	28 375	115,74	245
	El Harrouch	Beni Bachir	10 021	43,25	232
		El Harrouch	51 072	101,80	502
		Salah Bouchaour	30 929	93,00	333
		Emjez Eddchich	20 995	76,88	273
		Zardézas	12 997	101,65	128
	Sidi Mezghiche	Oueled hbaba	8 537	199,07	43
		Sidi Mezghich	26 638	94,50	282
		Aïn Bouziane	10 031	75,90	132
	Azzaba	El Ghédir	6 767	46,25	146
		Es Sebt	15 873	244,15	65
Constantine	Zighoud.Y	Zighoud Youcef	1 951	115,80	17
Total bassin Saf-Saf			451 717		

Source. DPAT, 2010

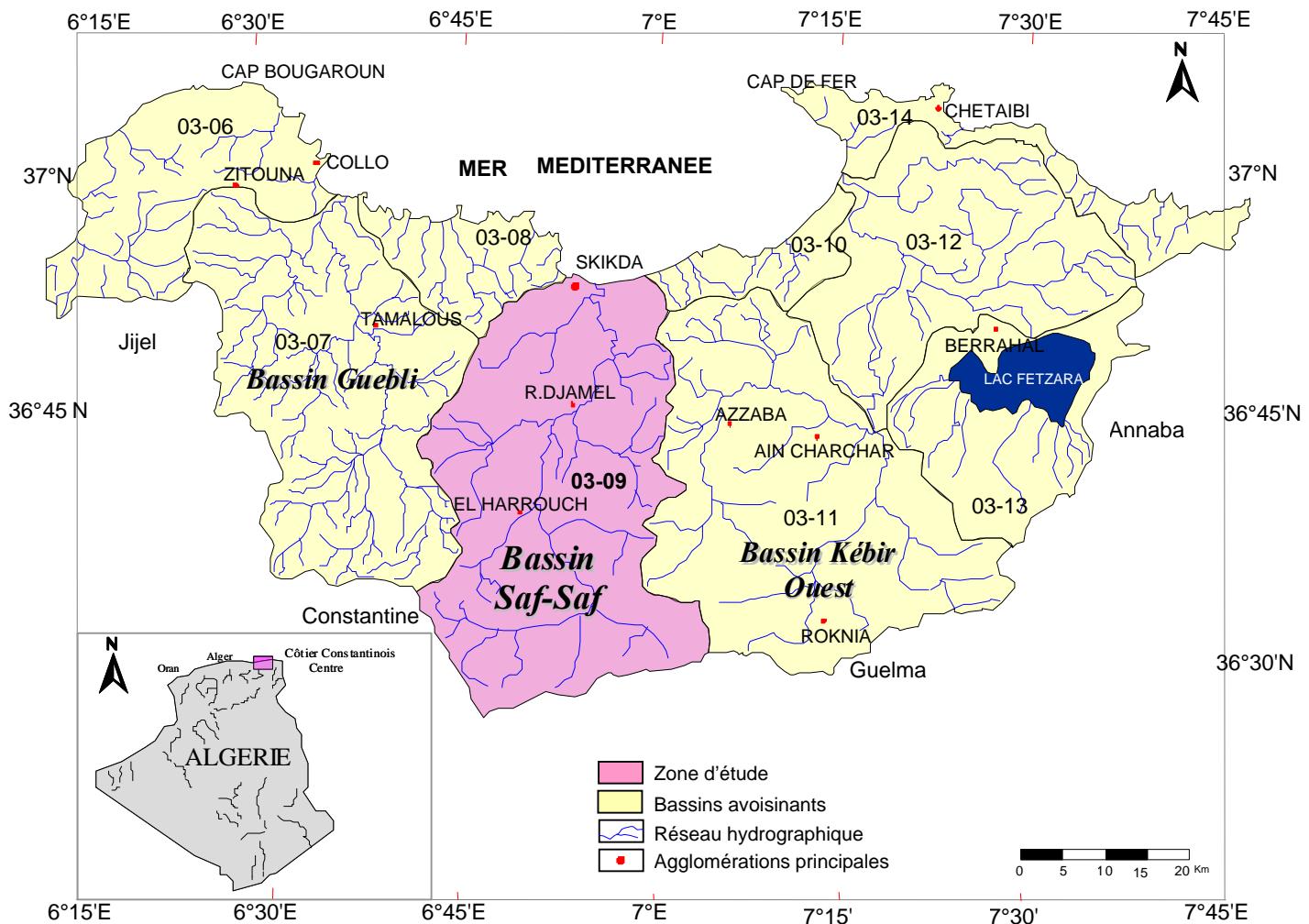


Figure I.1. Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf (ABH csm, modifiée).

I.1.1.2. Contexte agricole

La wilaya de Skikda est une région à vocation agricole, avec une surface de 193 179 ha, soit 46,68 % de la surface totale de la wilaya.

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

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

Il contient quatre secteurs, alimentés à partir des deux barrages; Zardézas et de Guénitra. Les quatre secteurs sont répartis comme suit:

- Le secteur 1 : secteur de Skikda (1720 ha).
- Le secteur 2 : secteur entre Salah Bouchaour et Ramdane Djamel (1609 ha).
- Le secteur 3 : secteur d'El Harrouch (1023 ha).
- Le secteur 4 : secteur d'Emjez Edd Chich (1302 ha).

Parmi les cultures prédominantes nous citerons: les céréales, les légumes secs, les agrumes (agrumicultures) et les cultures maraîchères.

I.1.1.3. Contexte industriel

L'activité industrielle dans la wilaya de Skikda est fortement concentrée autour des grandes agglomérations telles que; Skikda, Azzaba et El Harrouch.

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 agro-alimentaires, citant: la minoterie et semoulerie (ERIAD) à El Harrouch, et la conserverie de Ramdane Djamel.

I.1.2. Organisation administrative

Sur le plan administratif, le bassin du Saf-Saf s'étend principalement sur la région centrale de la wilaya de Skikda. Il comprend six daïras, englobant seize (16) communes (11 communes rurales et 5 communes urbaines); Skikda, Hamadi Krouma, El Hadaïek, Bouchtata, Ramdane Djamel, Beni Bachir, El Harrouch, Salah Bouchaour, Emjez Eddchich, Zardézas, Oueled Hbaba, El Ghédir, Es Sebt, Aïn Bouziane, Sidi Mezghiche et la commune de Zighoud Youcef qui fait partie de la wilaya de Constantine.

La commune de Skikda constitue le plus grand pôle urbain dans le bassin du Saf-Saf, avec un taux d'urbanisation⁽¹⁾ de 97,96 %, puis Hamadi Krouma avec un taux de 85,38 %, El Harrouch (67,73 %) et enfin Ramdane Djamel par 54,10 %.

⁽¹⁾ : Taux d'urbanisation = Population Urbaine / Population totale

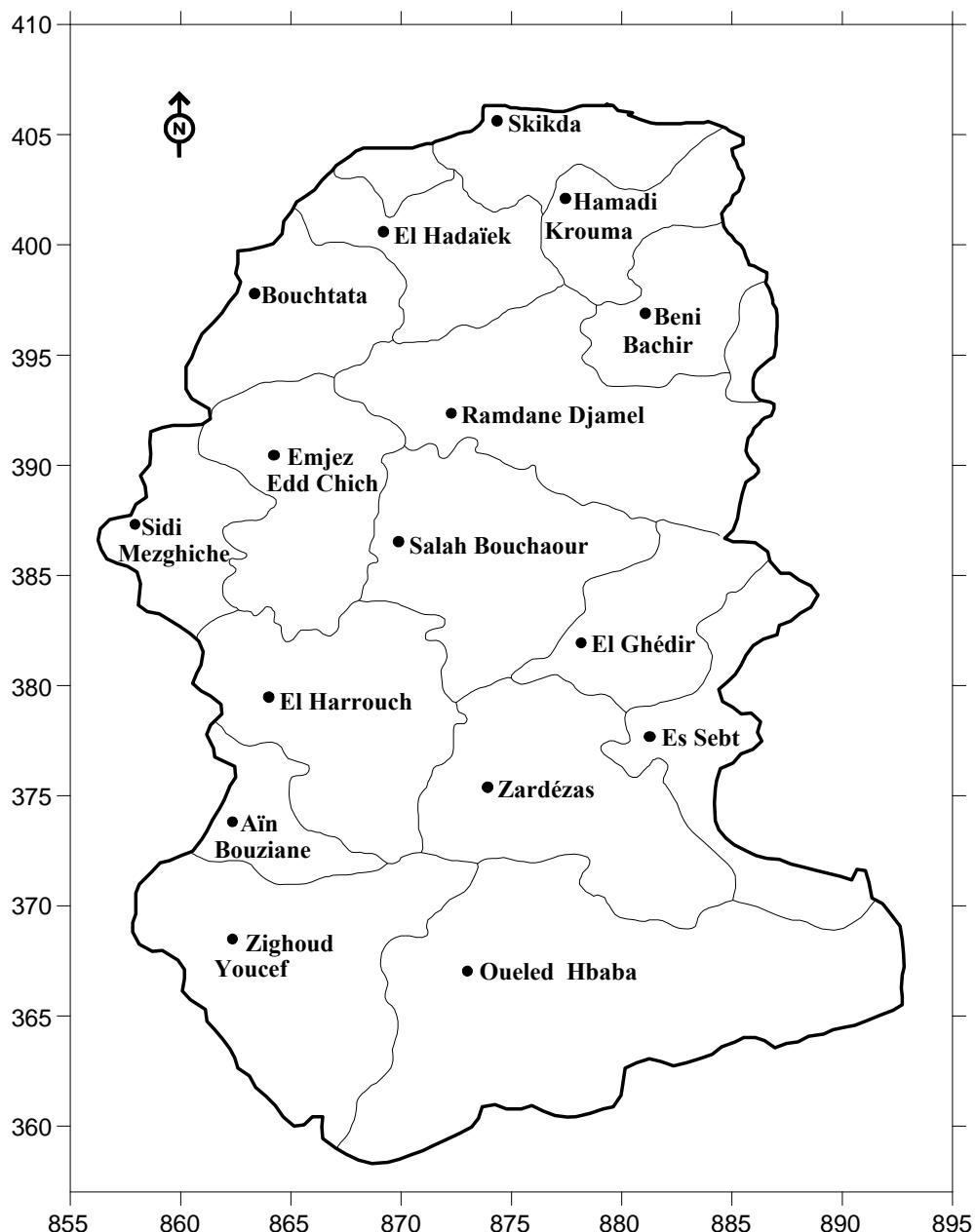


Figure I.2. Carte du découpage administratif communal dans le bassin du Saf-Saf.

I.1.3. Géomorphologie générale et chevelu hydrographique du bassin du Saf-Saf

I.1.3.1. Ensembles morpho-structuraux du bassin

L'oued Saf-Saf est un des plus grands oueds du tell nord constantinois de direction Sud-Nord. Il prend naissance sur les pentes du Djebel Ouahch au Sud de la chaîne numidique qu'il traverse par une vallée étroite entre le Djebel Sesnou et Sebargoud, et gorge au passage de Zardézas.

Il draine une série de sous bassins : sous bassin de Zardézas, sous bassin de l'oued Nessa, sous bassin de l'oued Ameur, sous bassin de Zeramna, et le sous bassin de l'oued Haddarat, ensuite il traverse la plaine de Skikda.

1. Le sous bassin de Zardézas: d'une superficie de 322 km², drainé par les oueds Khémakhem, Bou Adjeb et Khorfane, de forme allongé (Kc =1,26).
2. 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.
3. Le sous bassin de l'oued Ameur (prés de Emjez Ed chich): il est isolé derrière des reliefs atteignant 150m à 200m d'altitude.
4. Le sous bassin de l'oued Zeramna: de forme allongée drainé par l'oued Zeramna.
5. Le sous bassin de l'oued Haddarat : (prés de Ramdane Djamel) drainé par l'oued Haddarat.
6. 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.

Les reliefs ont généralement des altitudes faibles.

Tableau I.2. Altitudes des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.

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

I.1.3.2. Chevelu hydrographique

La région de Skikda est traversée par trois principaux cours d'eau, à savoir : l'oued Kebir ouest à l'Est, l'oued Saf-Saf au centre, et l'oued Guebli à l'Ouest.

Le bassin versant du Saf-Saf est drainé par l'oued Saf-Saf, qui prend naissance au Sud de la chaîne numidique à partir des deux oueds, Khémakhem et Bou Adjeb drainant une surface de 1158 km².

L'oued Saf-Saf ne bénéficie pas des apports liquides provenant des deux oueds cités au dessus, car ils sont stockés par le barrage des Zardézas.

Notre secteur d'étude présente un chevelu hydrographique dense, constitué par des oueds permanents et des oueds temporaires. Au niveau de la plaine de l'oued Saf-Saf, les oueds temporaires sont peu nombreux. Les oueds permanents sont les affluents de la vallée Saf-Saf.

I.2. Caractéristiques physiques

I.2.1. Caractéristiques morphométriques

I.2.1.1. Superficie

Avec une superficie planimétrée de 1158 km² selon les données de l'ANRH, le bassin versant du Saf-Saf est le plus grand bassin des côtiers constantinois (10 % de 11570 km²). Cette superficie est délimitée par une ligne de partage des eaux de 150 km étant le périmètre du bassin.

I.2.1.2. Forme du bassin

Cet élément peut être caractérisé par l'Indice de compacité de Gravelius K_C, ayant une influence certaine sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre P du bassin et sa surface A.

$$K_C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1.23$$

K_C : Indice de Compacité de Gravelius.

P : périmètre (km)

A : superficie (km²)

Pour le bassin versant du Saf-Saf, l'indice K_C a été estimé à 1,23 ; traduisant une forme allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (52,82 et 21,92 km).

I.2.1.3. Dimensions du rectangle équivalent

Cette notion introduite par L. Roche en 1963, permet la comparaison des bassins versants entre eux, quant à l'influence de leurs caractéristiques physiques sur l'écoulement global. Quand l'indice de compacité est supérieur à 1.12, les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues à l'aide des relations suivantes:

$$L_e = \frac{K_C \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K_C \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right]$$

Avec:

L_e : Longueur du rectangle équivalent en Km;

l : Largeur du rectangle équivalent en Km;

K_C : Indice de compacité ;

S : Superficie du bassin versant en km^2 .

Nous obtenons:

$$L_e = 52,82 \text{ km.}$$

$$l = 21,92 \text{ km}$$

I.2.1.4. Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief. Elle met en évidence le profil type du bassin et les pentes; facteur déterminant de l'écoulement. Il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude.

À partir de la carte topographique de Skikda (1 / 200 000), on a pu réaliser le tableau I.3.

Tableau I.3. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin versant du Saf-Saf.

Tranche d'Altitude (m)	Hauteur	Surface	Surface	Surface	Surface
	Moyenne	Partielle	Si Cumulée	Partielle	Si Cumulée
	Hi (m)	Si (km^2)	(km^2)	Si (%)	(%)
≤ 200	100	362,3	1158	31,29	100
200-400	300	286,0	795,7	24,70	68,71
400-600	500	255,5	509,7	22,06	44,01
600-800	700	156,8	254,2	13,54	21,95
800-1000	900	83,7	97,4	7,23	8,41
≥1000	1100	13,7	13,7	1,18	1,18
Total du bassin versant	-	1158	-	100	-

L'altitude moyenne du bassin du Saf-Saf, calculée à partir de la courbe hypsométrique (Fig. I.3) réalisée à partir du tableau I.3 est de l'ordre de 388 m. Cette valeur traduit une faiblesse relative de l'altitude, ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin, ainsi donc, nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin.

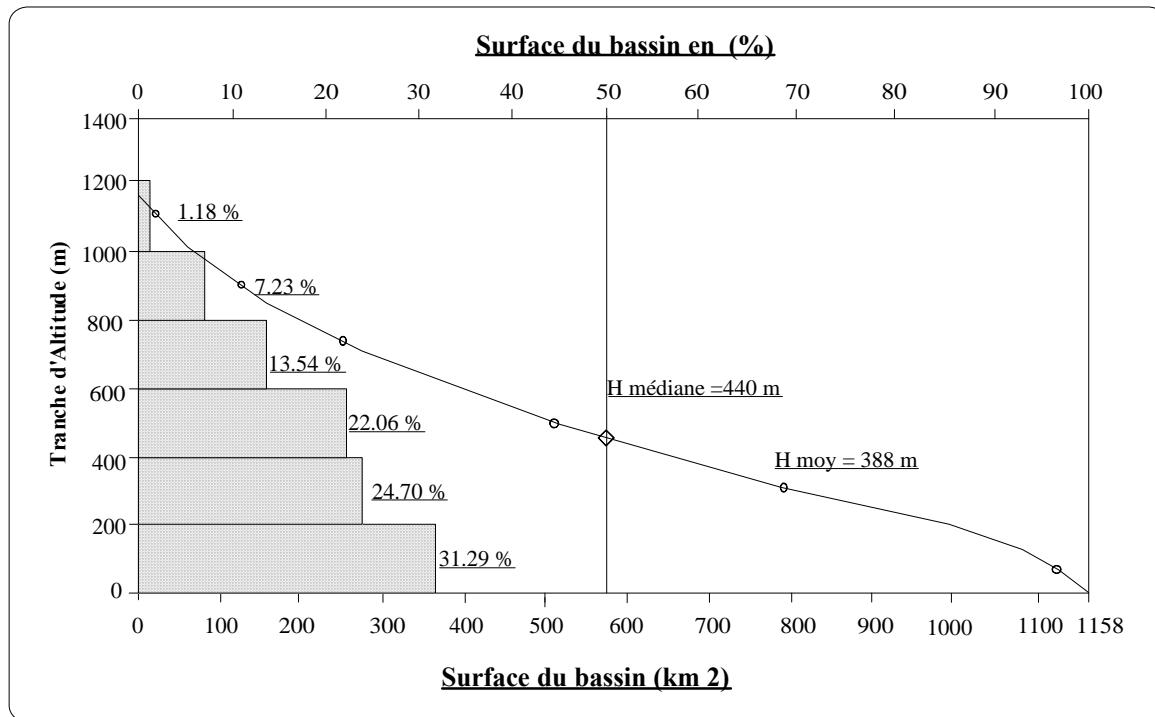


Figure I.3. Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques dans le bassin versant du Saf-Saf.

Les secteurs d'altitude dépassant les 1000 m sont peu étendus dans le bassin (1,2 %) et correspondent aux montagnes situés au sud du bassin : Djebel El Hadjar (1166 m), Djebel Oucheni (1028 m) et Kef Hahouner (1023 m). Les zones d'altitudes comprises entre 600 et 1200 m couvrent 254,2 km², soit environ 22% de la superficie totale et correspondent en majorité à la chaîne Numidique.

Par contre, les zones d'altitudes allant de 200 à 600 m couvrent une superficie de 540,8 km², soit 46,7 % de la superficie totale et concernent l'encadrement des cotés de la vallée du Saf-Saf.

Enfin, la tranche d'altitudes inférieures à 200 m concerne largement la vallée du Saf-Saf et ses vallées affluentes, et s'étale sur une superficie de 362,3 km² soit 31,29 %.

I.2.1.5. Indices de pente et relief

Ces indices permettent de caractériser les pentes d'un bassin versant et d'établir une classification des différents reliefs pour faire ensuite des comparaisons entre les différents bassins. L'appréhension du relief peut être faite à l'aide d'au moins deux indices.

Indice de pente global (I_g)

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (I_g), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivellation utile (D , en m); estimée à partir de la courbe hypsométrique; à la longueur du rectangle équivalent en km (L_e), d'où:

$$I_g = \frac{D}{L_e}$$

La dénivellation utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié; altitudes dénotées, respectivement, par $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$. Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes.

L'indice de pente global ' I_g ' est estimé à 17,15 m / km, cela implique que le relief du bassin du Saf-Saf est *Moyen* (20 > I_g >10 – Selon la classification de l'*O.R.S.T.O.M*: actuellement l'IRD).

Mais pour classer le relief du bassin du Saf-Saf, il semble plus fiable de se baser sur la dénivellation spécifique (D_s) au lieu de l'indice de pente global (I_g), car ce dernier ne peut être signifiant qu'en cas des bassins de plus de 25 km² de superficie.

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$$

La D_s estimée par 583,60 m traduit bien l'importance du volume montagneux, et de même les importantes dénivellées, et donne au relief du bassin du Saf-Saf la qualification de *Relief très fort* (D_s 500 m selon la classification de l'*O.R.S.T.O.M*). Ce relief fort, est un élément déterminant de la réaction du bassin vis-à-vis les pluies.

I.2.1.6. Classes des pentes

La pente topographique exprime l'inclinaison des versants par rapport à l'horizontal. C'est un facteur essentiel de l'écoulement de surface, car en effet ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence des fortes pentes et dénivellées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive.

Dans le bassin du Saf-Saf, on a pu faire ressortir quatre classes de pente (Fig. I.4).

a) 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*.

b) 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.

c) 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.

d) Pentes très fortes (plus de 25 %) : correspondent aux montagnes plus ou moins élevées. 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.

Cette classe de pente est fortement dominante dans le sous bassin de l'Oued Zeramna au nord du bassin. On peut également noter l'existence des ruptures de pente notamment au niveau des bassins de Ramdane Djamel, Salah Bouchaour et Beni Béchir, et cela peut aboutir à de brusques cumuls hydrologiques.

I.2.1.7. Temps de concentration

C'est le temps mis par la première goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre; exprimé dans ce cas en heures : peut être estimé par la formule de Giandotti, applicable pour les bassins étendus à pentes plus ou moins uniformes:

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} = 13,87 \text{ h}$$

Dans laquelle L_p est la longueur (en km) du thalweg principal et H_{moy} et H_{min} sont, respectivement, les altitudes moyenne et minimale du bassin (en m).

On remarque que le temps de concentration est d'autant plus élevé que l'allongement du bassin est marqué. La lithologie et le couvert végétal influent également sur le temps de concentration en jouant le rôle d'entrave réduisant le ruissellement.

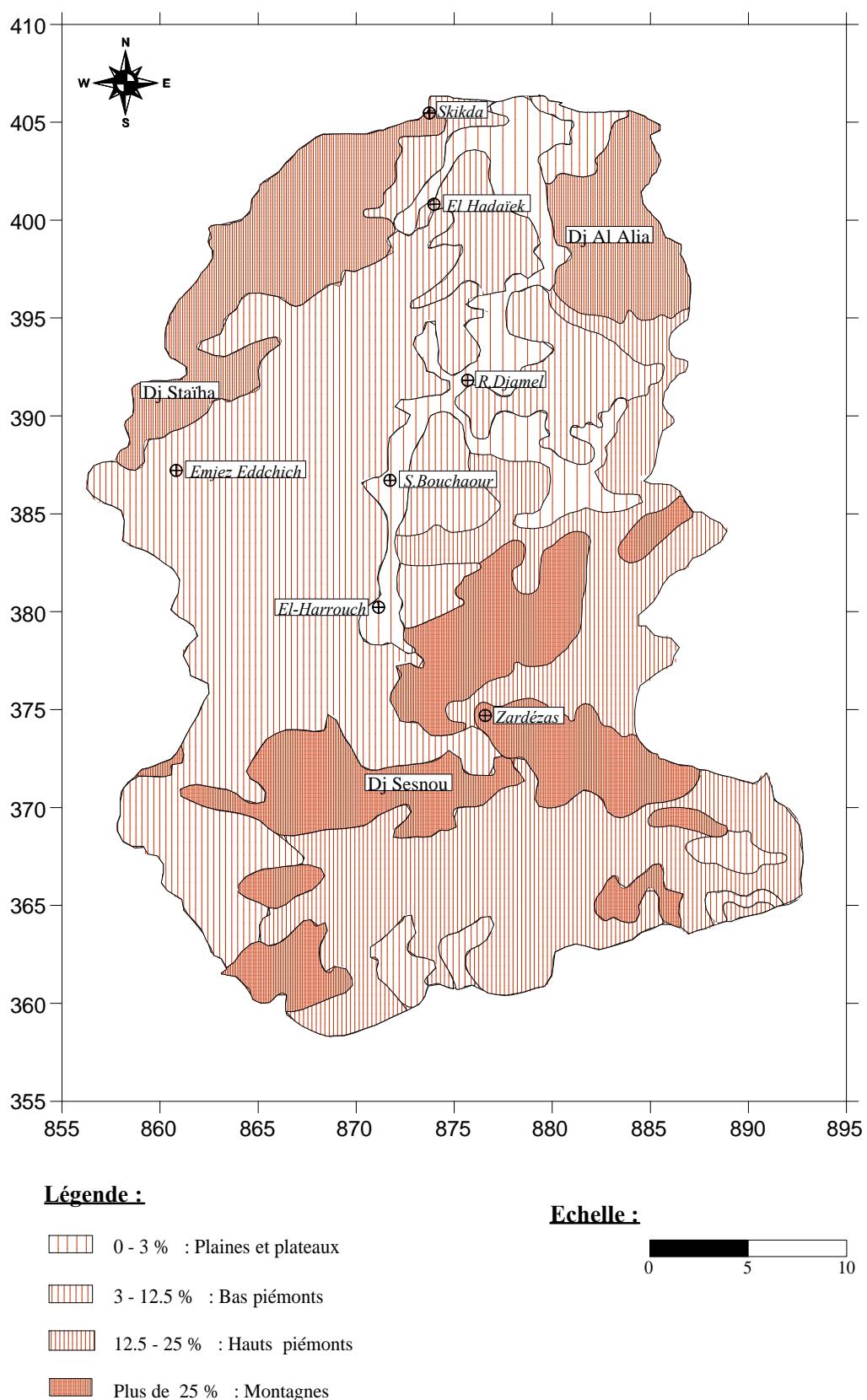


Figure I.4. Carte des pentes du bassin versant du Saf-Saf.

Tableau I.4. Tableau récapitulatif des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Saf-Saf.

Paramètres	Symboles	Unités	Bassin Versant du Saf-Saf	Sous Bassin de Zardézas
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	H min	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	D _d	Km/km ²	2.24	3.39
Temps de concentration	T _c	Heure	13 h 87	6 h 56

I.2.2. Réseau hydrographique et ses caractères morphométriques

I.2.2. 1. Constitution du réseau hydrographique

La topographie contrastée, l'agressivité du climat, la lithologie tendre des terrains (marnes et argiles) et les pentes ont permis l'installation d'un réseau hydrographique dense.

Le bassin versant du Saf-Saf résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'oued Bou Adjeb et l'oued Khemakhem où on a réalisé le barrage de Zardézas, il 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.5).

Le sous bassin versant de Zardézas, constitue l'unité principale dans l'alimentation du barrage. Il 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.

Dans la partie aval du barrage de Zardézas, 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.

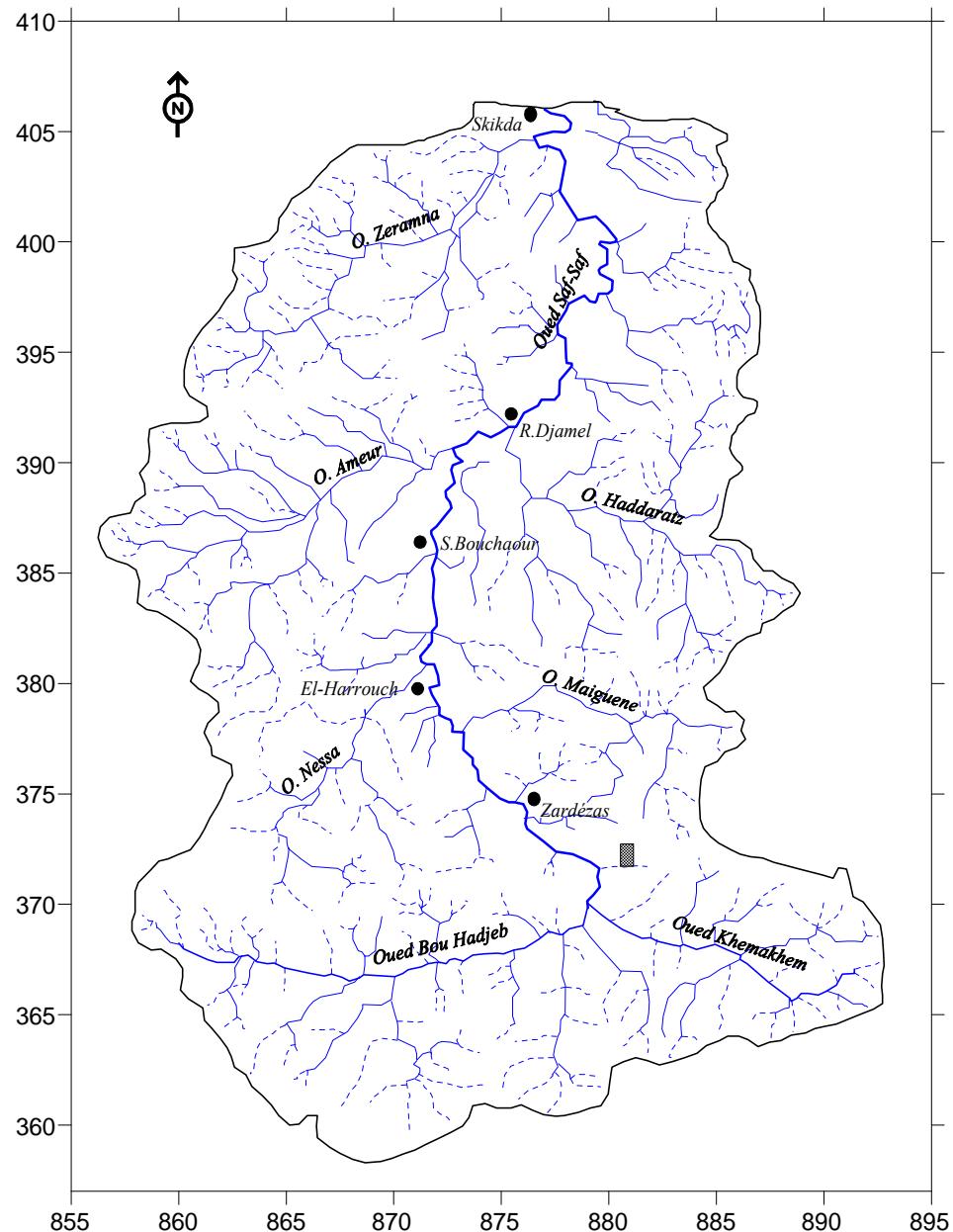
Ainsi, l'oued Saf-Saf reçoit en rive droite et gauche les principaux oueds suivants :

- En rive gauche : l'oued Zeramna, l'oued Ameur et l'oued Nessa.
- En rive droite : l'oued Goudi, l'oued Haddaratz et l'oued Maiguen.

Généralement, nous pouvons distinguer :

* Le bassin supérieur correspondant à l'oued Bou Adjeb et Khemakhem jusqu'à leur jonction au barrage de Zardézas.

* Le bassin inférieur qui coïncide avec l'Aval du barrage de Zardézas.



Légende :

Limite du bassin versant du Saf-Saf

Réseau hydrographique : Ecoulement permanent

Réseau hydrographique : Ecoulement temporaire

Agglomération

Station Hydrométrique

Echelle :

0 5 10 Km

Figure I.5. Carte du réseau hydrographique du bassin versant du Saf-Saf.

I.2.2.2. Relation entre la morphométrie et le réseau hydrographique

L'interaction du climat, lithologie et relief ont généré un chevelu hydrographique particulièrement dense, cela est traduit par une densité de drainage (D_d) assez élevée $2,24 \text{ km} / \text{km}^2$. Certes, cette importance de drainage hydrologique n'a rien d'étonnant quand on sait que le temps de concentration du bassin, calculé à une loi de Giandotti ne dépasse pas les 14 heures.

Ces valeurs indiquent que les pluies précipitées vont être transformées en écoulement, et atteindre l'exutoire (plaine et ville de Skikda) au bout d'environ 14 heures.

Et vu la surface étendue du bassin (1158 km^2), cette vitesse de mobilisation hydrique paraît assez rapide, et cela est du aux caractères physiques du bassin précédemment discutés qui favorisent la réponse hydrologique.

Conclusion

L'étude morphométrique met en évidence l'appartenance du bassin versant du Saf-Saf à un milieu de montagnes typiques du Tell Constantinois. Ce bassin est encadré donc par un relief accidenté, d'une altitude considérable ($H \text{ moy } = 388 \text{ m}$), avec un relief qualifié très fort ($D_s = 583,60 \text{ m}$), et de pentes importantes qui s'élèvent brutalement au dessus de la dépression d'El-Harrouch. Plus au Nord, la montagne plonge directement dans la mer, c'est le cas du massif de Aïn Zouit à l'Ouest de Djebel Filfila. Et cela s'effectue via un chevelu hydrographique dense ($D_d = 2,24 \text{ Km/Km}^2$), aboutissant à une rapide mobilisation des eaux de surface ($T_c = 13,87 \text{ h}$).

II. Contexte géologique du bassin du Saf-Saf

Le contexte géologique du bassin versant du Saf-Saf se confond avec l'ensemble de la géologie Alpine de la petite Kabylie.

Sur le plan régional, on doit se référer à J.F.RAOULT (1974), J.P.BOUILLIN (1977) et J.M.VILA (1980) les premières études complètes permettant d'identifier les ensembles structuraux de cette région.

L'immensité de sa taille (1158 Km²), et la complexité de sa structure ont fait que le bassin du Saf-Saf présente un grand ensemble morpho-structural.

Ainsi donc, il s'étend du piedmont sud tellien (au Sud), à la mer méditerranée (au Nord), il est respectivement limité à l'Est et à l'Ouest par les bassins versants du Seybouse et du Kébir Rhumel.

II.1. Cadre géologique régional

Les traits essentiels de la géologie de l'Algérie septentrionale sont individualisés à partir de deux principales manifestations tectoniques qui sont l'orogenèse Hercynienne et surtout

Alpine.

Du point de vu structural, l'Algérie est caractérisée du Nord au Sud par :

- * Le domaine des massifs primaires kabyles.
- * Le domaine tellien.
- * Le domaine de l'atlas saharien.
- * Le domaine de la plate forme saharienne.

Le secteur étudié fait partie de l'ensemble géologique de l'atlas tellien, on y distingue trois formations principales :

- Les terrains anciens formés essentiellement de roches métamorphiques.
- Les formations Tertiaires, essentiellement sédimentaires.
- Les formations Quaternaires, essentiellement alluvionnaires.

Le cadre structural du bassin est défini du Nord au Sud par la superposition de plusieurs unités qui sont :

- 1/ Le domaine interne : le socle kabyle, la dorsale calcaire.
- 2/ Le domaine médian : le domaine des flyschs.
- 3/ Le domaine externe : les séries telliennes.

II.1.1. Domaine interne

II.1.1.1. Socle kabyle (Paléozoïque)

On désigne à la suite de J.F.Raoult (1974), toutes les formations paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire. Le socle Kabyle est constitué de trois ensembles superposés :

Deux ensembles métamorphiques et un ensemble principalement sédimentaire d'âge paléozoïque, affirmé également par D. Delga (1967) qui a montré que le métamorphisme du socle est antérieur au Silurien et que le socle est charrié avec une flèche de 30 Km environ sur les terrains mésozoïques et cénozoïques qui affleurent :

- En position diapirique à travers le socle à l'Ouest du terrain près de Ain Kechra.
- De Stora jusqu'au col de Staïha.
- Au Nord Est du terrain apparaît Djebel Safia (ultra tellien) en fenêtre sous le socle Kabyle d'après .D. Delga, (1967) ; J.F. Raoult (1974) et M. Villa (1980).
- La même constatation a été affirmée par d'autres auteurs concernant Djebel Filfla toujours au Nord-Est du terrain.
- Le socle kabyle affleure aussi au Sud d'El Harrouch et au Nord-Est de Ain Bouziane où il sert de base aux séries Eocène (grès et conglomérats).
- Et d'après J. D. Bouillin (1977), on le constate au Sud du terrain dans la chaîne numidique où il sert de base aux séries mésozoïques et cénozoïques calcaires de Kef Toumiette, Djebel Bouabed, Kef Msouna, et Kef Sebergoud.
- L'unité kabyle allochtone est bien développée à l'Est et à l'Ouest de Skikda.

II.1.1.2. Chaîne calcaire ou la dorsale kabyle (Mésozoïque, Cénozoïque)

Comme il est déjà indiqué, la dorsale kabyle est constituée essentiellement des formations carbonatées, dont la datation s'étend du Lias inférieur au Lutétien, développée sur près de 90 km d'Ouest en Est.

II.1.1.2.1. Chaîne calcaire interne

Aperçue dans la limite Sud du terrain, dont la sédimentation des calcaires massifs a été interrompue par la phase tectonique du Lutétien supérieur et forme les entablements de Kef Sebergoud et Kef Msouna, dans lesquels s'est façonné un petit karst, remarqué également à Kef Toumiette Nord.

II.1.1.2.2. Chaîne calcaire médiane

Se rencontre à la limite Sud du terrain Djebel Bouabed. Les formations de la chaîne calcaire médiane à microfaune pélagique ne favorisent pas la réalisation de belles formes karstiques contrairement à la chaîne calcaire interne.

II.1.1.2.3. Chaîne calcaire externe

Elle se rencontre à Djebel El Ghédir en forme de plateau de direction NNW-SSE, c'est un anticlinal coffré, constitué par une forte épaisseur de calcaires massifs du Lias inférieur de (100 à 400 m) et constitue la quasi-totalité de Djebel El Ghédir, dont la datation reste à définir. Cependant, sur les bordures du massif ils ont pu observer des formations détritiques du nummulitique qui repose en discordance sur les calcaires. Par ailleurs, la même constatation concernant les mêmes formations a été montrée à Kef Msouna, Sebergoud et Kef Toumiette Sud.

Donc, il existe les restes d'une surface d'érosion d'âges nummulitique, qui a tronqué les sommets de la chaîne calcaire et nous explique la présence de surface plane sur ces massifs.

Au niveau de Kef Toumiette Sud et Sidi Driss ne permet pas d'attribuer ces calcaires à l'une des sous zone suscitée grâce au plan géomorphologique et le net développement du karst de Djebel Sidi Driss, on peut l'attribuer à la zone externe dont le Lais joue le rôle principal.

La zone externe constitue une zone de transition entre les flyschs mauritaniens et le domaine interne.

II.1.2. Domaine des flyschs

Le flysch est caractérisé par des formations abyssales mises en place par des courants de turbidités ces formations ont été divisées en trois :

II.1.2.1. Flysch mauritanien

D'âge Néocomien - Lutétien, il existe en continuité avec la chaîne calcaire externe, jusqu' à présent il est difficile d'établir une nette coupure entre ce dernier et la zone externe

Il est observable sur le versant Nord du Djebel Sidi Driss, riche de grés Albo -Aptien qui diminue, et laisse la place au bassin de Sidi Mezghich, creusé essentiellement dans les roches tendres ceci se traduit directement sur le paysage.

Le flysch mauritanien étant le plus rependue, est dominé par des calcaires microbréchiques renfermant des bancs de grès et des couches d'argiles, il affleure au Nord de Ain Bouziâne et au Nord de Kef Hahouner.

II.1.2.2. Flysch massilien

Il est représenté de bas en haut par des flyschs argilo- quartziques de l'Albo-Aptien, brèches phtanites et des flyschs à micro brèches du Sénonien qui affleure sur de faibles étendues au Sud-Ouest de Kef Toumiette au Sud du barrage de Zardézas et sur le versant Nord de Djebel Sidi Driss et au col d'El Kantour, présenté par des bancs durs (grès et calcaire) très minces qui n'empêchent pas l'érosion de ces matériaux, dans lesquels se développent toutes les formes de glissement et de ravinement.

Le flysch Massylien présente une zone de transition entre le domaine des flyschs et le domaine externe des séries Telliennes.

II.1.2.3. Flysch numidien (Oligocène moyen- Burdigalien)

La nappe numidienne occupe les sommets des trois domaines cités dans cette partie, elle affleure au niveau de Zardézas, et constitue toutes les collines qui s'étend au pied de Kef Toumiette, celles qui sont entre le col des Oliviers et le Djebel Bougrina, au Kef Toumiette à Djebel Bouabed, vers l'Est autour du Djebel Tassellement et Tengout, ainsi qu'au niveau de la plupart des Koudiats au centre du bassin qui sont caractérisées par des séries gréseuses et des argiles sous numidiennes, on les a souvent appelées séries molassiques .

Il existe aussi dans la chaîne numidique, dans la région d'El Harrouch (Djebel Boussatour et Djebel Bougrina) et aussi à Sidi Mezghich où le phénomène de glissement et de ravinement est spectaculaire, nous rencontrons des alternances des roches dures et roches tendres.

II.1.3. Domaine externe

Les séries telliennes sont des séries épaisses à dominances marneuses.

II.1.3.1. Séries ultra telliennes

Elles se caractérisent par un faciès essentiellement marneux avec quelques bancs de calcaire, ce qui donne des reliefs en général moins où les formes de glissement sont nombreuses, donc la position de ces bancs calcaireux sur les formations tendres donnent des escarpements qui sont poussés par le phénomène d'érosion, la superposition des roches tendres et roches dures apparaît au Kef Sidi Driss et Djebel Safia.

II.1.3.2. Séries telliennes

Elles sont inexistantes dans le tell oriental, donc elles ne sont pas présentées dans notre terrain.

II.1.3.3. Séries péni telliennes

Caractérisées par un faciès carbonaté attribuée auparavant aux monts néritiques Constantinois.

II.1.4. Néritique constantinois : (Jurassique- Crétacé supérieur)

Selon J.F. Raoult (1974), cette unité correspond à un ensemble monoclinal dirigé vers le Nord-Ouest, s'étend sur près de 160 Km d'Est en Ouest et de 80Km du Nord vers le Sud, constituée essentiellement par des formations carbonatées épaisses, affleurent au Kef Hahouner dont la base est dolomitique.

Cet aperçu structural nous a permis d'avoir une idée globale sur la position des différentes formations géologiques l'une par rapport à l'autre, ainsi que leur extension dans l'espace et dans le temps.

- Elle renseigne sur le phénomène de glissement dans la région de Djebel Sidi Driss et Sidi Mezghich.

- Peut apporter quelques renseignements sur la datation.

Elle va compléter l'étude de la tectonique ainsi que l'étude hydrogéologique : la détermination des formations susceptibles d'être aquifère, citant par exemple Kef Toumiette Nord où se développe des formes karstiques (chaîne calcaire interne) sur le socle imperméable métamorphique (d'après J. P. Bouillin 1977).

II.2. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques

Selon leurs appartenances lithologiques, les formations géologiques sont définies par des caractéristiques hydrogéologiques différentes, leur participation à l'alimentation des nappes souterraines et leur capacité d'emmagerer des eaux est en fonction de leur perméabilité et leur épaisseur.

A partir de la nature lithologique du bassin nous avons identifié deux types de formations.

II.2.1. Formations favorables au développement d'aquifères : deux types

II.2.1.1. Formations favorables au développement d'aquifères poreux

Ce sont des formations caractérisées par une perméabilité, comportant des vides interstitiels interconnectés, assimilables macroscopiquement à un milieu homogène et continu.

a) Formations du Quaternaires

1. Alluvions

On distingue trois types:

- Alluvions actuels: limons du lit majeur de Saf-Saf, de Zeramna et de la plaine marécageuse formée par le confluent de ces deux oueds, représentées par des sables, des limons du lit moyen et des sables des plages.

- Alluvions récentes : d'âge Néoplatonien, se sont des limons et des cailloux roulés du fond des vallées.

- Alluvions anciennes :

- ✓ Pléistocène récent : ce sont des terrasses de limons et de cailloux roulés qui drainent de 15 à 20 m le lit de l'oued Saf-Saf et Zeramna.
- ✓ Pléistocène ancien : représentées par des terrasses de limons et cailloux roulés qui drainent 30 à 50 m le talweg du Saf-Saf à El Harrouch.

2. Dunes anciennes

Rencontrées au Nord-Est de la plaine de Skikda le long de la côte. Elles sont constituées de trois niveaux (inférieur, moyen et supérieur).

- Niveau inférieur : atteint une altitude de 40 à 50 m, découpé par les alluvions récentes du Saf-Saf.
- Niveau moyen : s'élève jusqu'à 80 m il est découpé par les alluvions anciennes.
- Niveau supérieur : est développé sur les schistes paléozoïques, Ceci est observé en plein forêt de Djebel El Alia dans la partie Nord-Est du secteur d'étude.

b) Formations du Tertiaire

1. Sables argileux

Rencontrés au Nord de Salah Bouchaour et à l'Est de Emjez Edd Chich, représente le terme supérieur la série Nummulitique de la région, avec des sables argileux jaunes ou gris.

2. Grés Numidiens

Ce sont des grés jaunâtres à grains fins, ils sont présents à divers niveaux des minces lits argileux sableux, ce faciès gréseux prédomine au Djebel Tfifra, à Ramdane Djamel à l'Est du bassin vers Kef Serrak.

3. Grés et poudings

Les poudings sont formés de cailloux roulés de micaschistes, de gneiss et surtout de quartz filonien ou s'intercalent les assises gréseuses ou argileuses, la puissance de l'ensemble varie de 10 à 50m et il est bien développé au niveau de Dj Soubouyou, à machtat Sidi Amar au Nord Ouest de l'oued Ameer au Sud d'El Hadaïek.

4. Grés quartzeux

Développés au niveau de Djebel Sensnou au Sud et au Sud Ouest du barrage de Zardézas.

5. Argiles et grés

Ce faciès prédomine au niveau du barrage de Zardézas.

6. Grés et conglomérats

Existents à Koudiat El Fedjel à l'Est d'El Harrouch, Ce sont des grés jaunâtres et rougeâtres, souvent micacés intercalés de lits argileux et à la base des bancs de poudings.

II.2.1.2. Formations favorables au développement d'aquifères Karstiques

Elles sont caractérisées par une perméabilité en grand, et une lithologie différente du milieu poreux. Ces formations sont essentiellement carbonatées. Elles constituent un milieu hétérogène et discontinu où l'eau s'écoule à travers un réseau de fissures ouvertes interconnectées (conduite Karstique) à fonction collectrice ou distributrice avec l'existence possible de cavités de grande capacité.

a. Calcaires à nummulites

Développés au niveau de Kef Sebergoud, de Kef Msouna et au Nord et Sud de Kef Toumiette.

b. Argiles gréuses et calcaire

Ce sont des argiles brunes ou rosâtres qui renferment des alternances de grés jaunes, de calcaires gréseux à nummulites et de brèches à petits éléments.

c. Marnes et calcaires

Développés au Sud de Kef Toumiette.

d. Calcaires liasiques

Ils sont importants au niveau de Djebel El Ghédir, ce sont de gros bancs à stratification difficilement discernable.

e. Calcaires dolomitiques

Ils sont Développés au niveau de Djebel Tassellement et Djebel Tengout à l'Est du bassin. Ces formations carbonatées d'âge Jurassique ont été reconnues de l'ensemble carbonaté est de 250 m.

f. Calcaires cristallins (cipolins)

Ils sont formés essentiellement par des lentilles peu importantes bleuâtres, ils se trouvent au Nord-Ouest du bassin.

Ce type de formations géologiques facilite le ruissellement des eaux de surface. Ces eaux se dirigent vers les chaabats et les oueds qui vont à leur tour participer à l'alimentation de la nappe souterraine.

Les formations perméables occupent plus de 50% de la superficie totale du bassin. Grâce à la perméabilité de ces formations géologiques, les eaux de précipitations s'infiltrent à travers des pores pour l'alimentation et le renouvellement des eaux souterraines.

II.2.2. Formations non favorables au développement d'aquifères**a. Argiles noires**

Ce sont de minces lits de grés jaunes qui constituent le passage graduel des argiles noires au grès numidien, trouvées dans la partie Sud vers El-Harrouch à Emjez Edd Chich et au Sud de Ain Bouziane, à l'Est et l'Ouest de Ramdane Djamel, et à l'Est et l'Ouest de Salah Bouchaour.

b. Formations métamorphiques des terrains primaires**1. Schistes et phyllades**

Ce sont des grés bleuâtres, argileux ou satinés, recouvert de nombreux filonnets, souvent lenticulaires de quartz laiteux, ces roches constituent une grande partie de Djebel El Alia et Djebel Oyala à l'Est et à l'Ouest de Skikda, on les trouve aussi au Sud de Skikda à Djebel Grebissa et à Kef Msouna où leur présence est quasi totale.

2. Schistes micacés

C'est le passage des schistes argileux aux micaschistes et gneiss schisteux, se retrouvent au Nord de Sidi Mezghiche et au niveau de l'oued Zeramna.

3. Schistes granulitisés (gneiss)

Présentent la texture des gneiss oeillés, mais il sont liés aux schistes dont ils se distinguent par la présence de nombreux cristaux de feldspath, Cette formation se localise au niveau de Djebel El Alia, au Nord-Est et au Nord-Ouest du bassin.

4. Micaschistes granulitisés (gneiss schisteux)

Les gneiss schisteux alternant parfois avec des micaschistes, ils forment un passage du vrai gneiss au micaschiste, ils se trouvent au Nord Ouest du terrain au niveau du Djebel Messiquéne.

II.3. Tectonique du bassin

La tectonique joue un rôle très important pour l'alimentation des aquifères, car elle favorise la circulation des eaux à l'intérieur des formations par des failles, fissures, et diaclases; Celles-ci constituent des directions préférentielles de l'écoulement de l'eau.

La carte géologique du terrain étudié établie par Joleaud (1912), raison pour laquelle ne nous est impossible de bien déterminer les accidents affectant la région. Mais grâce aux travaux de quelques auteurs tel que A. Marre et J.F. Raoult (1974) qui ont parlé de mouvements tectoniques précoce (d'âge Crétacé Paléocène).

La localisation du terrain au Nord-Est de l'Algérie, nous laisse évoquer les deux phases tectoniques majeures, qui ont affecté la région d'étude :

- La phase Atlasique (fini lutétienne) ; qui est des mouvements compressifs d'orientation Nord-Ouest, Sud-Est caractérisés par une tectonique tangentielle post paléogène.
- La phase Alpine (Miocène) ; ce sont des mouvements compressifs d'orientation Nord-Sud caractérisés par de nombreux plis et failles.

Ces deux phases majeures ont laissé leurs traces sous forme de déformations tectoniques à la périphérie du bassin versant, où l'Est est affectée par une cassure profonde de direction Est-Ouest qui a donné naissance à Djebel Filfila.

Au Sud vers Kef Sebergoud, M'souna et Kef Toumiette Nord, ces formations carbonatées de la chaîne calcaire interne présentent des entablements dans lesquels se façonnent des formes Karstiques (présence de fissures d'orientation Nord-Est, Sud-Ouest causées par la phase Atlantique) tiré du cadre structurale (domaine interne)

A l'Ouest de Skikda et précisément au Sud-Ouest de Stora on rencontre les calcaires cristallins emballés dans les micaschistes et gneiss, résultat d'une dislocation très importante en relation avec le charriage de la chaîne Numidique, qui a donné le grand pli de la petite Kabylie d'orientation NNE - SSW.

La dépression Numidique de Ramdane Djamel occupe une partie considérable de la région, et forme une aire synclinale de 20 Km entre le massif Paléozoïque de Skikda au Nord et le chaînon Liasico-Eocène de Zardézas au Sud .

II.4. Paléogéographie du bassin

II.4.1. Longue période de sédimentation du Secondaire au Tertiaire

On note que la différenciation de chacun de ces domaines s'est faite progressivement au cours de l'histoire géologique, d'abords peut distincts les uns des autres. Vers la fin du Jurassique et au Crétacé, le sillon des flyschs et des séries telliennes s'individualise pour s'atténuer un peu plus tard.

a. Trias

La reconstitution de la stratigraphie dans la région tellienne est plus délicate car les affleurements sont plus rares. Mais par suite de la présence d'intercalations volcaniques basiques témoin d'une certaine distension.

Ainsi pendant le Trias, au Sud du socle kabyle, l'individualisation des sillons (flyschs et telliens) n'existe pas encore.

b. Jurassique

Le Lias est connu essentiellement dans la chaîne calcaire.

1. Lias supérieur : les distinctions paléogéographiques sont plus délicates, c'était un milieu marin avec une sédimentation marneuse.

2. Malm : il n'y a pas de modification paléogéographique, mais on peut noter une généralisation des faciès pélagiques témoins d'un approfondissement de la mer ; pourtant c'est à ce moment qu'une distension va déterminer la création du sillon des flyschs qui s'individualisera nettement au Crétacé.

c. Crétacé

On note que la structure préparée au Jurassique s'affirme, donc le sillon des flyschs des séries telliennes s'individualise au Néocomien. Le sillon des flyschs s'individualise plus par surélévation de ses bordures allant jusqu'à l'émergence sur la partie Sud que par approfondissement de la mer, il est conséquence de la phase tectonique de distension.

A la fin du Néocomien au Vraconien, s'étend une période de sédimentation dans la chaîne calcaire, marquée par la présence d'une lacune sédimentaire à l'Aptien.

Au Sud, le domaine tellien et ultra tellien était immergé durant tout le crétacé inférieur. Dans le sillon des flyschs, on note la présence d'une sédimentation gréseuse de l'Albo-Aptien. Le Sénonien est marqué par une transgression marine.

II.4.2. Mise en place des volumes montagneux de la fin du Tertiaire

La fin du Sénonien et le début du Tertiaire est marquée par une phase tectonique, s'est au Miocène inférieur (Burdigalien inférieur) que la dernière nappe s'est mise en place par un glissement à la fin du Miocène inférieur, on assiste à l'émergence progressive du Tell. En effet les seuls dépôts miocènes observables sont au Nord du tell à (Emjez Edd Chich).

Dès la fin du Burdigalien, on observe un rejet d'accidents tectoniques accompagné par un volcanisme acide (Collo, Cap de Fer)

Au Méssinien, le niveau de la mer méditerranée baisse fortement, c'est alors qu'on observe un important creusement des vallées sur le versant Nord et un très important dépôt de conglomérats dans tous les bassins internes, dont les failles bordières jouent en distension.

Au Pliocène, la mer revient et dépose des sédiments littoraux qui se présentent à la base des marnes bleus et deviennent de plus en plus sableuses en se déterminant par des calcaires lacustres, pouvant être attribuées au Villafranchien inférieur.

Aujourd'hui ces dépôts sont observables à des altitudes variées issues des mouvements orogéniques importants, d'âge Plio-Villafranchien, responsables du volume montagneux du tell oriental algérien.

Le Villafranchien inférieur a hérité d'une importante sédimentation lacustre (calcaireuse) développée dans des lacs largement comblés sous une lame d'eau qui va en s'aminçissant et provoquant un climat sec, évoluant dans cette région. Cette aridité provoque une désorganisation du réseau hydrographique déjà montré par J. Dresch (1950). Les mouvements orogéniques Plio-villafranchiens, provoquent une reprise du creusement, et ne laissent, qu'un petit bassin versant à l'oued Saf-Saf, le réseau hydrographique des grands oueds telliens s'est donc surimposé mais il est aussi antécédent par rapport aux derniers mouvements orogéniques

Plio-villafranchiens. Donc la structure actuelle du bassin de l'oued Saf-Saf, est due aux effets de la néotectonique.

II.4.3. Quaternaire

Il est représenté aujourd'hui par des dunes anciennes, des alluvions, des oueds, des terrasses et des éboulis.

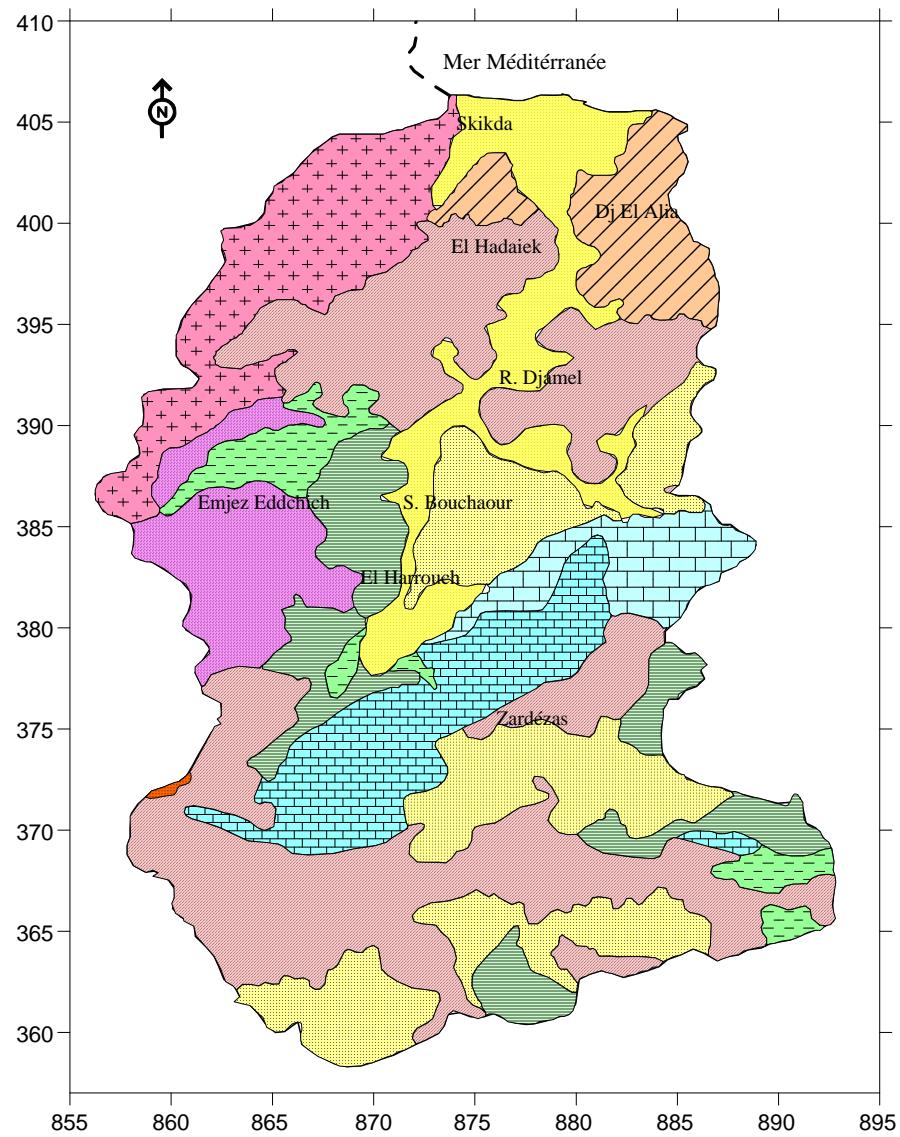
Conclusion

Le bassin versant du Saf-Saf appartient au Tell oriental algérien qui n'est qu'une partie de l'atlas tellien.

La géologie de la région est très complexe. En effet, les études menées ont montré que le tell oriental algérien est constitué par un empilement de nappes ; on a du Nord vers le Sud : le socle Kabyle et la dorsale Kabyle, la série des flyschs (mauritanien, massylien, numidien et ultra tellien), la série des grés numidiens et la nappe néritique du constantinois.

Cette étude montre aussi que la dorsale kabyle se compose d'unités nettement différenciées par leurs séries stratigraphiques ; de même que l'âge du numidien est difficile à préciser.

La bassin du Saf-Saf est limité donc au Sud par des formations purement sédimentaires qui appartiennent au môle néritique Constantinois, et constituées généralement par des formations carbonatées d'âge Crétacé (Kef Toumiettes et Kef Hahounner). Quant aux formations cristallophylliennes d'âge Paléozoïque, elles le limitent à l'Ouest par le massif de Collo et au Nord-Est par Djebel Filfila et Djebel El Alia. Les formations alluvionnaires côtoient l'oued du Saf-Saf dans toute sa trajectoire.

**Légende :****Substrat Résistant à l'érosion**

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

Substrat Moyennement Résistant

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

Substrat Peu Résistant

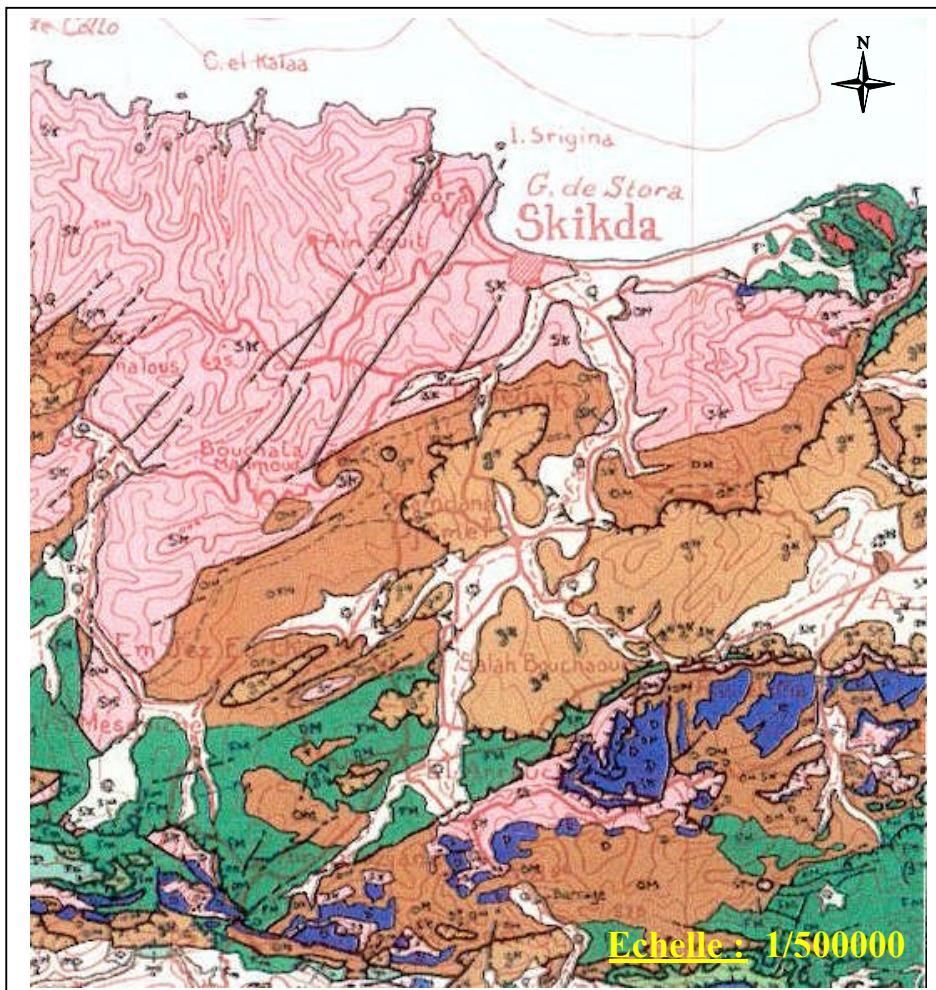
- Marne, série Tellienne ou ultra Tellienne
- Argile sous numidienne
- Formations Quaternaires : alluvions et sables

Travaux utilisés :

- J.F. Raoult (1974)
- J.P. Bouillin (1977)
- J.M. Vila (1980)

Echelle :

Figure I.6. Carte lithologique du bassin versant du Saf-Saf.



Légende:

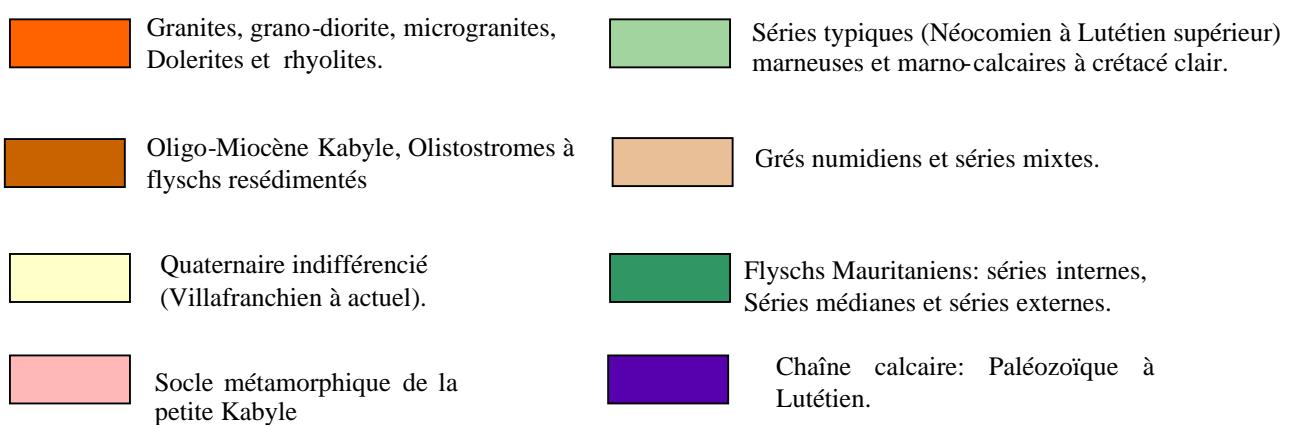


Figure I.7. Carte géologique de la région de Skikda extraite de la carte géologique de l'extrême Nord-Est Algérien (D'après J.M. VILA. 1978)

Chapitre : 2

Facteurs hydroclimatiques dans le bassin du Saf-Saf

Introduction

Plus que d'autres facteurs, le climat est le plus déterminant des ressources en eau. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat du bassin du Saf-Saf.

Ainsi, l'étude des possibilités de la maîtrise des ressources hydriques dans le bassin est extrêmement liée à ces phénomènes qui régissent les écoulements. Pour cela, il est très utile de faire l'approche hydroclimatique.

I. Equipement hydro-pluviométrique du bassin

Le bassin du Saf-Saf d'une superficie de 1158 km², disposait de 15 stations pluviométriques dont 10 fonctionnent à l'heure actuelle. Parmi ces dernières, nous avons retenu quatre (4) stations pour l'étude de façon à couvrir le bassin à différentes altitudes, dont la station de Skikda occupe l'aval du bassin, les deux stations de Ramdane Djamel et d'El Harrouch couvrent la partie centrale du bassin et la station de Zardézas qui contrôle l'amont du bassin.

Le choix de ces dernières est primordial pour arriver à une étude complète et significative concernant le diagnostic des ressources en eau dans le bassin.

Le tableau suivant présente les différentes stations fonctionnelles dans le bassin du Saf-Saf.

Tableau II.1. Stations pluviométriques fonctionnelles dans le bassin du Saf-Saf.

N°	Station	X	Y	Altitude (m)	Code station
1	Skikda*	874,500	406,390	1,3	03.11.02
2	Ramdane Djamel*	874,950	389,850	50	03.09.09
3	Bouchtata	866,040	395,840	90	03.09.11
4	Emjez Ed Chich	866,590	386,100	100	03.09.08
5	El Harrouch*	869,940	380,190	137	03.09.06
6	Zardézas*	875,290	374,590	195	03.09.03
7	Khémakhem	878,960	370,300	206	03.09.01
8	Bissy	885,390	394,000	275	03.09.10
9	Aïn El Kèlb	888,150	363,400	750	03.09.04
10	Ouled Hebaba	882,100	362,950	980	03.09.05

* : Station retenue dans l'étude.

Source. ANRH, 2012

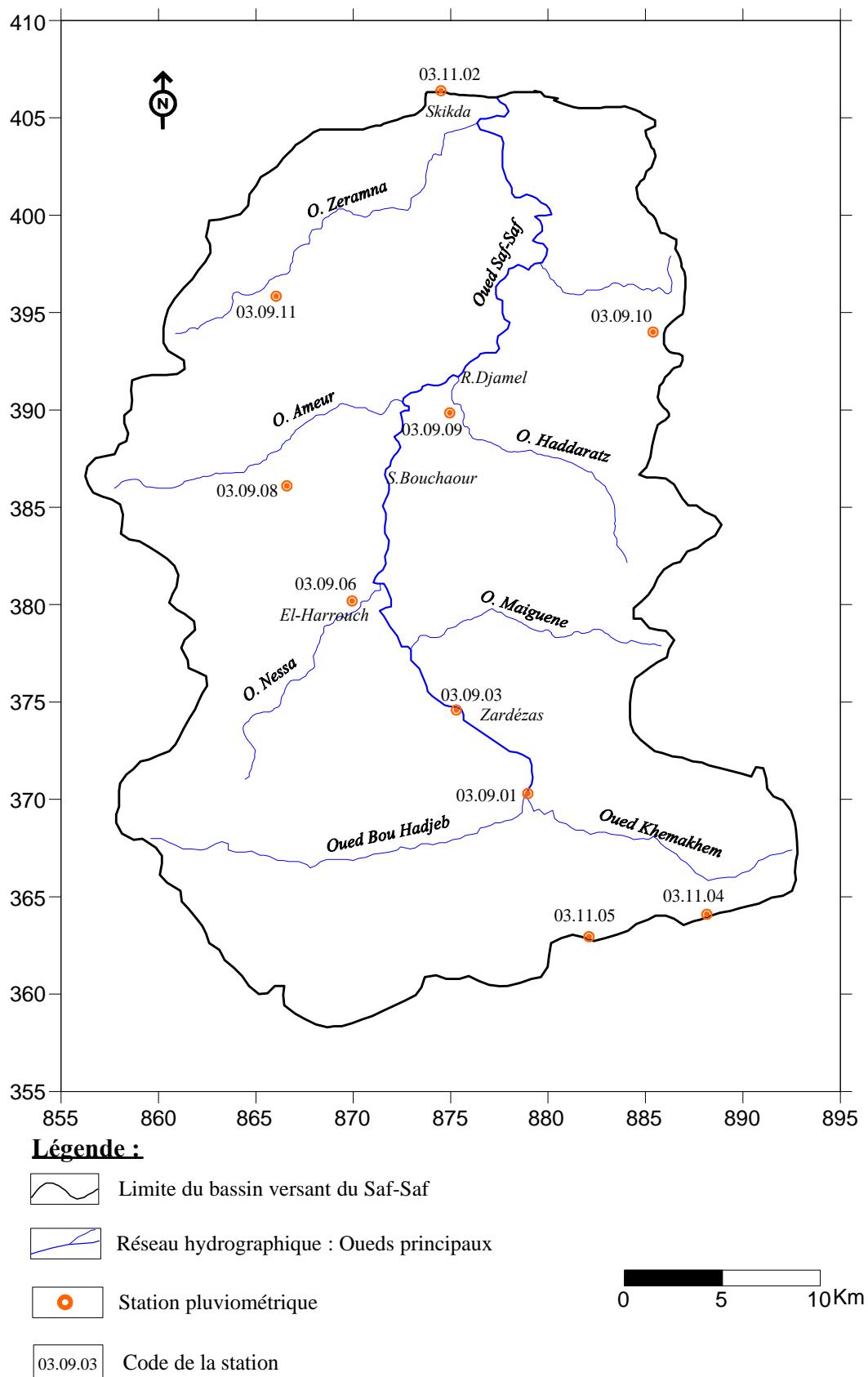


Figure II.1. Carte du réseau d'observation pluviométrique dans le bassin du Saf-Saf.

Toutefois, pour les données de base pour toute étude climatique de l'Algérie, l'ouvrage de Seltzer est le plus adéquat (1913-1938); de même que la carte pluviométrique de Chaumont et Paquin (1913-1963). Le bassin versant du Saf-Saf reçoit annuellement une hauteur comprise entre 600 et 1000 mm environ; cela dénote un climat méditerranéen humide caractérisé par des variantes littorale, intérieure et montagnarde.

II. Paramètres météorologiques déterminants

Pour cette étude nous avons utilisé les données climatiques de l'ONM et de l'ANRH de Constantine et de la station du Port de Skikda, pour une période commune de quarante deux ans (1970/71 – 2011/12). Et nous nous sommes inspirés des travaux de : P. Seltzer (1913-1938) ; climat de l'Algérie et M. Chaumont et C. Paquin (1913-1963) : Carte pluviométrique de l'Algérie.

II.1. Régime des Vents

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures. Les vents dominants dans le bassin du Saf-Saf sont ceux du Nord, Nord-Ouest, ils sont les plus fréquents en saison froide. Tandis qu'en été le Sirocco est fréquent, particulièrement en mois d'août.

Seule la station de Skikda qui mentionne la vitesse du vent, d'après les données des moyennes des vents de cette station sur la période (1970/71-2011/12), on constate que la fréquence de vitesse des vents atteigne son maximum en hiver (décembre) avec 3,89 m/s, ce qui favorise le déplacement des nuages et par conséquent la répartition des précipitations sur l'étendu du bassin. Cependant, le minimum des vents est enregistré en mois de mai avec 3,22 m/s.

Tableau II.2. Vitesse moyenne des vents à la station de Skikda (1970/71 – 2011/12).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
Moy-	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

(Moy- : moyenne des vitesses du vent en m/s).

II.2. Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température.

Pour l'examen des valeurs de l'humidité moyenne mensuelle, on s'est référé aux données de la station de Skikda port et celle de Zardézas.

A la station de Skikda, l'humidité moyenne mensuelle est relativement constante (72,5 %). Cependant, à la station de Zardézas elle est caractérisée par l'irrégularité, avec une moyenne de 64,5 %. Le maximum est observé en mois de novembre (72,3 %) et le minimum en Juillet (54,3 %).

L'humidité moyenne mensuelle à la station de Zardézas est inférieure à celle de la station de Skikda, ceci peut être traduit par la variation de la température (de la mer vers l'intérieur), et par la différence d'altitude entre les deux stations (Skikda 1,3 m et Zardézas 195 m).

On peut noter donc une décroissance de l'humidité du littoral vers l'intérieur du bassin.

Tableau II.3. Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1970/71 – 2011/12).

Station	Humidité %	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
Skikda		73.2	70.6	72.0	72.9	74.9	71.8	73.1	73.3	74.0	72.4	71.1	72.3	72.6
Zardézas *		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

* : Station de Zardézas l'humidité relative sur la période (1987/88 – 2011/12).

II.3. Précipitations

Les précipitations constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique du bassin. Elles sont variables et irrégulières d'une année à une autre et d'une saison à une autre.

Les mesures de celles-ci permettent d'évaluer la quantité d'eau tombée et surtout d'estimer la quantité destinée aux écoulements.

Parmi les données les plus fiables utilisées dans cette étude, ce sont les enregistrements pluviométriques de longue durée, des stations de Skikda, Ramdane Djamel, El Harrouch et Zardézas.

II.3.1. La répartition interannuelle des précipitations

La variation interannuelle des précipitations pour la période de (1970/71 – 2011/12) pour les quatre stations est représentée sur le graphe de la figure II.2 et dans le tableau II.4

A la station de Skikda, la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 1198 mm en (2004 / 05) à 411 mm en (1973 / 74). Tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 761 mm.

Dans la partie centrale du bassin, nous avons remarqué le même régime pluvial pour les deux stations. La pluvirosité interannuelle de la station d'El Harrouch est moins importante que celle de la station de Skikda, un maximum de précipitation a été observé en (1984 / 85) avec 932 mm, et un minimum de 343 mm en (1987 / 88), par conséquent un faible module pluviométrique interannuel égal à 583 mm.

De même, la hauteur annuelle des précipitations à la station de Ramdane Djamel varie de 1067 mm en (1984 / 85) à 373 mm en (1974 / 75), avec un module pluviométrique interannuel de l'ordre de 584 mm.

A la station de Zardézas, pendant les années d'observation, le maximum de la pluvirosité a été observé en (1984 / 85) avec 1039 mm, alors que le minimum est de 382 mm enregistré en (1996 / 97). Le module pluviométrique interannuel est égal à 788 mm.

Tableau II.4. Répartition annuelle des précipitations (1970/71 – 2011/12).

Année	Skikda	Ramdane Djamel	El Harrouch	Zardézas
1970-1971	803.3	666.7	631.6	556.8
1971-1972	715.1	732.6	591.7	847.0
1972-1973	807.6	642.6	613.5	842.7
1973-1974	411.3	454.6	408.3	482.1
1974-1975	576.0	372.8	349.3	557.8
1975-1976	687.3	569.3	583.0	588.1
1976-1977	492.2	637.2	491.5	626.0
1977-1978	633.0	458.0	517.0	489.2
1978-1979	912.0	615.2	613.5	697.9
1979-1980	578.7	427.2	473.5	527.7
1980-1981	861.0	581.5	496.5	748.5
1981-1982	811.5	652.0	539.8	646.1
1982-1983	675.8	484.6	556.6	619.4
1983-1984	884.9	663.2	483.3	795.4
1984-1985	1034.0	1067.2	932.2	1039.4
1985-1986	613.0	464.8	447.1	468.5
1986-1987	1025.0	825.9	785.5	799.0
1987-1988	601.0	397.9	343.1	421.8
1988-1989	627.0	456.8	598.8	562.1
1989-1990	701.0	496.9	502.4	577.0
1990-1991	888.0	593.3	658.3	736.6
1991-1992	804.0	684.4	870.4	755.8
1992-1993	633.0	542.6	583.1	694.5
1993-1994	692.0	470.5	443.5	529.3
1994-1995	753.5	624.2	726.6	610.6
1995-1996	685.8	571.4	716.1	664.6
1996-1997	518.5	396.6	435.5	382.2
1997-1998	1032.9	520.4	590.1	607.8
1998-1999	690.1	569.2	540.8	667.4
1999-2000	683.6	431.5	451.1	452.8
2000-2001	537.7	400.7	445.3	391.4
2001-2002	578.4	440.7	435.0	428.0
2002-2003	1119.9	868.8	826.1	804.7
2003-2004	840.5	695.3	647.2	694.0
2004-2005	1198.3	835.4	823.9	931.8
2005-2006	620.3	569.2	540.8	667.4
2006-2007	694.4	545.3	615.4	611.2
2007-2008	671.2	518.4	525.2	950.7
2008-2009	978.9	612.0	661.4	803.3
2009-2010	955.6	688.5	655.2	727.6
2010-2011	835.8	664.3	759.2	749.1
2011-2012	841.5	693.6	679.3	866.5
Module interannuel	761.7	584.4	583.7	788.2

Source. ANRH, 2012

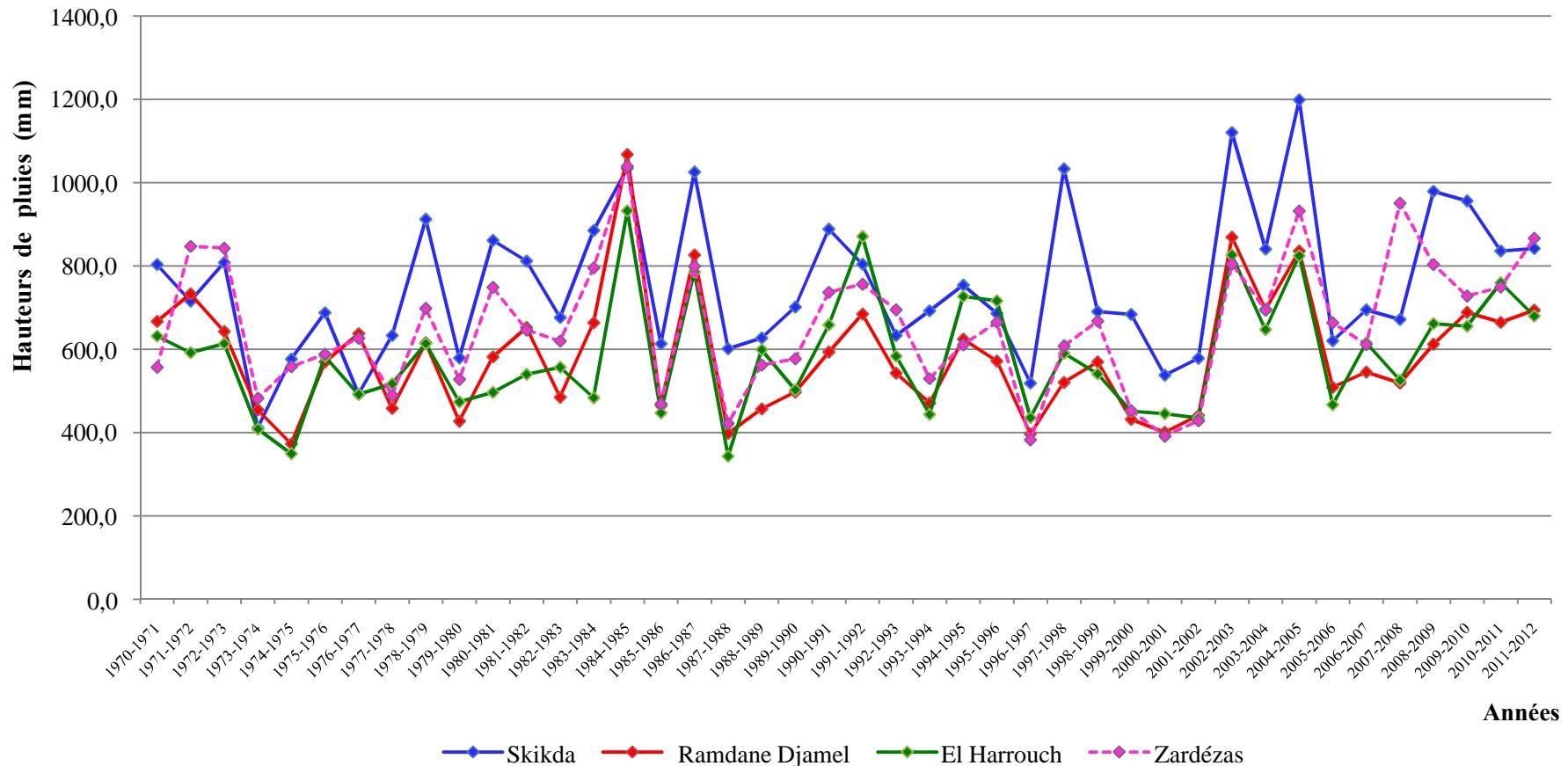


Figure II.2. Variation interannuelle des précipitations (1970/71 - 2011/12).

II.3.2. Répartition moyenne mensuelle et saisonnière des précipitations

La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations influence directement les régimes hydrologiques, il est donc nécessaire de calculer les moyennes mensuelles des pluies pour chaque station et pour chacun des mois de l'année pour la même période d'observation.

II.3.2.1. La période ancienne de P. Seltzer (1913-1938) : Station de Skikda et d'El Harrouch

Les moyennes mensuelles et saisonnières des précipitations sont portées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.5. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnière : Seltzer (1913-1938)
à la station de Skikda et d'El Harrouch.

Mois Station \	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	Moyenne Annuelle
Station Skikda	Automne			Hivers			Printemps			Eté			
	35	84	94	149	169	108	72	49	49	10	4	7	830 mm
	213			426			170			21			830 mm
	25,66			51,32			20,48			2,53			100 %
Station El Harrouch	27	61	71	92	111	88	75	57	51	20	6	7	674 mm
	159			299			183			33			674 mm
	23,59			44,36			27,15			4,89			100 %

Source. ANRH, 2012

D'après les données de Seltzer durant 25 ans, on remarque dans les deux stations, que le maxima est observé au mois de Janvier et le minima est au mois de juillet, la saison la plus arrosée est l'hiver (du mois de Décembre au mois de Février). Cependant, la saison la plus sèche est l'été.

II.3.2.2. La période récente des Stations de Skikda, El Harrouch, Ramdane Djamel et de Zardézas : (1970-1971 / 2011-2012)

a. Précipitations moyennes mensuelles (1970/71 – 2011/12)

Pour les quatre stations pluviométriques, la pluviosité mensuelle est légèrement variable. On remarque que le mois le plus pluvieux est le mois de décembre pour les trois stations ; Skikda (132,6 mm), Ramdane Djamel (96,3 mm), El Harrouch (94,6 mm) et à la station de Zardézas, le maximum des précipitations est de l'ordre de 134,2 mm observé au mois de janvier. Le mois le plus sec pour les quatre stations est le mois de juillet (de 3,0 à 6,6 mm environ).

Tableau II.6. Moyenne des précipitations mensuelles (1970/71 – 2011/12).

Mois Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total annuel
Skikda	43.0	74.6	97.4	132.6	106.8	95.1	74.6	65.5	40.5	18.6	3.0	10.1	761.7
Ramdane Djamel	32.0	59.2	71.6	96.3	86.7	70.9	61.3	51.6	32.2	11.9	3.7	6.9	584.4
El Harrouch	37.5	50.9	69.9	94.6	82.6	71.5	66.1	50.6	35.3	12.1	3.2	9.3	583.7
Zardézas	54.0	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

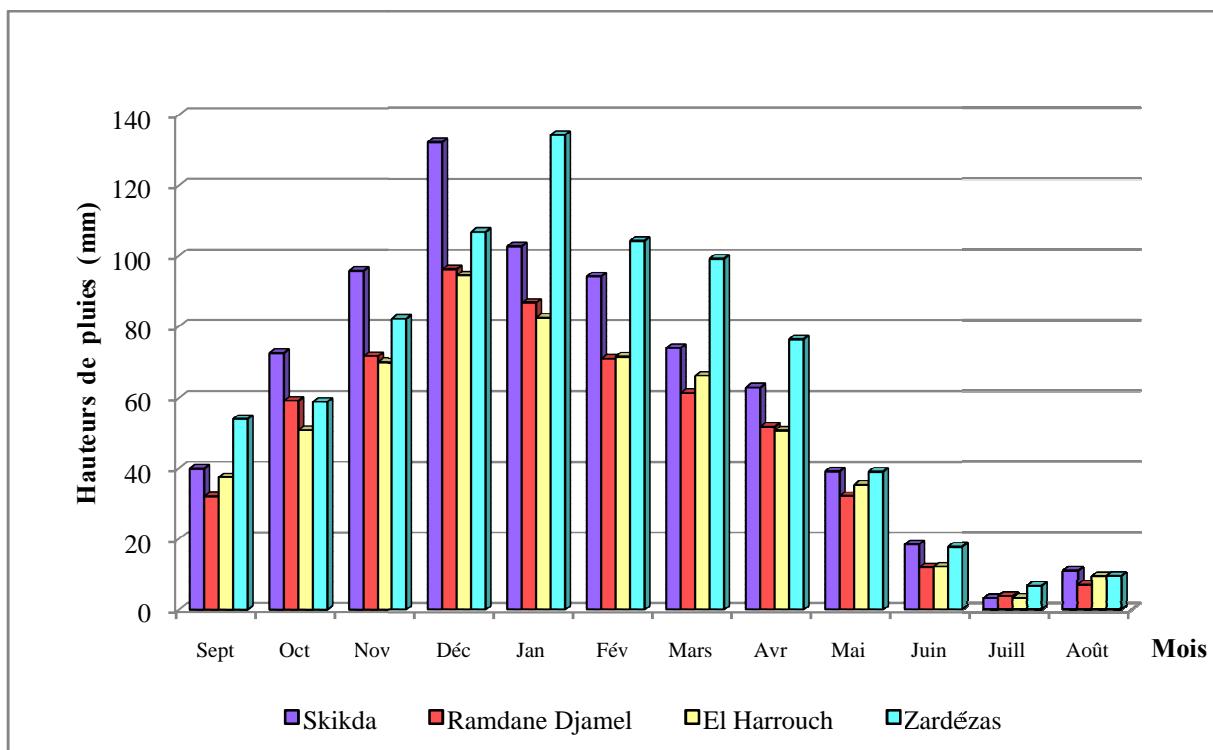


Figure II.3. Moyenne des précipitations mensuelles (1970/71 – 2011/12).

b. La répartition saisonnière des précipitations (1970/71 – 2011/12)

L'étude des précipitations saisonnières permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons.

Pour notre bassin, on distingue un maximum pluviométrique hivernal (de décembre au février), donc la saison la plus arrosée pour les quatre stations est l'hiver (43,4 %). Tandis que l'été représente la saison la plus sèche (4 %).

Tableau II.7. Répartition saisonnière des précipitations (1970/71 – 2011/12).

Mois Station \	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	Moyenne Annuelle
Station	Automne			Hivers			Printemps			Eté			
Station Skikda	215,0			334,5			180,5			31,7			761,7 mm
	28,23			43,91			23,70			4,16			100%
Station El Harrouch	158,3			248,7			152			24,6			583,6 mm
	27,12			42,61			26,05			4,22			100%
Station Ramdane Djamel	162,8			253,9			145,1			22,5			584,3 mm
	27,87			43,45			24,83			3,85			100%
Station Zardézas	195,2			344,8			214,6			33,6			788,2 mm
	24,77			43,74			27,23			4,26			100%

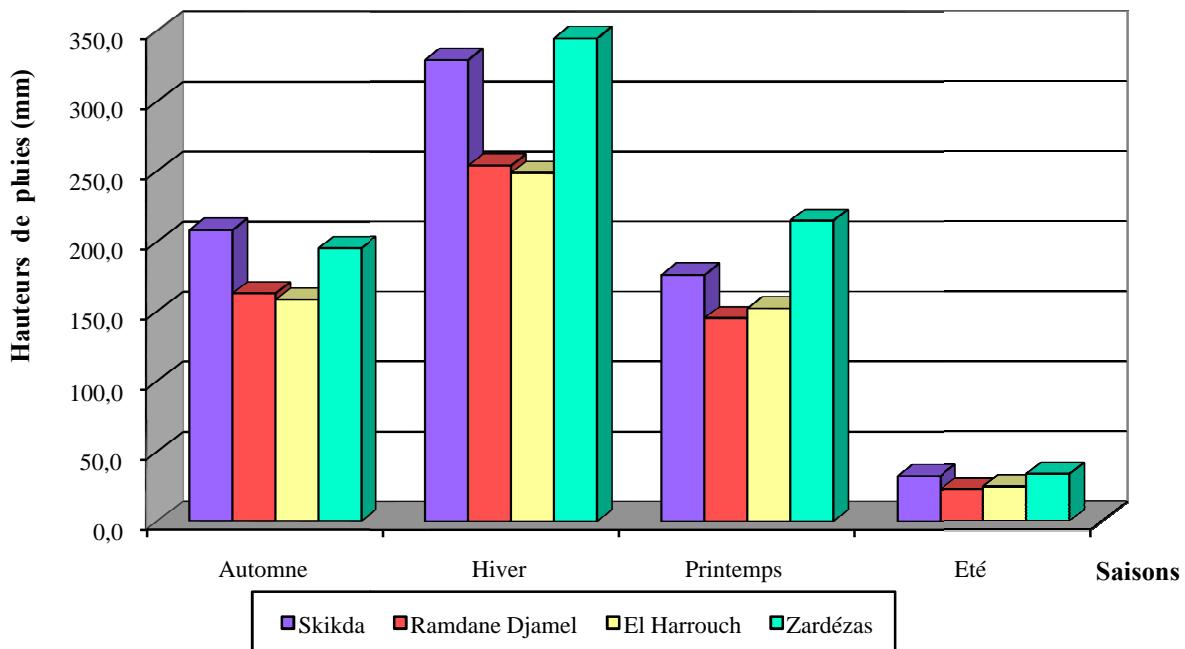


Figure II.4. Répartition saisonnière des précipitations (1970/71 – 2011/12).

On peut noter que pour la même période d'observation (1970/71 - 2011/12) et pour les quatre stations, les précipitations varient d'une station à une autre. Cette variation s'explique par l'influence marine, qui diminue de la zone côtière (station de Skikda), vers l'intérieur (station de Ramdane Djamel et d'El Harrouch). Ainsi que l'altitude des stations (présence de relief; station de Zardézas), donc il y a une variation spatiale des précipitations du Nord vers le Sud.

Conclusion

Le traitement des données des précipitations pour les deux périodes ancienne et récente, montre l'existence d'une variation spatio-temporelle des précipitations.

Dans le temps, en comparant les résultats obtenus des deux périodes, ancienne de Seltzer (1913-1938) et récente (1970/71 - 2011/12), on remarque que les précipitations de la série ancienne sont supérieures à celles de la série récente, cette diminution confirme une sécheresse observée surtout durant les dernières 40 années.

Dans l'espace, les résultats obtenus dans les quatre stations, montrent une diminution des précipitations du Nord vers le Sud et des reliefs (montagnes) vers les plaines. Autrement dit, ces variations sont dues essentiellement à l'influence marine et l'altitude des stations.

II.4. Températures

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, insolation, hygrométrie, etc.), le phénomène d'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures sont donc l'un des éléments majeurs influençant le climat du bassin.

Dans le bassin du Saf-Saf, seulement deux stations (Skikda port et Zardézas) fournissent quotidiennement les évolutions de la température de l'air à l'abri (Tab. II.8).

Tableau II.8. Moyennes mensuelles des températures en (1970-2012).

Mois Station	T (°C)	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
Skikda	Min	20,5	17,4	13,4	10,3	9,2	8,8	10,8	13,3	16,0	19,0	22,4	22,8	15,3
	Moy	24,9	21,2	17,3	14,0	13,0	12,6	14,3	17,1	19,8	22,8	25,9	26,2	19,1
	Max	27,7	25,0	21,2	17,7	16,7	16,5	17,9	20,9	23,7	26,5	29,5	29,6	22,8
Zardézas*	Min	18,8	16,7	11,9	8,9	8,2	8,2	9,1	12,2	14,6	17,8	21,4	21,7	14,1
	Moy	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
	Max	30,1	26,7	20,7	17,0	16,9	15,9	19,1	22,2	27,0	31,7	36,2	36,0	25,0

Source. Stations Skikda & Zardézas.2013

* : Les températures moyennes pour la station de Zardézas (1987-2012).

Pour les deux stations, le mois de janvier est le mois le plus froid, cependant le mois d'août étant le plus chaud.

La moyenne mensuelle des températures à la station de Skikda est de l'ordre de 19,1 °C, elle est de 12,6 °C (janvier) à 26,2 °C (août). Alors qu'à la station de Zardézas, la moyenne est de

l'ordre de 19,5 °C, avec un minimum de 11,8 °C enregistré en mois de février, le maximum est atteint au mois de juillet avec une valeur de 36,2 °C.

On remarque une augmentation sensible des écarts thermiques de la zone côtière (Skikda) vers l'intérieur du bassin (Zardézas), influencée par l'éloignement de la mer, ainsi par l'augmentation de l'altitude.

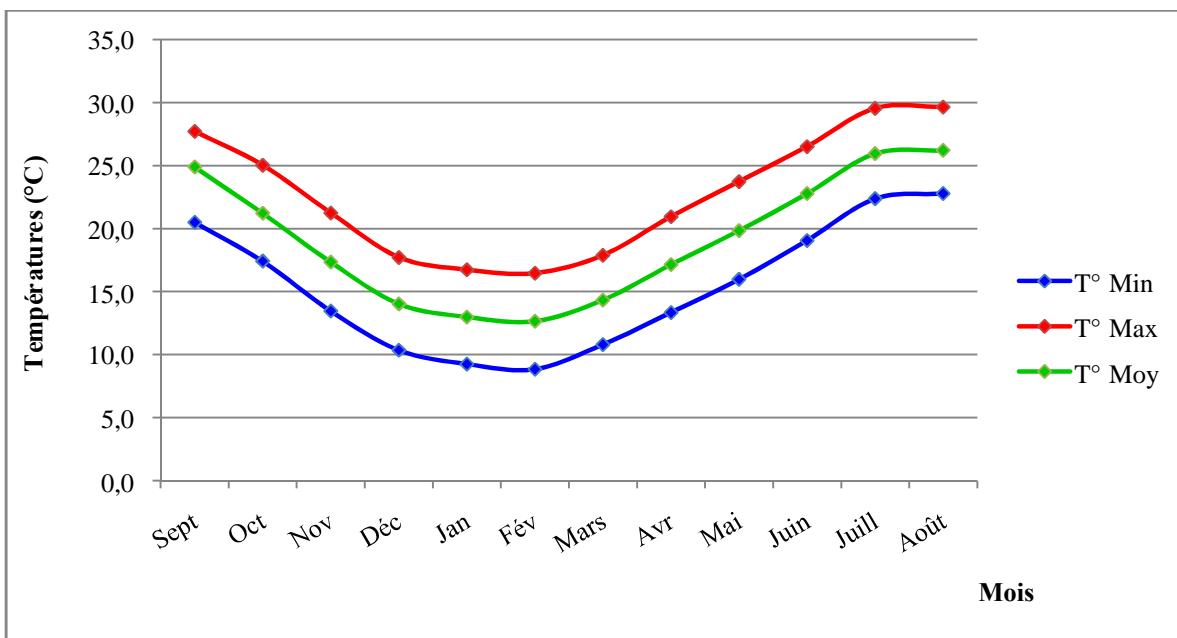


Figure II.5. Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Skikda (1970/71-2011/12).

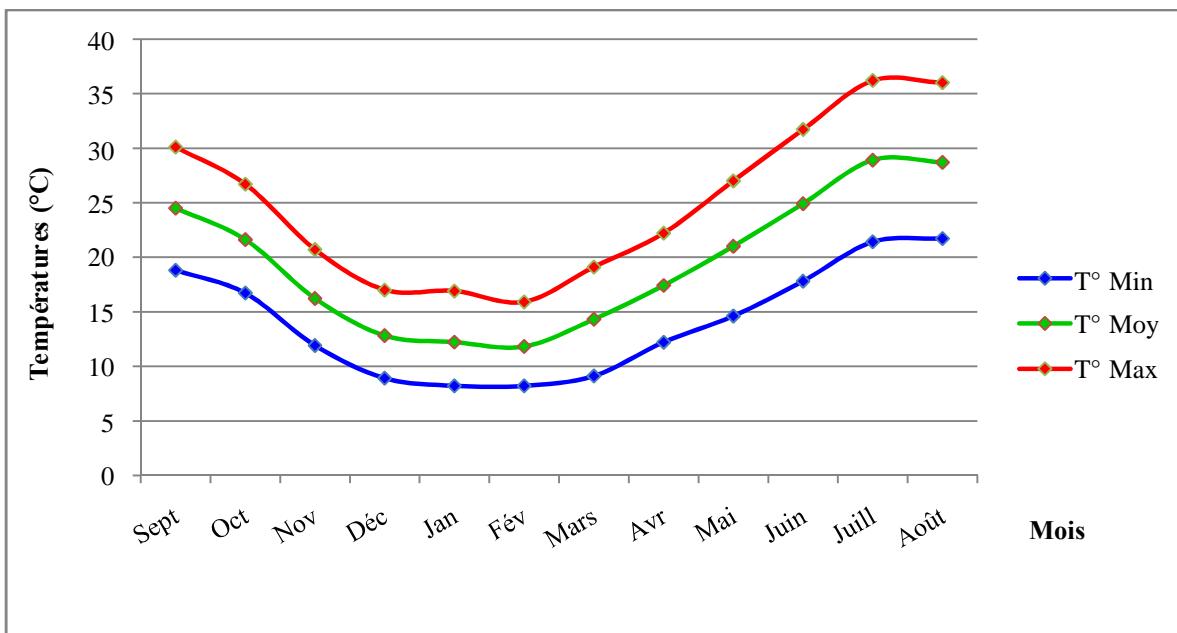


Figure II.6. Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Zardézas (1987/88-2011/12).

II.5. Diagramme ombro-thermique ($P = 2T$)

Les diagrammes ombro-thermiques pour les stations de Skikda et d'El Harrouch montrent une allure communément semblable. A la station de Skikda, la saison humide s'étend du mois de novembre jusqu'à la fin du mois d'avril, et la saison sèche allant du mois de mai jusqu'au mois d'octobre.

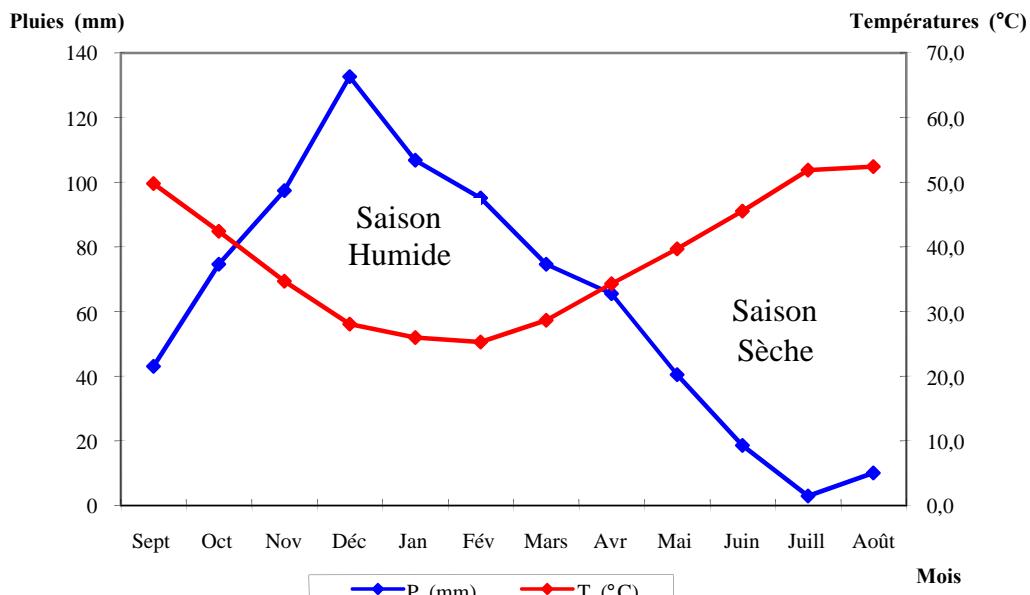


Figure II.7. Diagramme Ombro-Thermique à la Station de Skikda (1970/71-2011/12).

De même, à la station d'El Harrouch, la saison humide s'étale du début de novembre jusqu'à la fin du mois de mars. La saison sèche s'étend d'avril jusqu'au mois d'octobre.

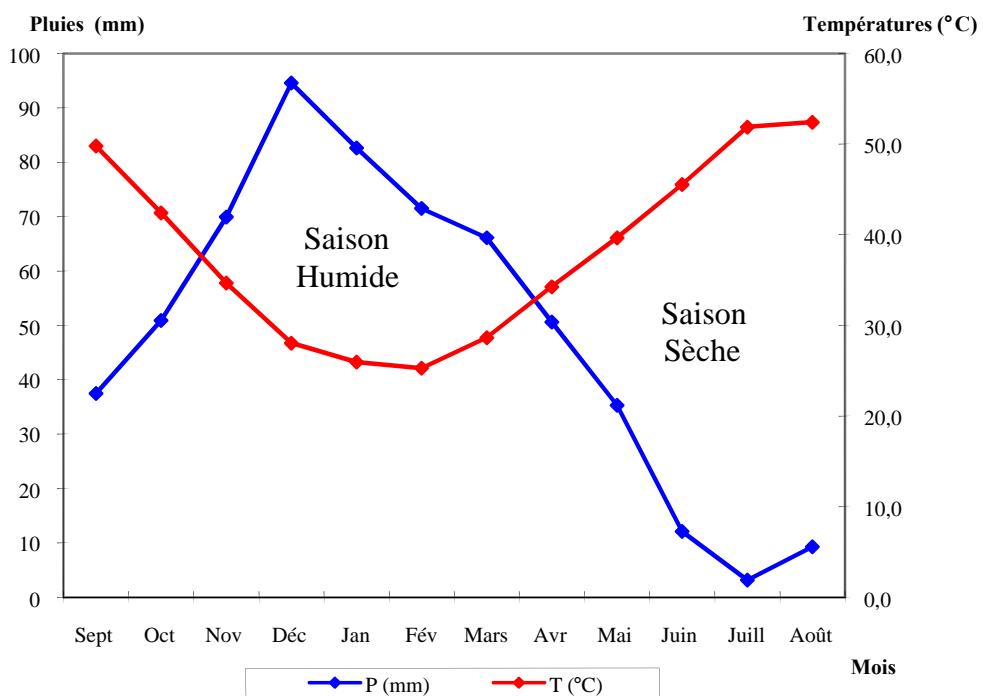


Figure II.8. Diagramme ombro-thermique à la station d'El Harrouch (1970/71-2011/12).

II. 6. Détermination de la lame d'eau précipitée

L'estimation de la lame d'eau précipitée sur une surface plus ou moins étendue, repose sur l'hypothèse que la pluie ponctuelle est représentative des bassins alentours. L'exactitude de cette hypothèse dépend de l'étendue de la région que le pluviomètre est censé représenter, de l'hétérogénéité spatiale des pluies et de la topographie de la région.

Dans notre cas, deux méthodes d'estimation de la lame d'eau précipitée ont été employées.

II. 6.1. Moyenne arithmétique des stations

C'est la méthode la plus rapide, elle consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées à chaque station. Son efficacité est meilleure pour les petits bassins où l'influence de l'altitude, de l'exposition et de la latitude, sur les précipitations est partout semblable.

Pour la période étudiée (1970/71-2011/12), nous obtenons une moyenne annuelle de la lame d'eau tombée à l'échelle du bassin de l'ordre de 679,5 mm.

II. 6.2. Moyenne de Thiessen

Cette méthode consiste à affecter à chaque station de mesure une zone d'influence de sorte qu'un point quelconque situé sur cette surface se verra attribué le volume des précipitations mesuré au poste.

Si S est la surface totale du bassin (1158 Km²), et S_i la surface du polygone de Thiessen d'un poste i (station), le coefficient de Thiessen du poste i est égal à: $C_i = S_i / S$

La pluie moyenne sur le bassin est égale à la somme des pluies partielles $C_i \cdot P_i$

$$P_m = \sum P_i \cdot S_i$$

Avec :

P_m : Pluie moyenne tombée sur le bassin,

S : Surface totale du bassin,

P_i : Précipitations moyennes annuelles de la station à l'intérieur du polygone,

S_i : Surface du polygone considéré.

L'application de cette méthode à l'ensemble du bassin donne une lame d'eau précipitée de 696 mm.

Tableau II.9. Calcul de la lame d'eau précipitée par la méthode de Thiessen.

Polygone	Surface du polygone (Km ²)	Coefficient de Thiessen (C_i)	Pluie au poste P_i (mm)	Pluie partielle (mm)
1	91.250	0.080	762	60.96
2	139.500	0.120	584	70.08
3	117.000	0.100	851	85.10
4	111.375	0.097	655	63.54
5	108.375	0.094	531	49.91
6	115.750	0.099	584	57.82
7	246.500	0.212	788	167.06
8	131.250	0.114	633	72.16
9	97.000	0.084	829	69.64
Total	1158	1	6028	696.27

Les résultats de l'estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant du Saf-Saf, par les deux méthodes ; la moyenne arithmétique (679 mm) et celle de Thiessen (696 mm), montrent que les valeurs obtenues sont assez proches. L'écart observé entre ces deux méthodes (17 mm) est justifié par l'influence de la topographie (les altitudes), surtout en amont du bassin, ce qui donne plus de fiabilité à la méthode de Thiessen.

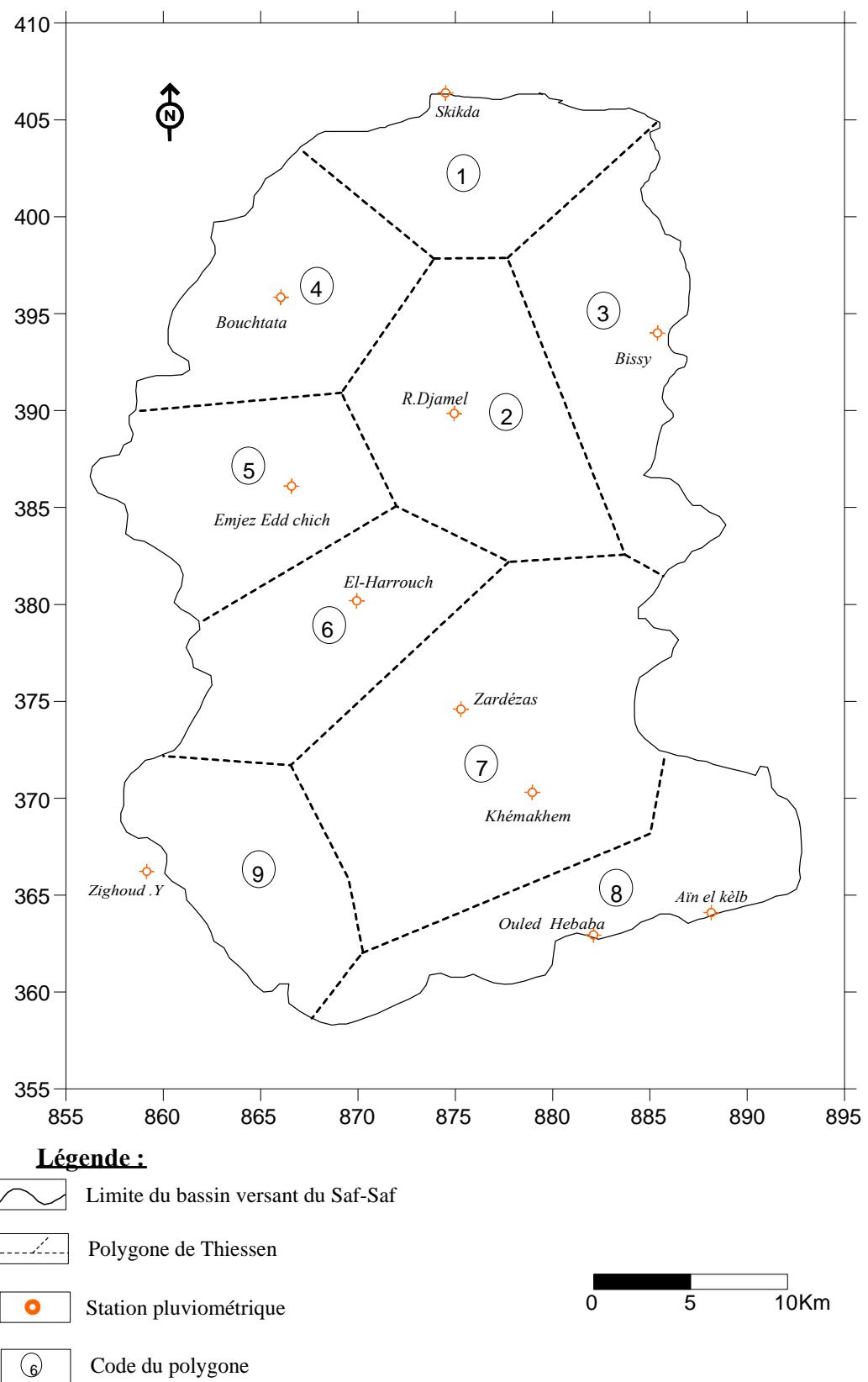


Figure II.9. Carte des polygones de Thiessen du bassin versant du Saf-Saf.

III. Bilan d'eau

La tendance à la sub-humide du bassin du Saf-Saf peut se voir confirmer par l'analyse du bilan d'eau. En effet, le but de ce dernier est d'évaluer la répartition des précipitations reçues par le bassin versant entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir, l'écoulement, l'infiltration, et l'évapotranspiration. Ce dernier paramètre étant le plus important, car il conditionne l'abondance ou l'absence de l'écoulement.

III.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le bassin du Saf-Saf. La méthode de Thornthwaite permet à partir des données de base (précipitations (mm), température ($^{\circ}\text{C}$), le coefficient thermique mensuel (k), et l'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante:

$$ETP = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a \cdot k$$

où :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.5} \quad \text{et} \quad I = \sum_{1}^{12} i \quad \text{et} \quad a = 0,016 \cdot I + 0,5$$

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait être reprise par l'ETP. (RFU max = 100mm).

Nous établirons un bilan à l'échelle mensuelle, seulement pour les deux stations, de Skikda et celle d'El Harrouch, représentant de la totalité du bassin du Saf-Saf. Les résultats obtenus sont reportés sur les tableaux (II.10) et (II.11).

Tableau II.10. Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12).

Mois Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	Total
P (mm)	43,0	74,6	97,4	132,6	106,8	95,1	74,6	65,5	40,5	18,6	3,0	10,0	761.7
T (°C)	24,9	21,2	17,3	14,0	13,0	12,6	14,3	17,1	19,8	22,8	25,9	26,2	19.1
i	11,11	8,73	6,43	4,68	4,19	4,00	4,84	6,32	7,88	9,73	11,79	11,99	I=91.69
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
ETP (mm)	119.88	75.72	40.42	25.75	23.21	23.32	39.12	62.70	96.02	127.69	164.08	156.48	954.39
ETR (mm)	43.00	74.60	40.42	25.75	23.21	23.32	39.12	62.70	96.02	63.08	3.00	10.00	504.32
RFU	0	0	56.98	100	100	100	100	100	44.48	0	0	0	/
Excédent	0	0	0	63.83	83.59	71.78	35.48	2.80	0	0	0	0	257.48
Déficit Ag	76.88	1.12	0	0	0	0	0	0	64.61	161.08	146.48	450.17	

Tableau II.11. Bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station d'El Harrouch (1970/71-2011/12).

Mois Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	Total
P (mm)	37,5	50,9	69,9	94,6	82,6	71,5	66,1	50,6	35,3	12,1	3,2	9,3	583,6
T (°C)	24,9	21,2	17,3	14,0	13,0	12,6	14,3	17,1	19,8	22,8	25,9	26,2	19.1
i	11.11	8.73	6.43	4.68	4.19	4.00	4.84	6.32	7.88	9.73	11.79	11.99	I=91.69
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
ETP (mm)	119.88	75.72	40.42	25.75	23.21	23.32	39.12	62.70	96.02	127.69	164.08	156.48	954.39
ETR (mm)	37.50	50.90	40.42	25.75	23.21	23.32	39.12	62.70	96.02	39.28	3.20	9.30	450.72
RFU	0	0	29.48	98.33	100	100	100	87.90	27.18	0	0	0	/
Excédent	0	0	0	0	57.72	48.18	26.98	0	0	0	0	0	132.88
Déficit Ag	82.38	24.82	0	0	0	0	0	0	88.41	160.88	147.18	503.67	

A fin de visualiser les résultats obtenus du bilan d'eau à la station de Skikda et celle d'El Harrouch, des représentations graphiques des données sur les figures (II.10) et (II.11) illustrent bien la situation.

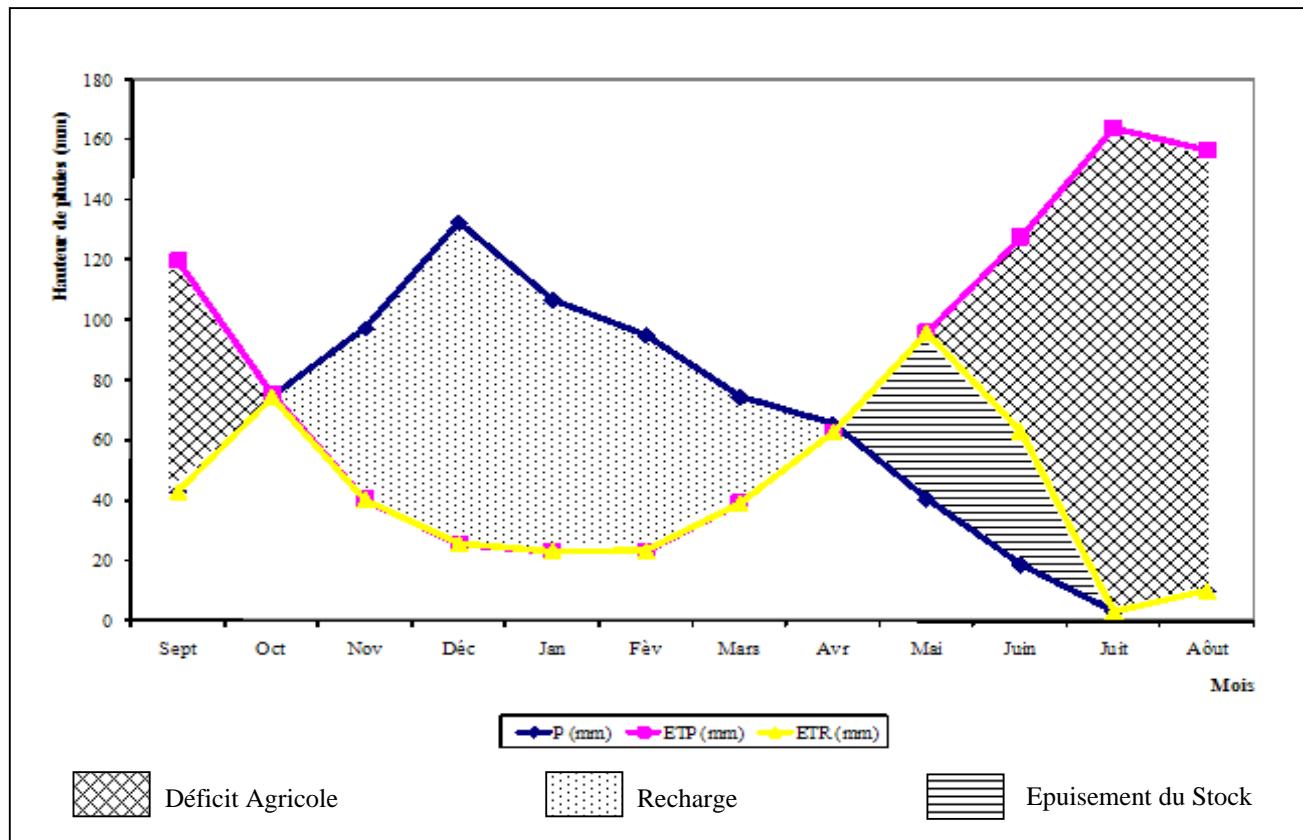


Figure II.10. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1970/71-2011/12).

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Skikda montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de juillet pour une valeur de 164,08 mm, ce qui produit un déficit agricole de 161,08 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, durant les mois de novembre jusqu'au mars, on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

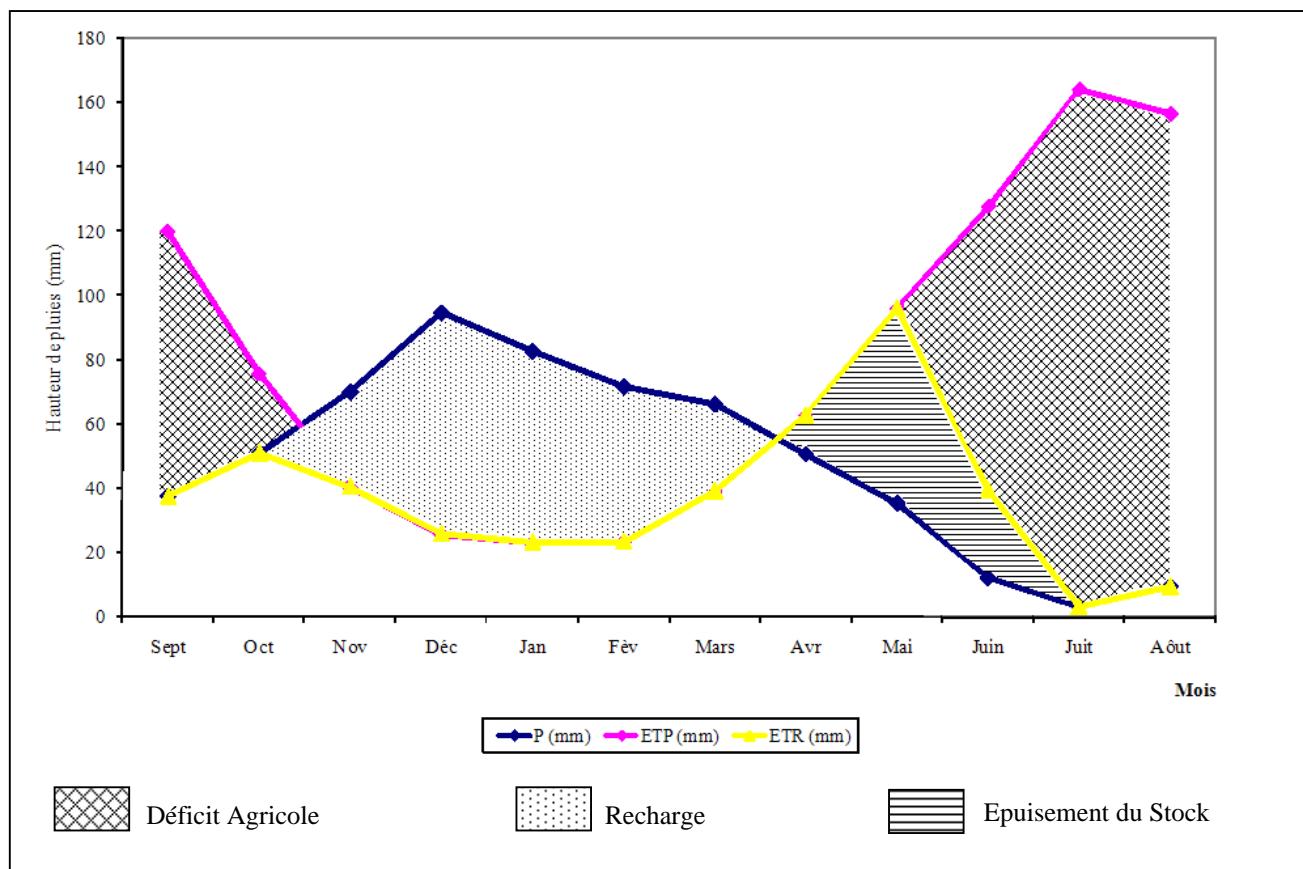


Figure II.11. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station d' El Harrouch (1970/71-2011/12).

A la station d'El Harrouch, et d'après le graphe du bilan d'eau, on constate que la recharge des nappes se fait en période hivernale allant de décembre jusqu'au mars. Un épuisement des réserves est apparent durant le mois de mai et juin. La période déficitaire débute au mois de juin jusqu'en septembre, avec un maximum d'évapotranspiration de 164,08 mm au mois de juillet. Des valeurs de déficit agricole plus ou moins importantes durant cette période déficitaire (160,88 mm), nécessitant le recours aux eaux souterraines pour satisfaire les besoins d'irrigation.

III.2. Calcul de l'ETR par la méthode de Turc

La formule de Turc permet d'évaluer directement l'ETR annuelle du bassin du Saf-Saf à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle, selon la formule:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (\text{en mm / an}) \quad \text{où } L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

Avec;

ETR: Evapotranspiration réelle (mm / an).

P: Hauteur annuelle de pluies (mm).

T: Température moyenne annuelle (° C).

➤ Station de Skikda

P=761.7 mm, T=19.1 °C, L= 1125.89 ⇒ ETR = **653.71 mm** soit 85,82 % des précipitations.

➤ Station d'El Harrouch

P=583.6 mm, T=19.1 °C, L= 1125.89 ⇒ ETR = **539.84 mm** soit 92,50 % des précipitations.

RQ:

Les valeurs de l'ETR selon Turc sont trop élevées, puisqu'il utilise des valeurs moyennes annuelles des précipitations.

III.3. Calcul du ruissellement

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

Pour matérialiser la valeur du ruissellement nous allons appliquer la méthode approchée de Tixeront-Berkaloff, qui s'écrit;

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec;

R : ruissellement (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm / an). (selon Thornthwaite)

P : hauteur annuelle de pluies (mm).

➤ Station de Skikda

P =761.7 mm, ETP= 954.39 mm ⇒ R = **161,73 mm** soit 21,23 % des précipitations.

➤ Station d'El Harrouch

P =583.6 mm, ETP= 954.39 mm ⇒ R = **72,74 mm** soit 12,46 % des précipitations.

III.4. Estimation du bilan hydrique

La formule générale du bilan hydrique donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur des grandes périodes.

$$P = ETR + R + I$$

Avec;

P : hauteur annuelle de pluies (mm).

ETR : évapotranspiration réelle (mm / an).

R : ruissellement (mm).

I : infiltration (mm).

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

➤ Station de Skikda

$P = 761.7$ mm, $ETR = 504.32$ mm, $R = 161.73$ mm $\Rightarrow I = 95,65$ mm soit 12,56 % des précipitations.

➤ Station d'El Harrouch

$P = 583.6$ mm, $ETR = 450.72$ mm, $R = 72.74$ mm $\Rightarrow I = 60.14$ mm soit 10.30 % des précipitations.

Les différentes composantes du bilan d'eau des deux stations sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.12. Les différentes composantes du bilan hydrique.

Param Station	P (mm /an)	R (mm /an)	I (mm /an)	ETR (mm/an)	ETP (mm/an)	Déficit (mm/an)
Skikda	761,7	161,73	95,65	504,32	954,39	192,69
	100 %	21,23 %	12,56 %	66,21 %	/	/
El Harrouch	583,6	72,72	60,14	450,72	954,39	370,79
	100 %	12,46 %	10,30%	77,24 %	/	/

D'après le tableau récapitulatif des différentes composantes du bilan hydrique, on constate que les précipitations à la station de Skikda sont nettement supérieures aux celles de la station d'El Harrouch.

L'évapotranspiration réelle est considérable à la station d'El Harrouch, avec un taux de 77 % de la totalité des précipitations, tandis qu'elle ne dépasse pas les 66 % à la station de Skikda.

Le ruissellement et l'infiltration calculés sont de l'ordre de 21,23 % et 12,56% respectivement pour la station de Skikda. Cependant, à la station d'El Harrouch, le ruissellement est de l'ordre de 12,46 % et l'infiltration n'atteint pas les 11 %.

Le déficit agricole des précipitations est de l'ordre de 192 mm à la station de Skikda, alors qu'il est doublé à la station d'El Harrouch et dépasse les 370 mm.

Conclusion

Le bassin versant du Saf-Saf est soumis à un climat méditerranéen, appartenant au domaine humide à sub-humide. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations. 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. Ces résultats de température et de précipitations définissent deux saisons typiques du climat méditerranéen, avec une saison sèche et une autre humide.

La moyenne annuelle de la lame d'eau précipitée sur le bassin du Saf-Saf est de l'ordre de 696mm (selon la méthode de Thiessen). L'évapotranspiration réelle moyenne est estimé à 477 mm /an, représentant 70,25 % de la totalité des précipitations. Un déficit agricole appréciable est estimé à 281 mm / an, soit 41,49 % de la lame d'eau précipité, répartie du mois de juin jusqu'au octobre.

Le surplus d'eau va partir sous forme de ruissellement, qui est calculé à 117,2 mm / an, ce qui présente plus de 17,26% des précipitations. Le reste va déloger sous forme d'infiltration, qui correspond à 77,9 mm / an, soit 11,47 % de la totalité des précipitations.

La réserve facilement utilisable (RFU) n'est pleine que de décembre à avril. Quant à son épuisement, il dure sept mois.

La représentation graphique du bilan hydrique, nous laisse dire que la recharge des nappes débute au mois d'octobre jusqu'à la mi-avril, avec un maximum durant le mois de décembre. Concernant l'épuisement du stock, il débute à la fin d'avril jusqu'à la fin du juin, où le déficit agricole commence et se prolonge jusqu'à la fin du mois de septembre.

Chapitre : 3

Caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques du bassin Saf-Saf

I. Hydrologie du bassin

I.1. Etude de l'écoulement superficiel

Les différents facteurs climatiques étudiés précédemment et leur influence, caractérisent le régime des cours d'eau. Ainsi, l'évaluation plus ou moins précise des ressources en eau et leurs disponibilités potentielles, est étroitement liée au comportement hydrologique des cours d'eau.

L'étude du régime fluviale passe donc par la prise en compte de l'écoulement superficiel avec ses aspects fondamentaux :

- Débits moyens mensuels et annuels.
- Variation saisonnière des débits.

I.1.1. Présentation

Le bassin du Saf-Saf est traversé essentiellement par les oueds de Khémakhem, Bou Adjeb, le Saf-Saf et ses affluents, ces oueds contribuent par une grande part à l'alimentation des eaux souterraines.

Malheureusement, ce bassin est mal équipé de stations hydrométriques, il ne dispose qu'une seule station de Khémakhem, contrôlant le sous bassin de Zardézas d'une superficie de 322 Km² (partie amont du bassin du Saf-Saf). Pour le reste (70 % du bassin versant total), il n'existe en effet aucune station qui contrôle l'exutoire du bassin. Un réseau hydrométrique est donc jugé très faible, ce qui nécessite le recours aux formules empiriques dans l'étude de l'écoulement superficiel du bassin. Pour quantifier ces apports nous avons essayé d'analyser les volumes d'eau jaugés à la station de Khémakhem sur une période de trente-neuf (39) ans (1973/74 - 2011/12).

I.1.2. L'hydrographie

D'une superficie totale de 1158 Km² au droit de son débouché en mer, la vallée de l'oued Saf-Saf se divise en trois parties ayant des caractéristiques sensiblement différentes:

- Le sous bassin versant de Zardézas est formellement montagneux; ses écoulements sont contrôlés dans leur totalité par le barrage même et la station hydrométrique de Khémakhem. Les mesures effectuées à cette station jouent un rôle essentiel dans l'estimation de l'écoulement sur le tronçon aval.

- La zone intermédiaire comprend le tronçon aval du barrage de Zardézas jusqu'à la confluence avec l'oued Zeramna. Cette partie se compose de l'oued principal, des sous bassins indépendants ayant une superficie considérable: oued Maïguen 61Km², oued Nessa 87 Km², oued Ameur 137 Km², oued Hadaratz 154 Km², à la partie aval de Ramdane Djamel (sur 20 Km environ), les débits et les autres caractéristiques de l'oued sont pratiquement uniformes.

- La zone industrielle à Skikda se diffère complètement des oueds naturels. La longueur de ce tronçon est 2 km environ, le lit est artificiellement élargi, les berges sont protégées (revêtement solide et enrochements). Outre les débits naturels, ce tronçon sert à reconduire les eaux de refroidissement des usines pétrochimiques à la mer, que résulte de l'ordre de 20 à 30 m³/s.

En réalité, cette partie de l'oued est le récipient commun des oueds Saf-Saf, l'oued Zeramna et des eaux provenant de la rive droite (les oueds moindres : Marhoum, Meknesset et Guelta). L'oued Zeramna et ces dernières résultent un supplément de surface drainée totale de 167 km², (le bassin versant du Zeramna étant 132 km²).

I.2. Débits moyens annuels et leur variabilité

I.2.1. Les fluctuations interannuelles

La figure (III.1) élaborée à partir du tableau (III.1) représente les variations interannuelles des débits annuels moyens, maximaux journaliers et maximaux instantanés, enregistrées à la station de Khémakhem (1973/74 – 2011/12).

On observe une nette irrégularité interannuelle des débits moyens absolus ($CV = 83,17\%$)⁽¹⁾. Le module interannuel est de l'ordre de $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$, valeur dépassée seulement 10 fois pendant toute la période. Où l'année 1984/85 a battu le record avec $4,10 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit moyen annuel, soit un ratio $Q_{84/85} / Q_{73/12}$ d'environ 4, ainsi que l'année 1986/87 avec $2,08 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un ratio d'environ 2.

Par ailleurs, ce module a dépassé les valeurs annuelles 19 fois dont l'année 1996/97 qui était la moins abondante en écoulement moyen ($0,04 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un ratio $Q_{73/12} / Q_{96/97} = 26,75$

I.2.2. Les débits maximaux annuels et leur variabilité (Les crues)

Pendant la période allant de 1973/74 à 2011/12, le bassin du Saf-Saf a été marqué par des crues de grande amplitude. Elles ont provoqué d'importants dégâts au bassin inférieur du Saf-Saf et la basse ville de Skikda en particulier, parmi lesquels nous citons :

- **La crue du 03 février 1984**

Lors de cette crue, le débit maximal instantané a été de l'ordre de $745,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ratio $Qi_{3/2/84} / Qi_{73-12} = 6$), tant au journalier il a atteint $283,2 \text{ m}^3/\text{s}$. (Ratio $Qj_{3/2/84} / Qj_{73-12} = 7$).

- **La crue du 30 décembre 1984**

L'année 84/85 a été marquée par cette crue qui a pu atteindre respectivement les débits instantané et journalier de $558,6$ et $404 \text{ m}^3/\text{s}$.

- **La crue du 8 mars 1985**

Avait les débits de $266,5 \text{ m}^3/\text{s}$ et $132,1 \text{ m}^3/\text{s}$, et c'est par ces deux dernières crues que l'année 84/85 a été de telle abondance en écoulement moyen.

- **La crue du 30 décembre 1984**

L'année 84/85 a été marquée par cette crue qui a pu atteindre respectivement les débits instantané et journalier de $558,6$ et $404 \text{ m}^3/\text{s}$.

- **La crue du 03 février 2011**

L'année 2010/11 a été marquée par cette crue qui a pu atteindre respectivement les débits instantané et journalier de $582,72$ et $179,34 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ces crues et autres sont caractérisées par la coïncidence de date entre le débit de pointe et le débit maximal journalier, cela nous fait penser qu'elles étaient étaillées dans le temps.

Le phénomène des crues est un incident exceptionnel d'une grande irrégularité interannuelle, et cela est nettement justifié par les coefficients de variations qui ont largement dépassé les 100 % (133,27 et 149,72 %). L'année 83/84 se place en 1^{er} rang par son débit instantané $745,1 \text{ m}^3/\text{s}$, et en 2^{ème} position par son débit journalier. L'année 1984/85 est sans doute l'année à débit journalier leader pendant toute la période ($404 \text{ m}^3/\text{s}$).

(1) : CV : Coefficient de Variation. $CV = (dQ / Q) * 100$. dQ : écart type, Q : moyenne des débits moyens absolus

Tableau III.1. Variations interannuelles des débits moyens et maximaux à la station de Khemakhem (1973/74 – 2011/12).

Année	Qi max (m ³ /s)	Date	Qj max (m ³ /s)	Date	Q moy (m ³ /s)
73/74	19.00	25-sent.	5.66	27-oct.	0.19
74/75	78.02	17-févr.	23.51	17-févr.	0.27
75/76	52.88	14-mars	29.68	14-mars	0.78
76/77	54.38	18-nov.	27.25	18-nov.	0.53
77/78	9.72	07-févr.	9.72	7-févr.	0.42
78/79	68.35	16-avr.	40.70	16-avr.	1.86
79/80	27.50	6-mars	10.76	6-mars	0.28
80/81	17.50	31-déc.	8.56	31-déc.	0.32
81/82	23.98	07-mars	11.34	7-mars	0.68
82/83	82.77	11-nov.	68.35	11-nov.	0.91
83/84	745.10	3-févr.	783.20	3-févr.	1.70
84/85	558.60	30-déc.	404.00	30-déc.	4.10
85/86	12.17	09-mars	4.95	9-mars	0.25
86/87	127.00	01-avr.	74.69	1-avr.	2.08
87/88	10.30	9-mars	6.44	9-mars	0.19
88/89	127.00	21-déc.	38.07	21-déc.	0.57
89/90	38.25	05-ianv.	11.92	5-ianv.	0.19
90/91	120.10	24-déc.	47.79	24-déc.	1.64
91/92	78.30	10-avr.	23.31	10-avr.	0.87
92/93	284.50	31-déc.	114.80	31-déc.	1.85
93/94	103.20	19-févr.	56.48	19-févr.	0.97
94/95	284.00	8-ianv.	136.40	8-ianv.	1.36
95/96	188.60	07-oct.	57.90	28-févr.	1.49
96/97	5.48	26-déc.	2.01	11-ianv.	0.04
97/98	127.00	06-déc.	34.01	6-déc.	0.93
98/99	136.30	28-nov.	53.11	28-nov.	2.04
99/00	186.60	19-déc.	59.70	19-déc.	0.47
00/01	209.70	01-févr.	67.21	01-févr.	0.68
01/02	43.75	22-févr.	7.98	22-févr.	0.14
02/03	-	-	-	-	-
03/04	82.68	03-ianv.	30.28	03-ianv.	1.05
04/05	461.80	14-nov.	66.30	14-nov.	2.80
05/06	80.39	23-févr.	29.64	23-févr.	1.20
06/07	-	-	-	-	-
07/08	-	-	-	-	-
08/09	-	-	-	-	-
09/10	-	-	-	-	-
10/11	582.72	03-févr.	179.34	03-févr.	1.88
11/12	44.75	10-mar	36.45	10-mar	1.91
Max 73/12	141.97	-	60.63	-	1.07
CV % 73/12	125.67	-	136.96	-	83.17
Max 73/12	745.10	-	404.00	-	4.10

Source. ANRH, 2012

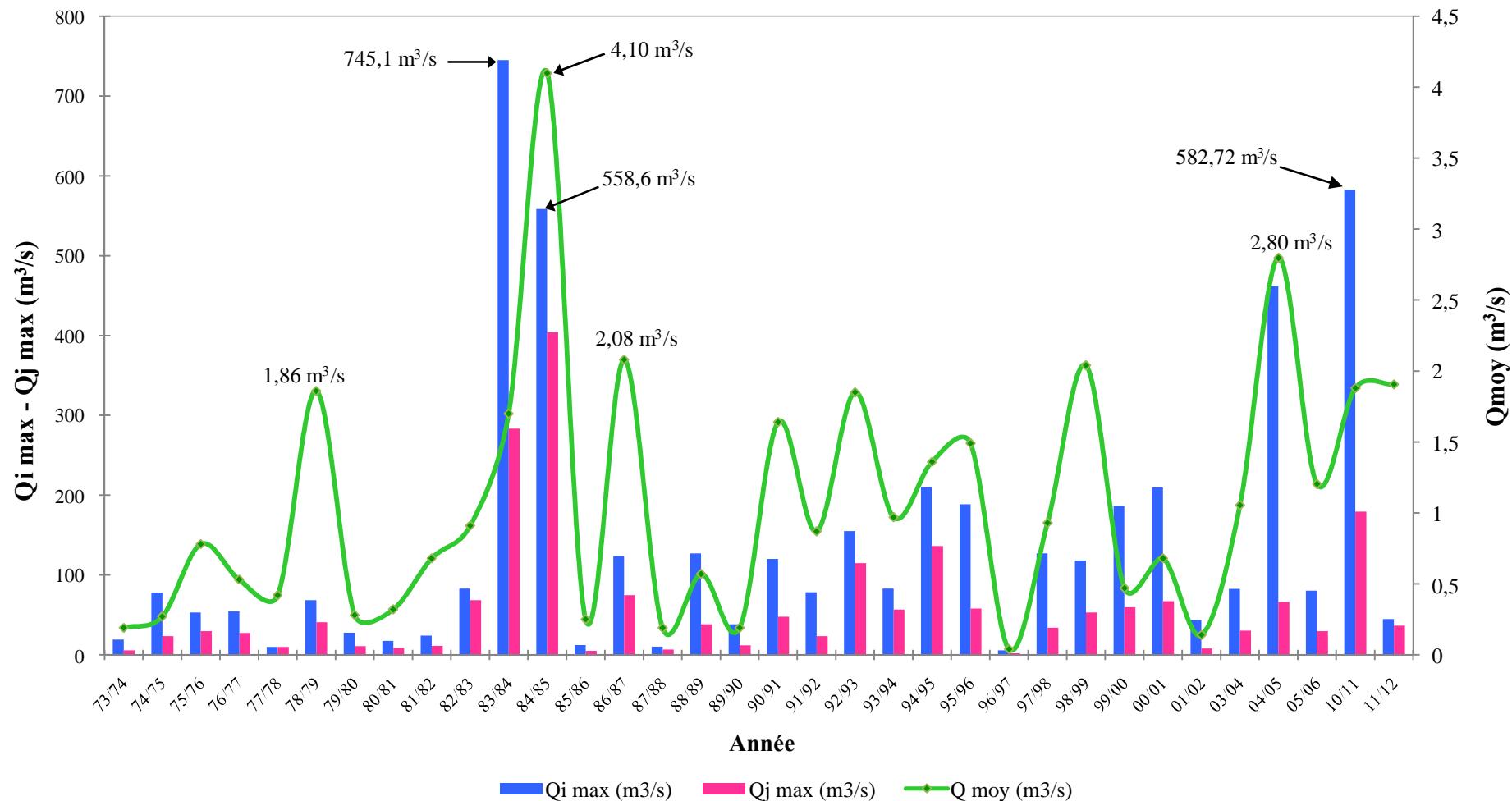


Figure III.1. Variations interannuelles des débits moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2011/12).

I.3. Variations mensuelles des écoulements moyens et maximaux

L'analyse des débits mensuels permet de mettre en lumière les régimes des cours d'eau, et leurs variations interannuelles et inter saisonnières.

En vue de comprendre les régimes moyen et maximal de l'écoulement, nous essayerons de faire ressortir les mois les plus abondants en écoulement de surface et leurs valeurs moyennes et maximales (débits de pointe),

La figure (III.2) réalisé à partir du tableau (III.2) représente les variations inter mensuelles des débits mensuels interannuels moyens et maximaux (Khémakhem 1973/74 – 2011/12).

Tableau III.2. Débits mensuels interannuels moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2011/12).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
Qmoy 73-12	0,03	0,12	0,55	1,95	2,21	3,73	2,35	1,19	0,67	0,22	0,03	0,02
Le max Interannuel	0,27	1,38	3,74	19,18	11,72	14,11	14,67	6,18	7,58	4,84	0,33	0,17
Année du max	97/98	95/96	98/99	84/85	92/93	83/84	84/85	78/79	78/79	78/79	78/79	01/02
Qmax 73-12	0,38	2,68	7,92	29,33	17,13	24,78	14,63	11,18	3,38	0,9	0,16	0,08
Le max Interannuel	3,86	28,88	54,38	404,0	136,4	283,2	132,1	74,69	21,55	12,54	1,58	1,47
Année du max	97/98	95/96	82/83	84/85	94/95	83/84	84/85	86/87	91/92	82/83	82/83	89/90
Ratio Qmax/Qmoy	13	22	14	15	8	7	6	9	5	4	5	4

Source. ANRH, 2012

En effet, la saison humide (hiver et printemps) allant de décembre à avril est la plus abondante en écoulement moyen maximal, le régime moyen du bassin du Saf-Saf d'une alimentation essentiellement pluviale, présente un maximum au mois de février ($3,73 \text{ m}^3/\text{s}$), avec un maximal de série observé au février 1984 ($14,11 \text{ m}^3/\text{s}$), suivi de près par Mars ($2,11 \text{ m}^3/\text{s}$) et sa valeur maximale était au mois de Janvier 1993 ($11,72 \text{ m}^3/\text{s}$).

Cependant, les écoulements moyens ne correspondent pas forcement aux écoulements maximaux, où on trouve la concentration des écoulements de pointe en deux mois pics : Décembre en premier lieu ($29,33 \text{ m}^3/\text{s}$) avec un maximum interannuel de $404,0 \text{ m}^3/\text{s}$ observé en décembre 1984, suivi du mois de Février ($24,78 \text{ m}^3/\text{s}$) et son maximum était en 83/84 ($283,2 \text{ m}^3/\text{s}$), qui est en revanche le mois le plus abondant en écoulement moyen.

Le ratio $Qmax_{73-12} / Qmoy_{73-12}$ exprime la participation des écoulements de pointes dans les écoulements moyens mensuels, il est de l'ordre de 22 pour le mois d'octobre qui correspond à l'automne, caractérisé surtout par les pluies dites battantes, spatio-temporellement limitées, outre la structure dégradée du sol après une longue saison d'aridité donc, aboutissant à des crues de grands débits mais de très courtes durées.

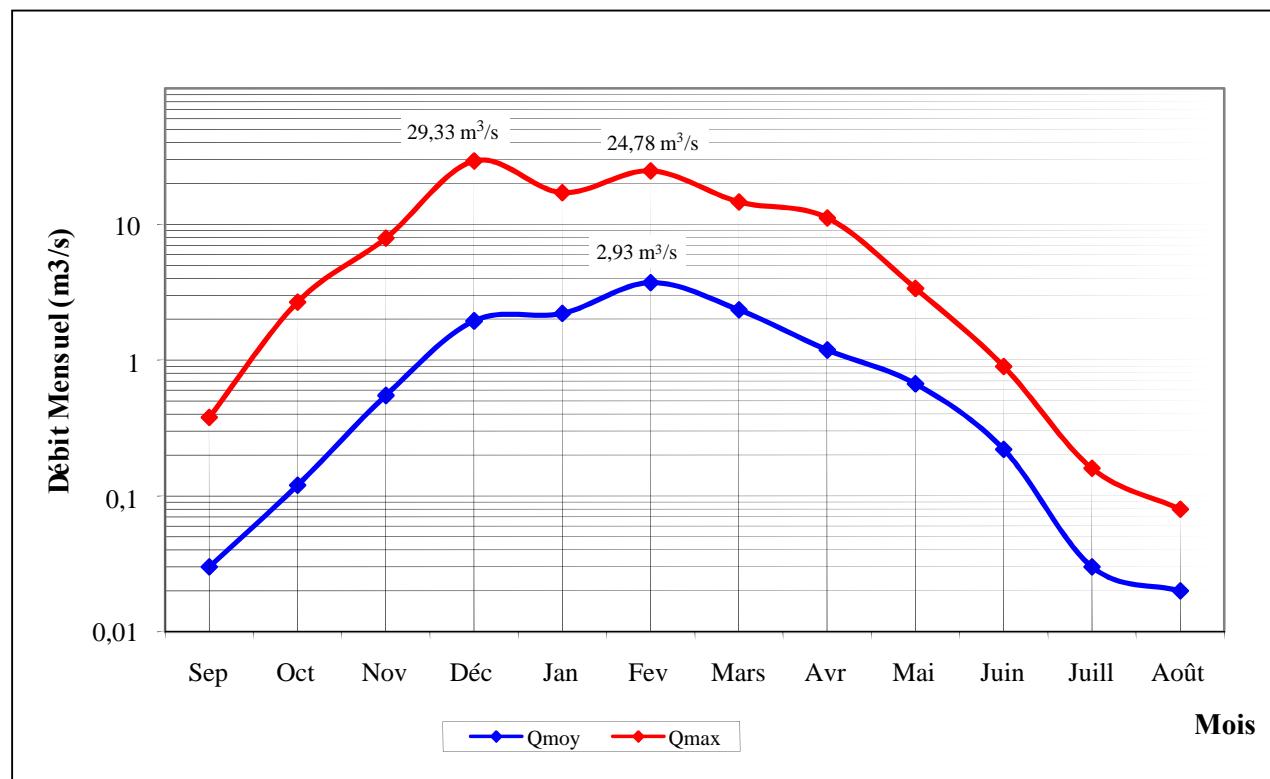


Figure III.2. Variations mensuelles des débits interannuels moyens et maximaux à la station de Khémakhem (1973/74 – 2011/12).

I.4. Evaluation de la lame d'eau éoulée et le bilan d'écoulement

Les oueds Bou Adjem et Khémakhem transitent ensemble un débit moyen annuel de $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un bassin partiel de 322 km^2 , correspond à la période de (1973-2012).

Le débit spécifique pour le même bassin et la même période est de $3,32 \text{ l/s/Km}^2$, ce qui donne une tranche d'eau ruisselée de 105 mm .

Donc le bilan d'écoulement s'écrit :

$$P (\text{mm}) = E (\text{mm}) + \Delta (\text{mm})$$

Où;

P : Lame d'eau moyenne précipitée (mm).

E : Lame d'eau annuelle moyenne éoulée (mm).

Δ : Déficit d'écoulement (mm).

C : Cœfficient d'écoulement (%) ; $C = (E / P) \cdot 100$

Tableau III.3. Estimation de la lame d'eau éoulée et le bilan d'écoulement à la station de Khémakhem (1973/74 - 2011/12).

Station Hydrométrique	Superficie BV (Km^2)	Précipitation (mm)	Débit moyen Q (m^3/s)	Débit spécifique (l/s/Km^2)	E (mm)	Δ (mm)	C (%)
Khémakhem	322	788,2	1,07	3,32	105	683,2	13,3

Ces valeurs du bilan d'écoulement superficiel retenues à la station de Khémakhem montrent qu'à partir d'une précipitation de 788,2 mm/an (à la station de Zardézas 1970/71-2011/12), on a une lame d'eau écoulée de l'ordre de 105 mm, soit un taux de 13,3 %, une valeur très faible par rapport à la lame d'eau précipitée. Le déficit d'écoulement: 683,2 mm traduit une forte évapotranspiration de l'ordre de 86,7 % des précipitations.

Conclusion

L'étude de l'écoulement superficiel du bassin du Saf-Saf a permis de retenir que l'irrégularité temporelle (annuelle et mensuelle), est le caractère capital de l'écoulement moyen ainsi que l'écoulement maximal (crues).

Le module moyen interannuel est de l'ordre de $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$, valeur peu signifiante car outre que c'est une moyenne modérée, le débit moyen annuel absolu est d'une haute variabilité interannuelle ($CV = 83,17\%$), où ce module peut amplement devancer ou être devancé par les débits moyens de quelques années ($Q_{73/12} / Q_{96/97} = 26$ et $Q_{84/85} / Q_{73/12} = 4$).

Similairement à l'écoulement moyen, l'écoulement de crue est d'une plus importante irrégularité ($CV = 133,27\%$ et $149,72\%$), où on a détecté des crues d'une grande importance semblablement à celle de décembre 1984 ($Q_{j \max} = 404 \text{ m}^3/\text{s}$) ou celle du 3 février 2011 ($Q_{j \max} = 179,34 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les régimes moyens des pluies et écoulements mensuels ont présenté une concordance temporelle relative, où les mois les plus pluvieux sont – le plus souvent – les mieux abondants en écoulement.

À l'opposé du régime moyen, les valeurs maximales des pluies et des écoulements mensuels semblent d'un parfait accord où, les débits de pointe sont directement engendrés par des pluies mensuelles maximales qui leur sont temporellement adéquates (tel le cas de : fév 1984, déc 1984, Jan 1995 et fév 2011).

Une lame d'eau écoulée est estimée à 105 mm, soit un taux de 13,3 %, une valeur très faible par rapport à la lame d'eau précipitée. Le déficit d'écoulement de 683,2 mm traduit une forte évapotranspiration de l'ordre de 86,7 % des précipitations.

L'année hydrologique 1984/85 est une année exceptionnelle de part :

- Son écoulement moyen ($4,10 \text{ m}^3/\text{s}$) représentant plus que 4 fois le module de la période ($1,07 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Son écoulement journalier maximal ($404,0 \text{ m}^3/\text{s}$) étant valeur record pendant toute la période.
- Sa pluviométrie exceptionnelle placée en 1^{ère} position pendant toute la période (1970/71-2011/12), à tous les niveaux : annuel (1039,4 mm), mensuel (452,5 mm) et journalier (137 mm), outre qu'elle a été marquée par deux crues importantes (décembre et mars).

II. Caractéristiques hydrogéologiques du bassin

Introduction

L'étude hydrogéologique permet de compléter et de confirmer ce qui a été précédemment énoncé par la géologie. Donc cette étude s'avère nécessaire pour arriver à une bonne connaissance des horizons aquifères, ainsi que leurs caractéristiques hydrodynamiques.

Dans ce chapitre, on s'intéresse essentiellement à la basse vallée de l'oued Saf-Saf (en aval du barrage du Zardézas); c'est dans cette partie du bassin où l'oued Saf-Saf débouche dans une série de dépressions : El Harrouch, Salah Bouchaour, Emjez Edd Chich, Ramdane Djamel, puis la plaine de Skikda.

Cette étude se base sur les données des essais de pompages et des mesures du niveau piézométriques des forages, fournies par la DHW de Skikda et l'ANRH de Constantine.

II.1. Horizons aquifères

L'étude géologique et géophysique menées dans la zone d'étude ont décelé l'existence de trois différents aquifères; un aquifère poreux (du Quaternaire et du Tertiaire), aquifère karstique et un autre à système binaire. La superposition de ces trois horizons nous donne plusieurs nappes qui représentent les différents types d'aquifères existants dans la région.

II.1.1. 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.

II.1.2. 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.

II.1.3. Aquifère à système binaire

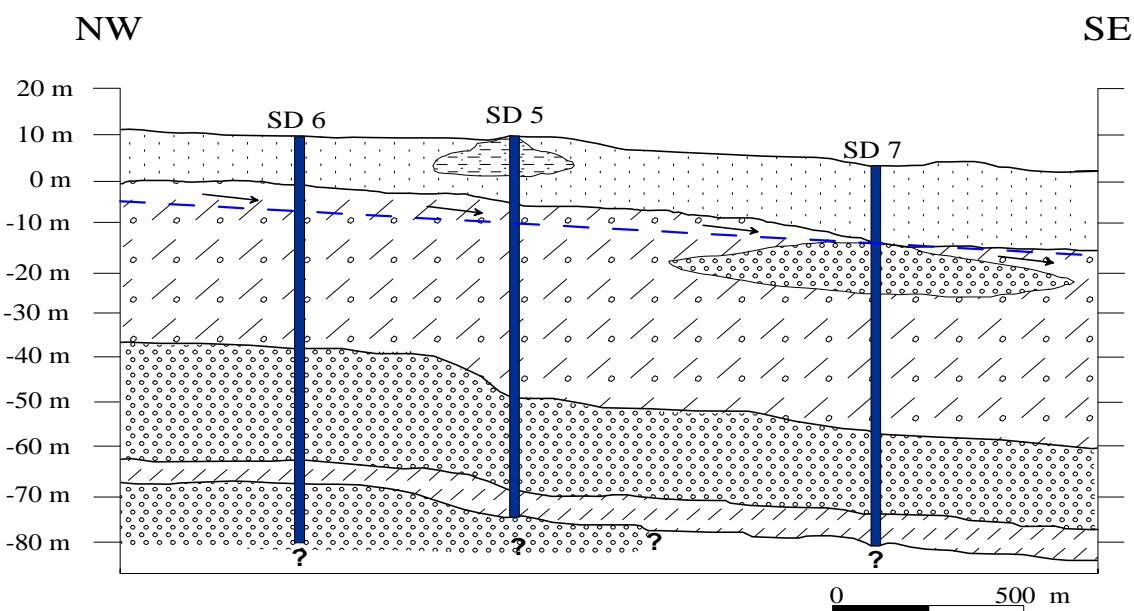
Il est constitué par la superposition de roches poreuses (formations perméables: grés) sur des roches compactes (calcaire: formations karstiques), avec intercommunication des deux réservoirs. Cette dernière constitue ce qu'on appelle le système binaire.

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.

L'aquifère binaire (profond) est en charge dans sa quasi-totalité, reposant sur des formations métamorphiques, et son toit est formé d'argiles noires. Par endroit, les argiles disparaissent et l'aquifère superficiel poreux sera en contact direct avec l'aquifère profond.

II.2. Profils hydrogéologiques

En vue de mieux comprendre le système hydrogéologique, et de mettre en évidence l'extension des formations aquifères de la plaine alluviale du Saf-Saf, des profils hydrogéologiques ont été réalisés à partir des colonnes stratigraphiques et lithologiques des forages. Parmi eux, celui d'une orientation NW-SE effectué dans la basse plaine de Skikda. Il nous révèle l'existence de trois aquifères superposés, le premier superficiel, 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. Notant aussi, la présence d'une lentille de graviers au sein du substratum de 10 m d'épaisseur (SD 7).



Légende :

	Sables (nappe superficielle)		Marnes à graviers (toit)
	Gravier (nappe captive)		Marnes (substratum)
	Lentille argilo-sableuse		Forages
	Niveau piézométrique		Sens d'écoulement

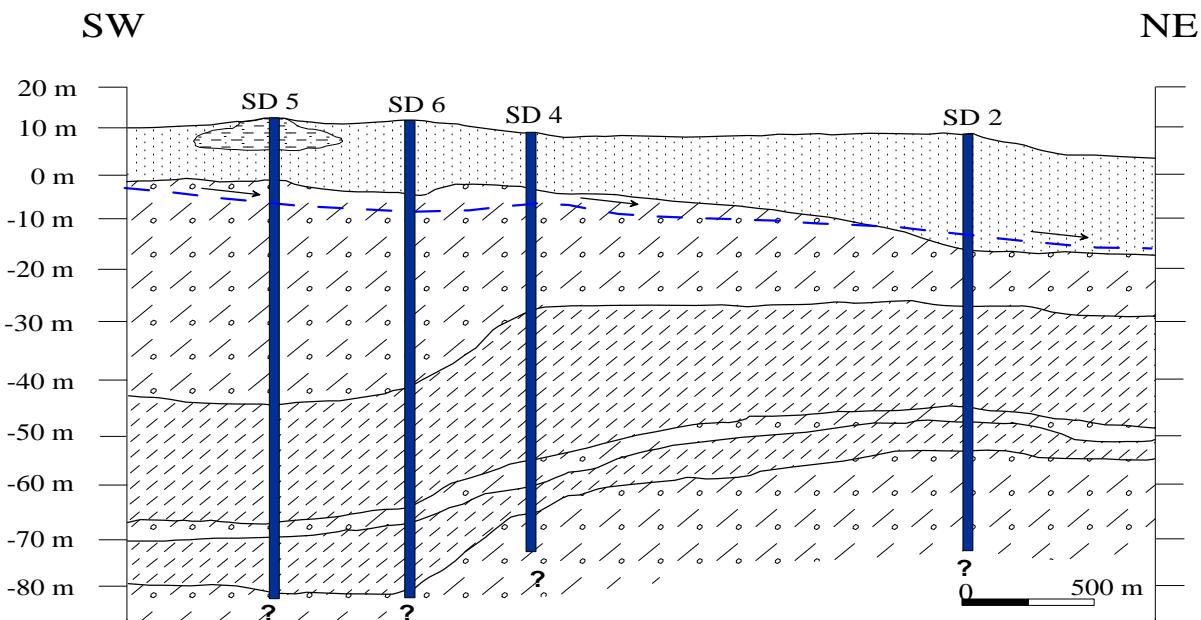
Figure III.3. Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf. (NW-SE). (Hedbani, 2006).

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. 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 sur la coupe est de 15 m.

Du point de vue épaisseur, l'aquifère le plus important est le second (nappe des graviers), vient en suite l'aquifère des sables et enfin le troisième d'une épaisseur de 5 à 15 m environ.

Concernant les paramètres hydrodynamiques ⁽¹⁾, la transmissivité varie de 3.10^{-4} et $1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une perméabilité de l'ordre de 10^{-5} m/s . Le débit total calculé sur les puits et les forages couvrant plus ou moins le bassin du Saf-Saf est de 676 l/s.



Légende :

	Sables (nappe superficielle)		Marnes à graviers (toit)
	Gravier (nappe captive)		Marnes (substratum)
	Lentille argilo-sableuse		Forages
	Niveau piézométrique		Sens d'écoulement

Figure III.4. Profil hydrogéologique schématique de la nappe alluviale du Saf-Saf. (SW-NE).
(Hedbani, 2006).

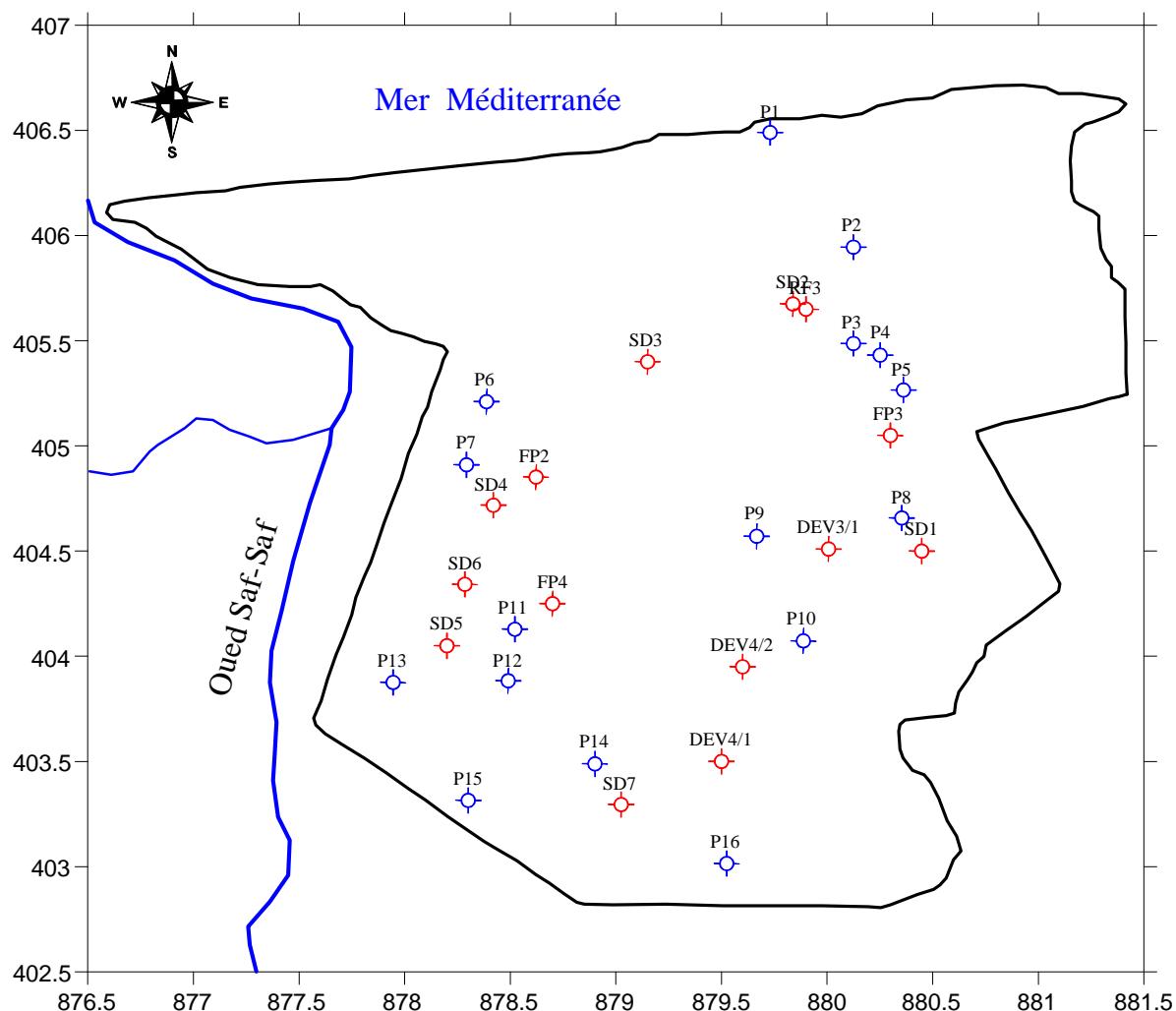
⁽¹⁾: Selon la DHW 2012

II.3. Inventaire des points d'eau

Les forages et les puits qui ont été recensés au niveau de la plaine alluviale du Saf-Saf, exploitent les eaux de la nappe superficielle et la nappe profonde.

Les puits sont peu profonds, et ont été creusé dans les formations du Quaternaire, ils sont utilisés pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation des terres agricoles. La profondeur des puits n'excède pas les 20 m.

A partir des données recueillies de la DHW de Skikda et l'ANRH de Constantine, nous avons matérialisé l'ensemble des points d'eau (puits et forages) sur la carte d'inventaire (fig. III.5).

Légende

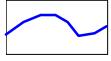
Limites de la basse plaine du Saf-Saf



Forages



Puits



Oued Saf-Saf

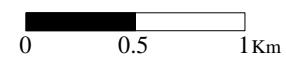
Echelle

Figure III.5. Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine alluviale du Saf-Saf (Mai 2010).

II.4. Etude de la piézométrie de l'aquifère superficiel

II.4.1. Limites de l'aquifère superficiel

La nappe du Quaternaire de la plaine alluviale de l'oued Saf-Saf, est constituée essentiellement des alluvions, des dunes anciennes et des grés numidiens, avec une puissance de 30 à 60 m. Cette nappe est bordée au Nord-Ouest par le massif de Aïn Zouit, Staïha jusqu'à Sidi Mezghiche, et au Nord-Est par les formations cristallophylliennes du socle kabyle; à l'Ouest et au Sud-Ouest, elle est limitée par la série des flyschs. A l'Est, la nappe alluviale est entourée par les flyschs de Bissy, les grés numidiens et la chaîne calcaire du Djebel El Ghédir; au Sud, par la chaîne calcaire des Kefs M'Souna et Sebargoud et enfin au Nord par la mer méditerranéenne.

II.4.2. Piézométrie

Les mesures piézométriques réalisées au mois de Mai 2010 nous ont permis de dresser les cartes piézométriques (Fig.III.6, Fig.III.7) pour bien visualiser l'écoulement des eaux souterraines de la basse plaine du Saf-Saf. L'écoulement dans son ensemble se fait du Nord vers le Sud de la plaine, avec quelques particularités.

Dans les parties Nord-Ouest et Nord-Est, les courbes isopièzes sont espacées, ceci traduit un gradient hydraulique faible à moyen (de $0,2.10^{-3}$ à $1,6.10^{-3}$) d'où une perméabilité très élevée avec un sens d'écoulement vers le centre de la nappe dû à la topographie plane de la région (pente faible ne dépasse pas les 3%).

Au centre de la plaine, les courbes isopièzes sont serrées, avec un gradient hydraulique moyen de ($1,4.10^{-3}$), une perméabilité faible et le sens de l'écoulement se dirige de l'Est vers le centre de la plaine.

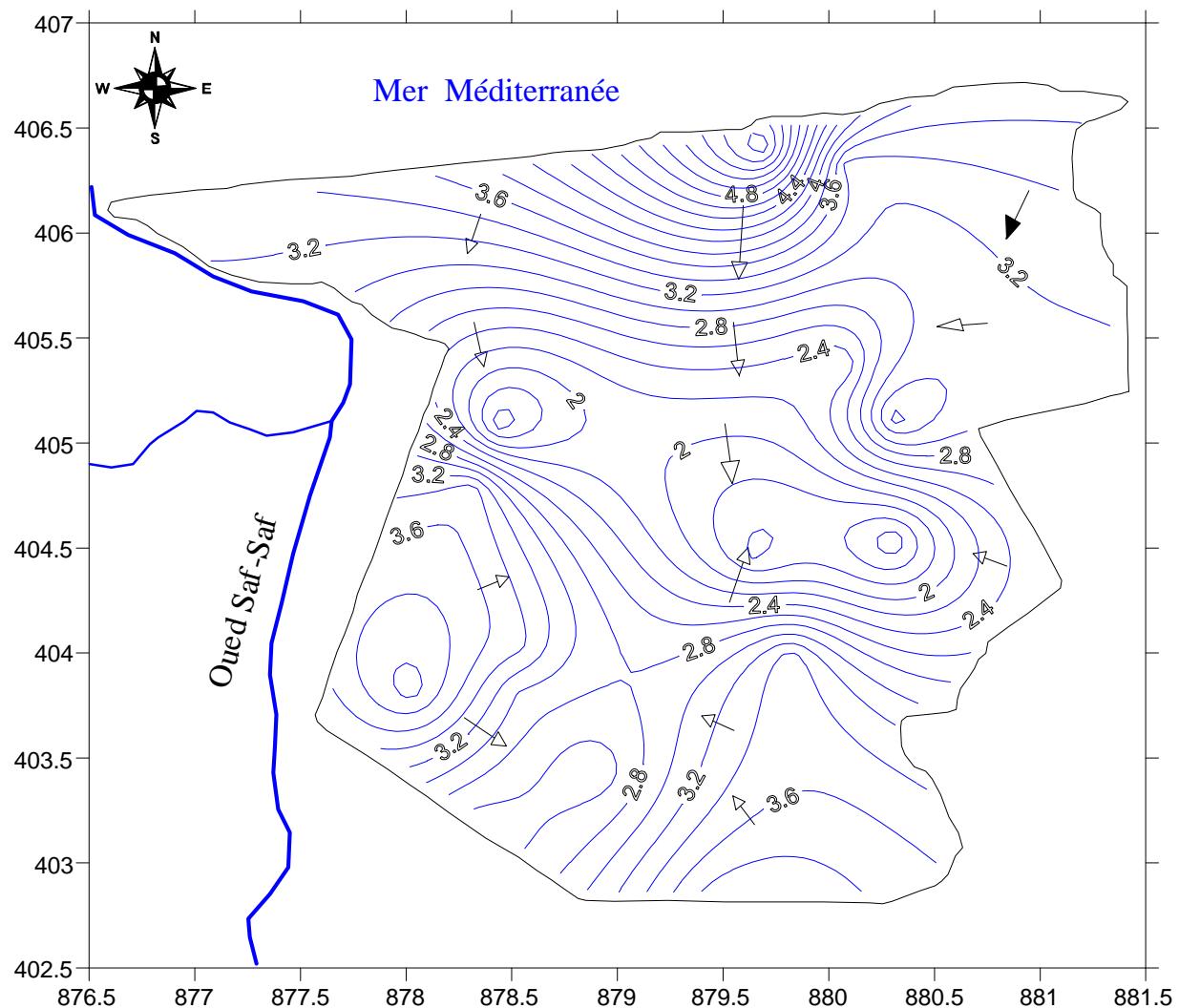
En ce qui concerne le Sud de la zone, les courbes isopièzes sont espacées avec un gradient hydraulique de l'ordre de ($0,8.10^{-3}$), le sens d'écoulement se dirige de l'oued vers la nappe témoignant une alimentation de la nappe par l'oued Saf-Saf.

La carte piézométrique fait apparaître l'existence d'apports latéraux vers la plaine provenant des socles avoisinants (Djebel El Alia).

II.4.3. Alimentation de l'aquifère superficiel

L'alimentation de l'aquifère superficiel du Quaternaire est assurée par l'infiltration des précipitations efficaces; la nappe reçoit les eaux qui ruissellent sur les flancs internes des massifs qui limitent le bassin versant.

Une alimentation souterraine par les eaux de la nappe des grés numidiens, ainsi que par les eaux des calcaires des Kefs M'Souna, Sebargoud et Djebel El Ghédir est très probable. Ainsi qu'une alimentation à partir des bassins avoisinants n'est pas à exclure. (Bassin du Saf-Saf est de type Hyperplèthe, recevant des eaux souterraines des bassins voisins; de Guebli à l'Ouest et du Kébir ouest à l'Est).

**Légende**

- Limites de la basse plaine du Saf-Saf
- Sens d'écoulement
- Courbes isopièzes
- Oued Saf-Saf

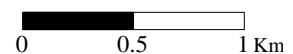
Echelle

Figure III.6. Carte piézométrique de la nappe superficielle de la plaine du Saf-Saf (Mai 2010).

II.5. Etude de la piézométrie de l'aquifère profond

II.5.1. Limites et alimentation de l'aquifère profond

Cette nappe est largement répandue dans la plupart de la zone d'étude. Elle est contenue dans les graviers quaternaires.

La nappe des graviers est entourée de tous les cotés par des formations métamorphiques (schistes et phyllades) sauf au Nord limitée par la mer méditerranée.

Le substratum de cette nappe est formé par des marnes, avec un toit marneux imperméable à l'Ouest, qui tend à disparaître vers l'Est en laissant place à une formation semi perméable (argile sableuse), en venant au contact avec la nappe sableuse libre ou indirectement avec la surface en l'absence de cette dernière (nappe superficielle).

L'alimentation de cette nappe s'effectue par les précipitations, par l'écoulement en provenance de la nappe superficielle, et enfin par le réseau hydrographique de l'oued Saf-Saf et ses affluents dans la partie Ouest.

II.5.2. Piézométrie

L'examen des courbes isopièzes et la direction des lignes des courants, a pu nous distinguer quatre zones.

Dans la zone Nord-Ouest, on constate une convergence des lignes de courants vers l'oued ce qui indique une alimentation de l'oued Saf-Saf par la nappe, avec un gradient de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-3}$.

Pour la zone Nord-Est, l'écoulement se dirige vers la nappe venant de la partie Est et de la mer (le module d'espacement est moins important avec un gradient de $0,6 \cdot 10^{-3}$).

Cependant au niveau des zones Sud-Est et centrale le sens d'écoulement se dirige de la nappe vers l'oued Saf-Saf ce qui indique une alimentation de la nappe de ce dernier. Le gradient est très faible ($2 \cdot 10^{-3}$) montre une perméabilité importante dans cette zone.

Les courbes piézométriques sont serrées dans la partie Ouest, le gradient est fort et varie de $6,5 \cdot 10^{-3}$ à $3,5 \cdot 10^{-3}$ et les lignes de courants sont convergentes vers une zone de dépression (SD5, SD4, SD6).

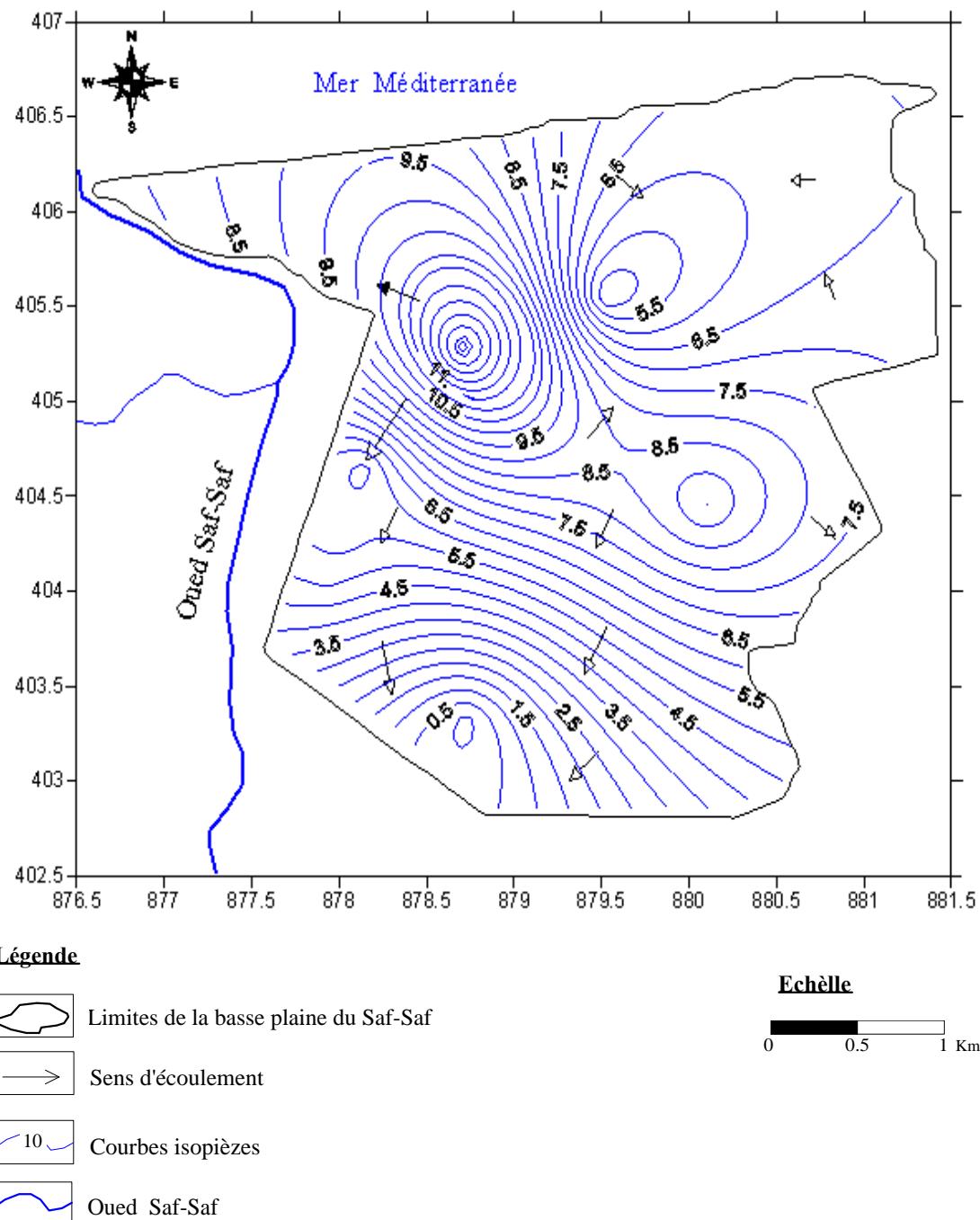


Figure III.7. Carte piézométrique de la nappe profonde de la plaine du Saf-Saf (Mai 2010).

Conclusion

L'étude hydrogéologique menée dans le bassin du Saf-Saf a pu nous montrer l'existence de trois types d'aquifères. Un aquifère superficiel poreux avec des formations du Quaternaire et du Tertiaire reposent sur les formations imperméables (argiles et roches métamorphiques). Le second est un aquifère karstique, constitué par des roches carbonatées. Le dernier est un aquifère à système binaire, constitué par la superposition des roches poreuses sur des roches compactes avec une intercommunication des deux réservoirs.

L'alimentation de ces horizons est assurée par l'infiltration des précipitations efficaces, ainsi qu'une alimentation souterraine à partir des bassins avoisinants.

L'allure générale de la carte piézométrique de la nappe superficielle et profonde montre un sens écoulement du Nord vers le Sud et de l'Est et l'Ouest vers le centre, qui converge des bordures (aires d'alimentation) vers les zones de décharge (drainage) qui sont occupées par l'oued Saf-Saf au centre de la plaine.

Concernant les paramètres hydrodynamiques, les valeurs de la transmissivité sont importantes (de l'ordre de $1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) au niveau des sous bassins d'El Harrouch, Salah Bouchaour et Ramdane Djamel. Par contre elles sont moyennes dans la plaine de Skikda ($3.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), ceci s'explique par la nature des alluvions qui sont plus grossiers (galets et graviers) dans les premiers sous bassins cités, et une séquence plus fine (rares niveaux de galets) dans la plaine de Skikda.

2^{ème} Partie:

Ressources en eau : qualité et gestion intégrée

*A l'issue du Sommet de la Terre de 1992, le chapitre 18 de l'agenda 21 a traduit la nécessité d'une gestion intégrée du sol, de l'eau et des écosystèmes à l'échelle du bassin versant, unité géographique reconnue comme la plus appropriée. La **Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)** est ainsi basée sur la perception de l'eau comme une partie intégrante des milieux aquatiques, une ressource naturelle et un bien social et économique dont la qualité et la quantité déterminent la nature de son utilisation. En d'autres termes, la GIRE prend en compte les différents éléments et aspects du cycle hydrologique dans un processus de gestion cohérent, contrairement aux approches de gestion sectorielle usitées, et ce, pour maximiser les bénéfices socio-économiques de manière équitable en préservant les écosystèmes et l'environnement. Ainsi, la ligne directrice de la GIRE est représentée par la politique de gestion adoptée sur le bassin versant, en fonction de ses propres enjeux.*

Chapitre : 4

Hydrochimie et qualité des eaux dans le bassin du Saf-Saf

Introduction

Malgré l'importance indéniable des aspects quantitatifs, les questions de qualité de l'eau sont au cœur des enjeux futurs. Il est primordial de souligner que le domaine de la préservation de l'écosystème et la protection des ressources en eau contre les différents types de pollutions, en tant que composante du système de la gestion intégrée des ressources en eau, présente un défi majeur pour les prochaines années, et un domaine promoteur de la protection de l'environnement; il devrait en effet être intégrée à tous les secteurs d'activité susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement.

En plus de la pression exercée par les différents usagers, les ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf se trouvent menacées dans leur qualité, sous l'effet des pollutions qu'elles subissent, principalement des pratiques industrielles et agricoles intensives. Ainsi que celles de l'individu dans son habitat (pollution domestique). Il s'agit donc d'un problème à grande échelle, dont l'extension est constante.

A. Chimisme et qualité des eaux dans le bassin du Saf-Saf

I. Chimie et qualité des eaux de surface

Les cours d'eau jouent le rôle de récepteurs et de transport des différents rejets urbains, industriels et agricoles. La charge de pollution est plus ou moins importante quand le phénomène d'auto-épuration ne suffit plus.

L'oued Saf-Saf représente le principal cours d'eau dans le bassin, la qualité de ses eaux varie de dans l'espace de l'amont vers l'aval et dans le temps suivant les saisons (hautes et basses eaux).

Dans le but de bien appréhender l'évolution de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf on a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées en 2009 par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine, ainsi que celles effectuées en 2012 par le Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM Alger).

I.1. Chimie des eaux de surface en amont du bassin

Le présent travail est une caractérisation physico-chimique et biologique de la qualité des eaux de l'oued Saf-saf dans sa partie amont qui est dominé par des terres agricoles principalement montagneuses.

La présente étude consiste à la réalisation de quatre (4) campagnes (une campagne par trimestre) de prélèvement d'échantillons d'eau au niveau de la partie amont l'oued Saf-Saf.

Les différentes campagnes ont été effectuées comme suit :

- 1^{ère} campagne : 19 mai 2012. (Hautes eaux).
- 2^{ème} campagne : 15 août 2012. (Basses eaux).
- 3^{ème} campagne : 17 novembre 2012. (Basses eaux).
- 4^{ème} campagne : 22 mars 2013. (Hautes eaux).

A cet effet, l'échantillonnage a été effectué au niveau de deux (02) stations préalablement positionnées. Soit au total 8 échantillons d'eau à analyser au laboratoire au cours des campagnes. Les échantillons d'eau feront l'objet d'analyses en vue de la détermination de leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs teneurs en polluants chimiques et organiques.

Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire spécialisé « Centre National des Technologies et du Consulting (CNTC Boumerdes) ».

I.1.1. Mesures *in situ*

I.1.1.1. Paramètres physiques

Cinq paramètres physico-chimiques (Température, pH, conductivité électrique, salinité et oxygène dissous) ont été mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon.

Tableau IV.1. Paramètres physiques des quatre campagnes d'échantillonnage.

Paramètres	Unités	1 ^{ère} campagne		2 ^{ème} campagne		3 ^{ème} campagne		4 ^{ème} campagne	
		(saison du printemps) - - Mai 2012 -		(saison d'été) - Août 2012 -		(saison d'automne) - Novembre 2012 -		(saison d'hiver) - Mars 2013 -	
		Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
Température	°C	24,8	24,5	26,6	28,4	17,7	17,2	21,7	21,1
pH	/	/	/	7,25	7,61	7,53	7,48	7,50	7,39
Conductivité	µs/cm	/	/	13	1446	646	985	784	775
Salinité	‰	/	/	0,62	0,67	0,38	0,56	0,41	0,41
O ₂ dissous	mg/l	/	/	6,60	6,69	9,83	8,45	8,86	8,98

a. Température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes.

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées (figure IV.1) oscillent entre 17,2°C et 21,7°C en période humide (hiver et automne), et entre 24,5°C et 28,4°C en période sèche (printemps et été). Ces variations de température suivent celles du climat de la région.

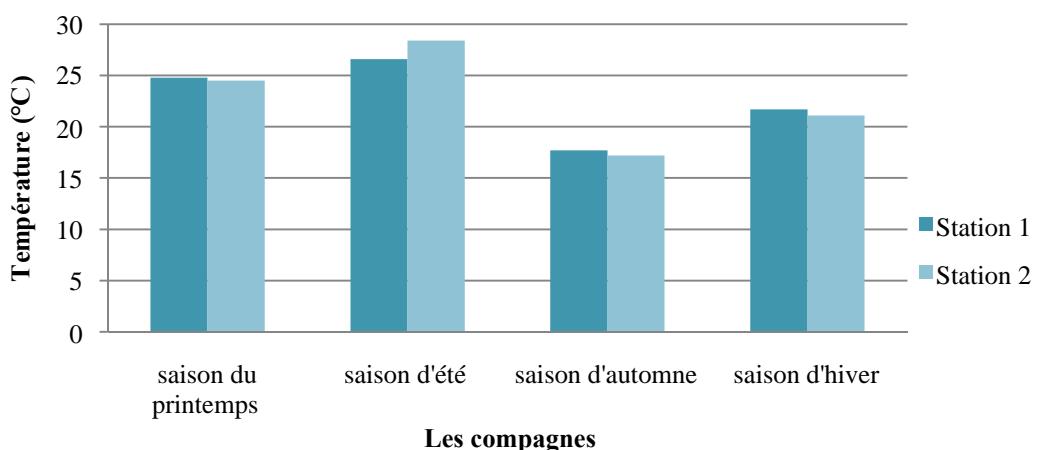


Figure IV.1. Variation de la température dans les eaux de surface en amont du bassin

b. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin dans toutes les stations de l'oued Saf-Saf, aussi bien en période de pluie qu'en période sèche. En effet, le pH varie entre 7,25 et 7,61. Ceci est dû à la présence de bicarbonates qui permettent de tamponner les eaux qui s'écoulent vers l'oued Saf-Saf.

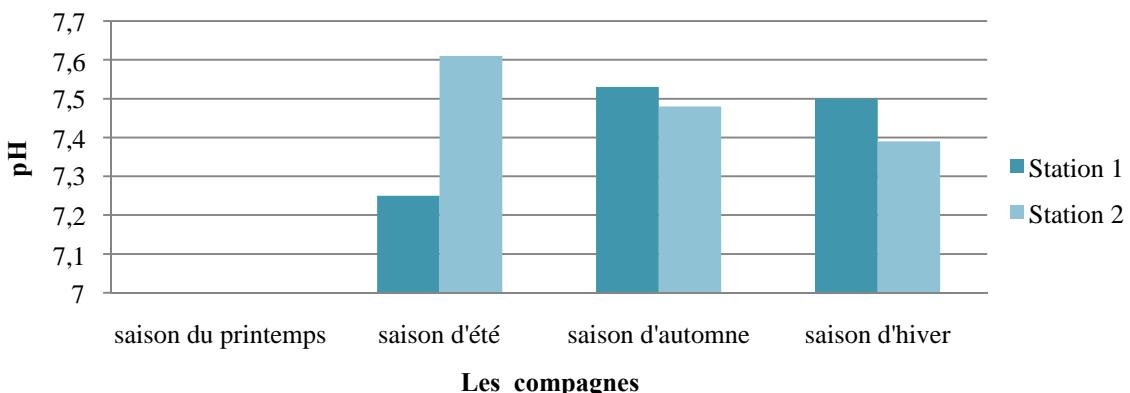


Figure IV.2. Variation du pH dans les eaux de surface en amont du bassin.

c. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Les valeurs moyennes enregistrées, montrent des variations entre 1446 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (été) et 646 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (automne). L'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

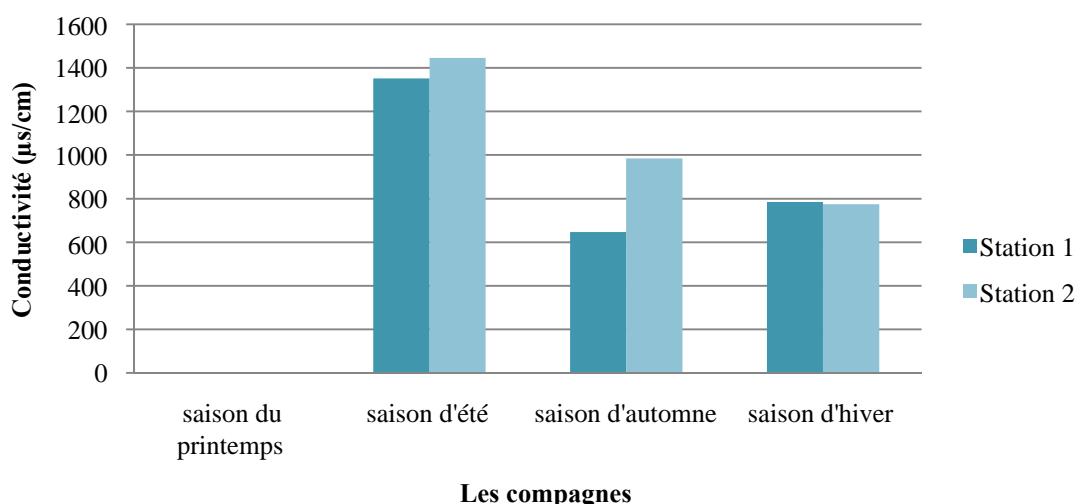


Figure IV.3. Variation de la conductivité dans les eaux de surface en amont du bassin.

d. Salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium ...etc.). Les salinités mesurées au niveau d'oued Saf-Saf varient de 0.38 ‰ (en automne) et 0.67 ‰ (en été).

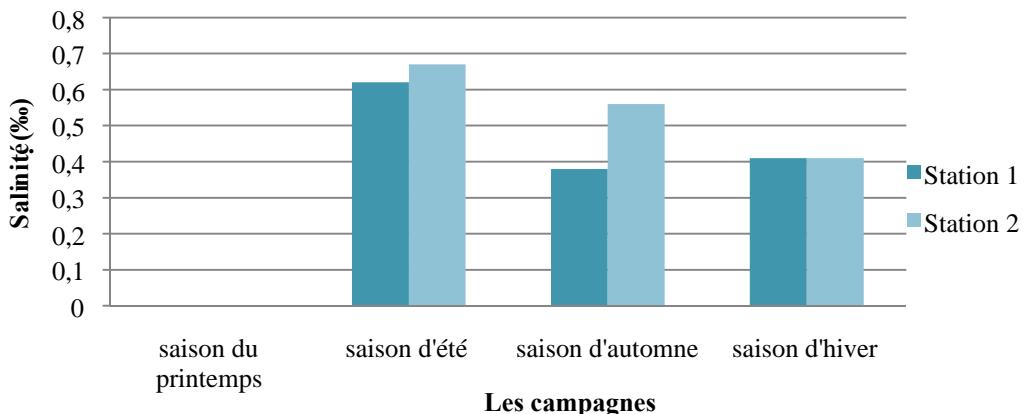


Figure IV.4. Variation de la salinité dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

e. Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs du pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. Les valeurs d'oxygène dissous à l'oued Saf-Saf durant l'année varient de 6,60 et 9,83 mg/l.

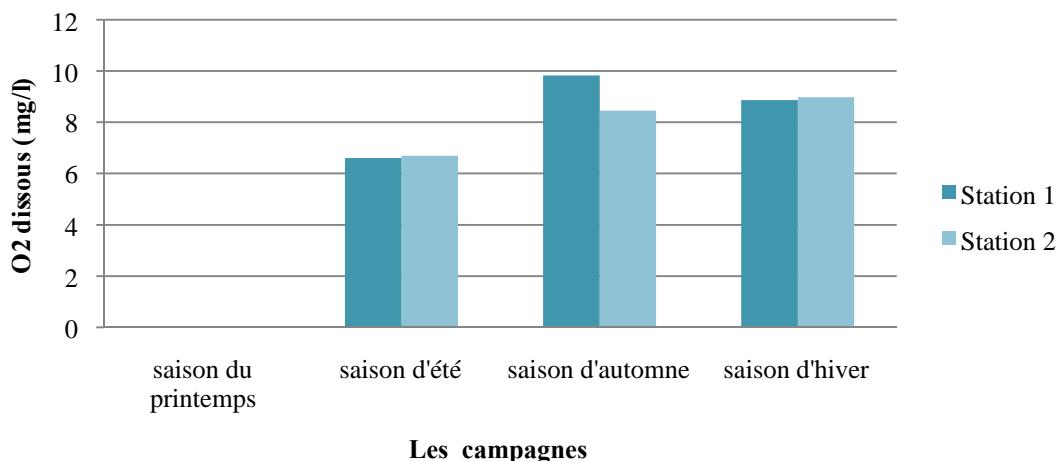


Figure IV.5. Concentrations de l'oxygène dissous dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

I.1.2. Analyses aux laboratoires

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-). Les métaux lourds en traces (Fe^{3+} , Mn^{2+}) ont fait l'objet d'analyse pour les quatre campagnes. Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier (NO_3^-) ainsi que les matières en suspension (MES), la turbidité, la demande biologique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO).

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de surface en amont de l'oued Saf-Saf durant les quatre campagnes de prélèvement sont présentés ci-dessous.

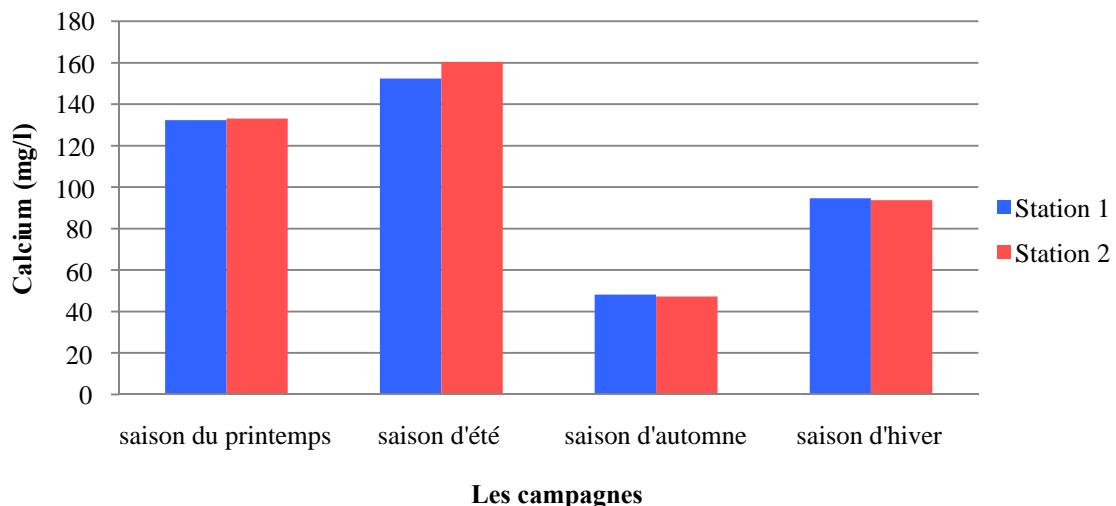
Tableau IV.2. Synthèse des résultats pour les quatre campagnes d'échantillonnage

Paramètres	Unités	1 ^{ère} campagne		2 ^{ème} campagne		3 ^{ème} campagne		4 ^{ème} campagne	
		(saison du printemps) - Mai 2012-		(saison d'été) - Août 2012-		(saison d'automne) - Novembre 2012-		(saison d'hiver) - Mars 2013-	
		Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
MES à 105°C	mg/l	Absence	Absence	Absence	Absence	194	188	Absence	Absence
Turbidité	N.T.U	1	0,9	0,85	0,83	11,4	10,8	0,49	0,52
Huiles	mg/	Absence	Absence	Absence	Absence	absence	absence	Absence	Absence
HC totaux	mg/l	2,08	1,91	0,016	0,009	11,5	13,91	0,01	0,009
DBO ₅	mg/l	10	10	0	0	20	60	1	10
DCO	mg/l	61	50	62,83	39,98	150,57	239,82	12,33	53,45
COT	mg/l	79,28	87,72	270	227	13,2	15,8	235	211
Sodium	mg/l	31,02	27,32	44,28	30,55	64,46	42,62	43,35	41,11
Potassium	mg/L	5,38	7,09	1,58	1,04	2,22	2,4	1,49	1,53
Calcium	mg/l	132,26	133,06	152,32	160,32	48,09	47,29	94,58	93,78
Magnésium	mg/l	45,68	43,74	10,692	12,15	14,58	14,09	28,69	29,64
Fer	mg/l	0,0816	0,0594	0,0864	0,0991	0,3804	0,33	0,0799	0,0805
Manganèse	mg/l	0,0784	0,0649	0,0564	0,0175	0,1099	0,1	0,02	0,0141
Nitrate	mg/l	2,56	3,21	<0,05*	<0,05*	4,76	1,45	2,215	1,772
Chlorure	mg/l	63,9	63,9	92,3	106,5	78,1	63,9	49,7	56,8
Sulfate	mg/l	308,66	303,72	382,78	386,44	141,57	150,62	135,39	140,38
Carbonate	mg/l	3,6	3,6	6	4,8	3,6	3,3	4,8	3,6

I.1.2.1. Éléments majeurs

a. Calcium (Ca^{2+})

Les concentrations enregistrées pour cet élément sont plutôt stables durant l'année avec une diminution en automne. Les concentrations sont importantes pendant l'année mais ne dépassent pas les valeurs indicatives algériennes d'eau potable parues dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

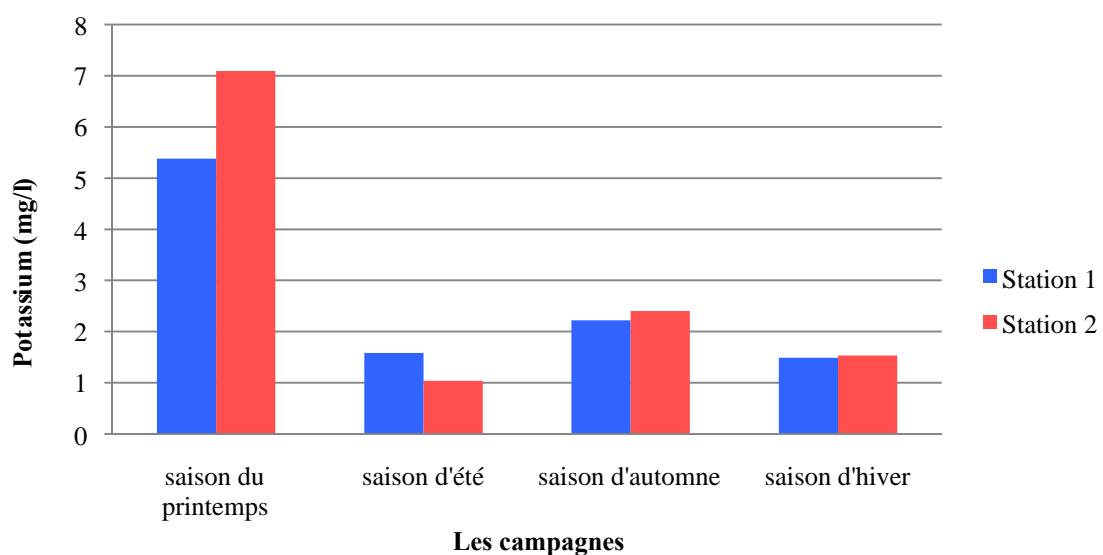


Les campagnes

Figure IV.6. Concentrations du calcium dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

b. Potassium (K^+)

Un pic est enregistré pour cet élément pendant la saison du printemps, mais sans atteindre des valeurs très élevées par rapport aux valeurs indicatives relatives à la qualité d'eau potable. La concentration de cet élément atteint des valeurs très faibles le reste de l'année.



Les campagnes

Figure IV.7. Concentrations du potassium dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

c. Sodium (Na^+)

Cet élément est plutôt stable pendant l'année avec une légère variation entre les saisons ; la plus forte concentration est enregistrée pendant la saison d'automne. Ces résultats restent très inférieurs aux valeurs indicatives algériennes d'eau portable.

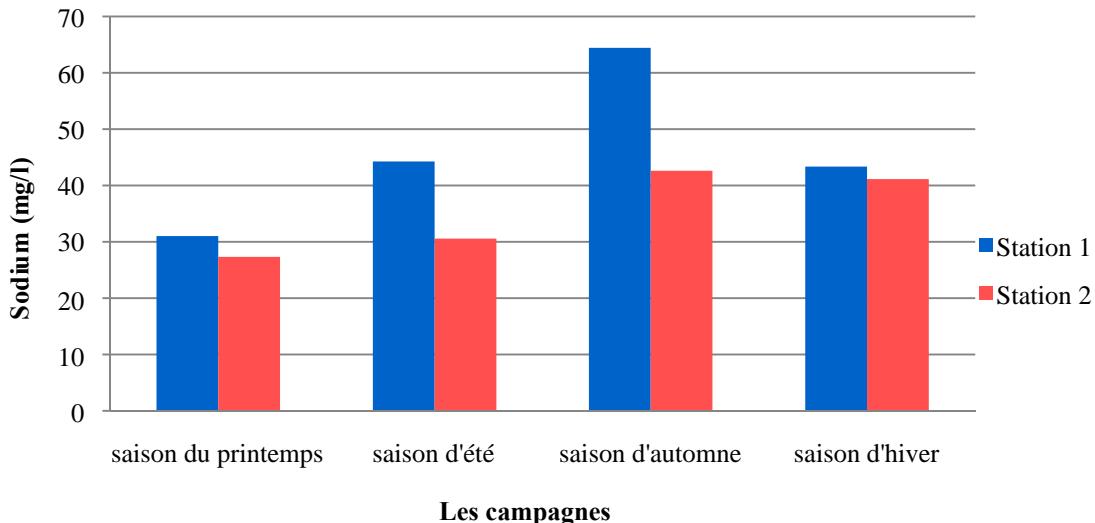


Figure IV.8. Concentrations du sodium dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

d. Magnésium (Mg^{++})

Sa concentration est variable dans le temps mais elle reste très faible avec une légère augmentation qui commence en hiver et diminue au fur et à mesure avec le temps pour atteindre sa plus faible concentration en été. Il n'existe pas de valeur indicative pour cet élément dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

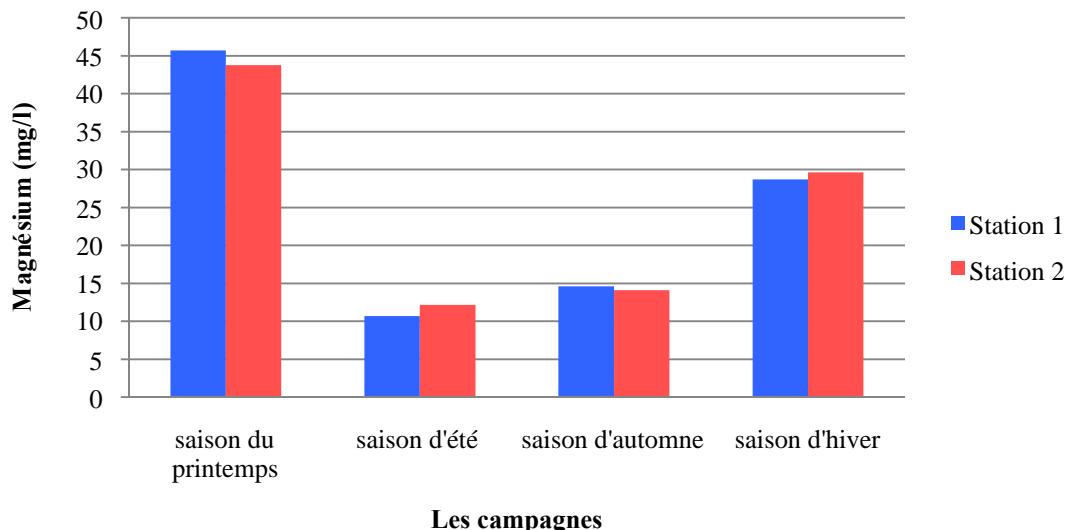


Figure IV.9. Concentrations du magnésium dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

e. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont en général stables toute l'année avec des valeurs stables qui ne dépassent pas les valeurs indicatives de la qualité d'eau potable.

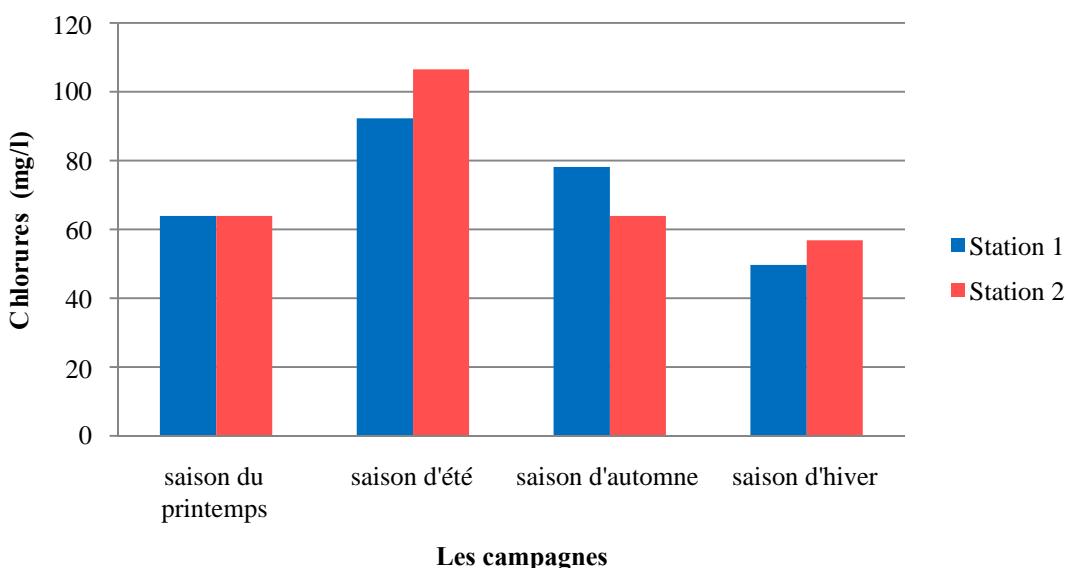


Figure IV.10. Concentrations des chlorures dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

f. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont présents dans l'eau de l'oued Saf-Saf avec des fortes concentrations durant les saisons printemps et été, en atteignant la valeur indicative relative à la qualité d'eau potable pendant la saison d'été.

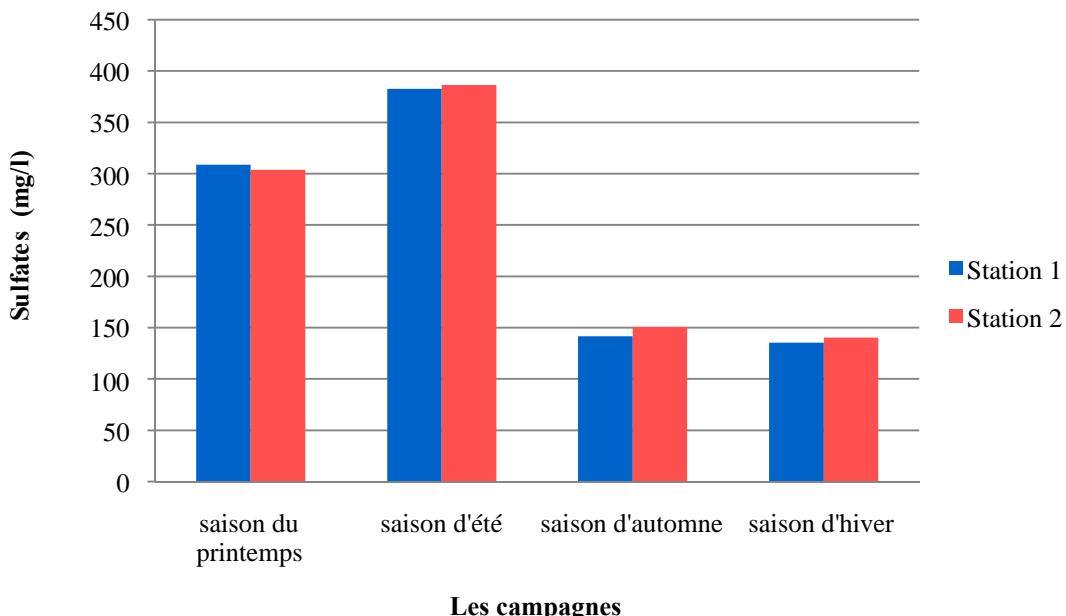


Figure IV.11. Concentrations des sulfates dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

g. Bicarbonates (CO_3^{2-})

La concentration des bicarbonates est plus ou moins stable durant l'année, elle arrive à 6 mg/l en été. Il n'existe pas de valeur indicative pour cet élément dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

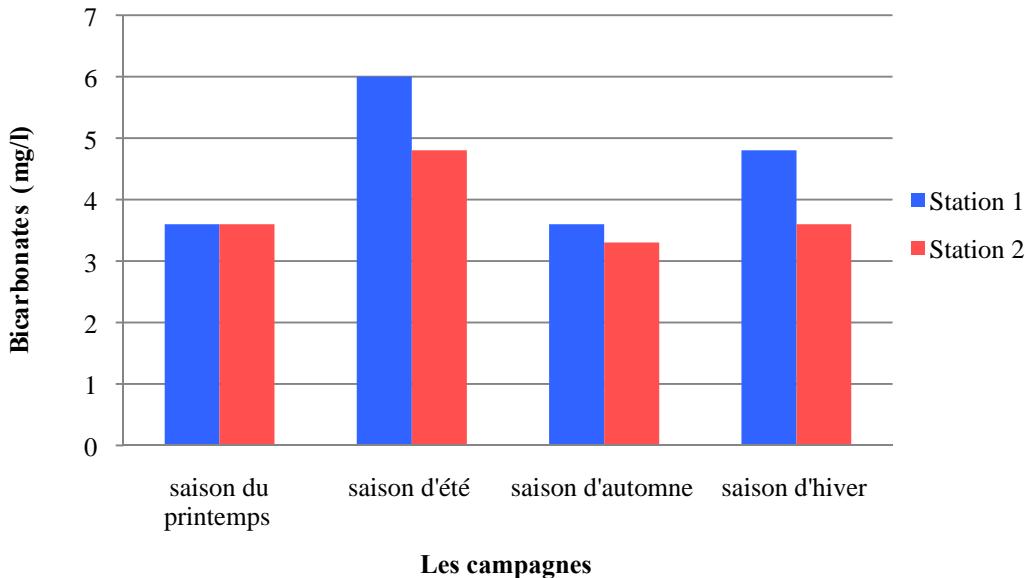


Figure IV.12. Concentrations des bicarbonates dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

I.1.2.2. Métaux lourds et Nitrates

a. Fer (Fe^{2+})

La plus forte concentration pour cet élément est enregistrée durant l'automne et dépasse la valeur indicative relative à la qualité d'eau potable; sa concentration diminue et se stabilise pendant le reste de l'année.

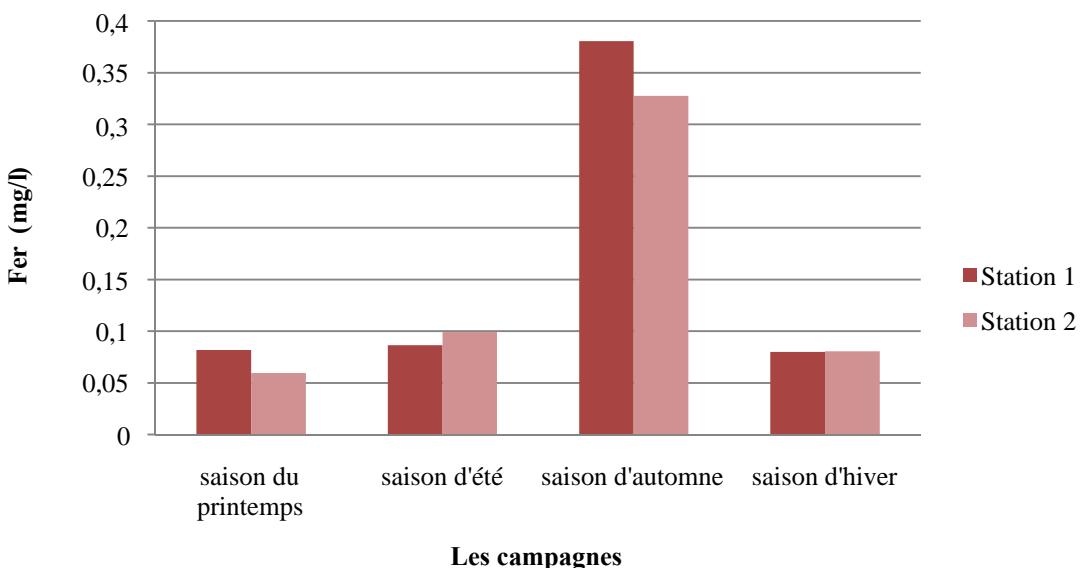


Figure IV.13. Concentrations du fer dans les eaux de surface en amont du bassin Saf-Saf.

b. Manganèse (Mn^{2+})

La concentration du manganèse dans l'eau de l'oued est aussi variable avec le temps, la plus forte concentration est enregistrée en automne. Les concentrations de cet élément ont dépassé les valeurs indicatives relatives à la qualité d'eau potable pour presque tous les échantillons sauf pour celle enregistrée en hiver.

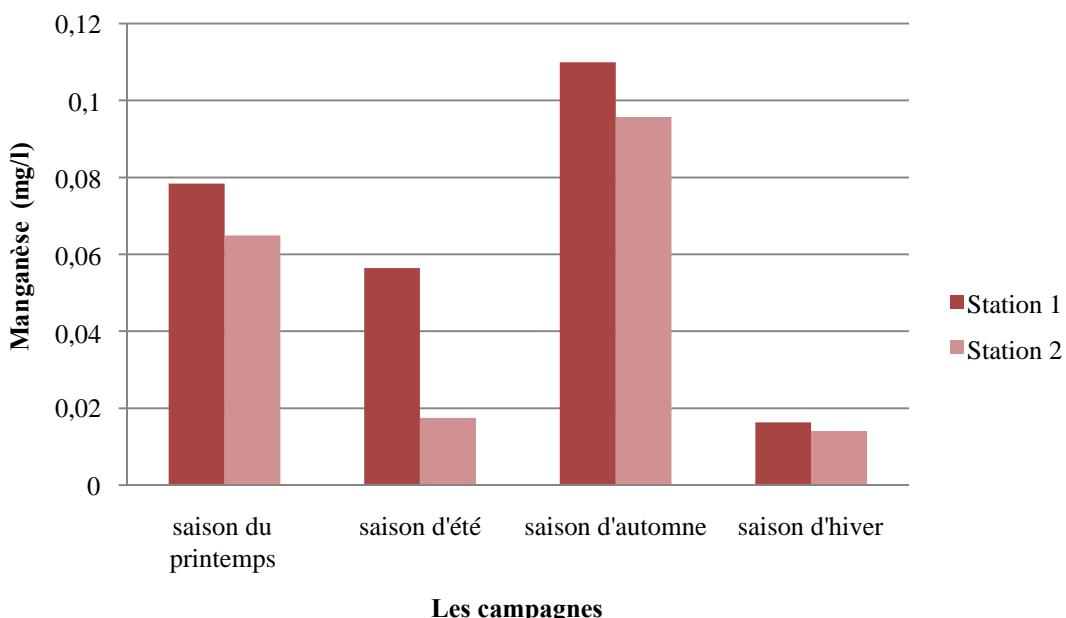


Figure IV.14. Concentrations du manganèse dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

c. Nitrates (NO_3^-)

Les concentrations pour cet élément donnent une information sur l'oxydation de la matière organique.

Les teneurs en nitrate varient de 0,05 mg/l à 4,76 mg/l durant toute l'année, ces concentrations restent faible et ne dépassent pas la valeur limite pour les eaux potable de 50 mg/l. Ces faibles valeurs indiquent que l'eau de l'oued est bien oxygénée et la dégradation de la matière organique est plus ou moins complète.

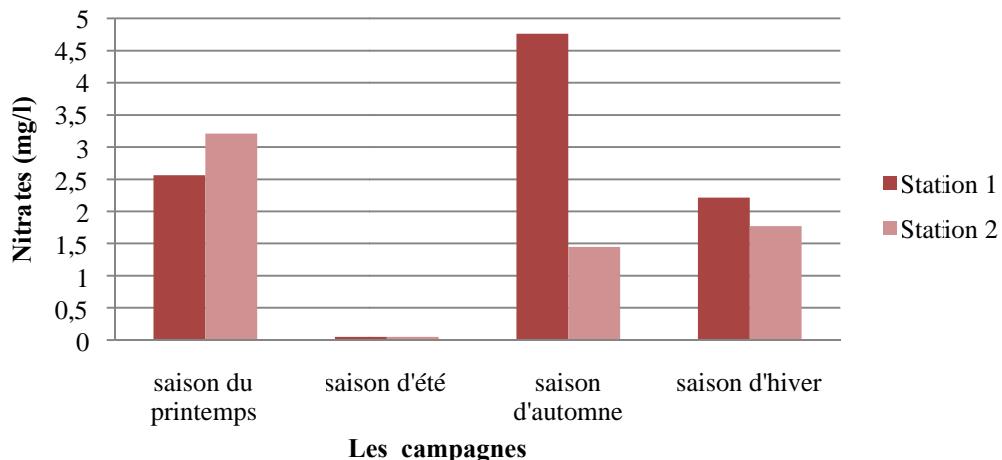


Figure IV.15. Concentrations des nitrates dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

I.1.2.3. Analyses physico-chimiques

a. Turbidité

Les concentrations sont au dessous de la valeur indicative toute l'année sauf au automne où elle atteint des valeurs très élevées (jusqu'à 10 fois sa valeur moyenne pour les autres saisons).

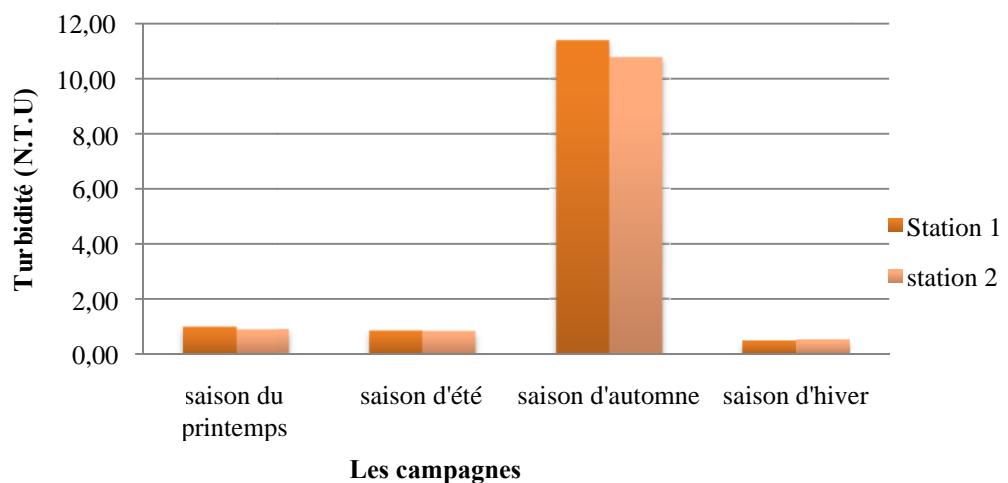


Figure IV.16. Variation des turbidités dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

b. Demande biologique et chimique en Oxygène (DBO₅ et DCO)

Le résultat moyen était de 37,16 mg/l, c'est une valeur forte pour une eau destinée à être potable et un traitement approprié est nécessaire.

On retient que les concentrations de la demande biologique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) sont considérées comme élevées en général avec des pics pendant l'automne. Ce qui indique une forte pollution au niveau de l'oued.

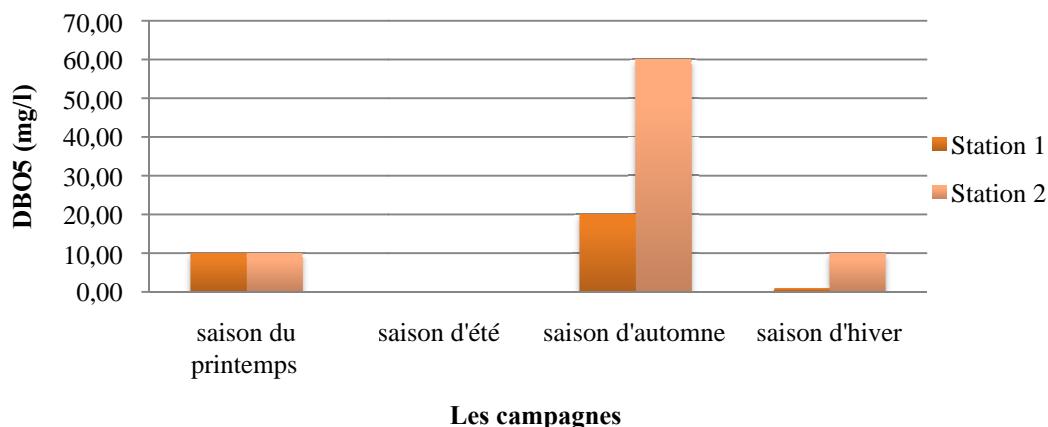


Figure IV.17. Concentrations de la DBO_5 dans les eaux de surface en amont du bassin Saf-Saf.

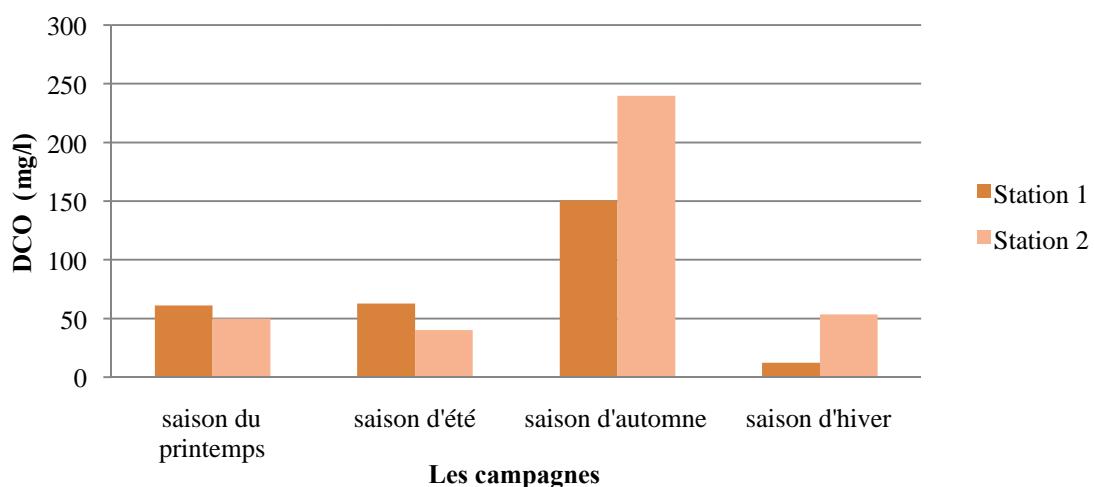


Figure IV.18. Concentrations de la DCO dans les eaux de surface en amont du bassin Saf-Saf.

c. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont absentes pendant l'année, sauf un pic en automne qui pourrait être du à la remise en suspension des matières déposées sur le lit de l'oued.

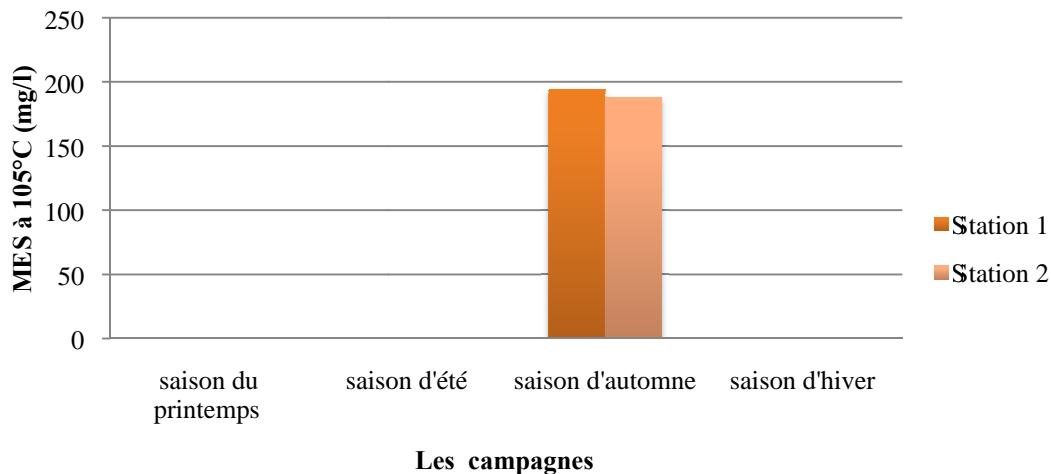


Figure IV.19. Variation des M.E.S dans les eaux de surface en amont du Saf-Saf.

I.1.2.4. Analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau sont très nombreux et très variés.

Tableau IV.3. Résultats des analyses bactériologiques pour les quatre campagnes d'échantillonnage

Paramètres	Unités	1 ^{ère} campagne		2 ^{ème} campagne		3 ^{ème} campagne		4 ^{ème} campagne	
		(saison du printemps) - Mai 2012 -		(saison d'été) - Août 2012 -		(saison d'automne) - Novembre 2012 -		(saison d'hiver) - Mars 2013 -	
		Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
Germes totaux à 22°C	UFC/ml	150	160	160	140	0,00	0,00	0,00	0,00
Germes totaux à 37°C	UFC/ml	200	180	190	200	>100	>100	>100	>100
coliformes totaux à 37°C	NPP/10 0 ml	>240	>240	>240	>240	>240	>240	>240	>240
coliformes fécaux à 44°C	NPP/10 ml	>240	>240	>240	>240	>240	>240	>240	>240
Stréptocoques Fécaux 37°C	NPP/50 ml	Abs	Abs	abs	Abs	>240	>240	>150	>150
Clostridium Sulfito-réducteurs 46°C	NPP/ml	Abs	Abs	abs	Abs	abs	abs	Abs	Abs
Clostridium Sulfito-réducteurs 46°C	NPP/20 ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

a. Germes totaux

Leur présence dans l'eau témoigne de l'existence d'une contamination fécale.

A 22 °C : dans notre cas, la présence des germes totaux à 22°C a été enregistrée durant les saisons de printemps et été.

A 37°C : par contre pour les germes totaux à 37°C, leur présence a été enregistrée durant toute l'année.

b. Coliformes totaux à 37 °C et fécaux à 44°C

Les coliformes ont été présents durant toute l'année dans l'eau d'oued Saf-Saf avec une concentration supérieur à 240 NPP/100ml.

c. Streptocoques fécaux 37°C

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine, dans notre cas l'apparition des streptocoques a été enregistrée durant l'automne et l'hiver.

d. Clostridium sulfito-réducteurs 46°C

Les analyses ont montré une absence totale des clostridium sulfito-réducteurs 46°C durant toute l'année.

Les analyses microbiologiques ont mis en évidence une contamination bactérienne moyenne à importante qui peut être d'origine humaine, agricole ou animale. Cette contamination peut être due aux rejets des eaux domestiques des villageois ainsi que la digestion des animaux d'élevage installés à proximité de l'oued Saf-Saf. Selon la classification Algérienne des eaux de surfaces, les analyses enregistrées classent ces eaux de surfaces de mauvaise qualité bactériologique. Cette eau ne pourrait être destinée à la consommation sans traitement préalable pour éliminer toute pollution bactériologique.

I.1.3. Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats (Tab. IV.4), on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stabler, Schöoller- Berkaloff, Piper et Stiff.

Tableau IV.4. Synthèse des analyses physico-chimiques des eaux de surface en amont du bassin (2012-2013).

Nom	T (°C)	pH	Cond (μs/cm)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Salin (mg/l)	O ₂ dissou (‰)
S1C1	24,8	/	/	63,9	308,66	3,6	31,02	5,38	132,26	45,68	2,56	/	/
S2C1	24,5	/	/	63,9	303,72	3,6	27,32	7,09	133,06	43,74	3,21	/	/
S1C2	26,6	7,25	13	92,3	382,78	6,0	44,28	1,58	152,32	10,692	0,05	0,62	6,6
S2C2	28,4	7,61	1446	106,5	386,44	4,8	30,55	1,04	160,32	12,15	0,05	0,67	6,69
S1C3	17,7	7,53	646	78,1	141,57	3,6	64,46	2,22	48,09	14,58	4,76	0,38	9,83
S2C3	17,2	7,48	985	63,9	150,62	3,3	42,62	2,4	47,29	14,09	1,45	0,56	8,45
S1C4	21,7	7,5	784	49,7	135,39	4,8	43,35	1,49	94,58	28,69	2,215	0,41	8,86
S2C4	21,1	7,39	775	56,8	140,38	3,6	41,11	1,53	93,78	29,64	1,772	0,41	8,98

a. Diagramme de Stabler

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour chaque année. (Tab.IV.5).

Tableau IV.5. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques

Station	Formule ionique	Faciès chimique
S1C1	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté-calcique
S2C1	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté-calcique
S1C2	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté-calcique
S2C2	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté-calcique
S1C3	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté-sodique
S2C3	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté-calcique
S1C4	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté-calcique
S2C4	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rCO_3^- > rNO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté-calcique

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux de surface en amont du l'oued Saf-Saf révèle un faciès dominant de type sulfaté-calcique 87,5%, à l'exception des échantillons de la station 1 durant la campagne 3 (S1C3), on a un faciès sulfaté-sodique. On constate donc que pour les 8 échantillons analysés, le faciès dominant est de type sulfaté-calcique (Fig. IV.20).

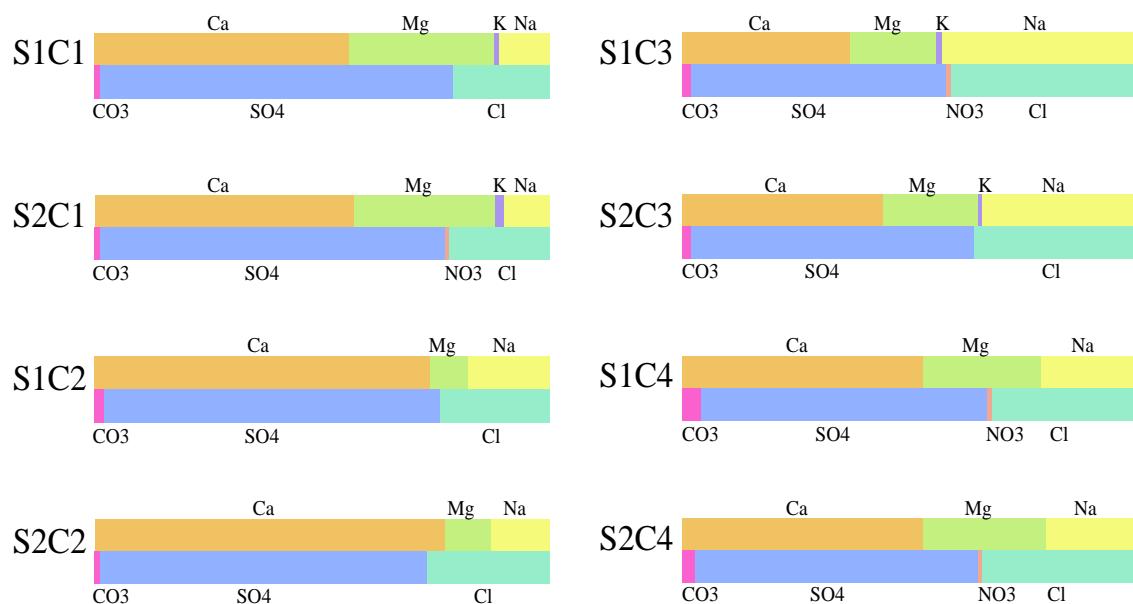


Figure IV.20. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Stabler (2012-2013).

b. Diagramme de Schoëller-Berkaloff

L'interprétation des diagrammes de Schoëller-Berkaloff montre que les eaux de surface en amont du bassin sont dominées par le faciès chimiques sulfaté-calcique, qui apparaît dans la figure (IV.21).

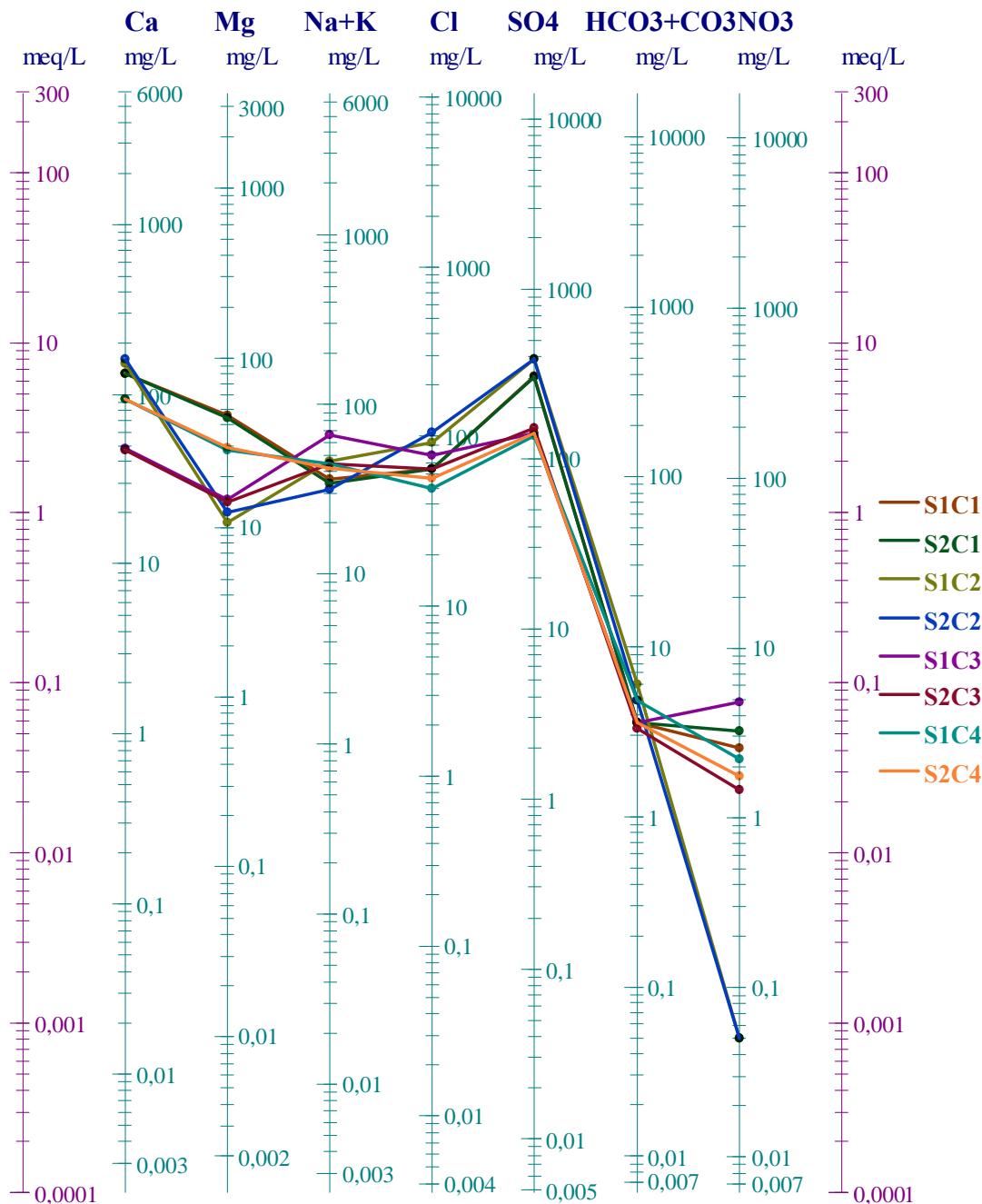


Figure IV.21. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff (2012-2013).

c. Diagramme de Piper

A partir du diagramme de Piper des eaux de surface en amont du bassin (Fig. IV.22), les points figuratifs des analyses situent les cations dans le domaine calcique (87%) et accessoirement dans le domaine sodique (13%). Les anions sont plutôt figurés à (100%) dans le domaine Sulfaté. Ainsi, nous observons un faciès chimiques dominant Sulfaté - calcique

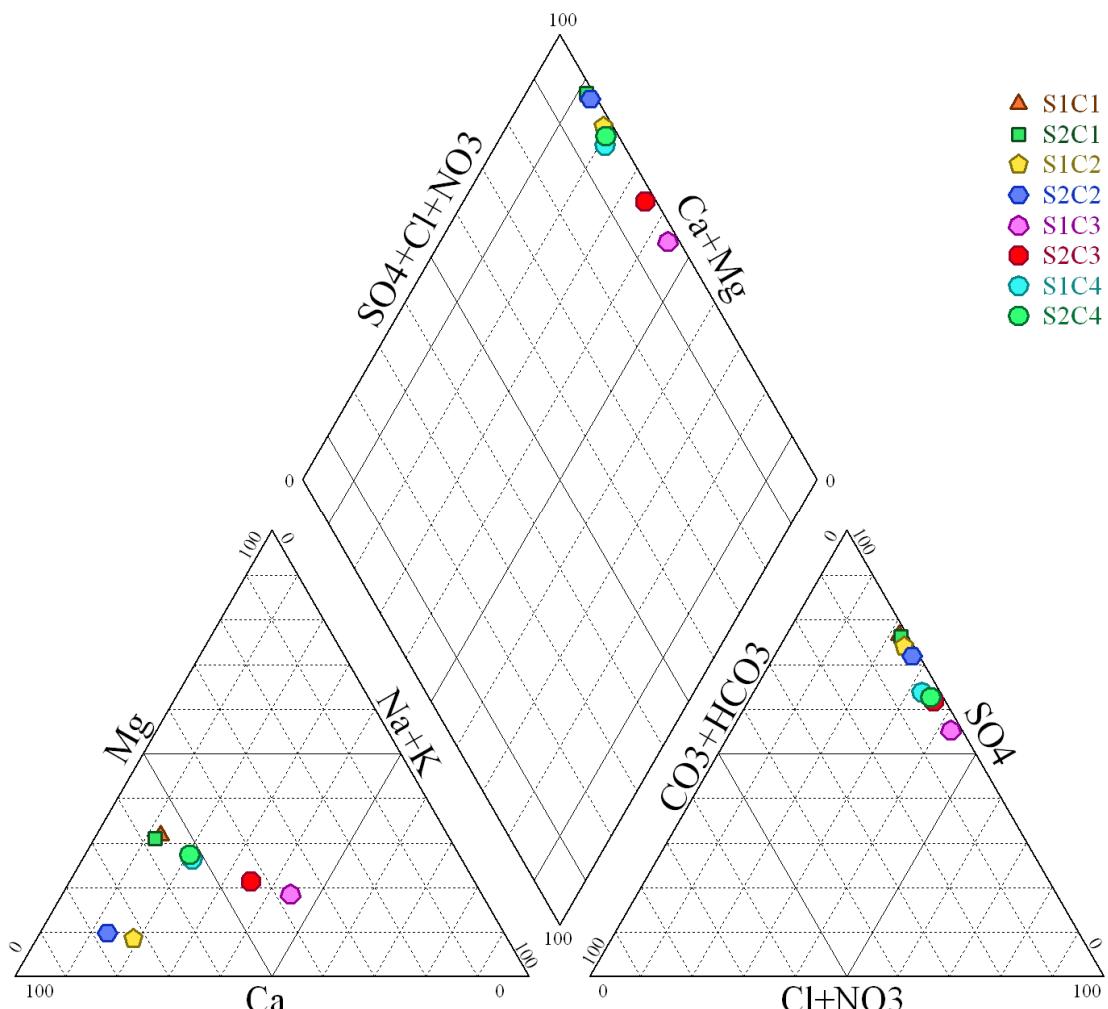


Figure IV.22. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Piper (2012-2013).

d. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le tableau (IV.5). En plus, cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

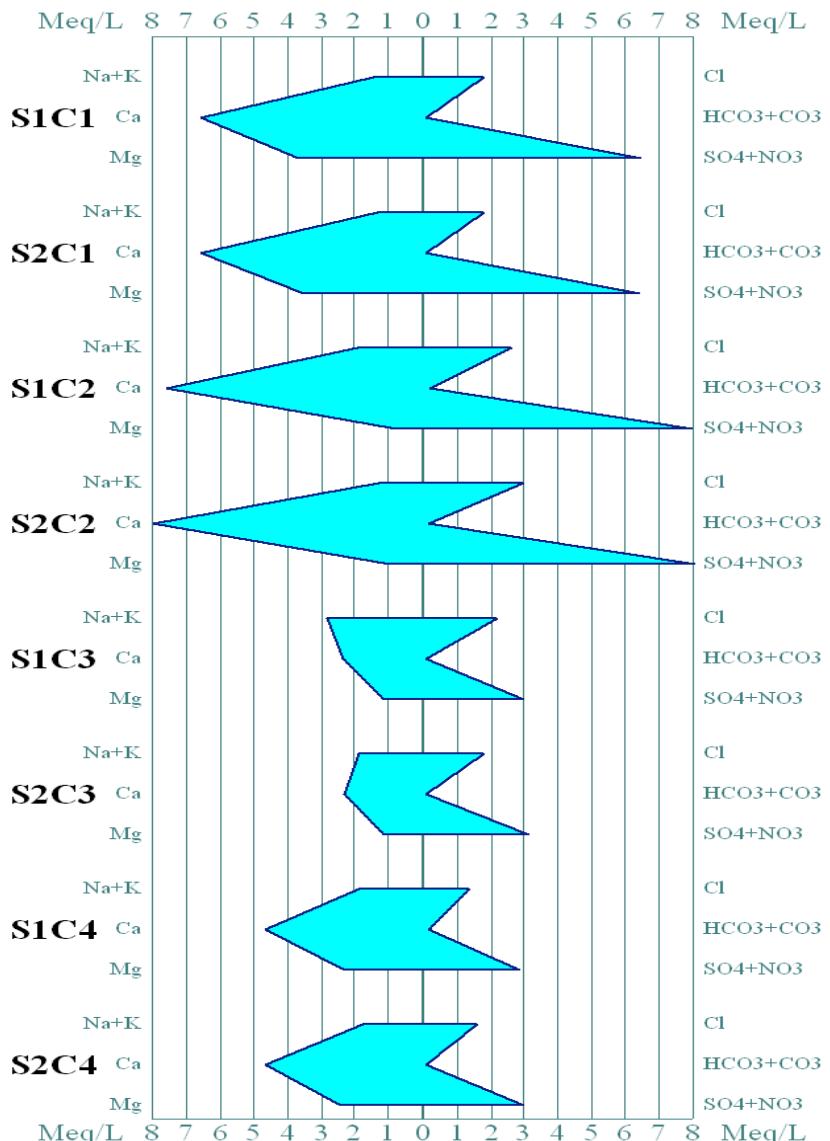


Figure IV.23. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de surface en amont du bassin sur le diagramme de Stiff (2012-2013).

I.2. Qualité des eaux du barrage de Zardézas

Pour avoir une idée sur la variation temporelle de la qualité des eaux de surface, on a jugé utile d'étudier l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Zardézas. On a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de Constantine. Les données ont porté sur une période de quatorze (14) années, s'étendant de 2000 à 2013. (Tab. IV.6).

Les concentrations annuelles retenues dans notre étude, représentent les moyennes des valeurs mensuelles enregistrées durant une année (douze prélèvements par année).

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques a pour but de déterminer les différents faciès chimiques des différentes analyses et d'effectuer des comparaisons temporelles des différents paramètres de potabilité des eaux du barrage.

Tableau IV.6. Résultats des analyses physico-chimiques du barrage de Zardézas (2000-2013).

Années	pH	CE (μ S/cm)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)
2000	7,51	675,00	81,83	14,25	38,08	2,92	49,50	138,83	177,42	12,42
2001	8,04	591,67	42,83	31,25	33,75	2,17	32,08	127,33	161,25	9,92
2002	8,45	536,67	31,50	31,88	33,33	2,38	32,00	101,87	142,27	7,42
2003	7,48	608,33	55,83	26,00	30,33	2,00	36,67	124,17	153,50	9,97
2004	7,94	950,00	76,67	38,67	65,17	3,92	90,00	201,80	210,33	8,83
2005	7,83	690,00	61,17	27,75	38,33	3,17	52,50	149,33	158,67	4,83
2006	7,85	748,33	72,22	25,75	46,51	2,75	64,17	159,00	166,28	7,58
2007	7,84	625,61	78,97	20,00	33,03	3,75	45,42	114,42	157,56	4,17
2008	7,81	655,89	71,25	24,33	34,06	1,08	33,75	163,50	151,43	7,92
2009	7,78	665,83	76,46	21,33	28,89	2,08	27,92	161,50	168,69	4,15
2010	7,81	612,56	74,48	20,92	31,58	2,50	40,00	138,33	175,45	3,57
2011	7,69	507,49	81,90	21,58	37,50	2,33	42,08	173,33	161,83	2,56
2012	7,73	678,33	91,02	23,00	42,17	2,33	52,08	203,33	181,98	7,33
2013	7,68	706,67	82,33	20,92	35,92	2,00	45,42	170,17	157,08	2,67

Source. ANRH, 2014

I.2.1. Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stabler, Stiff, Piper et Schoeller-Berkaloff.

a. Diagramme de Stabler

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour chaque point de prélèvements. (Tab.IV.7).

Tableau IV.7. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques

Années	Formule ionique	Faciès chimique
2000	$r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$	Bicarbonaté-calcique
2001	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-magnésien
2002	$r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Bicarbonaté-magnésien
2003	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2004	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2005	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2006	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2007	$r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2008	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2009	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2010	$r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$	Bicarbonaté-calcique
2011	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2012	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique
2013	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{NO}_3^- - r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+$	Sulfaté-calcique

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux du barrage de Zardézas révèle un faciès dominant de type sulfaté-calcique à magnésien représentant 80% (2003 à 2009 et de 2011 à 2013). Le second est de type bicarbonaté-calcique à magnésien correspond à 20%, 2000, 2002 et 2010).

On constate donc durant les dix dernières années (2003 à 2013), le faciès dominant est de type sulfaté-calcique (Fig. IV.24).

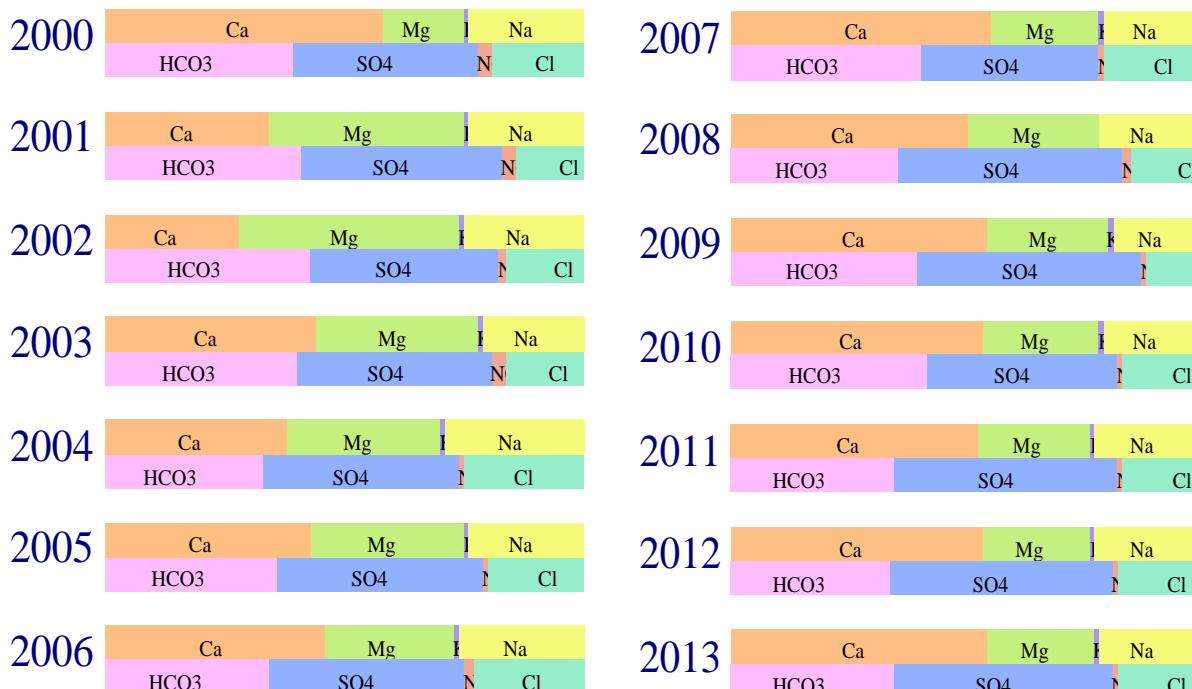


Figure IV.24. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Stabler (2000-2013).

b. Diagramme de Schoëller-Berkaloff

L'interprétation des diagrammes de Schoëller-Berkaloff montre que les eaux du barrage sont classées en deux faciès chimiques dominants ; sulfaté-calcique et bicarbonaté-calcique à magnésien, qui apparaissent dans la figure (IV.25).

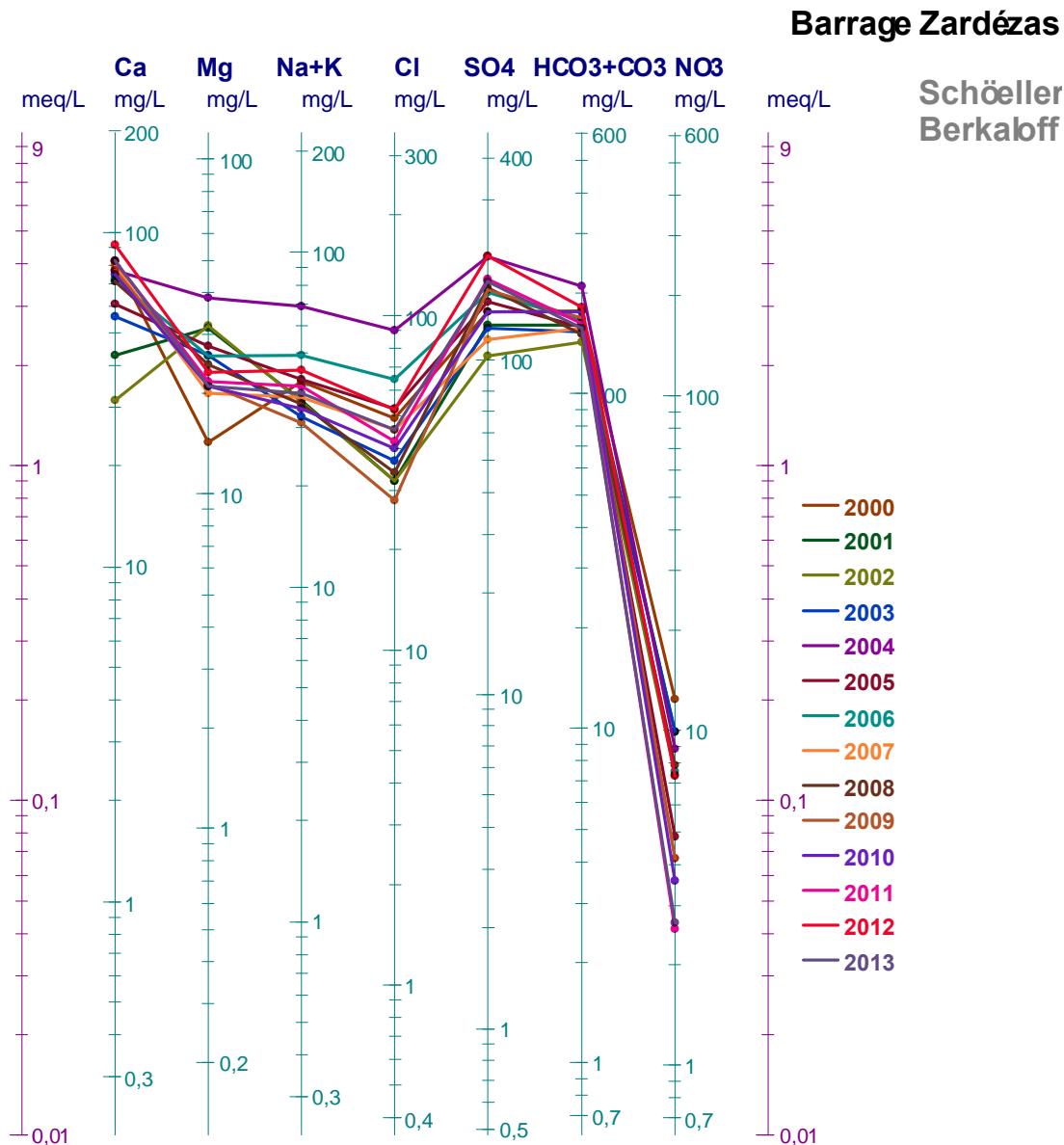


Figure IV.25. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas (2000-2013) sur le diagramme de Schöeller- Berkaloff.

c. Diagramme de Piper

A partir du diagramme de Piper des eaux du barrage de Zardézas (Fig. IV.26), les points figuratifs des analyses situent les cations dans le domaine calcique (85%) et accessoirement dans le domaine magnésien (15%). Les anions sont plutôt figurés à (71%) dans le domaine Sulfaté et accessoirement dans le domaine bicarbonaté (29%). Ainsi, nous observons deux principaux faciès chimiques :

- Sulfaté - calcique

- Bicarbonaté - calcique.

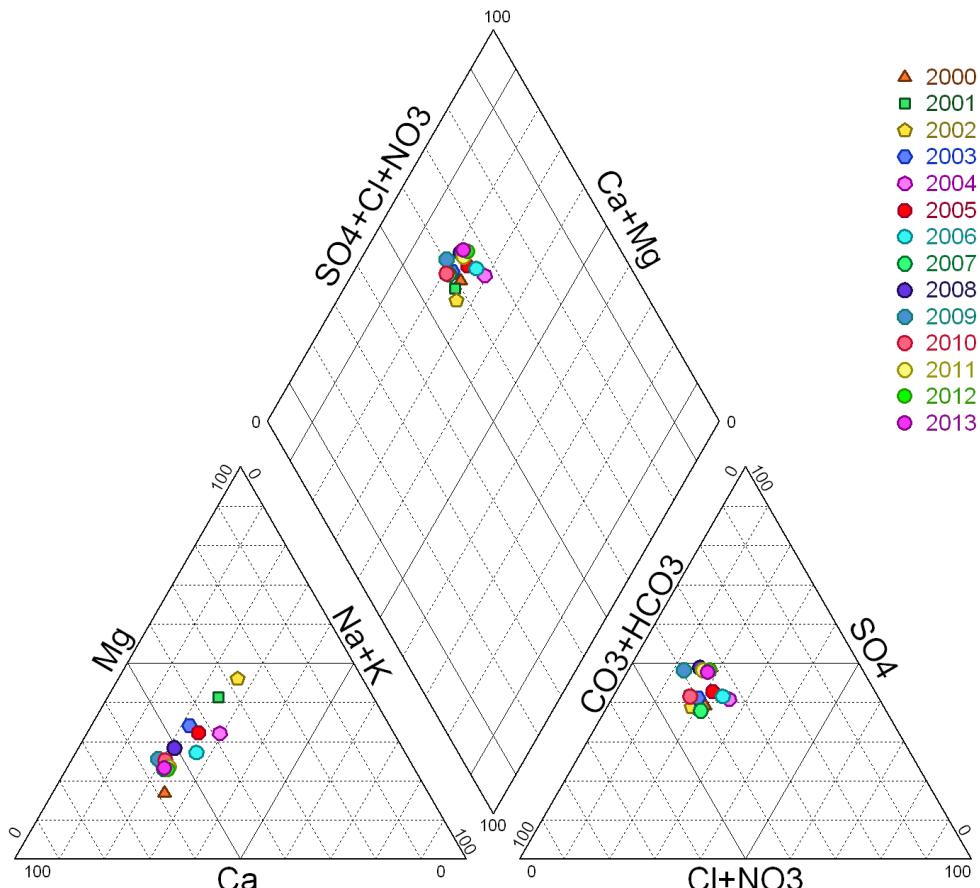


Figure IV.26. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas (2000-2013) sur le diagramme de Piper.

d. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le tableau (IV.7) En plus, cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

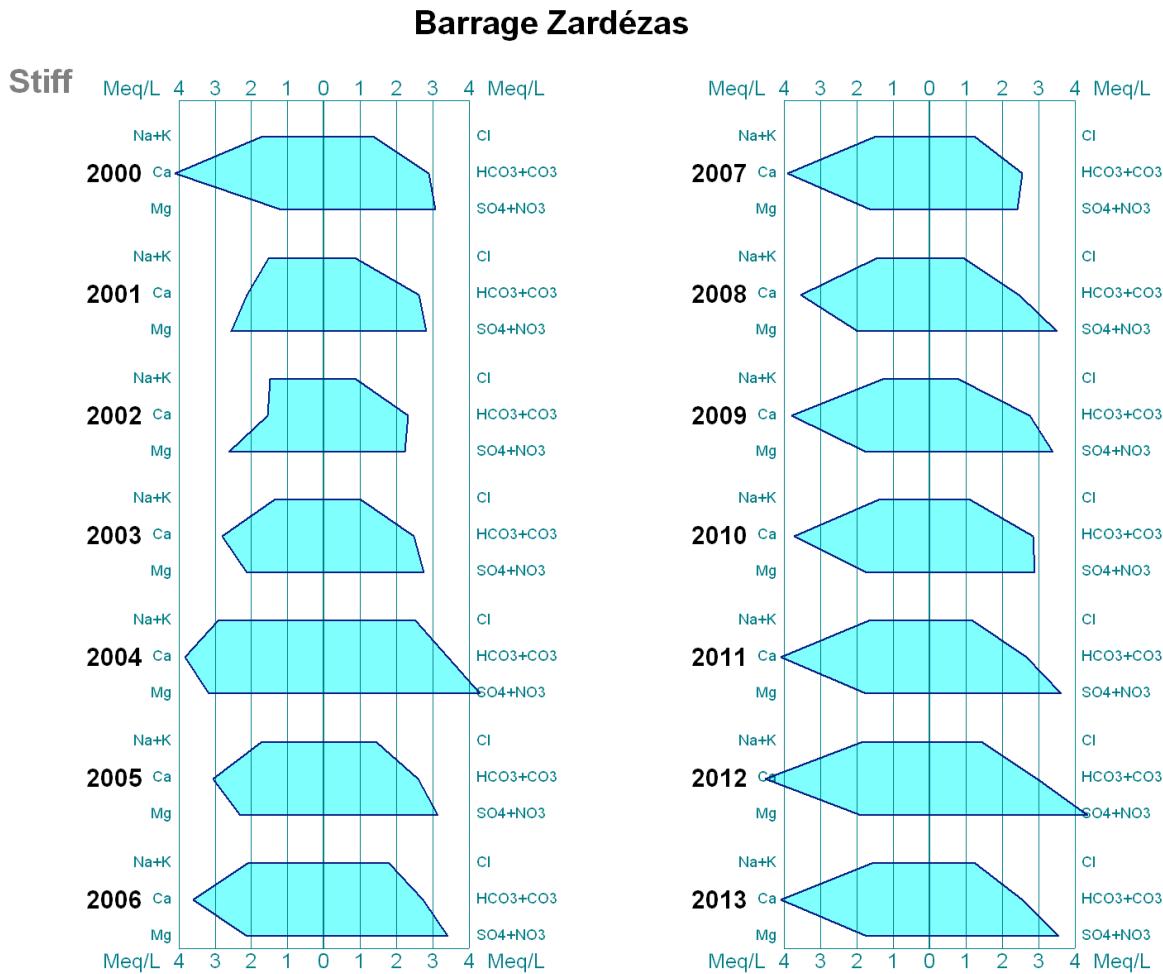


Figure IV.27. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux du barrage de Zardézas (2000-2013) sur le diagramme de Stiff.

I.2.2. Aptitude des eaux à l'irrigation

Les eaux du barrage sont destinées aussi à l'irrigation, c'est pour cela que nous sommes obligés de classer ces eaux, en utilisant le diagramme de Wilcox.

Tableau IV.8. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode du S.A.R) du barrage de Zardézas (2000-2013).

Degré	Qualité	Classe	Années	Etat d'utilisation
2 ^{eme}	Bonne	C ₂ -S ₁	2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013.	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.
3 ^{eme}	Admissible	C ₃ -S ₁	2004	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Sur le diagramme de Wilcox (Fig. IV.28), on peut distinguer les classes des eaux étudiées pour les quatorze années, les résultats sont reportés dans le tableau IV.8. Pour les années allant de 2000 à 2003, et de 2005 à 2013, les conductivités électriques varient entre 250 et 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ceci explique pourquoi les eaux figurent dans la classe bonne qualité. Contrairement à l'année 2004 où la conductivité dépasse les 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (950 $\mu\text{S}/\text{cm}$), les eaux sont donc de qualité admissible.

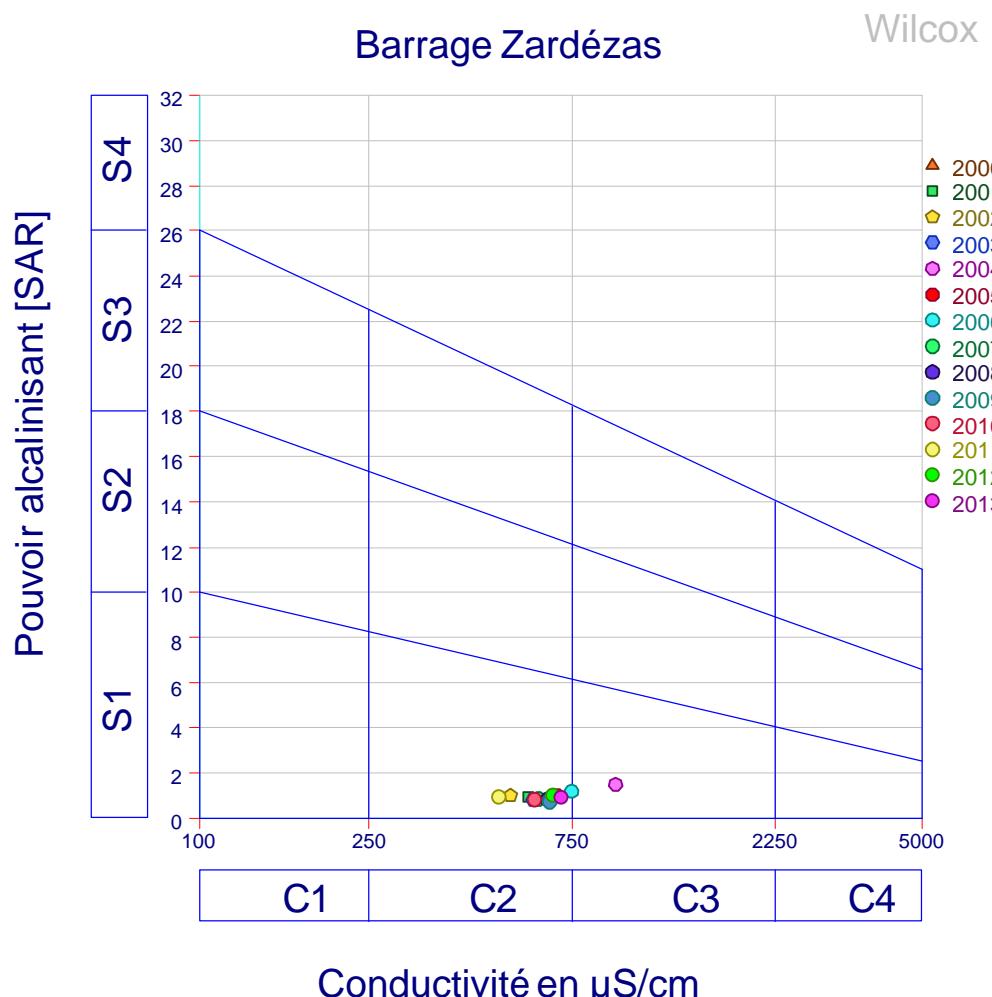


Figure IV.28. Représentation graphique des eaux du barrage de Zardézas sur le diagramme de Wilcox (2000-2013).

I.2.3. Normes de potabilité des éléments majeurs

Dans le cadre de la surveillance de la potabilité des eaux du barrage de Zardézas, des analyses de routines ont été effectuées par l'ANRH. Le contrôle portait sur les éléments majeurs. Les résultats ont révélé des eaux de bonne potabilité et ne sont pas présentent pas de danger pour les habitants.

- *Calcium*

Le calcium n'a pas d'effet nocif sur la santé de l'individu, car la quantité susceptible d'être ingérée quotidiennement sous forme des besoins est inférieure à celle nécessaire pour l'organisme. En effet l'O.M.S impose 140 mg/l comme teneur maximal. Les eaux dépassant les 200 mg/l présentent un sérieux problème pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

■ *Magnésium*

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance de l'organisme, au-delà d'une certaine concentration il offre un goût désagréable et provoque des troubles chez les enfants, l'O.M.S donne 50 mg/l comme concentration maximale admissible.

■ *Sodium*

Le sodium présente un danger pour la santé, il provoque certaines maladies telles que l'hypertension et les maladies du cœur qui nécessitent des teneurs faibles. Les teneurs élevées offrent à l'eau un goût désagréable.

■ *Potassium*

Présent dans l'eau naturelle, ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l, donc il n'a pas de problèmes pour la santé.

■ *Chlorures*

Les chlorures donnent un goût désagréable et pose le problème de corrosion et aussi pour les personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales. La norme donnée par l'O.M.S et de 250 mg/l.

■ *Sulfates*

Les sulfates provoquent des troubles intestinaux, l'O.M.S fixe à 250 mg/l la teneur maximale admissible.

■ *Bicarbonates*

La présence des bicarbonates dans l'eau de boisson ne provoque aucun effet nocif sur la santé. La recommandation pour la quantité de l'eau potable ne comporte pas de norme relative (l'OMS fixe le TAC à 500mg/l).

Tableau IV.9. Potabilité des eaux pour les éléments majeurs du barrage de Zardézas (2000-2013).

Eléments chimique	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Potabilité des eaux
Barrage Zardézas	Normes de potabilité (O.M.S)	100	50	200	200	12	500	250
	2000	81,83	14,25	49,50	38,08	2,92	177,42	138,83
	2001	42,83	31,25	32,08	33,75	2,17	161,25	127,33
	2002	31,50	31,88	32,00	33,33	2,38	142,27	101,87
	2003	55,83	26,00	36,67	30,33	2,00	153,50	124,17
	2004	76,67	38,67	90,00	65,17	3,92	210,33	201,80
	2005	61,17	27,75	52,50	38,33	3,17	158,67	149,33
	2006	72,22	25,75	64,17	46,51	2,75	166,28	159,00
	2007	78,97	20,00	45,42	33,03	3,75	157,56	114,42
	2008	71,25	24,33	33,75	34,06	1,08	151,43	163,50
	2009	76,46	21,33	27,92	28,89	2,08	168,69	161,50
	2010	74,48	20,92	40,00	31,58	2,50	175,45	138,33
	2011	81,90	21,58	42,08	37,50	2,33	161,83	173,33
	2012	91,02	23,00	52,08	42,17	2,33	181,98	203,33
	2013	82,33	20,92	45,42	35,92	2,00	157,08	170,17

Bonne

Conclusion

Dans l'ensemble, les eaux du barrage de Zardézas ont une bonne qualité vis-à-vis la potabilité. L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux du barrage révèle deux faciès chimiques dominants, le premier est de type sulfaté-calcique. Le second est bicarbonaté-calcique à magnésien.

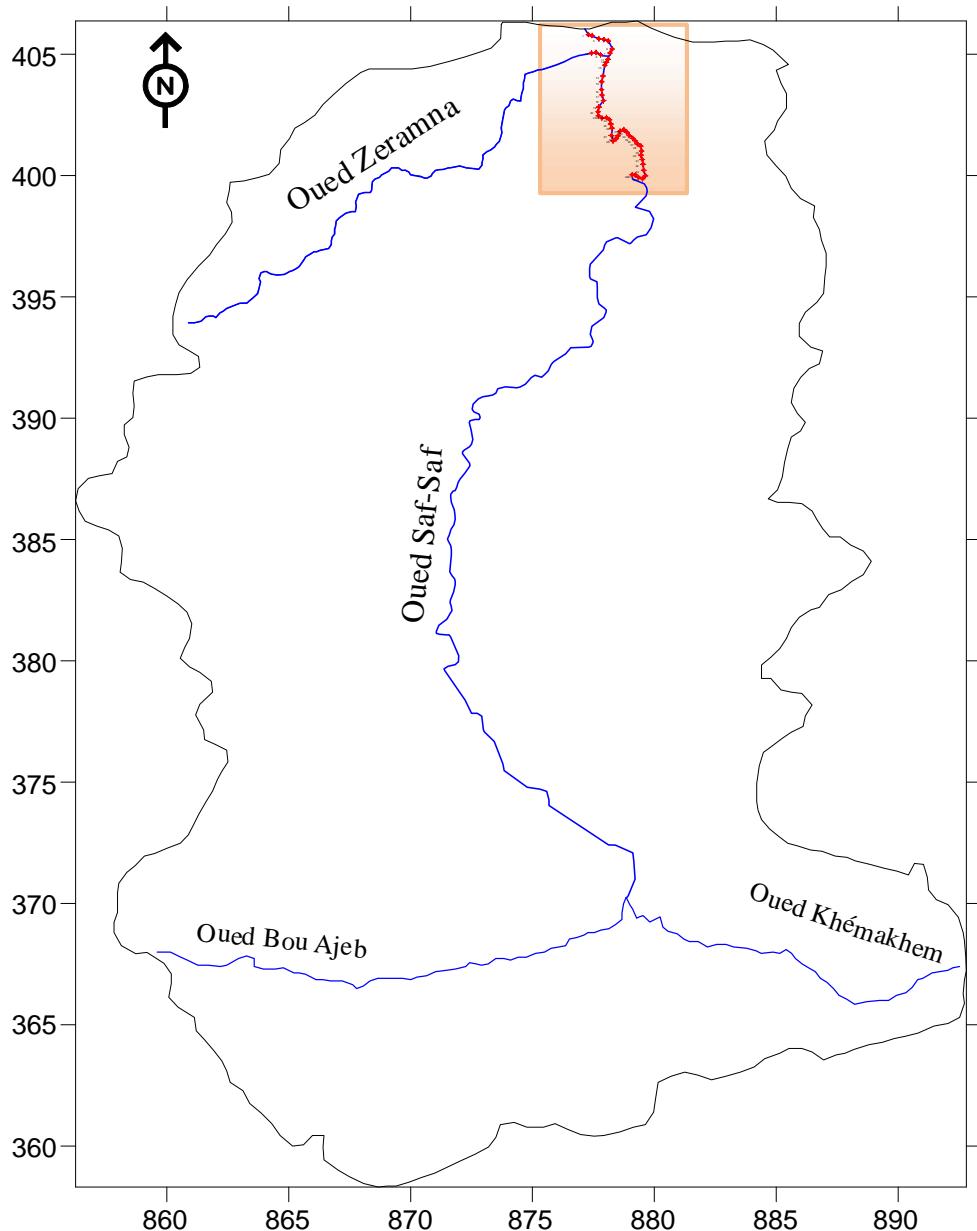
En tenant compte des considérations du S.A.R en fonction de la conductivité, les eaux du barrage ont une bonne qualité pour l'irrigation.

I.3. Chimie des eaux de surface en aval du bassin

Dans le but de bien appréhender l'évolution de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf on a pris en considération les résultats des analyses chimiques de quarante huit (48) échantillons effectuées par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de Constantine. Les analyses ont été effectuées en mai 2009.

Tableau IV.10. Désignation des points de prélèvements.

Points	X(m)	Y(m)	Points	X(m)	Y(m)	Points	X(m)	Y(m)
1	877,299	405,811	17	877,853	403,324	33	878,872	401,786
2	877,442	405,771	18	877,912	403,091	34	878,970	401,647
3	877,719	405,643	19	877,724	402,829	35	879,114	401,534
4	877,927	405,608	20	877,690	402,631	36	879,198	401,449
5	878,110	405,554	21	877,705	402,468	37	879,302	401,311
6	878,273	405,222	22	877,853	402,374	38	879,440	401,217
7	878,184	405,049	23	878,036	402,394	39	879,480	401,009
8	877,789	404,985	24	878,159	402,305	40	879,455	400,846
9	877,606	405,074	25	878,214	402,127	41	879,509	400,658
10	877,423	405,049	26	878,258	401,959	42	879,539	400,465
11	878,100	404,792	27	878,239	401,652	43	879,564	400,218
12	878,036	404,674	28	878,313	401,425	44	879,638	399,991
13	877,972	404,550	29	878,436	401,524	45	879,519	399,872
14	877,892	404,105	30	878,506	401,637	46	879,356	399,921
15	877,843	403,872	31	878,590	401,825	47	879,218	400,030
16	877,833	403,546	32	878,753	401,894	48	879,089	400,035



Légende

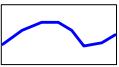
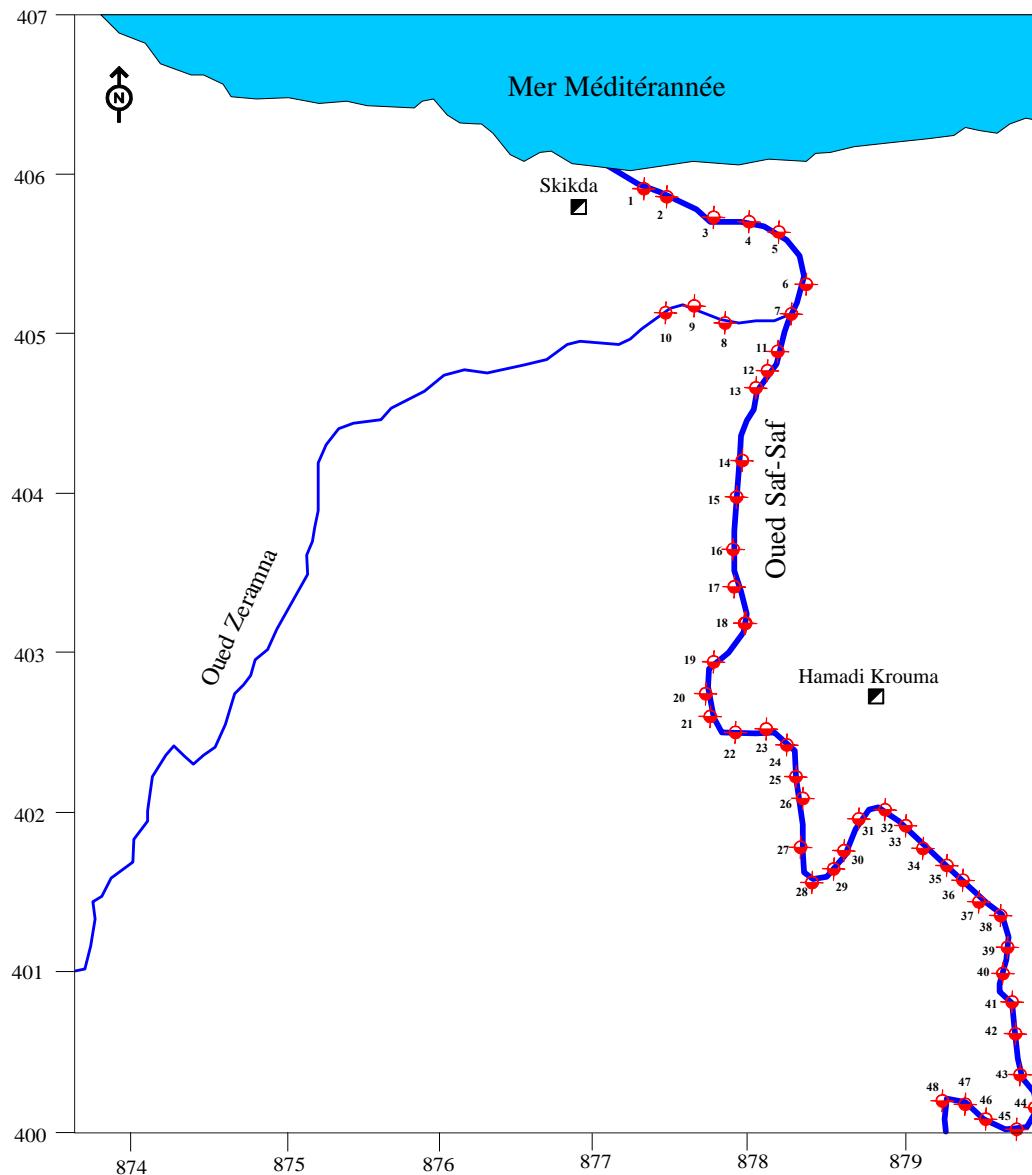
-  Limites du bassin du Saf-Saf
-  Cours d'eau
-  Point de prélèvement
-  Zone de prélèvement

Figure IV.29. Carte de la zone de prélèvements en aval du bassin du Saf-Saf



Légende



Chef lieu de commune



0

1

2

Km



Point de prélèvement



Oued

Figure IV.30. Carte d'inventaire des points de prélèvements en aval du bassin du Saf-Saf.

I.3.1. Faciès chimiques

L'interprétation des résultats des analyses chimiques révèle deux faciès dominants :

- Le premier dominant chloruré - sodique représentant 52%.
- Le second bicarbonaté - calcique correspondant à 14,58%.

Le tableau suivant donne les résultats des faciès chimiques en fonction des formules ioniques de chaque analyse chimique.

Tableau IV.11. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques

N°	Formule ionique	Faciès chimique
1	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
2	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
3	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
4	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
5	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
6	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
7	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
8	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
9	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
10	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
11	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
12	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
13	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
14	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
15	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
16	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-magnésien
17	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
18	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
19	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonate-sodique
20	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonate-sodique
21	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Chloruré-magnésien
22	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
23	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonaté-sodique
24	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonaté-sodique
25	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
26	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺	Chloruré-calcique
27	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
28	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Chloruré-calcique
29	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Chloruré-calcique
30	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Chloruré-calcique
31	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-sodique
32	rSO ₄ ²⁻ >rCl>rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Sulfaté-calcique
33	rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rCl>rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺	Sulfaté-magnésien
34	rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rCl>rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-magnésien
35	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
36	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
37	rCl>rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
38	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rNa ⁺ >rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >rK ⁺	chloruré-sodique
39	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	chloruré-sodique
40	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	bicarbonate-magnésien
41	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	chloruré-sodique
42	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	chloruré-sodique
43	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
44	rCl>rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-sodique
45	rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rCl>rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté-calcique
46	rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rCl>rNO ₃ ⁻ - r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Sulfaté-sodique
47	rHCO ₃ ⁻ >rCl>rSO ₄ ²⁻ >rNO ₃ ⁻ - rMg ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)>rCa ²⁺	Bicarbonaté-magnésien
48	rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rCl>rNO ₃ ⁻ - rCa ²⁺ >r(Na ⁺ +K ⁺)>rMg ²⁺	Bicarbonaté-calcique

I.3.2. Représentation graphique des analyses chimiques

La représentation graphique des résultats des analyses chimiques énumérés plus haut a été établie sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper.

a. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

L'interprétation des diagrammes de Schoeller-Berkaloff montre que ces eaux de surface sont classées en neuf (09) faciès chimiques qui figurent dans le tableau IV.12.

Tableau IV.12. Interprétation des diagrammes de Schöeller- Berkaloff.

Faciès chimique	Nombre des échantillons	Pourcentage
Chloruré-Sodique	25	52 %
Bicarbonaté-Calcique	7	14 ,58 %
Bicarbonaté-Magnésien	4	8,33 %
Bicarbonaté-Sodique	4	8,33 %
Chloruré-Magnésien	1	2,08 %
Chloruré-Calcique	4	8,33 %
Sulfaté-Calcique	1	2,08 %
Sulfaté-Magnésien	1	2,08 %
Sulfaté-Sodique	1	2,08 %

La représentation de Schöeller-Berkaloff montre le faciès dominant qui est le chloruré-sodique avec un taux de 52% de la totalité des échantillons analysés (Fig. IV.31, Fig.IV.32).

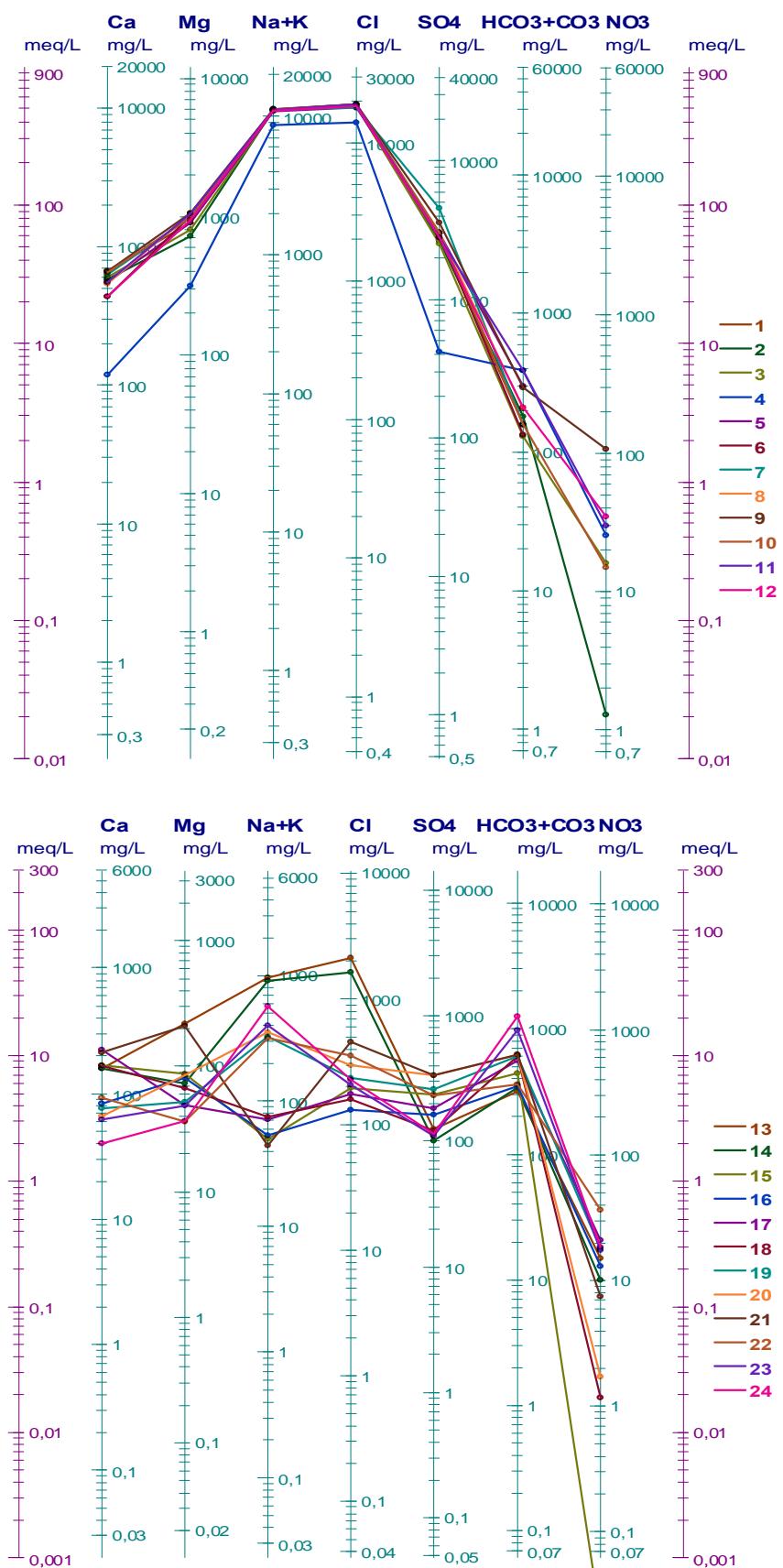


Figure IV.31. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schöeller -Berkaloff.

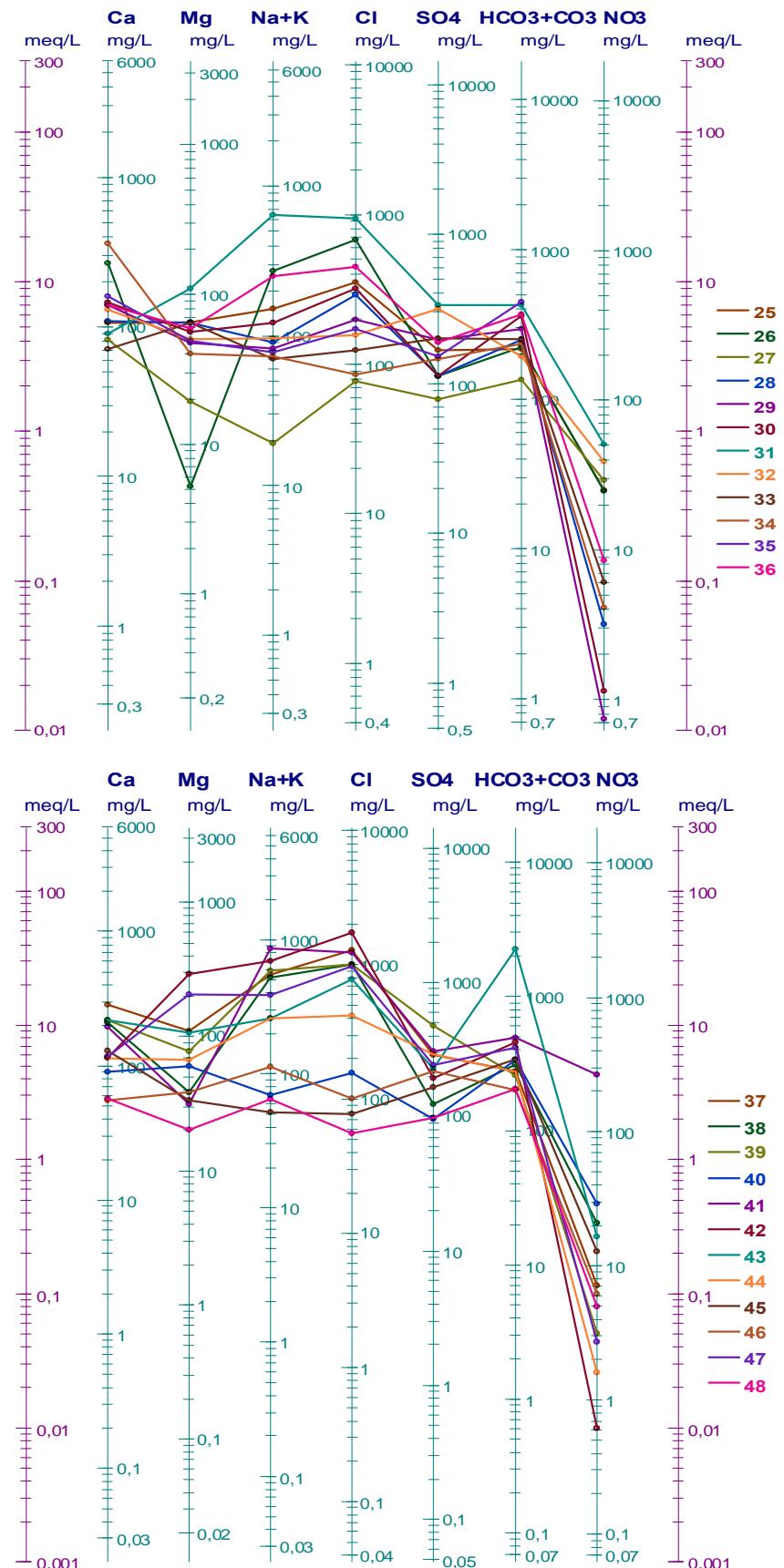


Figure IV.32. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schöeller – Berkaloff.

b. Diagramme de Piper

A partir du diagramme de Piper des eaux de surface de l'oued Saf-Saf (Fig. IV.33, et Fig. IV.34), les points figuratifs des analyses situent les cations dans le domaine sodique (74%) et accessoirement dans le domaine calcique (26%). Les anions sont plutôt figurés à 91 % dans le domaine chloruré (56 %) et accessoirement dans le domaine bicarbonaté (35%). Ainsi, nous observons deux principaux faciès chimiques :

- Chloruré - sodique.
- Bicarbonaté - calcique.

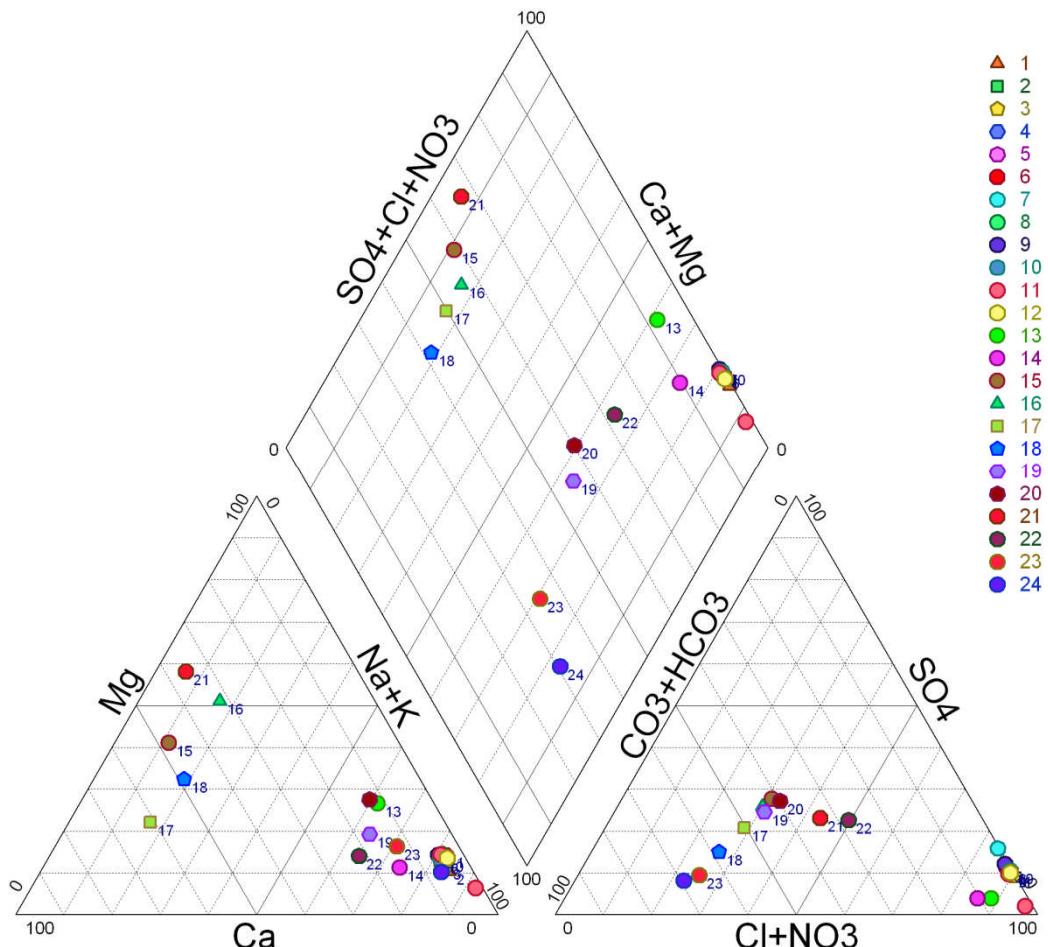


Figure IV.33. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.

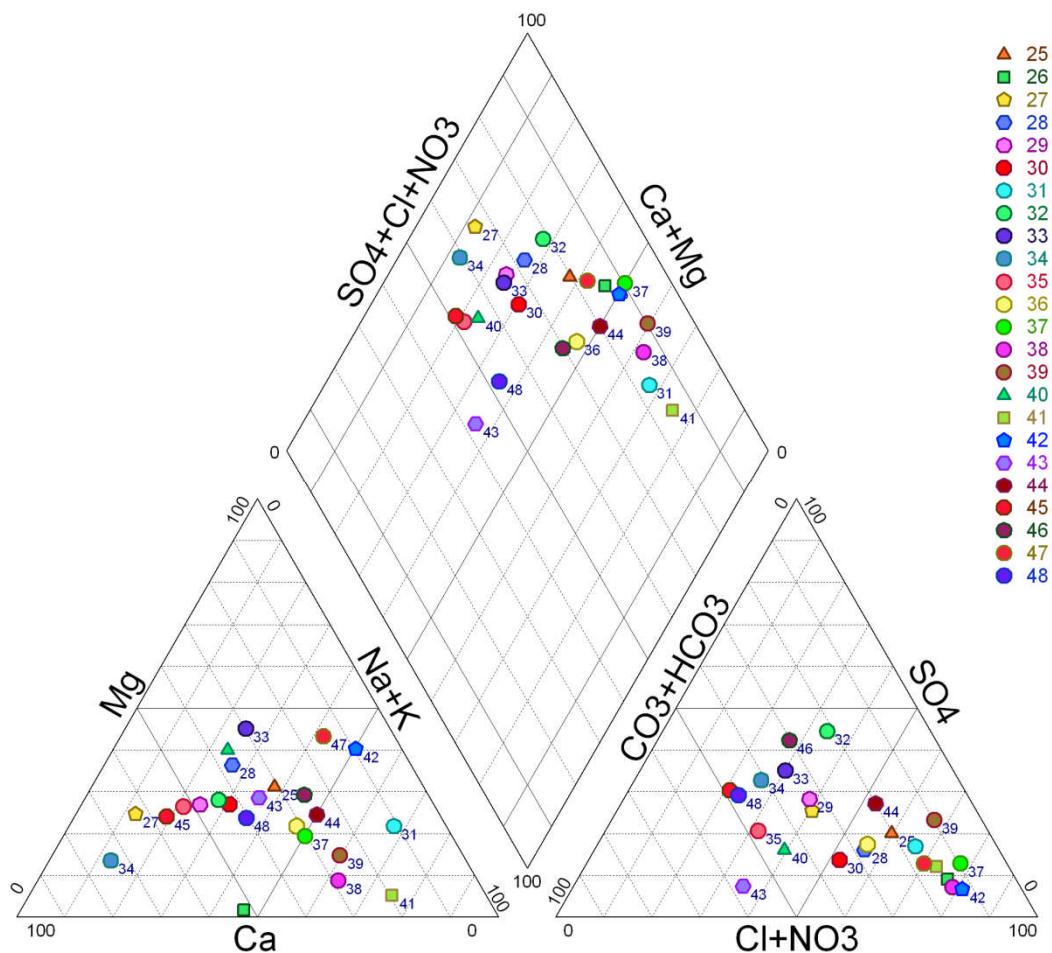


Figure IV.34. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper.

I.4. Qualité des eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf

Cinq principaux critères sont pris en considération pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation.

- Salinité: contenu total en sel soluble.
- Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- Alcalinité et dureté : concentration en anions carbonate (CO_3^{2-}), bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}).
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.
- Le pH de l'eau d'irrigation.

I.4.1. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

Tableau IV.13. Classification des eaux selon la salinité.

Salinité TDS (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-7680	Bonne	34
>7680	Mauvaise	14

La figure IV.35 et le tableau IV.13 montrent que la majeure partie des points analysés dans les eaux de surface sont des eaux bonnes pour l'irrigation.

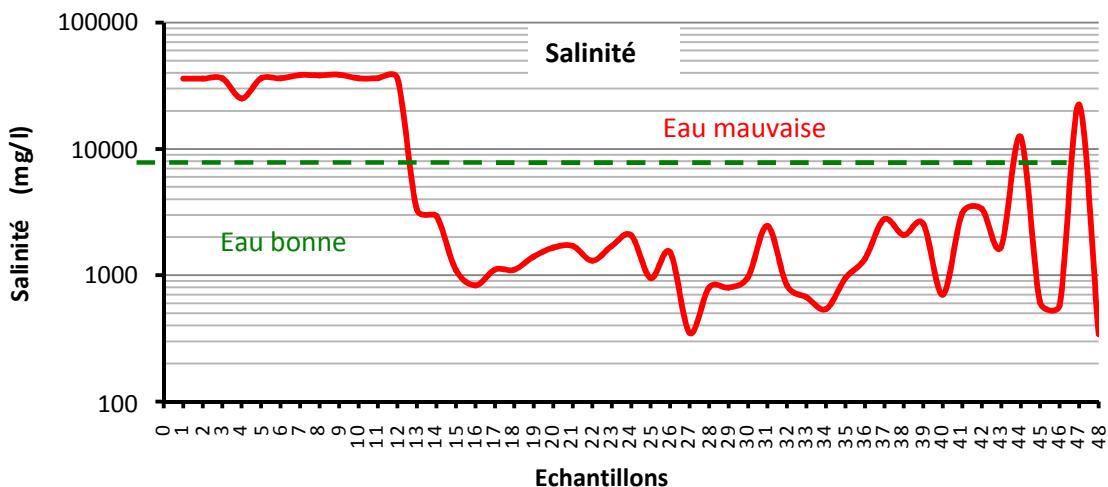


Figure IV.35. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la salinité.

I.4.2. Conductivité électrique (CE)

Par rapport aux valeurs des conductivités électriques mesurées, le tableau IV.14 montre les deux classes qui caractérisent les eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique.

Tableau IV.14. Classification des eaux de surface selon la conductivité électrique.

Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Type d'eau	Points correspondants
0-12000	Bonne	36
>12000	Mauvaise	12

D'après la figure IV.36 et le tableau IV.14, en considérant la conductivité électrique, on a deux classes, la première correspondant eaux bonnes et qui est représentée par la majorité des points (36 points) et la deuxième représentant où les conductivités électriques dépassent les $12000\mu\text{S}/\text{cm}$.

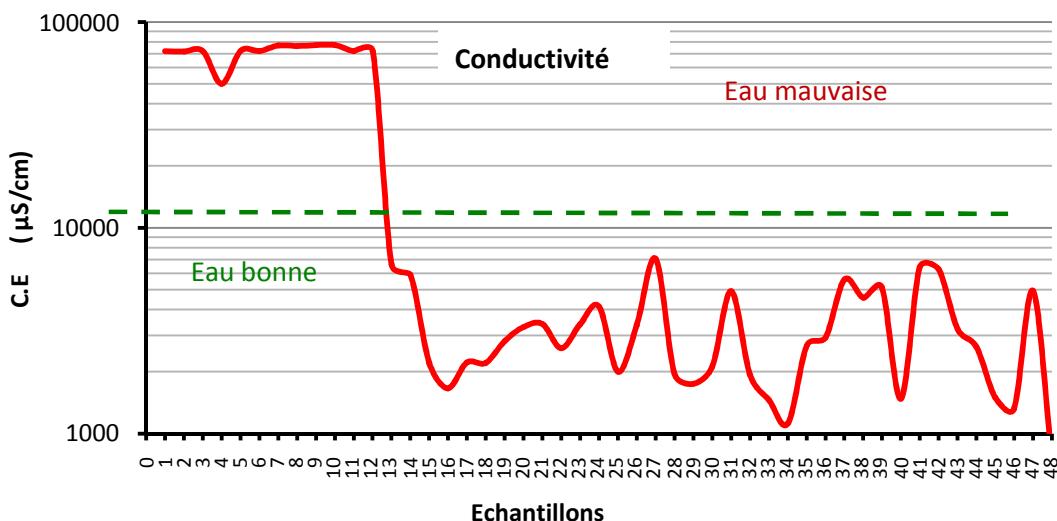


Figure IV.36. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la conductivité électrique.

I.4.3. Chlorures (Cl^-)

Les teneurs en chlorures sont importantes au niveau de la majorité des points analysés parce qu'ils reçoivent tous les rejets des eaux usées.

Tableau IV.15. Classification des eaux de surface selon les chlorures.

Chlorures (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-350	Bonne	18
>350	Mauvaise	30

Pour les chlorures (Cl^-), la majorité des points analysés (30 points) sont classés dans le type d'eau mauvaise où les valeurs en chlorures dépassent 350mg/l (Fig. IV.37).

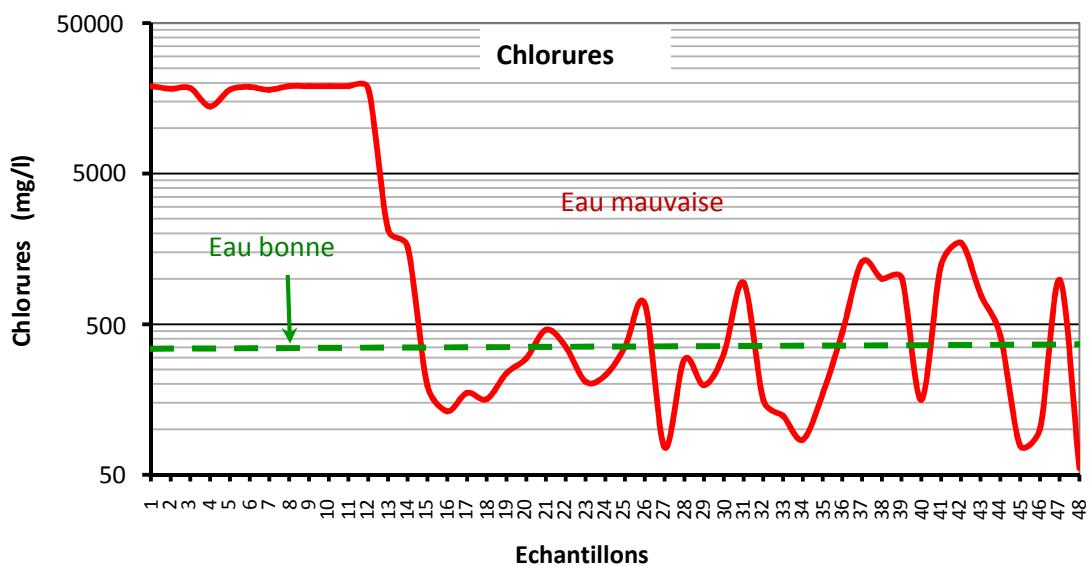


Figure IV.37. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des chlorures.

I.4.4. Sulfates (SO_4^{2-})

La figure IV.38 concernant les sulfates (SO_4^{2-}), montre qu'on a deux classes, la première classe représentant les eaux bonnes qui est représentée par la majorité des points (29 points) et la deuxième classe correspond à des eaux mauvaises.

Tableau IV.16. Classification des eaux de surface selon les sulfates.

Sulfates (mg/l)	Type d'eaux	Points correspondants
0-250	Bonne	29
>250	Mauvaise	19

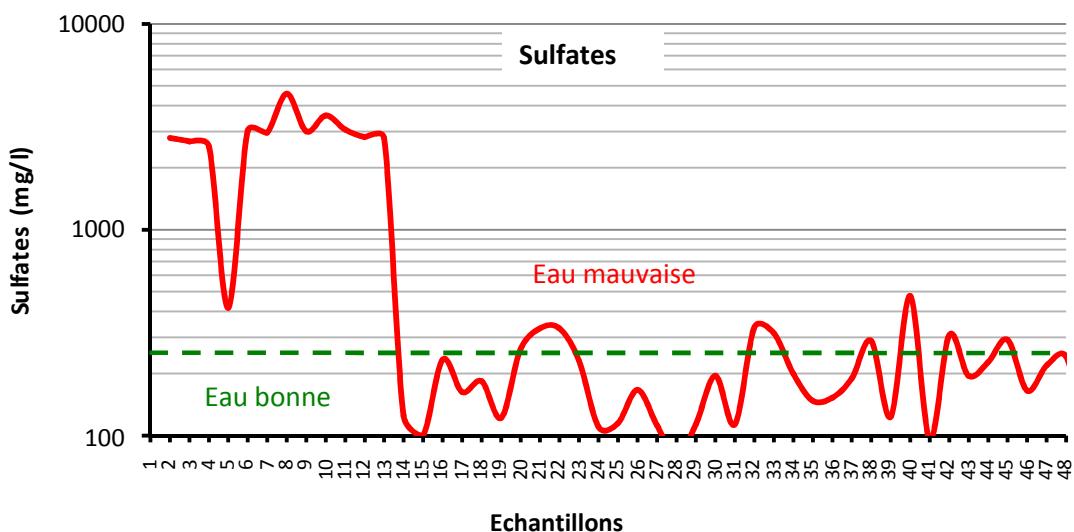


Figure IV.38. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des sulfates.

I.4.5. Sodium (Na^+)

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans les eaux d'irrigations. Cet élément ayant plusieurs origines, à savoir, l'altération des roches et du sol, les intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Tableau IV.17. Classification des eaux de surface selon le sodium.

Sodium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-69	Bonne	06
>69	Mauvaise	42

La figure IV.39 et le tableau IV.17, montrent que pour le sodium, la majeure partie des points analysés des eaux de surface appartiennent à la mauvaise classe.

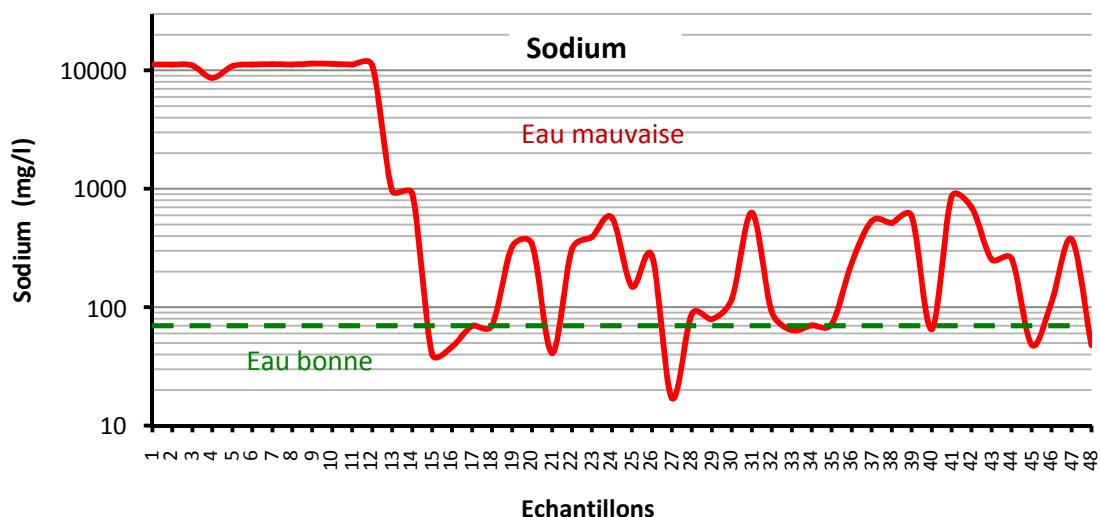


Figure IV.39. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction du sodium.

I.4.6. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les teneurs des bicarbonates et suivant leurs normes, nous donne les deux classes de ces eaux pour l'irrigation (tableau IV.18).

Tableau IV.18. Classification des eaux de surface selon les bicarbonates.

Bicarbonates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-518	Bonne	40
>518	Mauvaise	08

La figure IV.40 montre qu'on a deux types d'eau, le type correspondant aux eaux bonnes représentant la majorité des points analysés et une dizaine de points représentant les eaux de type mauvaises où les teneurs en bicarbonates dépassent les 518 mg/l.

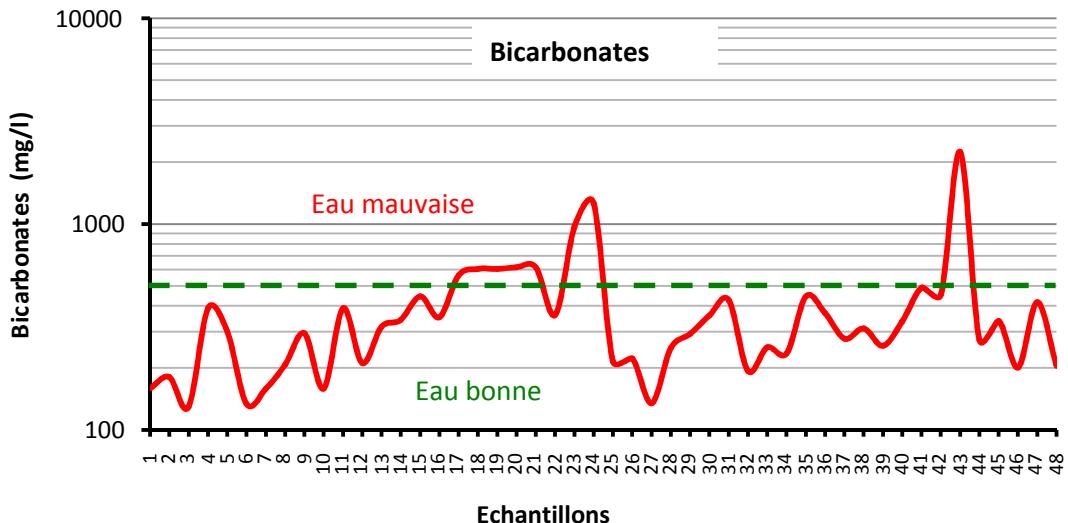


Figure IV.40. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des bicarbonates.

I.4.7. Potentiel d'Hydrogène des eaux d'irrigations

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans les eaux d'irrigations. La valeur du pH dans ce cas devrait se situer entre 6,5 et 8,4. Avec ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

Tableau IV.19. Classification des eaux d'irrigation selon le pH.

pH	Type d'eau	Points correspondantes
6,5-8,4	Bonne	39
>8,4	Mauvaise	09

La figure IV.41, ainsi que le tableau de classification des eaux (tableau IV.19), nous permettent de dire qu'en général ces eaux sont bonnes avec un pH compris entre 6,5 et 8,4.

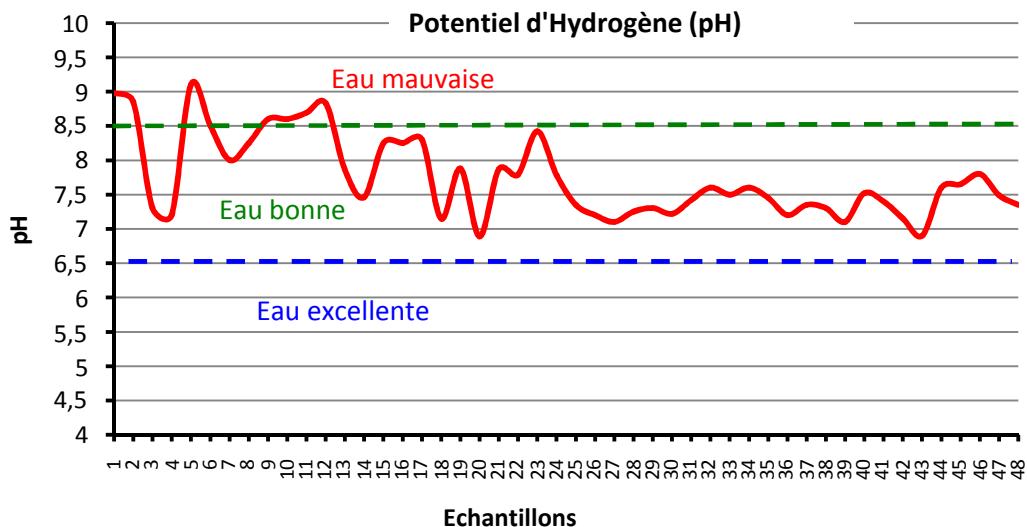


Figure IV.41. Courbe de la qualité des eaux d'irrigations en fonction du pH.

I.4.8. Nitrates

Leur origine est principalement agricole (engrais azotés), en présence de phosphore, les nitrates favorisent l'eutrophisation, ils proviennent souvent de l'utilisation des engrains mais aussi des rejets industriels et domestiques.

La classification des eaux de surface de la région d'étude suivant les normes relatives à cet élément est représentée dans le tableau IV.20.

Tableau IV.20. Classification des eaux de surface selon les nitrates.

Nitrates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-30	Bonne	42
>30	Mauvaise	06

La figure IV.42, montre que la majeure partie des eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf du point de vue nitrates sont des eaux bonnes. Notons tout de même que parmi les points analysés, six points sont classés dans le type d'eau de mauvaises qualités.

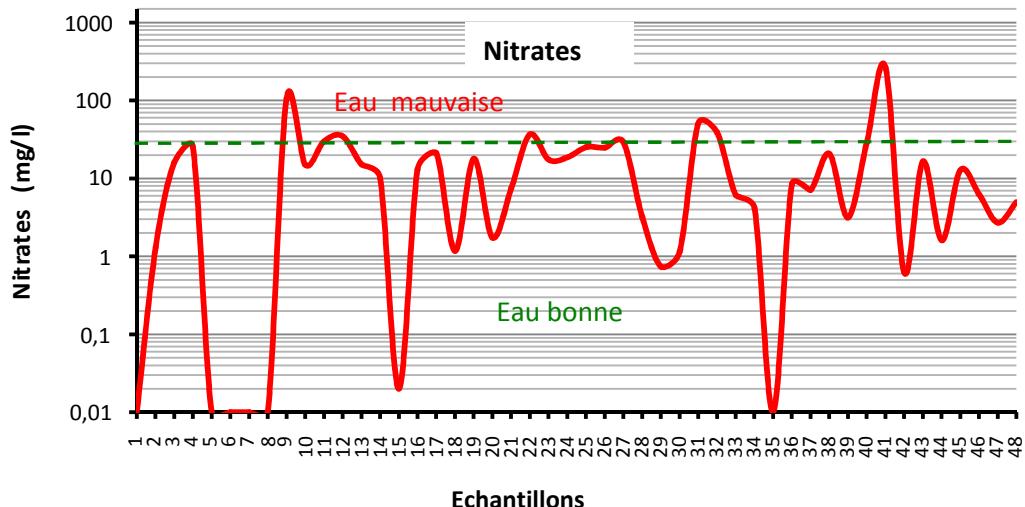


Figure IV.42. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates.

I.5. Etats des minéraux dissous dans les eaux de surface

Le degré de saturation de l'eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation, qui atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide.

Un indice de saturation positif indique une sursaturation et un indice négatif indique une sous saturation vis à vis des minéraux.

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+), sous l'effet de l'évaporation isotherme (25C°), par le logiciel thermodynamique « phreeq C », en terme d'équilibre sel/ solution , montre que les eaux de l'oued Saf-Saf sont sous saturées par rapport à la halite (Na Cl), ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en sodium et en chlorures, vis à vis du gypse ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et d'anhydrite (Ca SO_4), les eaux sont en sur saturation, ce qui provoque une précipitation sous forme de gypse et d'anhydrite pour les eaux présentant un faciès sulfaté - calcique (Fig. IV.43).

Les minéraux carbonatés sont sursaturés et tendent à se précipiter sous forme d'aragonite, de calcite et surtout de dolomie (Fig. IV.44).

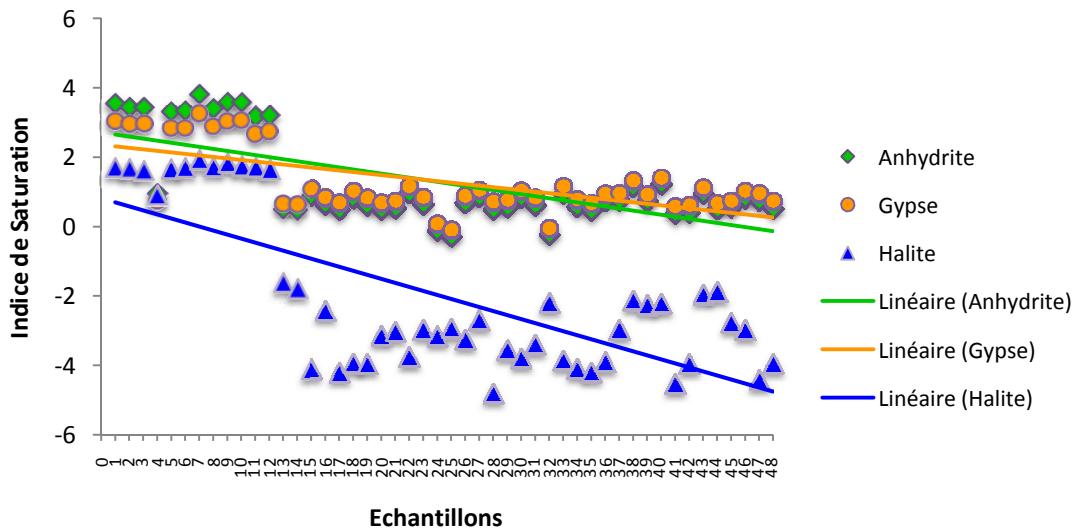


Figure IV.43. Evolution des minéraux évaporitiques dans les eaux de surface.

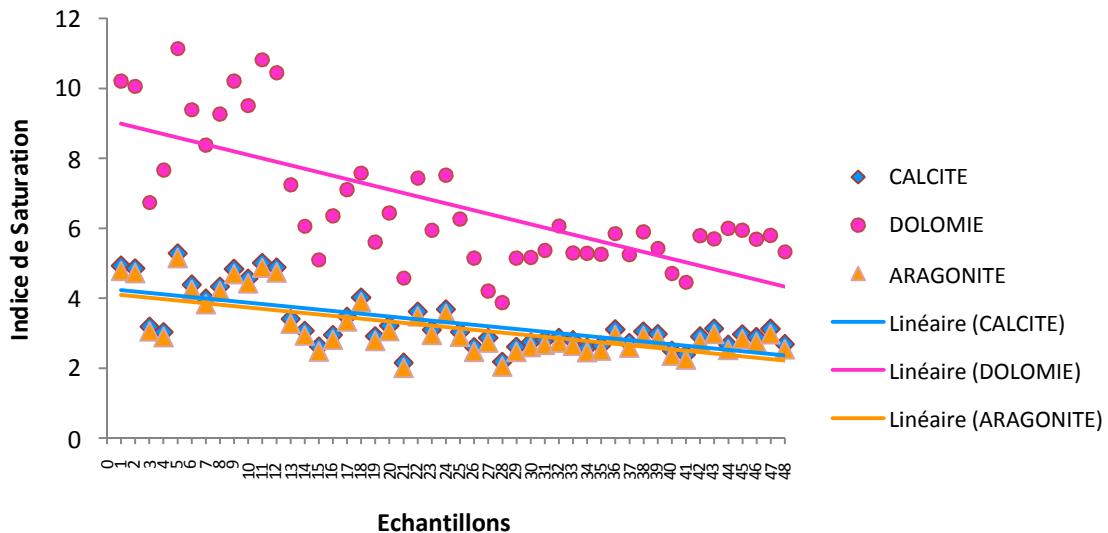


Figure IV.44. Evolution des minéraux carbonatés dans les eaux de surface .

Conclusion

Les eaux superficielles de l'oued Saf-Saf sont caractérisées par le faciès chimique dominant le chloruré - sodique.

Les deux représentations graphiques de Schoeller -Berkaloff et de Piper sur les résultats des analyses chimiques ont données le même résultat.

Du point de vue salinité, sulfates et conductivité électrique, les eaux de surface correspondent aux bonnes eaux, tandis que pour les chlorures, ces eaux correspondent aux eaux mauvaises.

Pour le sodium les normes ont montré que les eaux de surface sont mauvaises, alors que pour les bicarbonates, le pH et les nitrates les normes ont montré que les eaux de surface de la région d'étude sont bonnes pour l'irrigation.

Les eaux sont sursaturées par rapport aux minéraux évaporitiques (gypse et Anhydrite), alors que la halite ces eaux sont en sous saturation.

Les eaux sont en sursaturation vis à vis des minéraux carbonatés, favorisant ainsi une sédimentation surtout sous la forme de dolomie

En aval, l'oued Saf-Saf a connaît une dégradation dans la qualité de ses eaux, à cause des rejets domestiques des agglomérations d'El Harrouch, Salah Bouchaour, Ramdane Djamel, Beni Bachir et une partie des rejets de la ville de Skikda par le biais de l'oued Zeramna, qui déverse dans le Saf-Saf.

Selon les prélèvements effectués en 2009, la demande chimique en oxygène (DCO) est de l'ordre de 139 mg/l, ce qui confirme le degré de pollution de cet oued (eaux sombres, odeurs nauséabondes) à cause des fortes teneurs en matières organiques.

Ainsi, il reçoit les rejets de l'abattoir de Hamadi Krouma, dont l'analyse révèle une demande biologique en oxygène (DBO₅) de l'ordre de 93 mg/l, ceci provoque la diminution de la teneur en oxygène.

Plus en aval, sur le tronçon de la zone industrielle, l'oued Saf-Saf reçoit les rejets des unités de la plate forme pétrochimique de Skikda et de la centrale thermique électrique (CTE) sans aucun traitement préalable. D'après un rapport du service de l'environnement de Skikda (1999), le complexe des matières plastiques (CP1/K) rejette des produits toxiques tels que le mercure, les cyanures, les phénols et l'hypochlorite de sodium. Ces produits sont dangereux pour l'homme et la vie biologique.

On voit donc que la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf dans sa partie aval est passée de bonne à mauvaise, parfois très mauvaise en période sèche.

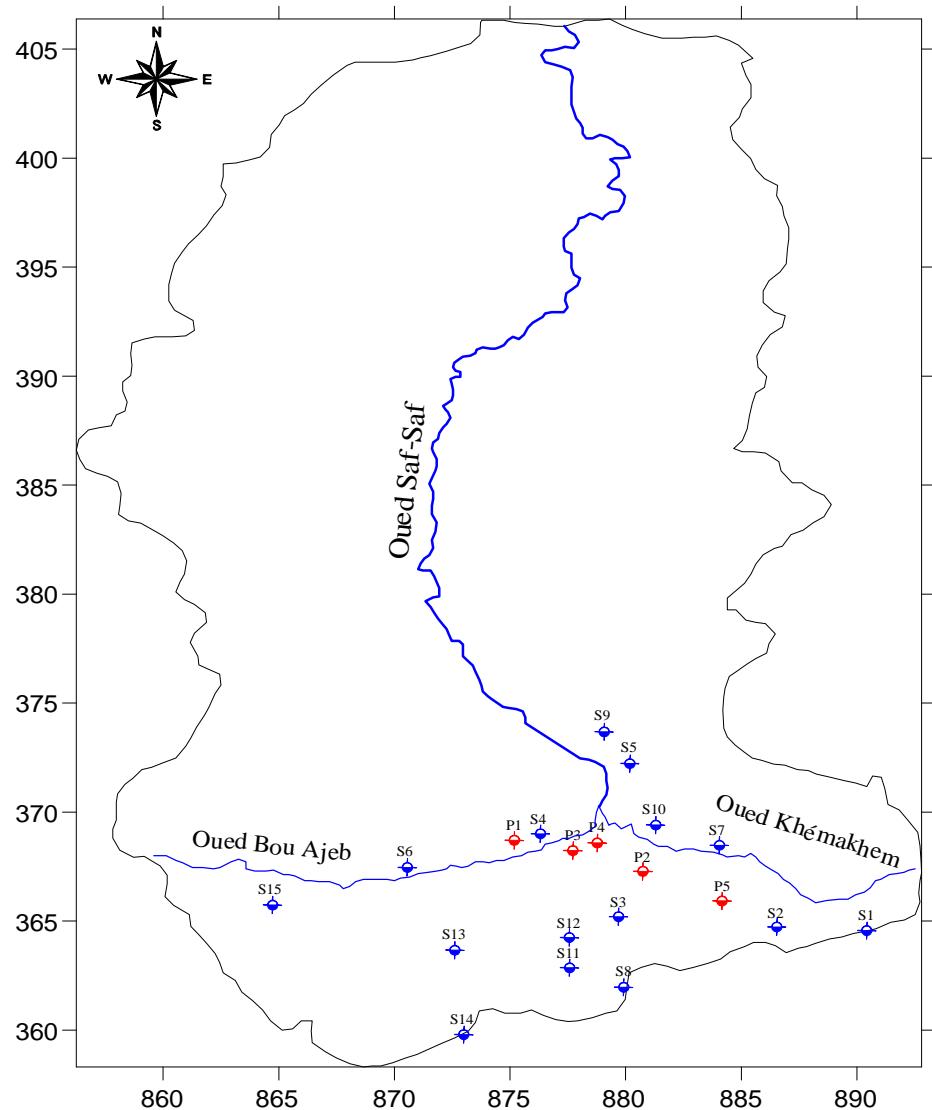
II. Chimie des eaux souterraines dans le bassin du Saf-Saf

Les systèmes aquifères, notamment ceux à nappes libres, subissent des atteintes graves dans leur qualité. Le phénomène est d'autant plus alarmant pour les systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains et vers lesquels affluent naturellement les rejets de ces derniers.

Dans le bassin du Saf-Saf, les eaux souterraines ont une composition chimique étroitement liée aux terrains qui les contiennent (variation spatiale entre amont et aval).

II.1. Chimie des eaux souterraines en amont du bassin

Afin de déterminer l'origine des eaux souterraines de l'amont du bassin, on a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées par le bureau d'étude BNEDER en (Octobre 2005) dans le cadre du projet pilote de développement de l'agriculture de montagne en amont de l'oued Saf-Saf. Les analyses ont été effectuées sur quelques points d'eau (15 sources et 5 puits) répartis à travers la partie amont du bassin. (Fig. IV.45).

**Légende**

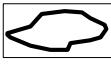
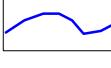
-  Limites du bassin du Saf-Saf
 -  Cours d'eau
 -  Sources en amont
 -  Puits en amont
- 0 5 10 Km

Figure IV.45. Carte d'inventaire des points de prélèvements en amont et du bassin du Saf-Saf.

Ces analyses permettent d'examiner les conditions physico-chimiques et géologiques auxquelles ces eaux sont liées.

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement sulfatées calciques.

Les eaux sulfatées calciques à chlorurées calciques (P3, P4, S3, S5, et S8) sont issues, en général, des formations marneuses, argileuses et gréseuses. Cependant, les eaux bicarbonatées calciques (S6, S7, S9) sont issues des roches calcaires. (Fig. IV.46)

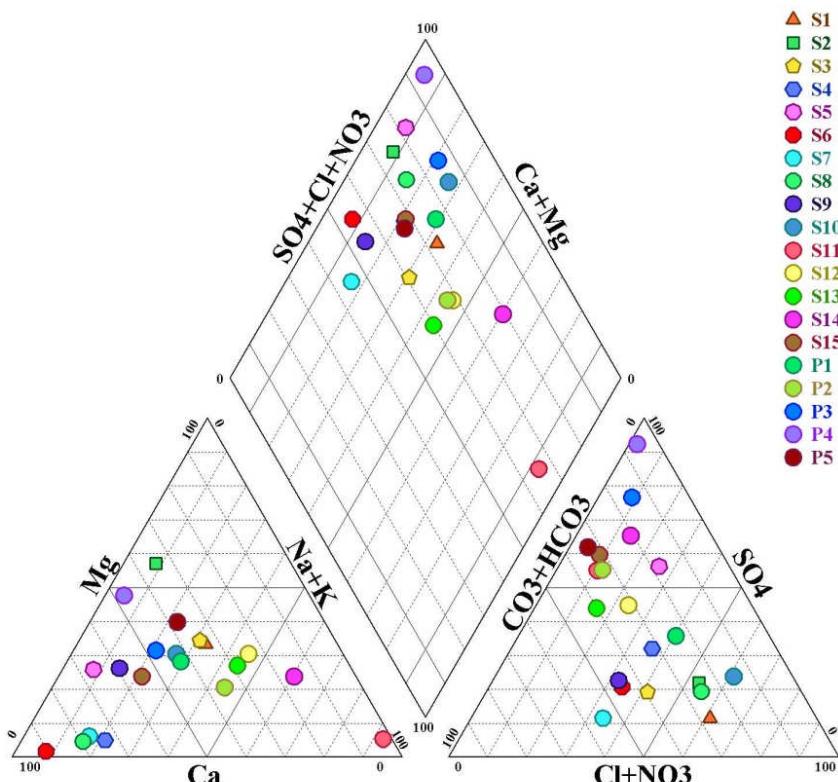


Figure IV.46. Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la partie amont du bassin du Saf-Saf.

Afin de confirmer les faciès chimiques précédemment énoncés, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès chimique spécifique pour chaque année. (Tab.IV.21).

Tableau IV.21. Représentation des formules ioniques et les faciès chimiques.

Années	Formule ionique	Faciès chimique
S1	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Chloruré-calcique
S2	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$	Chloruré-magnésien
S3	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Chloruré-calcique
S4	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^{++}$	Chloruré-calcique
S5	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
S6	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Bicarbonaté-calcique
S7	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Bicarbonaté-calcique
S8	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Chloruré-calcique
S9	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Bicarbonaté-calcique
S10	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Chloruré-calcique
S11	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-magnésien
S12	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-magnésien
S13	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
S14	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-magnésien
S15	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
P1	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
P2	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
P3	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
P4	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-calcique
P5	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^- - rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$	Sulfaté-magnésien

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux souterraines en amont du Saf-Saf révèle un faciès dominant de type sulfaté-calcique à magnésien représentant 55% (S5, S11, S12, S13, S14, S15, P1, P2, P3, P4 et P5). Le second est de type chloruré-calcique correspond à 25% des puits (S1, S3, S4, S8 et S10). (Fig. IV.47).

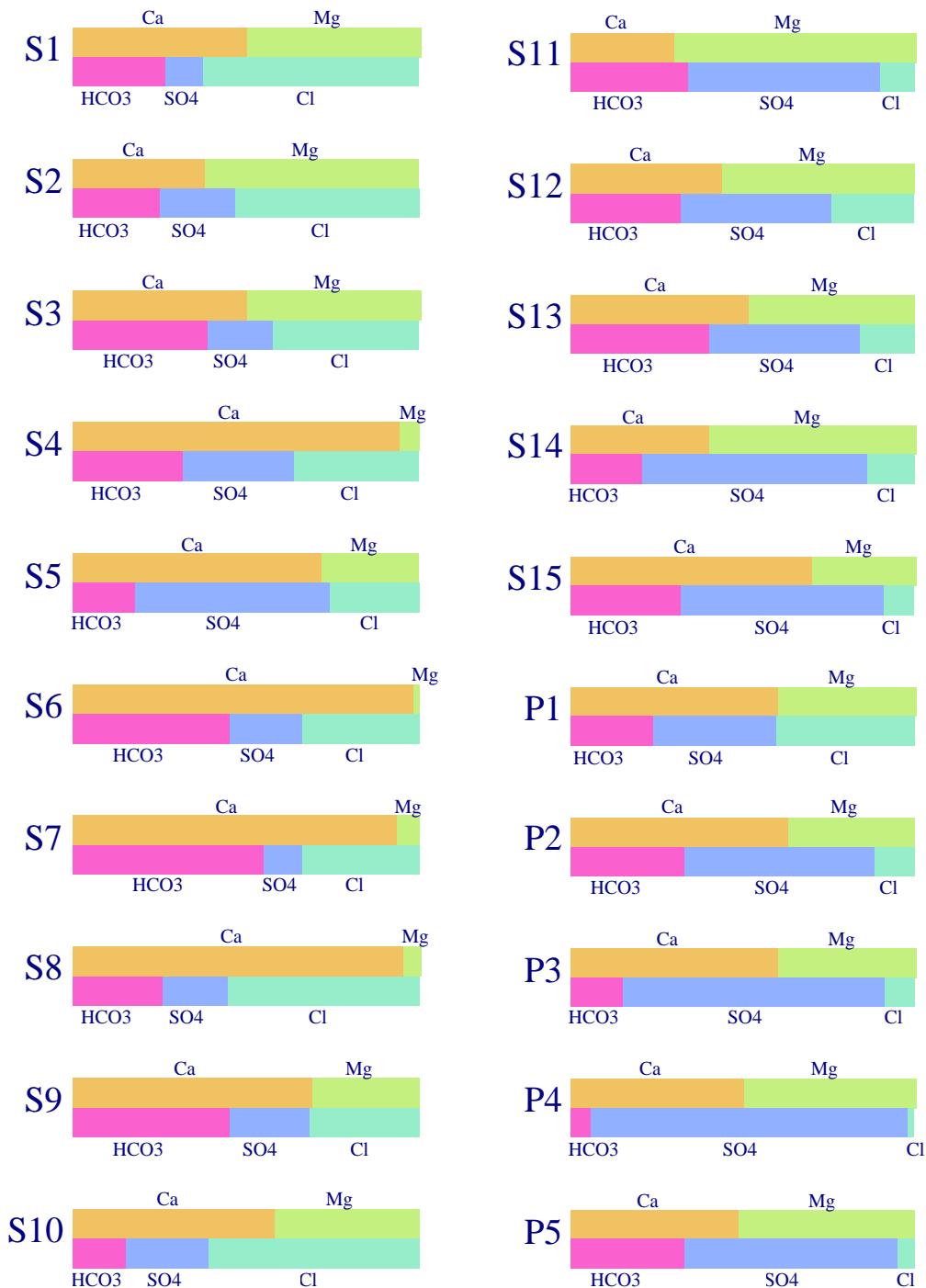


Figure IV.47. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux souterraines en amont du bassin sur le diagramme de Stabler.

II.2. Chimie des eaux souterraines en aval du bassin

Pour les eaux souterraines de l'aval du bassin, une campagne d'analyses a été effectuée en mois de Juin 2009 par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) de Constantine.

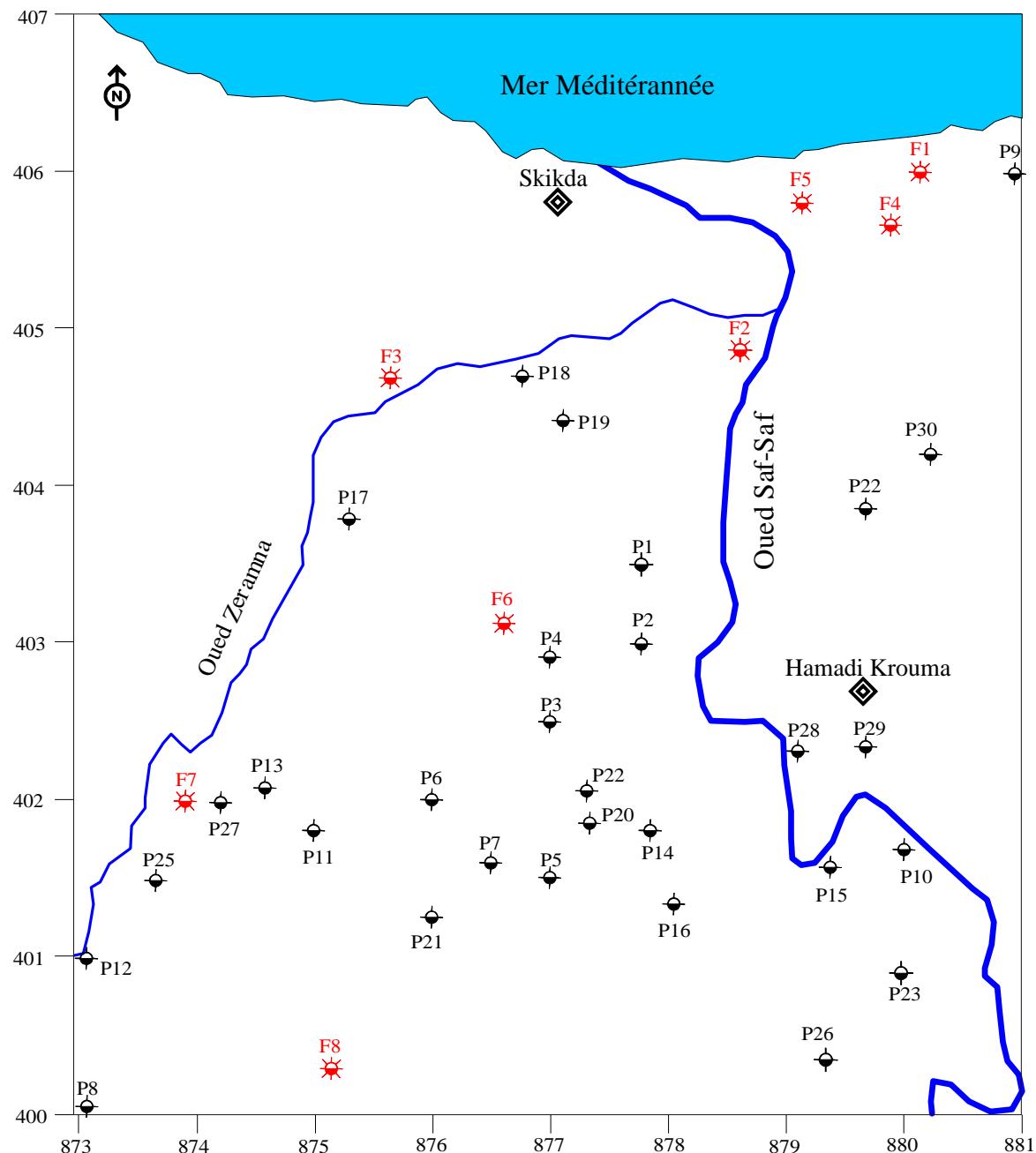
Les points de prélèvements ont été choisis, de façon à ce que tous les points de la basse vallée de l'oued Saf-Saf soient représentés (Fig. IV.48).

La désignation des points de prélèvements pris en considération dans cette étude comprend (30) puits (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, à P30) et huit (08) forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8). (tableau IV.20).

- Parmi les paramètres physiques analysés, on a la Température, le pH, la Conductivité électrique et la minéralisation.
- Les paramètres chimiques :
 - Les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} et $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$.
 - Les anions : HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} .
 - La silice SiO_2^- .
- Les substances indésirables : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et Ammonium (NH_4^+).

Tableau IV.22. Désignation des points de prélèvements

Points	X(m)	Y(m)	Z(m)	Points	X(m)	Y(m)	Z(m)
P1	877,775	403,500	3,6	P20	877,350	401,850	3,2
P2	877,775	403,000	2,8	P21	876,000	401,250	3,1
P3	877,000	402,500	8,2	P22	879,700	403,850	1,6
P4	877,000	402,900	10,3	P23	880,000	400,900	2,9
P5	877,000	401,500	7,2	P24	877,300	402,050	1,6
P6	876,000	402,000	4,2	P25	873,650	401,500	4,2
P7	876,500	401,600	6,4	P26	879,350	400,350	2,5
P8	873,000	400,000	8,25	P27	874,200	402,000	9,5
P9	881,000	406,000	4,3	P28	879,000	402,300	2,75
P10	880,000	401,700	3,9	P29	879,700	402,350	11,0
P11	875,000	401,800	2,3	P30	880,250	404,200	10,0
P12	873,000	401,000	9,5	F1	880,150	406,000	8,5
P13	874,575	402,075	12	F2	878,622	404,852	6,5
P14	877,850	401,800	12	F3	875,680	404,650	5,5
P15	879,400	401,575	15	F4	879,900	405,650	4,5
P16	878,050	401,341	15	F5	879,150	405,800	3,25
P17	875,300	403,800	7,0	F6	876,623	403,117	10,5
P18	876,775	404,725	4,2	F7	873,900	402,000	11,5
P19	877,125	404,425	4,3	F8	875,150	400,300	12,0

**Légende**

-  Chef lieu de commune
-  Puits
-  Forage
-  Oued

Figure IV.48. Carte de désignation des points de prélèvements

II.2.1. Résultats des analyses chimiques

Au total 38 échantillons ont été pris en considération, et les résultats des analyses chimiques effectuées en Juin 2009 sous la formule ionique sont consignés dans le tableau IV.23.

Tableau IV.23. Résultats des analyses et faciès chimiques

Puits	Formule ionique	Faciès chimique
P ₁	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₂	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Bicarbonaté-Calcique
P ₃	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺	Chloruré-Magnésien
P ₄	rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rCl ⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Bicarbonaté-Sulfaté-Calcique
P ₅	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₆	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₇	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₈	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Chloruré-Calcique
P ₉	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Calcique
P ₁₀	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₁₁	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₁₂	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Magnésien
P ₁₃	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Sodique
P ₁₄	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Magnésien
P ₁₅	rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Sulfaté-Calcique
P ₁₆	rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rCl ⁻ -rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺	Bicarbonaté-Magnésien
P ₁₇	rSO ₄ ²⁻ >rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Sulfaté-Sodique
P ₁₈	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Calcique
P ₁₉	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Chloruré-Calcique
P ₂₀	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₂₁	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₂₂	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₂₃	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Bicarbonaté-Magnésien
P ₂₄	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonaté-Sodique
P ₂₅	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Bicarbonaté-Sodique
P ₂₆	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Chloruré-Sodique
P ₂₇	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺ >rMg ²⁺	Bicarbonaté-Sodique
P ₂₈	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Bicarbonaté-Calcique
P ₂₉	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺ >rCa ²⁺	Bicarbonaté-Sodique
P ₃₀	rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ >rHCO ₃ ⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Calcique
F ₁	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Chloruré-Calcique
F ₂	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Bicarbonaté-Calcique
F ₃	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Bicarbonaté-Calcique
F ₄	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Magnésien
F ₅	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Chloruré-Magnésien
F ₆	rHCO ₃ ⁻ >rCl ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)	Bicarbonaté-Magnésien
F ₇	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rCa ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rMg ²⁺	Chloruré-Calcique
F ₈	rCl ⁻ >rHCO ₃ ⁻ >rSO ₄ ²⁻ -rMg ²⁺ >r(Na ⁺ + K ⁺)>rCa ²⁺	Chloruré-Magnésien

Afin de voir la fiabilité des analyses chimiques, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse qui n'a pas dépassé 10%.

Les formules ioniques ont permis d'établir le faciès chimique pour chaque analyse (tableau IV.23).

Les eaux étudiées ont été classé en neuf (09) faciès chimiques, le chloruré- sodique représentant 29%, le chloruré-calcique 18,42%, le chloruré-magnésien 15,79%, le bicarbonaté-calcique et le bicarbonaté-sodique 10,52%, le bicarbonaté- magnésien 7,89% et en fin le sulfaté-calcique, le sulfaté-sodique et le bicarbonaté- sulfaté-calcique représentant 2,63%.

On note que le faciès chimique dominant est le chloruré-sodique.

Concernant les chlorures, leur provenance géologique peut être due à la dissolution des chlorures de sodium des alluvions salifères rencontrés dans les formations triasiques évaporitiques.

La deuxième possibilité, de leur provenance à savoir une origine des eaux usées domestiques est à exclure, vu la profondeur importante de cette nappe et le toit épais constitué d'argile.

La troisième possibilité, à savoir une provenance des pompes exagérés en bordure de mer n'est pas à exclure.

Pour le sodium, sa provenance est argileuse.

II.2.2. Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Stiff, Piper et le diagramme Schoeller-Berkaloff.

II.2.2.1. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff donne une interprétation claire sur les faciès chimiques cités dans le tableau IV.23.

En plus cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

Par ailleurs on aperçoit une forte extension des ions (Cl^-) , (HCO_3^-) et $(Na^+ + K^+)$ du polygone représentant les analyses $P_1, P_5, P_7, P_{11}, P_{12}, P_{18}, P_{19}, P_{24}, P_{25}, P_{27}, P_{29}, F_2, F_5$ et F_6 . (Fig. IV.49, 50).

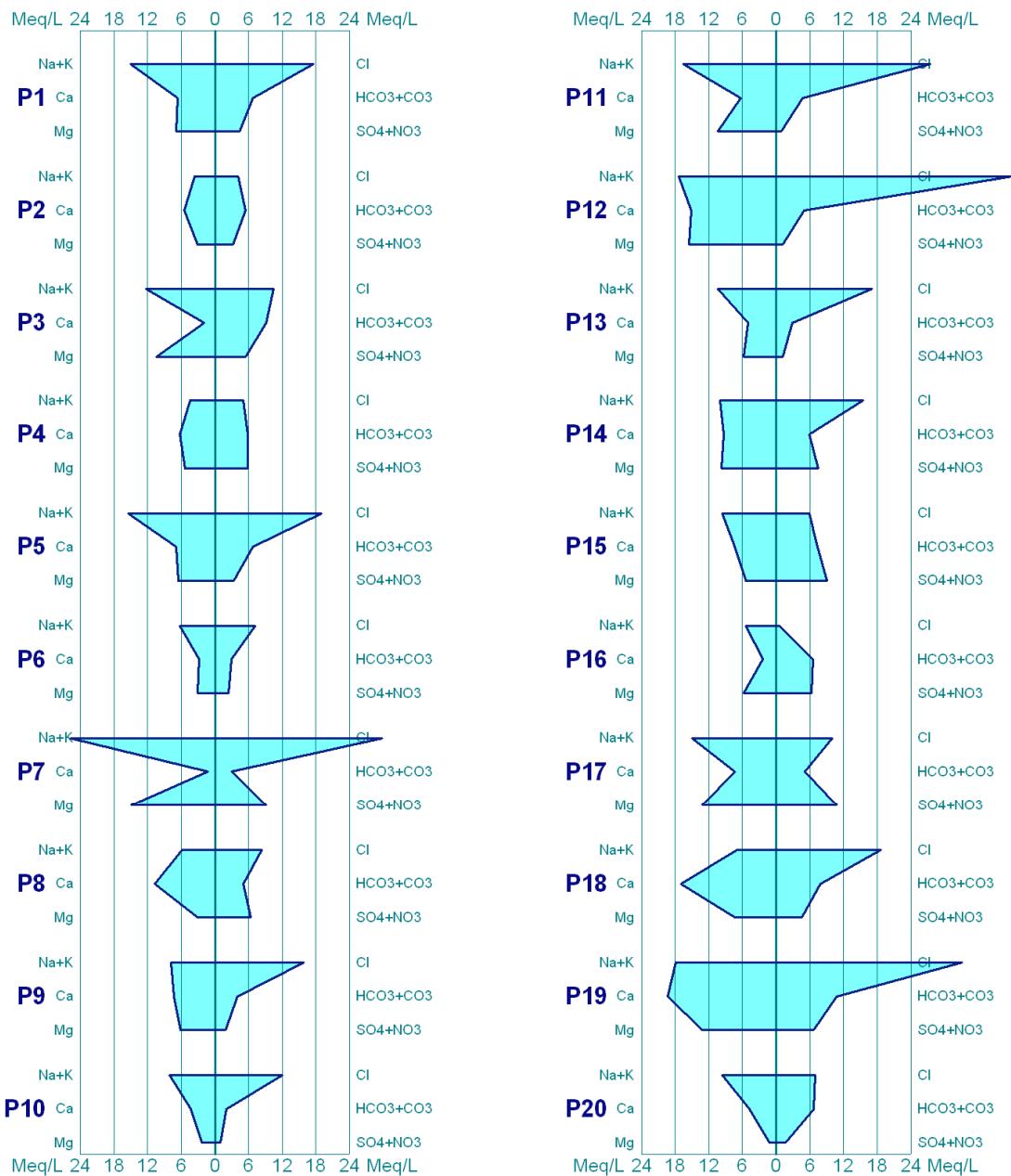


Figure IV.49. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff des eaux souterraines en aval du bassin

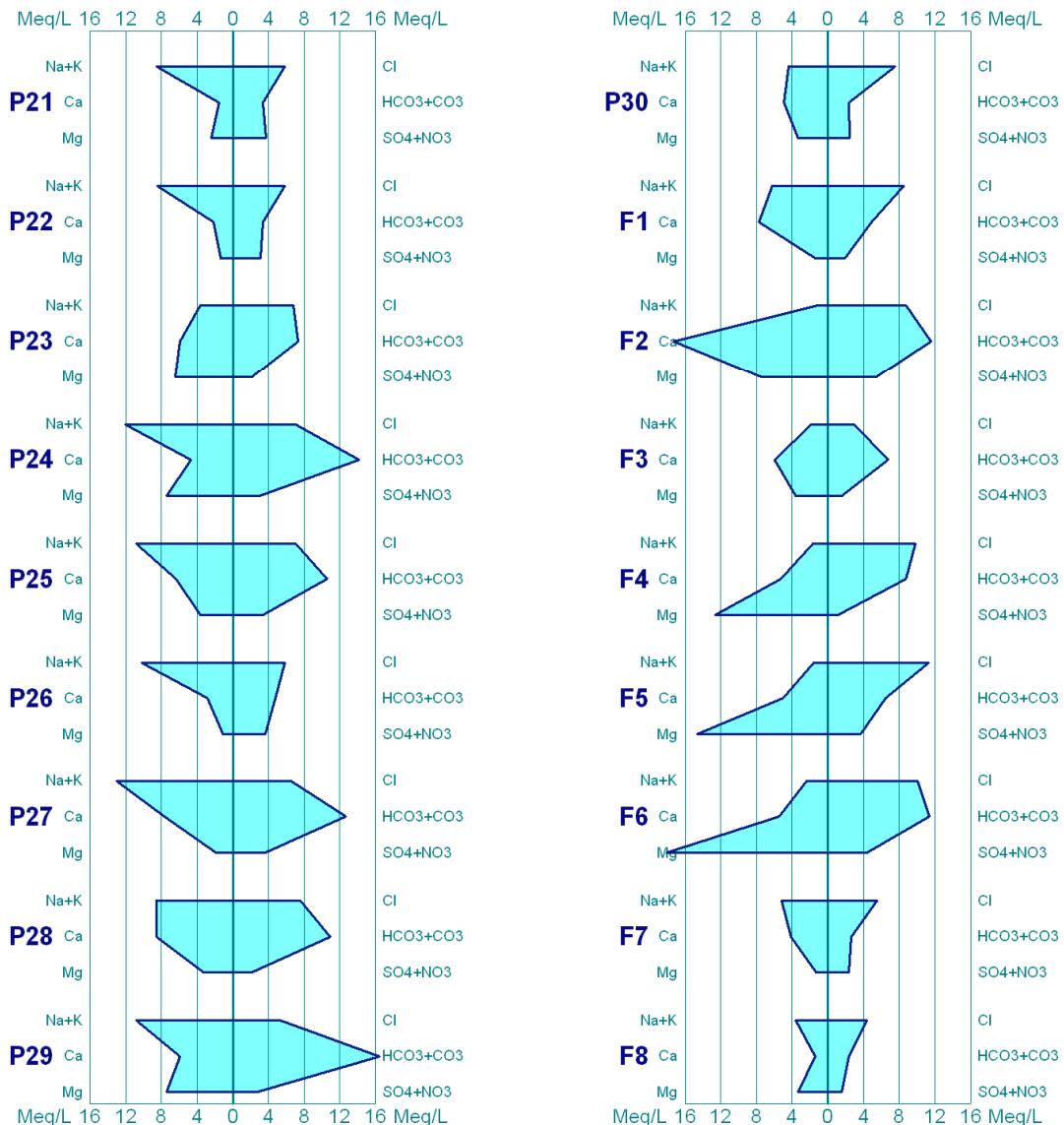


Figure IV.50. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Stiff des eaux souterraines en aval du bassin

II.2.2.2. Diagramme de Piper

Pour une bonne interprétation de cette représentation, on est obligé de bien expliquer la répartition des éléments sur les deux triangles, celui des cations et celui des anions, qui expliquent le losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs (Fig. IV.51, IV.52).

a. Triangle des cations

- **Pôle calcique** : Teneurs apparemment moyennes ne dépassant pas les 50% sauf les trois points F₄, F₅ et F₆ indiquant une forte concentration en Ca^{+2} .
- **Pôle magnésien** : La majorité des points se concentrent entre 10% et 70%.

- **Pôle sodique** : Teneurs variant entre 10 et 50% sauf pour le point F₂ qui dépasse les 50% indiquant une forte concentration en Na⁺.

b. Triangle des anions

- **Pôle chloruré** : On constate que la teneur des chlorures ne dépasse pas les 50%.
- **Pôle bicarbonaté** : On a une diversité de la concentration, où on remarque la teneur la plus élevée au point P₁₁ (85%), les autres points ne dépassent pas les 50% et la majorité des points se concentrent entre 10% et 45%.
- **Pôle sulfaté** : Teneurs variant entre 10 et 50%, sauf les trois points P₂₇, P₂₉, et F₃ où ils dépassent les 50% indiquant une forte concentration en SO₄²⁻.

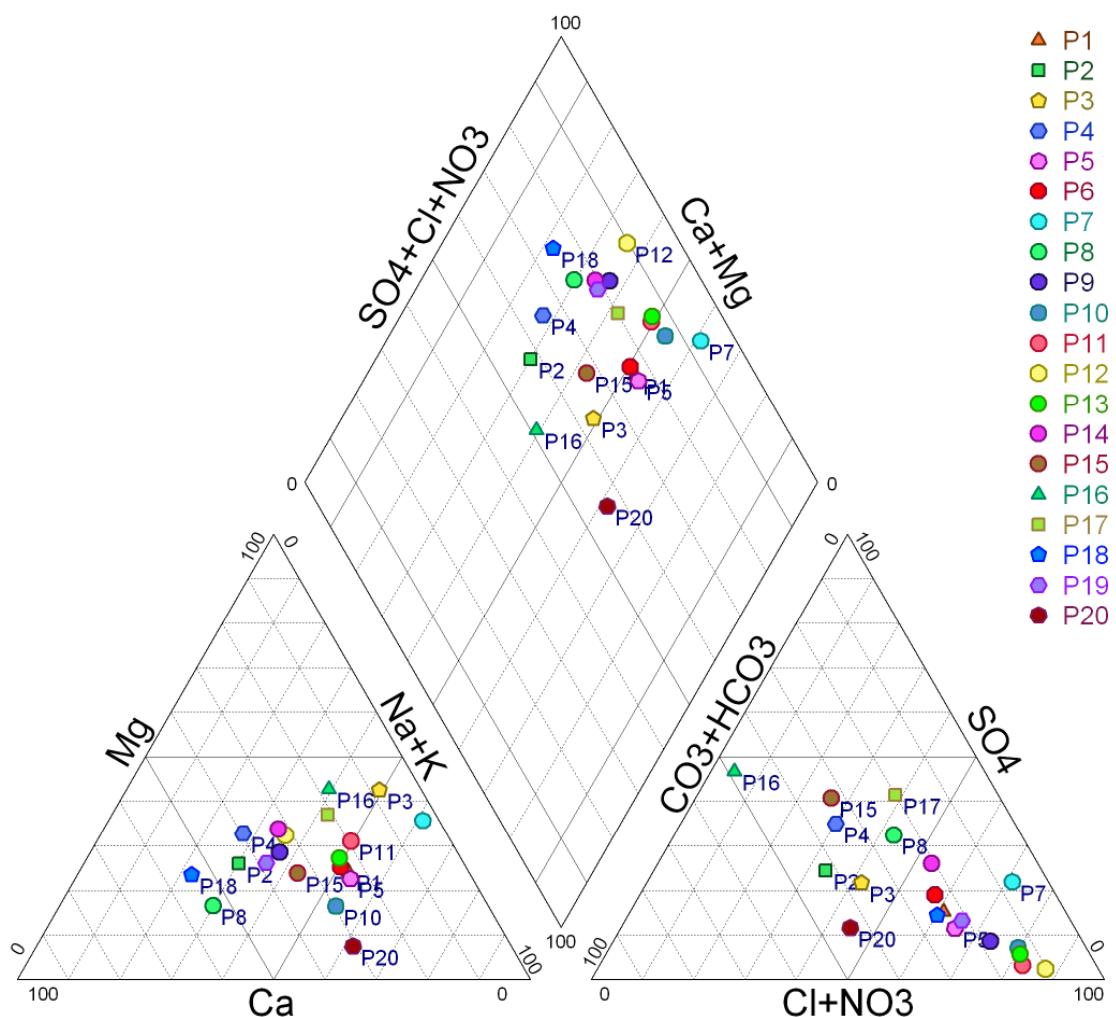


Figure IV.51. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines en aval du bassin.

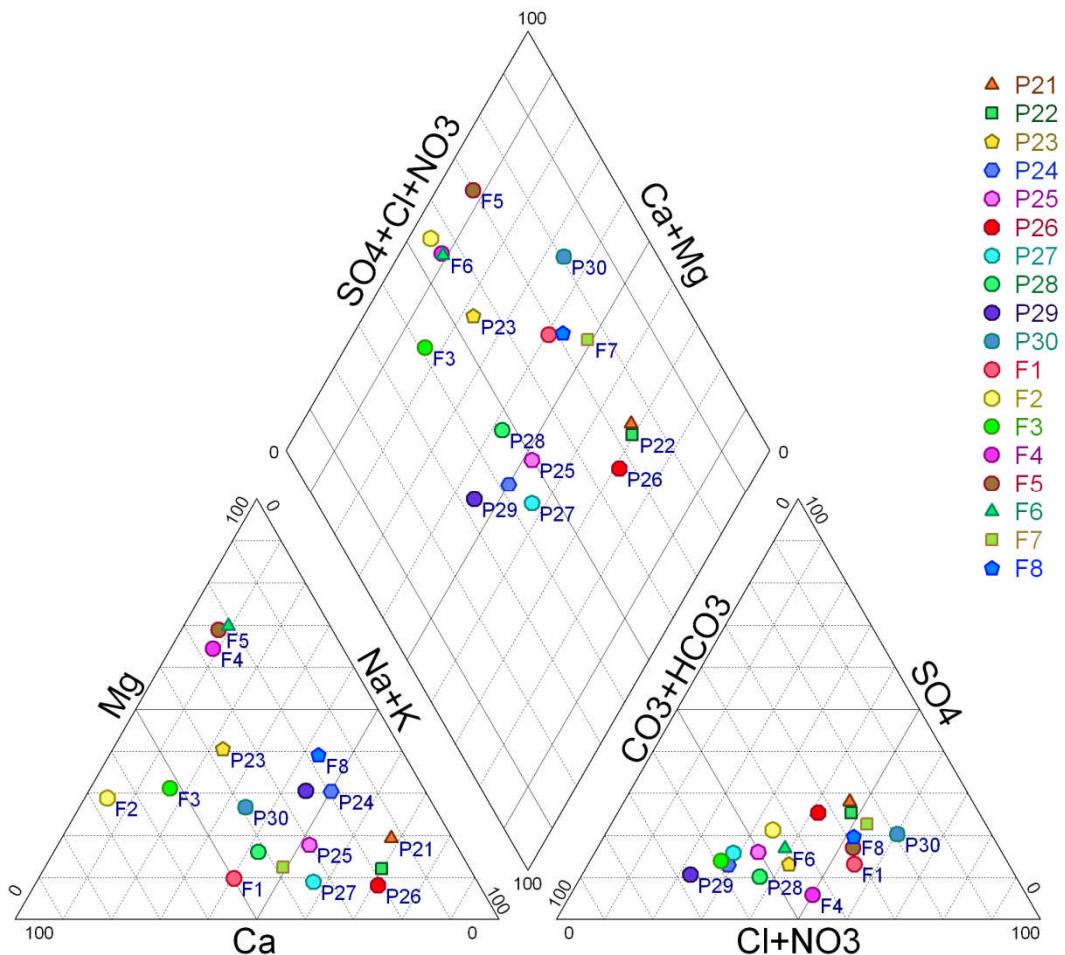


Figure IV.52. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper des eaux souterraines en aval du bassin.

II.2.2.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l. (Fig. IV.53, 54).

Tableau IV.24. Interprétation des diagrammes de Schoeller- Berkaloff

Faciès chimique	Les échantillons	Pourcentage
Chloruré-Sodique	P ₁ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₃ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₆	29,00%
Chloruré-Calcique	P ₈ , P ₉ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₃₀ , F ₁ , F ₇	18,42%
Chloruré- Magnésien	P ₃ , P ₁₂ , P ₁₄ , F ₄ , F ₅ , F ₈	15,79%
Bicarbonaté-Calcique	P ₂ , P ₂₈ , F ₂ , F ₃	10,52%
Bicarbonaté-Sodique	P ₂₄ , P ₂₅ , P ₂₇ , P ₂₉	10,52%
Bicarbonaté-Magnésien	P ₁₆ , P ₂₃ , F ₆	7,89%
Bicarbonaté-Sulfaté-Calcique	P ₄	2,63%
Sulfaté-Calcique	P ₁₅	2,63%
Sulfaté-Sodique	P ₁₇	2,63%

D'après le diagramme de Schoeller- Berkaloff, on remarque que le faciès chimique dominant est le chloruré - sodique avec le pourcentage de 29% (Tab.IV.24).

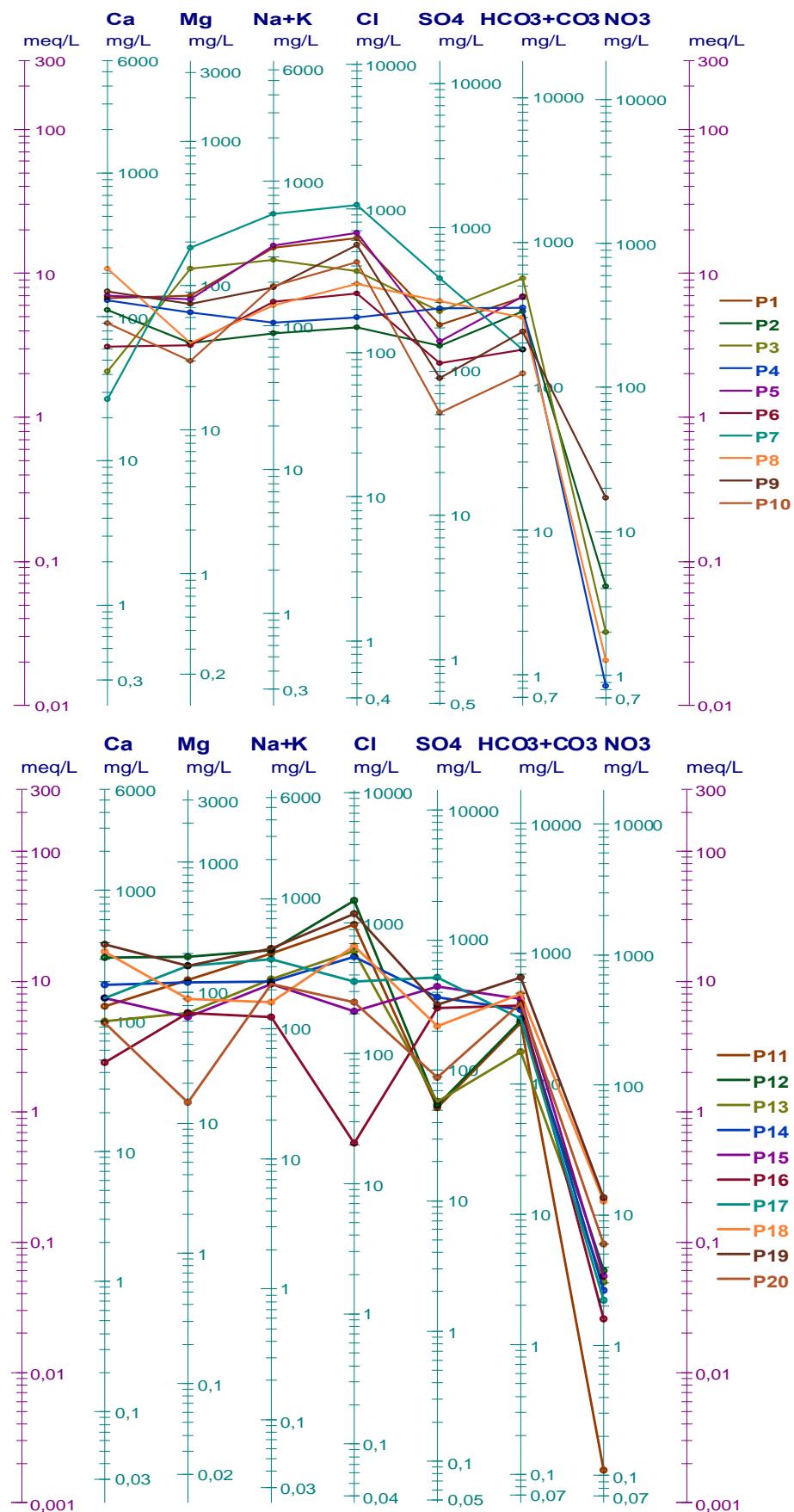


Figure IV.53. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoeller –Berkaloff des eaux souterraines en aval du bassin

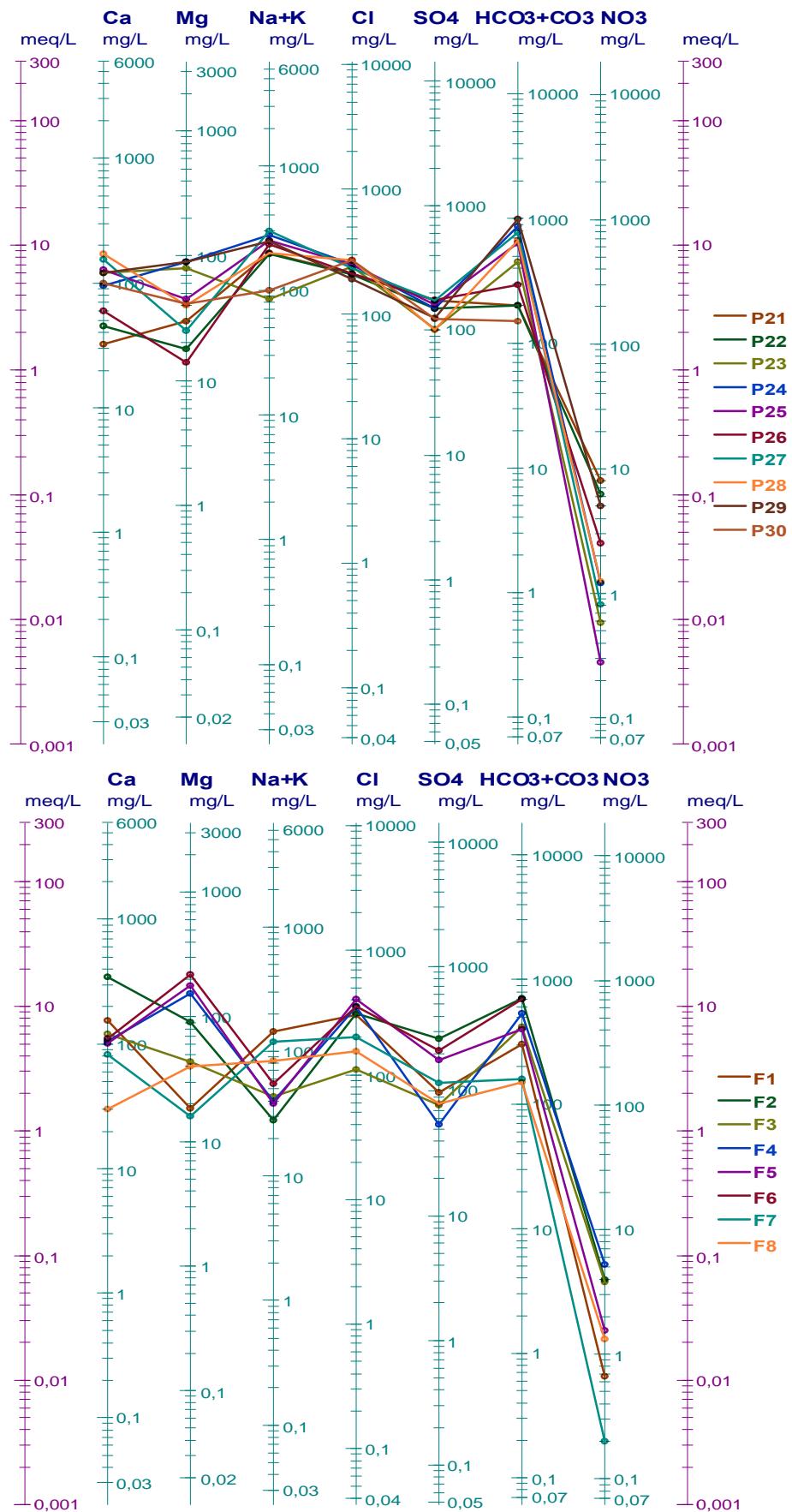


Figure IV.54. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Schoeller – Berkaloff des eaux souterraines en aval du bassin

II.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation

Les eaux de la région d'étude sont destinées à l'irrigation, c'est pour cela que nous sommes obligés de classer ces eaux, en utilisant le diagramme de Wilcox.

II.2.3.1. Principe du diagramme

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ratio) est donné par la formule

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}.$$

Où : Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en meq/l.

Les valeurs de SAR sont représentées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, cette dernière permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau IV.25. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode du S.A.R)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1 ^{ère}	Excellente	C ₁ -S ₁	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.
2 ^{eme}	Bonne	C ₂ -S ₁ C ₂ -S ₂	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.
3 ^{eme}	Admissible	C ₃ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₃ -S ₃	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4 ^{eme}	Médiocre	C ₄ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₄ -S ₃	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.
5 ^{eme}	Mauvaise	C ₄ -S ₁ C ₄ -S ₂ C ₃ -S ₃	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

Sur le diagramme de Wilcox (Fig. IV.55, 56), on peut distinguer les classes des eaux étudiées pour les trente puits et les huit forages, les résultats sont reportés dans le tableau IV.24.

Tableau IV.26. Classe des qualités des eaux pour l'irrigation

Classe	Nombre d'échantillon	Puits et Forages	Qualité
C ₁ S ₁	2	P ₂₄ et P ₂₇	Excellent
C ₂ S ₁	6	P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₃ , P ₂₆ , P ₂₉ et F ₈	Bonne
C ₃ S ₁	19	P ₂ , P ₄ , P ₅ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₇ , P ₂₀ , P ₂₅ , P ₂₈ , P ₃₀ , F ₃ , F ₄ , F ₅ , F ₆ , F ₇ .	Admissible
C ₄ S ₁	7	P ₆ , P ₈ , P ₁₃ , P ₁₄ , P ₁₈ , F ₁ et F ₂	Médiocre
C ₄ S ₂	4	P ₁ , P ₃ , P ₇ , et P ₁₉	Mauvaise

Les conductivités électriques des deux forages F₁ et F₂ et du puits P₁, dépassent d'une manière considérable la valeur limite de la conductivité du diagramme (5000 µS/cm), c'est pour cette raison que les deux forages figurent dans la classe médiocre et le puits P₁ figure dans la classe mauvaise.

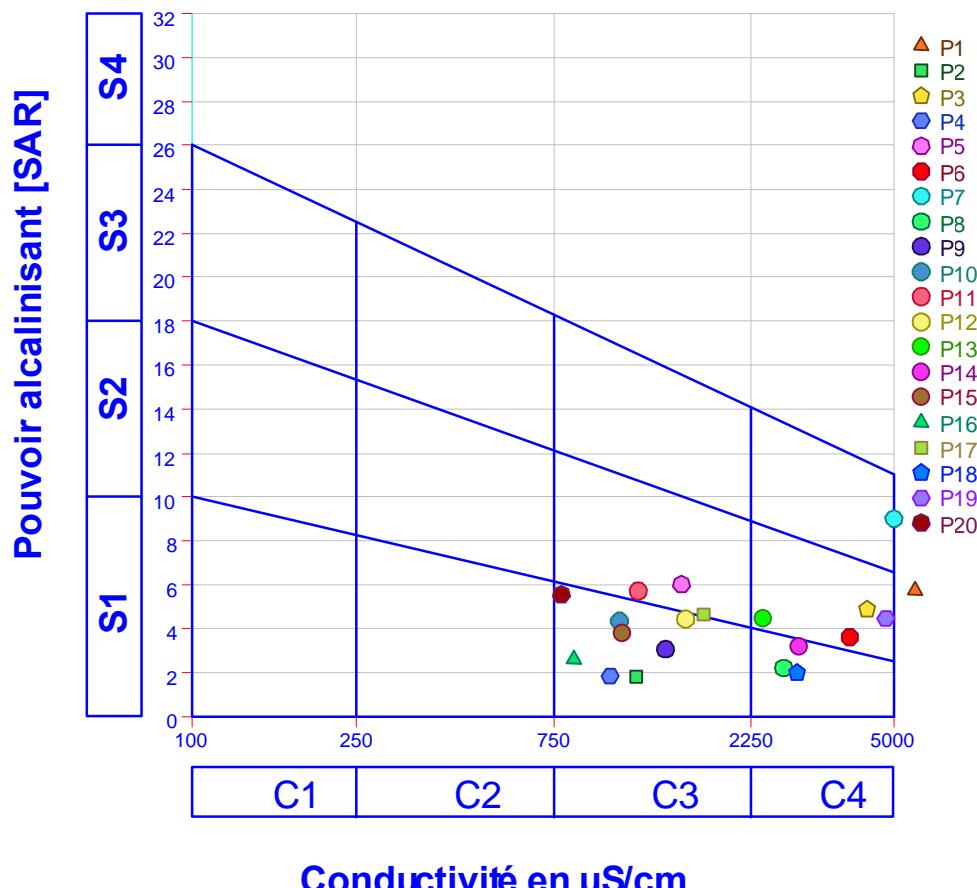


Figure IV.55. Classification de Wilcox des eaux d'irrigation de la nappe alluviale de l'oued Saf-Saf.

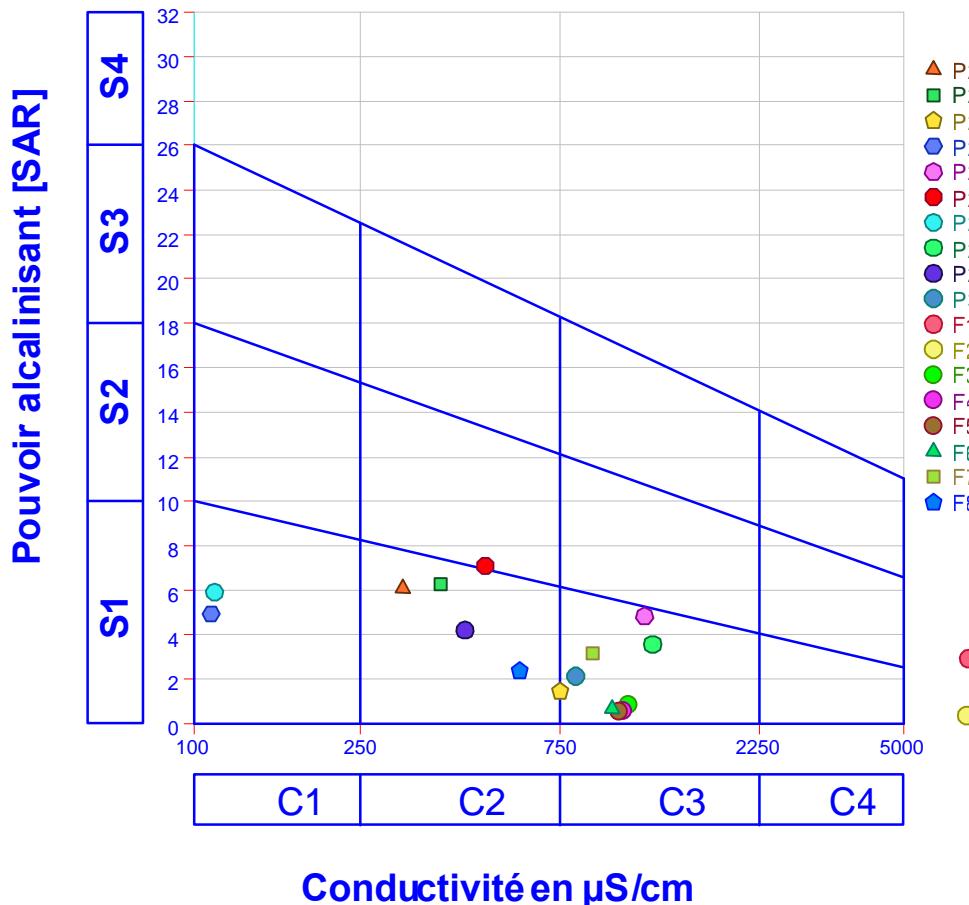


Figure IV.56. Classification de Wilcox des eaux d'irrigation de la nappe alluviale de l'oued Saf-Saf.

II.2.3.2. Normes et qualités des eaux

Dans le but de faire une approche qualitative des résultats des analyses chimiques effectuées, on a procédé les normes OMS (Organisation Mondiale de la Santé) de potabilité pour chacun des paramètres représentés dans les différentes courbes.

a. Chlorures (Cl^-)

Les teneurs en chlorures sont importantes au niveau de la majorité des points parce que les eaux reçoivent tous les rejets des eaux usées. La concentration élevée en chlorure observée au niveau du puits (P₁₂) est de 1491 mg/l.

Les valeurs minimales concernant les chlorures sont observées au niveau de sept (07) points (P₂, P₄, P₁₆, P₂₉, F₃, F₇ et F₈) où les teneurs ne dépassent pas les 200 mg/l.

La figure IV.57 et le tableau IV.27, montrent que les eaux souterraines de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf du point de vue chlorures (Cl^-) sont des eaux de qualité mauvaises.

Tableau IV.27. Classification des eaux selon les teneurs en chlorures

Chlorure (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0 - 200	Bonne	P ₂ , P ₄ , P ₁₆ , P ₂₉ , F ₃ , F ₇ et F ₈
>200	Mauvaise	P ₁ , P ₃ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃ , P ₁₄ , P ₁₅ , P ₁₇ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₃ , P ₂₄ , P ₂₅ , P ₂₆ , P ₂₇ , P ₂₈ , P ₃₀ , F ₁ , F ₂ , F ₄ , F ₅ et F ₆

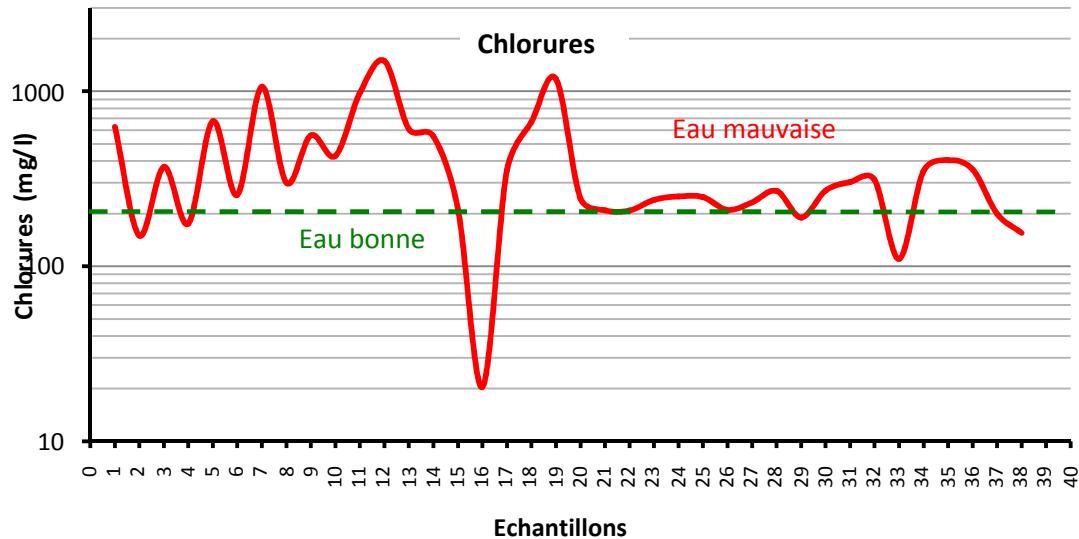


Figure IV.57. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des chlorures.

b. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, notons qu'un excès peut provoquer des inconvénients (altération gustative) et des maladies rénales.

Par rapport aux valeurs des conductivités électriques mesurées la minéralisation a été considérée selon la fourchette établie dans le tableau IV.28.

Tableau IV.28. Classe de la minéralisation des eaux

Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Type d'eau	Points correspondants
< 600	Eau de minéralisation moyenne	P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₄ , P ₂₆ , P ₂₇ et P ₂₉
600 - 1000	Eau de minéralisation importante	P ₁₆ , P ₂₀ , P ₂₃ , P ₃₀ , F ₇ et F ₈
>1000	Eau de minéralisation excessive	P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃ , P ₁₄ , P ₁₅ , P ₁₇ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₂₅ , P ₂₈ , F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ , F ₅ et F ₆

La figure IV.58, ainsi que le tableau IV.28 nous permettent de dire que la majeure partie des eaux sont caractérisées par une minéralisation excessive avec le maximum de la valeur de la conductivité de l'ordre de $7151,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ observée au niveau du forage F₁.

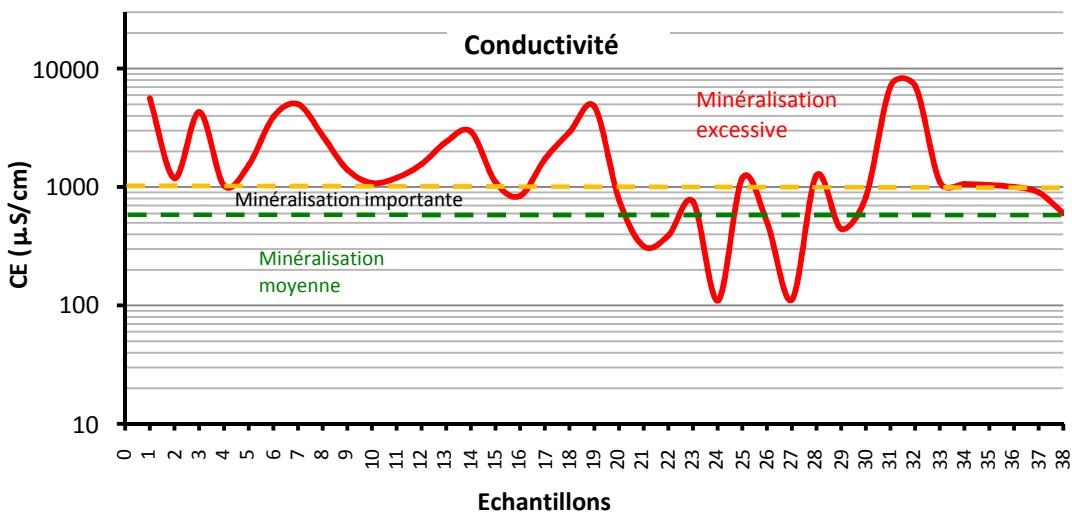


Figure IV.58. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction de la C.E.

c. Sulfates (SO_4^{2-})

Leur présence est souvent d'origine naturelle, les teneurs en sulfates des eaux sont liées principalement à la nature des terrains traversés.

En ce qui concerne les classes établies pour les sulfates, le tableau IV.29 met en évidence les deux classes retenues pour cette classification.

Tableau IV.29. Classification des eaux selon la teneur en sulfates.

Sulfate (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-250	Bonne	P ₁ , P ₂ , P ₅ , P ₉ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃ , P ₁₈ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₃ , P ₂₄ , P ₂₅ , P ₂₆ , P ₂₇ , P ₂₈ , P ₂₉ , P ₃₀ , F ₁ , F ₃ , F ₄ , F ₅ , F ₆ , F ₇ et F ₈
>250	Mauvaise	P ₃ , P ₄ , P ₇ , P ₈ , P ₁₄ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₇ , P ₁₉ , et F ₂

Le tableau IV.29 et la figure IV.59 montrent que la majorité des points sont des bonnes eaux ou la teneur en sulfate est inférieure à 250 mg/l et le reste des points (P₃, P₄, P₇, P₈, P₁₄, P₁₅, P₁₆, P₁₇, P₁₉, et F₂) représentant des eaux mauvaises avec des valeurs en sulfate supérieures à 250 mg/l.

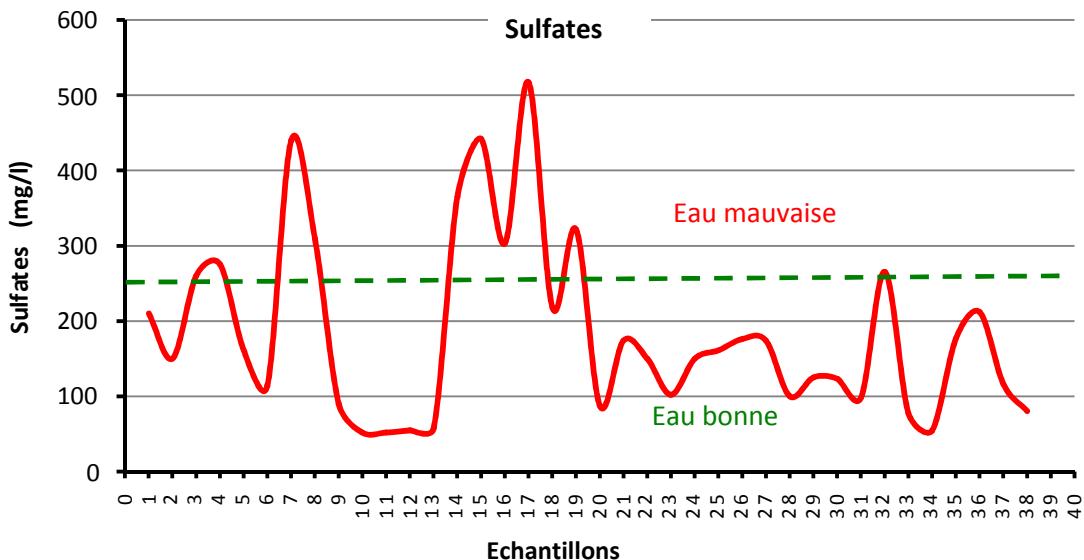


Figure IV.59. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des Sulfates.

d. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium peut avoir comme origine les oxydes de magnésium ou la magnétite. Il peut aussi se trouver en abondance dans les roches carbonatées et peut être sous la forme de $MgSO_4$ et $MgCl_2$.

Les normes de cet élément sont consignées dans le tableau IV.30.

Tableau IV.30. Classification des eaux selon la teneur en Magnésium.

Magnésium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-50	Bonne	P ₂ , P ₆ , P ₈ , P ₁₀ , P ₁₇ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₅ , P ₂₆ , P ₂₇ , P ₂₈ , P ₃₀ , F ₁ , F ₃ , F ₇ et F ₈
50- 100	Passable	P ₁ , P ₄ , P ₅ , P ₉ , P ₁₃ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₈ , P ₂₃ , P ₂₄ , P ₂₉ et F ₂
>100	Mauvaise	P ₃ , P ₇ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₄ , P ₁₉ , F ₄ , F ₅ et F ₆

Dans le tableau IV.30 et la figure IV.60 dix-sept (17) points représentent des eaux bonne ou la teneur en magnésium est inférieur à 50 mg/l, douze (12) points correspondant à des eaux passable, pour lesquelles la teneur en magnésium est comprise entre 50 et 100 mg/l et les eaux médiocres représentées par neuf (09) points avec une teneur en magnésium supérieure à 100 mg/l.

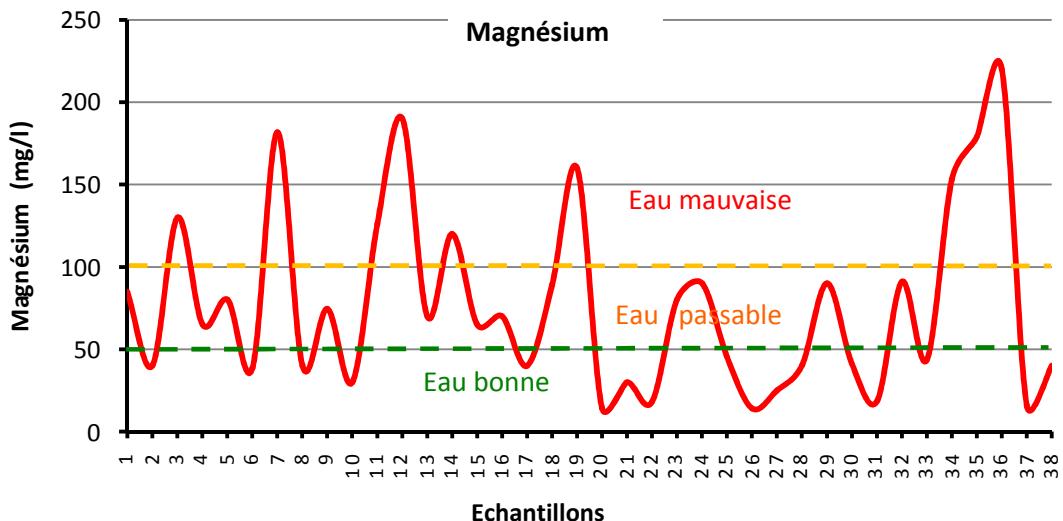


Figure IV.60. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction du Magnésium.

e. Nitrates (NO_3^-)

Leur origine est principalement agricole (engrais azoté), leur présence dans l'eau de consommation provoque :

- ✓ La méthémoglobinémie qui est une grave intoxication des nouveaux nés par asphyxie.
- ✓ Le cancer par formation de nitrosamine.

En présence de phosphore, les nitrates favorisent l'eutrophisation, ils proviennent souvent de l'utilisation des engrains mais aussi des rejets industriels et domestiques.

La classification des eaux souterraines de la région d'étude suivant les normes des nitrates est représentée dans le tableau IV.31.

Tableau IV.31. Classification des eaux selon la teneur en Nitrates

Nitrates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0 - 5	Excellente	P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇ , P ₈ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₁₃ , P ₁₄ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₇ , P ₂₃ , P ₂₄ , P ₂₅ , P ₂₆ , P ₂₇ , P ₂₈ , P ₃₀ , F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₅ , F ₆ , F ₇ , et F ₈
5 - 25	Bonne	P ₉ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₉ , et F ₄

Le tableau IV.31 et la figure IV.61, donnent les deux classes de la qualité des eaux, la première excellente, caractérisée par des teneurs en Nitrates entre 0 à 5 mg/l et la deuxième correspondant aux eaux bonnes, concerne les points (P₉, P₁₈, P₁₉, P₂₀, P₂₁, P₂₂, P₂₉, et F₄) avec des teneurs en nitrates comprises entre 5 et 25 mg/l.

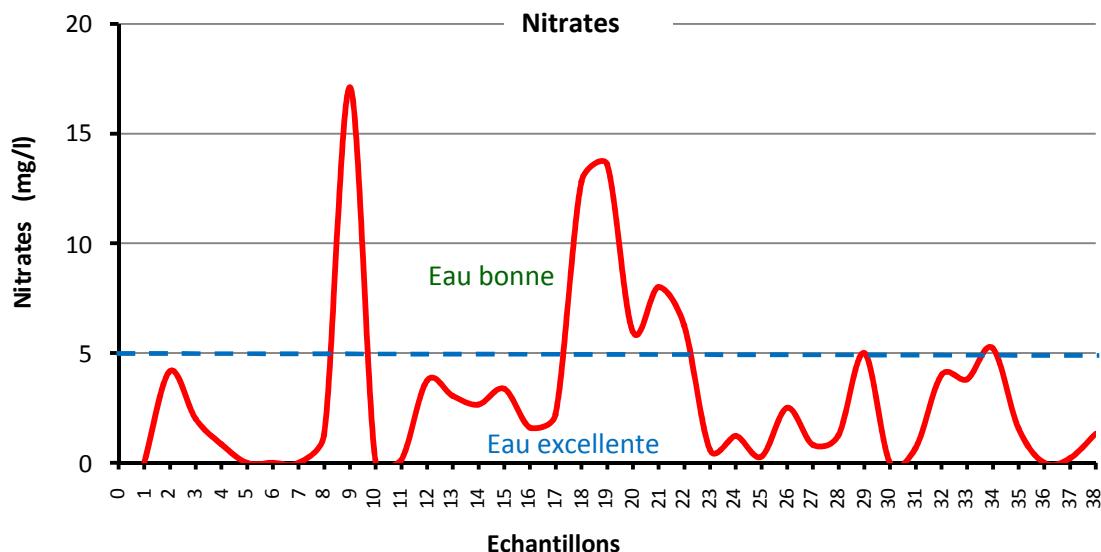


Figure IV.61. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des Nitrates

f. Nitrates (NO_2^-)

Les nitrates (NO_2^-) proviennent d'une transformation du NH_4^+ par les bactéries, ils provoquent le cancer par la formation de nitrosamine.

Le tableau IV.32 présente les quatre classes retenues pour cet élément.

Tableau IV.32. Classification des eaux selon la teneur en Nitrates

Nitrates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0 - 0,1	Excellent	P ₉ , P ₁₁ , P ₁₃ , P ₁₄ , P ₂₀ , P ₂₁ , P ₂₃ , P ₂₈ , F ₃ , F ₅ et F ₇
0,1 - 0,3	Good	P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ et F ₂
0,3 - 1	Acceptable	P ₆ , P ₇ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₇ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₂₂ , P ₂₆ , et F ₈
> 1	Poor	P ₁ , P ₈ , P ₁₀ , P ₁₂ , P ₂₄ , P ₂₅ , P ₂₇ , P ₂₉ , P ₃₀ , F ₁ , F ₄ et F ₆

Concernant les nitrates (NO_2^-), on a quatre types d'eau : les eaux de qualité excellentes représentées par huit puits et trois forages, les eaux bonnes correspondant à quatre puits et un forage, les eaux passables représentées par neuf puits et un forage et enfin les eaux mauvaises correspondant à neuf puits et trois forages (Fig. IV.62).

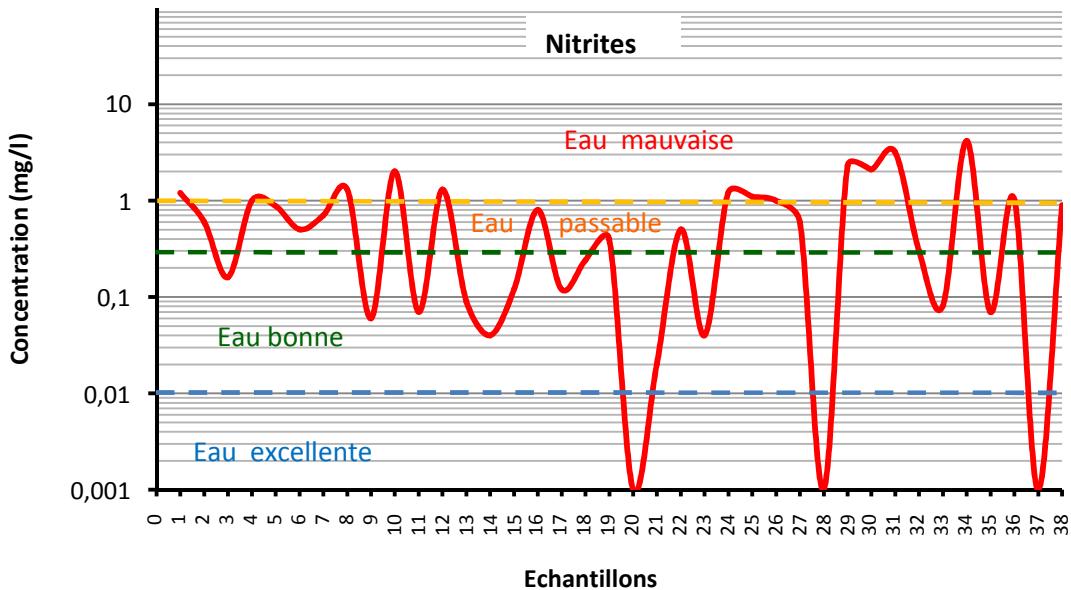


Figure IV.62. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des Nitrites

g. Ammonium (NH_4^+)

La présence de NH_4^+ dans les eaux peut s'expliquer par :

- ✓ Des rejets d'affluents domestiques et industriels.
- ✓ De la réduction naturelle des NO_2^- .
- ✓ De la réduction naturelle des NO_3^- , par les bactéries ou par les ions ferreux.
- ✓ De la dégradation incomplète de la matière organique.

L'ammonium (NH_4^+) peut modifier le goût de l'eau et provoquer la prolifération des bactéries nitrifiantes.

Tableau IV.33. Classification des eaux selon la teneur en Ammonium.

L'ammonium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-0.1	Excellent	$P_6, P_{14}, P_{27}, P_{29}$ et F_1
0.1-0.5	Bonne	$P_{13}, P_{15}, P_{18}, P_{19}, P_{28}$ et P_{30}
0.5-4	Passable	$P_1, P_2, P_3, P_4, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{16}, P_{17}, P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{25}, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$ et F_8
>4	Mauvaise	P_5 et P_{24}

D'après la figure IV.63 et le tableau IV.33, du point de vue Ammonium (NH_4^+), la majeure partie des points d'analyses montre que les eaux de la région d'étude sont de qualité passable.

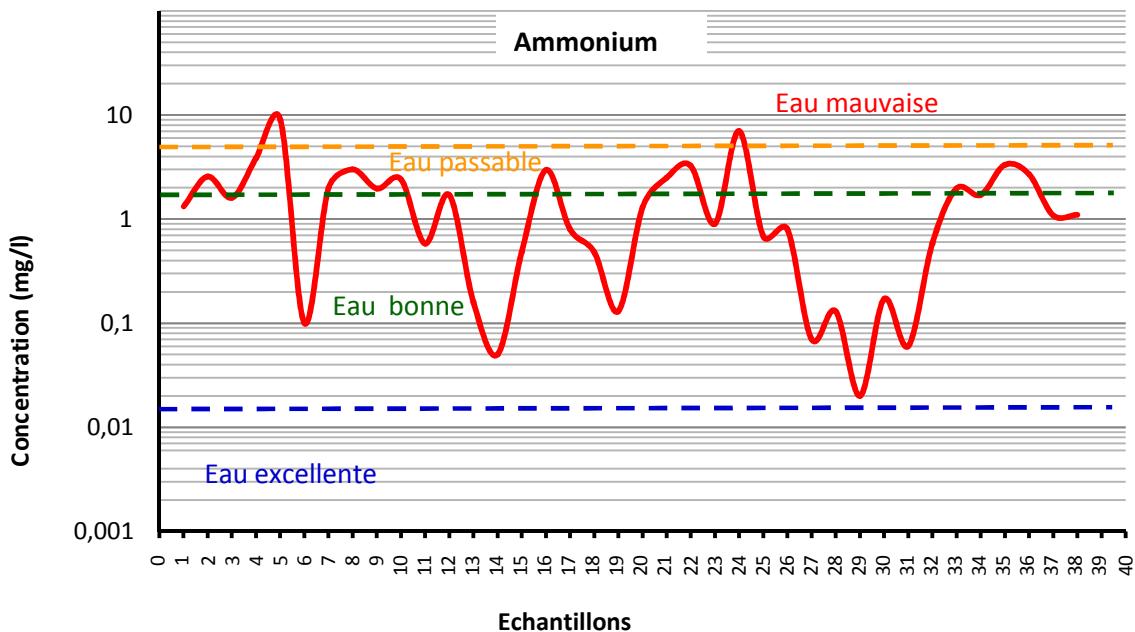


Figure IV.63. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction de l'Ammonium.

h. Phosphates (PO_4)

Le phosphore n'est pas considéré comme problématique, pour le traitement de l'eau bien que les normes aient été établies pour sa consommation.

Le phosphore en excès est à l'origine de l'eutrophisation, dont la forme la plus courante est la prolifération d'algues planctoniques qui donnent une couleur verte ou brune à l'eau, il provient essentiellement des rejets domestiques (en raison d'utilisation de lessives phosphatées) et industriels.

Tableau IV.34. Classification des eaux selon la teneur en phosphates.

Phosphates (mg/l)	Type d'eau	points correspondants
0 – 0,2	Excellent	P ₁ , P ₃ , P ₄ , P ₇ , P ₈ , P ₁₀ , P ₁₁ , P ₁₂ , P ₂₀ , P ₂₆ , P ₂₇ , F ₅ , F ₆ , F ₇ et F ₈
0,2 - 0,5	Bonne	P ₉ , P ₂₅ , P ₃₀ et F ₁
0,5 – 1	Passable	P ₁₄
>1	Mauvaise	P ₂ , P ₅ , P ₆ , P ₁₃ , P ₁₅ , P ₁₆ , P ₁₇ , P ₁₈ , P ₁₉ , P ₂₁ , P ₂₂ , P ₂₃ , P ₂₄ , P ₂₈ , P ₂₉ , F ₂ , F ₃ et F ₄ .

L'évolution du phosphore dans les eaux représenté dans la figure IV.64, montre que onze puits et quatre forages sont des eaux de qualité excellentes eaux, trois puits et un forage représentent la classe des eaux de qualité bonnes, la classe passable est représentée seulement par un seul puits, alors que la classe mauvaises est représenté par quinze puits et trois forages.

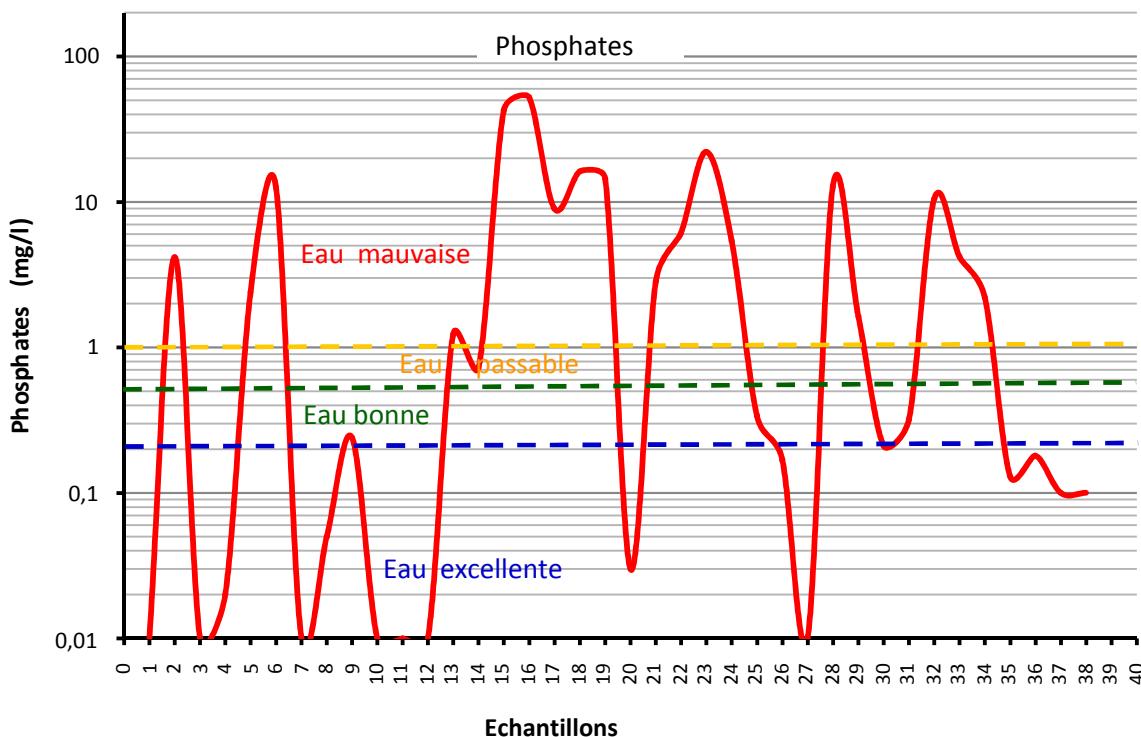


Figure IV.64. Evolution de la qualité des eaux souterraines en fonction des phosphates.

II.2.4. Etude des valeurs relatives

II.2.4.1. Indice des échanges de bases (i.e.b)

Les eaux au cours de leurs trajets souterrains échangent leurs ions contre ceux des formations géologiques traversées.

D'après Schoëller (1939) l'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. Il est donné par la formule suivante :

$$i.e.b = rCl^- - (rNa^+ + rK^+)/rCl^-$$

- Si $i.e.b > 0$: l'eau est d'origine sédimentaire.
- Si $i.e.b < 0$: l'eau est d'origine cristalline.

Suivant le tableau ci-après (IV.35), la majorité des eaux des puits et des forages analysées ont un $i.e.b > 0$, ceci est due à la nature lithologique des terrains qui est sédimentaires (sable, grés et alluvions), le reste des eaux ont un $i.e.b < 0$; ces puits et ces forages se trouvent près des formations métamorphiques.

II.2.4.2. Rapports caractéristiques

Le rapport caractéristique est le rapport de certains éléments chimiques exprimés en milliéquivalent par litre (mEq/l).

L'étude des variations de ces rapports donne de précieuses indications sur l'alimentation des nappes ; la circulation des eaux souterraines ainsi que le contact de l'eau souterraine avec les roches.

Les rapports étudiés sont : rMg^{2+}/rCa^{2+} , rSO_4^{2-}/rCl^- et rNa^+/rCl^- . Les résultats sont présentés dans le tableau IV.35.

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

Les valeurs du rapport caractéristique varient entre 0,19 (forage 1) et 11,22 (puits 7). Lorsque ce rapport est inférieur à 1 ; il traduit la prédominance de l'élément Ca^{++} .

Nous constatons que la majorité des points ont un rapport inférieur à 1, ceci peut être expliqué par la présence des formations sableuses et alluvionnaires surmontant les formations carbonatées.

Lorsque la valeur du rapport caractéristique est supérieur à 1, ou les fortes valeurs sont observées au niveau de deux puits ; P₇(11,22) et P₃(5,10), ceci indique une coïncidence à des formations argileuse dolomitiques ou métamorphiques qui affleurent à la surface.

b. Rapport $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$:

Lorsque ce rapport est supérieur à 1 ; ceci est observé au niveau de cinq puits ; P₄(1,16), P₁₅(1,65), P₁₆(11,05), P₁₇(1,08) et P₁₉(1,10), traduisant la prédominance des sulfates qui sont liées essentiellement au lessivage des engrains chimiques, utilisés dans l'agriculture.

Lorsque ce rapport est inférieur à 1 c'est le cas de la majorité des points, ceci traduit la prédominance des chlorures qui proviennent du lessivage des terrains argileux, ou l'invasion de la nappe par les eaux salées ou par la présence des rejets des eaux usées domestiques.

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

Lorsque ce rapport est supérieur à 1 ; il y a la prédominance du sodium cette prédominance s'explique par l'existence des argiles qui ont la capacité d'absorption importante de la salinité du sol imprégné de l'eau de mer.

Lorsque ce rapport est inférieur à 1, c'est le cas de la majorité des points, il traduit la prédominance des chlorures, pouvant devenir des rejets domestiques et industriels et aussi de l'invasion marine.

Tableau IV.35. Rapports caractéristiques et indices des échanges de bases.

Points	$r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$	$r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$	$r\text{Na}^+/\text{rCl}^-$	i.e.b
P₁	1,02	0,25	0,63	0,36
P₂	0,6	0,74	0,67	0,32
P₃	5,10	0,51	0,88	0,12
P₄	0,82	1,16	0,68	0,32
P₅	0,94	0,17	0,61	0,38
P₆	1,03	0,32	0,65	0,34
P₇	11,22	0,30	0,64	0,36
P₈	0,30	0,76	0,52	0,47
P₉	0,82	0,11	0,37	0,62
P₁₀	0,55	0,09	0,50	0,49
P₁₁	1,6	0,04	0,44	0,55
P₁₂	1,02	0,03	0,30	0,69
P₁₃	1,15	0,07	0,42	0,57
P₁₄	1,04	0,48	0,47	0,51
P₁₅	0,71	1,65	1,19	-0,19
P₁₆	2,40	11,05	6,9	-5,89
P₁₇	0,44	1,08	1,11	-0,11
P₁₈	0,43	0,25	0,28	0,71
P₁₉	0,67	1,10	0,40	0,59
P₂₀	0,24	0,26	1,03	-0,03
P₂₁	1,54	0,61	1,09	-0,09
P₂₂	0,66	0,53	1,08	-0,08
P₂₃	1,01	0,31	0,40	0,59
P₂₄	1,56	0,44	1,28	-0,28
P₂₅	0,58	0,48	1,15	-0,15
P₂₆	0,38	0,62	1,28	-0,28
P₂₇	0,26	0,55	1,48	-0,48
P₂₈	0,38	0,27	0,84	0,15
P₂₉	1,23	0,48	1,50	-0,50
P₃₀	0,68	0,33	0,42	0,57
F₁	0,19	0,24	0,54	0,45
F₂	0,43	0,63	0,10	0,89
F₃	0,6	0,52	0,45	0,54
F₄	2,38	0,11	0,13	0,86
F₅	2,92	0,32	3,36	0,89
F₆	3,29	0,44	0,17	0,82
F₇	0,32	0,43	0,56	0,32
F₈	2,19	0,38	0,62	0,38

II.3. Etats des minéraux dissous dans les eaux souterraines

Le degré de saturation de l'eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation, qui atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide.

Un indice de saturation positif indique une sur saturation et un indice négatif indique une sous saturation vis à vis des minéraux.

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+), sous l'effet de l'évaporation isotherme (25°C), par le logiciel thermodynamique « phreeq C », en terme d'équilibre sel / solution, montre que les eaux de la région sont sous saturées par rapport à la halite (Na Cl), ce qui provoque sa dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en sodium et en chlorures, vis à vis du gypse ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et de l'Anhydrite (Ca SO_4) les eaux sont en sur saturation, ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et d'Anhydrite pour les eaux présentant un faciès sulfaté - calcique (Fig. IV.65).

Les minéraux carbonatés sont sursaturés et tendent à se précipiter sous forme d'Aragonite, de Calcite et surtout de Dolomie (Fig. IV.66).

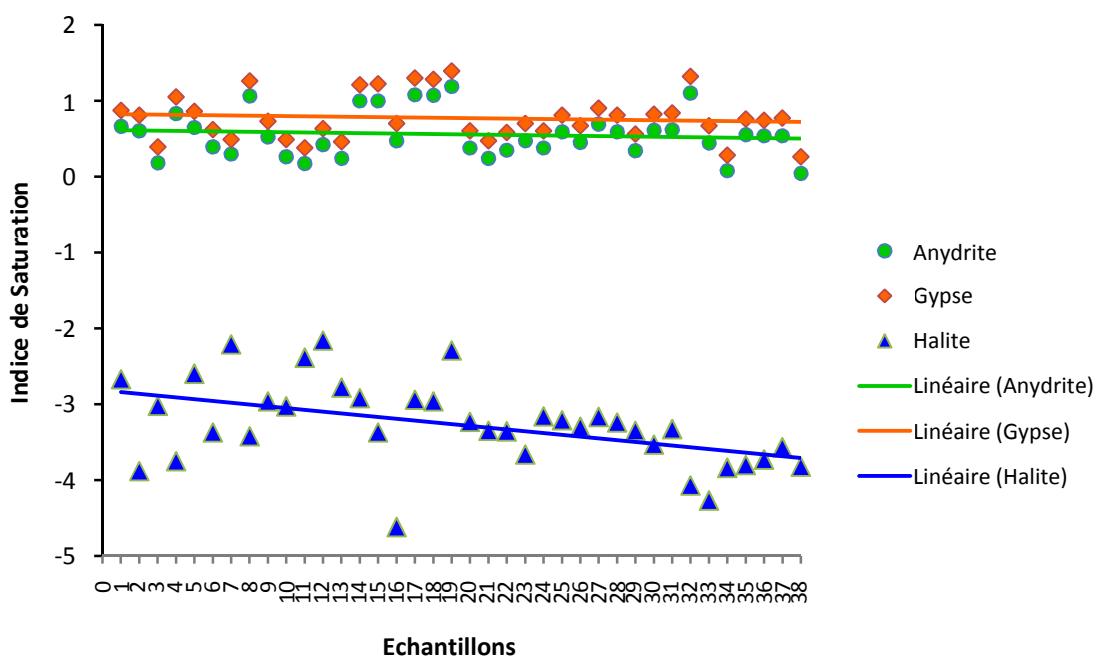


Figure IV.65. Evolution des minéraux évaporitiques dans les eaux souterraines.

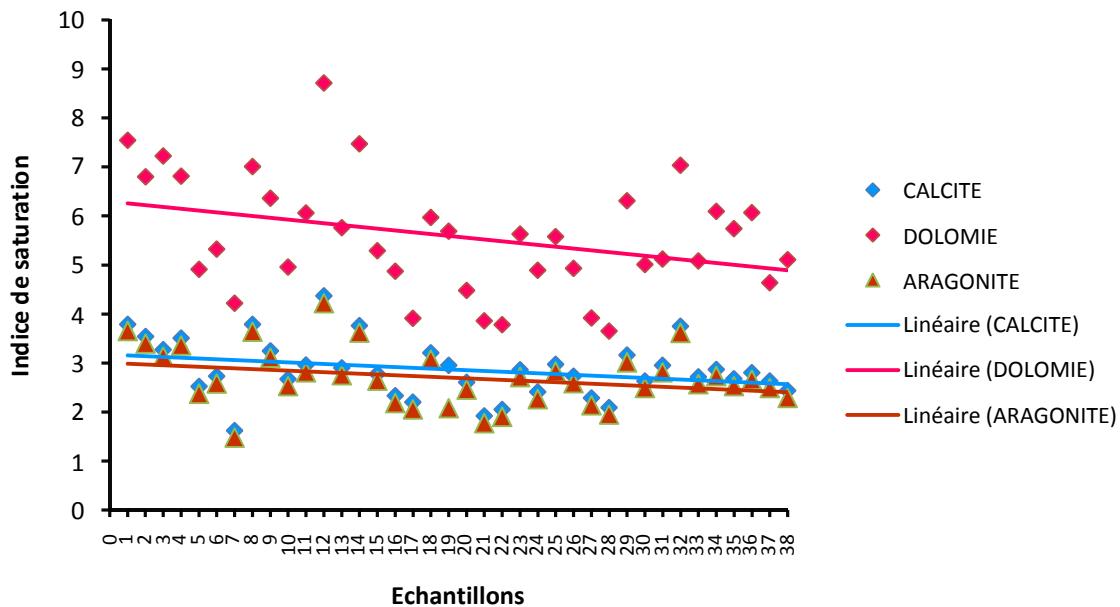


Figure IV.66. Evolution des minéraux carbonatés dans les eaux souterraines.

Conclusion

De cette partie, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Il en ressort pour les eaux souterraines un faciès chimique dominant le chloruré-sodique avec un pourcentage de 29%.
- Les trois représentations graphiques effectuées sur les résultats des analyses chimiques ont donné le même résultat et on pense que le diagramme de Stiff est le plus significatif, du moment qu'il permet de faire une comparaison entre les analyses et aussi permet un archivage graphique des résultats d'analyses.
- La représentation graphique concernant les trois forages (F_3 , F_4 et F_5) et les trois puits (P_8 , P_{21} et P_{25}) par le diagramme à coordonnées rayonnantes, qui tient compte dans le calcul de la balance ionique de la silice (SiO_2) et qui visualise par le tracé du cercle la minéralisation de l'eau, seul le puits P_{21} indique par le biais de cercle inscrit que la minéralisation globale est inférieure à 1 g/l.
- Concernant l'aptitude des eaux pour l'irrigation, les points analysés peuvent être subdivisés en cinq (05) classes : la classe excellente regroupant deux (02) puits, la classe bonne correspondant aux eaux des cinq (05) puits et un (01) forage, la classe admissible regroupant quatorze (14) puits et cinq (05) forages, la classe médiocre correspondant à deux (02) forages et cinq (05) puits et la cinquième classe pour les eaux de qualité mauvaise, qui est représentée par quatre (04) puits.
- Les chlorures montrent que la majorité des eaux étudiées sont de qualité mauvaise, pour la conductivité électrique, il s'agit des eaux de minéralisation excessive, pour le magnésium les eaux sont de type bonnes à passables, pour les sulfates les eaux sont bonnes.

- Concernant les nitrates les eaux sont excellentes, les nitrites montrent qu'on a quatre type d'eau : excellente, bonne, passable et mauvaise.
 - Du point de vue ammonium, les eaux sont de qualité passable.
 - Concernant le phosphore, les eaux souterraines sont de qualités excellentes à mauvaises.
 - Le rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$ est inférieur à 1 pour la plupart des eaux ceci indique la présence des formations sableuses et alluvionnaires surmontant les formations carbonatées, le rapport caractéristique $r \text{SO}_4^{--} / r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1 pour la majorité des eaux, ceci traduit la prédominance des chlorures qui proviennent du lessivage des terrains argileux, ou l'invasion de la nappe par les eaux salées ou par la présence des rejets des eaux domestiques. Le rapport caractéristique $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1, ceci s'explique par la prédominance des chlorures.
- Pour l'indice des échanges de bases, les eaux étudiées ont un $i.e.b > 0$, ceci est dû à la nature lithologique des terrains sédimentaires (sable, grés et alluvions).
- Les eaux sont sursaturées par rapport aux minéraux évaporitiques (Gypse et Anhydrite), alors que la halite se trouve en sous saturation.
- Les eaux sont en sursaturation vis à vis des minéraux carbonatés, favorisant ainsi une sédimentation surtout sous la forme de Dolomie.

III. Analyse en composantes principales (A.C.P)

III.1. Généralités

La statistique multidimensionnelle a pour objet la description simultanée des données volumineuses, fournissant ainsi des informations à des éléments d'interprétation qu'on ne peut obtenir par les traitements classiques.

L'analyse en composante principale (A.C.P) permet une analyse des relations entre les nombreuses variables donnant ainsi des informations sur l'évolution du chimisme des eaux et la détermination des caractères dominants dans le milieu.

L'analyse en composante principale (A.C.P) est une méthode descriptive ayant pour objet la description des données contenues dans un tableau d'individus à caractères numériques (P caractères sont mesurés sur n individus).

Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre des caractères permettant une représentation géométrique des individus et des caractères.

Cette réduction ne sera possible que si les P caractères initiaux ne soient pas indépendant et ont des coefficients de corrélation non nuls.

L'A.C.P est une méthode factorielle, car la réduction du nombre de caractère ne se fait pas sur une simple sélection de certain d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs.

C'est une méthode linéaire car il s'agit de combinaison linéaire. Partant d'un tableau de données sur lequel figurent en colonnes (P) variables et en lignes (n) échantillons, il est possible de représenter chaque échantillon par un point dans un espace à P dimension (espace de variable).

Egalement chaque variable peut-être représentée dans un espace à n dimensions (espace des échantillons).

On obtient ainsi un nuage de points dont il est impossible de visualiser la structure.

Aussi faut-il avoir recours à une représentation dans un espace à dimensions réduites (deux en général) déterminé à partir des axes principaux du nuage de points.

Chaque axe factoriel est choisi de façon à décrire le maximum de variance du nuage de points. L'association deux à deux de ces axes aux facteurs permet une représentation graphique plane de ce nuage.

Généralement le calcul se poursuit jusqu'au facteur qui exprime 90% au moins de la variance totale.

Pour conserver au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité, on centre la variable, c'est-à-dire on fait passer les axes principaux de projection par le centre de gravité, il s'agit alors d'une A.C.P centré.

De plus, afin d'éliminer l'influence de la taille des variables dépendant des unités choisies, on considère comme variable dans l'A.C.P réduite le rapport de chaque valeur à son écart-type ; l'A.C.P est alors dite centrée réduite.

III.2. Application de l'A.C.P

Nous avons réalisé deux analyses en composantes principales sur les données traitées précédemment dans la partie hydrochimique.

La première A.C.P concerne les eaux souterraines de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf, elle a été effectuée sur 38 observations et 15 variables (T° , pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(Na^+ + K^+)$, Cl, HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_2^- et la Minéralisation).

La deuxième A.C.P a concerné les eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf, elle a été faite sur 19 observations pour 11 variables (pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl⁻, SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- et TDS).

III.2.1. Analyse en composantes principales des eaux souterraines de la basse vallée de l'oued Saf-Saf

Le tableau des données comporte 15 variables et 38 individus. Pour l'interprétation nous avons opté pour trois axes qui expriment 45.75 % de l'information (variance cumulée).

Le tableau IV.36 permet de constater que plus de 18 % de l'information est contenue dans l'axe factoriel F1.

Tableau IV.36. Inerties totales de l'A.C.P des eaux souterraines

Facteurs	F1	F2	F3
Valeur propre	2.84	2.14	1.87
% Variance	18.93	14.32	12.49

Pour interpréter cette A.C.P, nous nous sommes contentés de deux cercles de corrélations, le premier formé par les axes F1 et F2, qui fournit 33.25 % de l'information (Fig. IV.67) et le deuxième formé par les axes F1 et F3, qui totalise 31.43 % de la variance cumulée (Fig. IV.68).

La matrice de corrélation correspondante (Tab. IV.37), nous indique les éléments ayant des bonnes corrélations entre eux.

Tableau IV.37. Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux souterraines

Variables	pH	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	CE	Min
pH	1	0.194	0.082	0.135	-0.071	-0.340	0.208	-0.045	0.342	-0.218	-0.048	0.082	-0.074	0.243	-0.088
T°C	0.194	1	-0.111	0.219	-0.093	-0.163	0.041	0.085	0.176	-0.392	-0.012	0.309	-0.038	0.202	0.373
Ca²⁺	0.082	-0.111	1	0.269	0.092	0.342	0.494	0.169	0.276	0.098	0.431	-0.058	-0.208	0.407	-0.137
Mg²⁺	0.135	0.219	0.269	1	0.244	0.279	0.629	0.182	0.102	-0.050	0.068	0.063	0.107	0.200	0.365
Na⁺+K⁺	-0.071	-0.093	0.092	0.244	1	0.025	0.683	0.314	-0.093	-0.120	0.012	-0.133	0.039	0.198	0.114
HCO₃⁻	-0.340	-0.163	0.342	0.279	0.025	1	-0.098	0.087	-0.227	0.118	0.071	0.104	0.030	-0.008	0.285
Cl⁻	0.208	0.041	0.494	0.629	0.683	-0.098	1	0.057	0.194	-0.198	0.225	-0.048	-0.030	0.340	0.027
SO₄²⁻	-0.045	0.085	0.169	0.182	0.314	0.087	0.057	1	0.088	0.365	-0.003	-0.258	-0.009	0.291	0.176
SiO₂⁻	0.342	0.176	0.276	0.102	-0.093	-0.227	0.194	0.088	1	0.032	0.255	-0.158	0.080	-0.001	0.053
PO₄³⁻	-0.218	-0.392	0.098	-0.050	-0.120	0.118	-0.198	0.365	0.032	1	0.093	-0.205	-0.061	-0.037	-0.271
NO₃⁻	-0.048	-0.012	0.431	0.068	0.012	0.071	0.225	-0.003	0.255	0.093	1	-0.179	-0.129	0.026	-0.238
NO₂⁻	0.082	0.309	-0.058	0.063	-0.133	0.104	-0.048	-0.258	-0.158	-0.205	-0.179	1	0.044	0.082	0.004
NH₄⁺	-0.074	-0.038	-0.208	0.107	0.039	0.030	-0.030	-0.009	0.080	-0.061	-0.129	0.044	1	-0.259	0.111
CE	0.243	0.202	0.407	0.200	0.198	-0.008	0.340	0.291	-0.001	-0.037	0.026	0.082	-0.259	1	-0.100
Min	-0.088	0.373	-0.137	0.365	0.114	0.285	0.027	0.176	0.053	-0.271	-0.238	0.004	0.111	-0.100	1

La matrice de corrélation montre les variables qui sont bien corrélées entre-elles mentionnées en gras, indiquant probablement l'origine commune des éléments considérés ou évoluant de façon similaire. On cite notamment les corrélations suivantes : (Cl^- - Mg^{2+}) et (Cl^- - Na^+ + K^+).

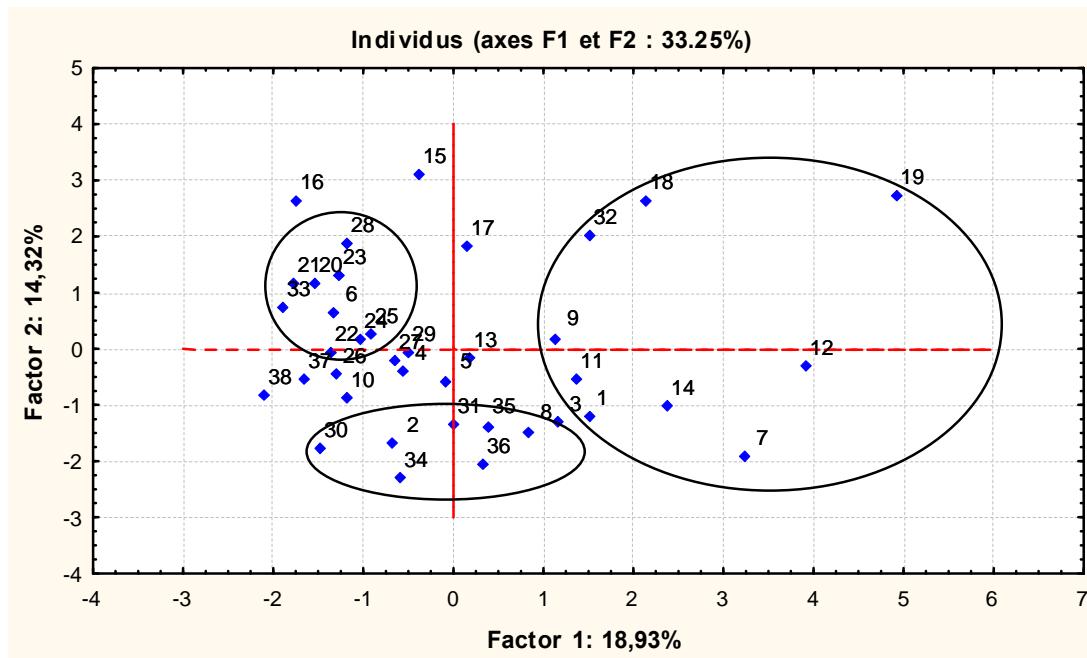
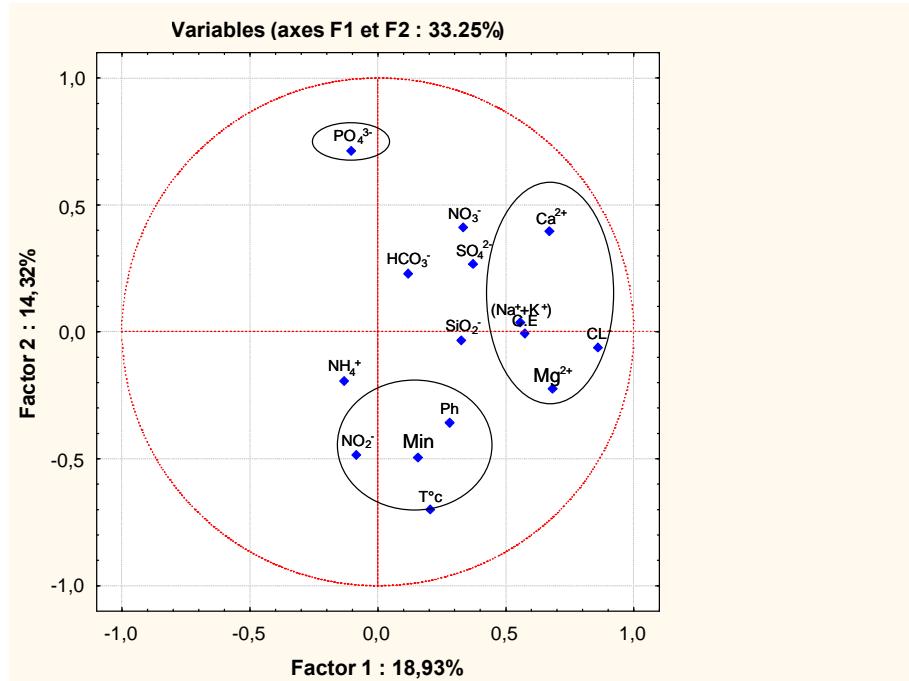


Figure IV.67. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F2

Le cercle de corrélation F1-F2 étant le plus représentatif, représentante 33,25 % de la variance cumulée.

Le facteur F2 représentant 14,32 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant les nitrites, la minéralisation, le pH et la température, cependant la partie positive est caractérisée par les phosphates et s'oppose au premier nuage de points.

L'axe F2 regroupe donc les nitrites, la minéralisation d'un côté et les opposent aux phosphates, on peut donc dire que c'est un axe représentant les éléments polluants.

Le facteur F1 représentant 18,93% de la variance totale montre dans sa partie positive, un nuage de points regroupant la conductivité électrique, les chlorures, le calcium, le magnésium et le sodium.

Cet axe regroupe les éléments responsable des faciès chimiques des eaux souterraines qui sont le chloruré - sodique, le chloruré - calcique et le chloruré- magnésien, avec l'influence de la conductivité électrique.

On peut donc dire que l'axe F1 est un axe caractérisant la minéralisation, du moment qu'il regroupe tous les éléments responsables de la minéralisation des eaux souterraines.

La projection des individus selon le plan F1-F2 montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-sodique. Dans le sens négatif un deuxième nuage de points s'oppose au premier et il est caractérisé par les faciès chloruré, calcique et magnésien. L'axe F1 est donc un axe qui a regroupé les individus présentant des faciès chimiques semblables.

L'axe F2 quand à lui regroupe dans son sens négatif les individus présentant des teneurs élevées en nitrites, dans son sens positif, il individualise le P15 présentant une teneur élevée en phosphate.

L'axe F2 est donc un axe de pollution regroupant les individus présentant des teneurs élevées en nitrite les oppose aux individus présentant des teneurs élevées et en phosphate.

Ces résultats sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette A.C.P, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire.

Donc les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon l'axe F1, alors que les individus qui présentent des teneurs excessives en nitrites et en phosphates ont été regroupés selon l'axe F2.

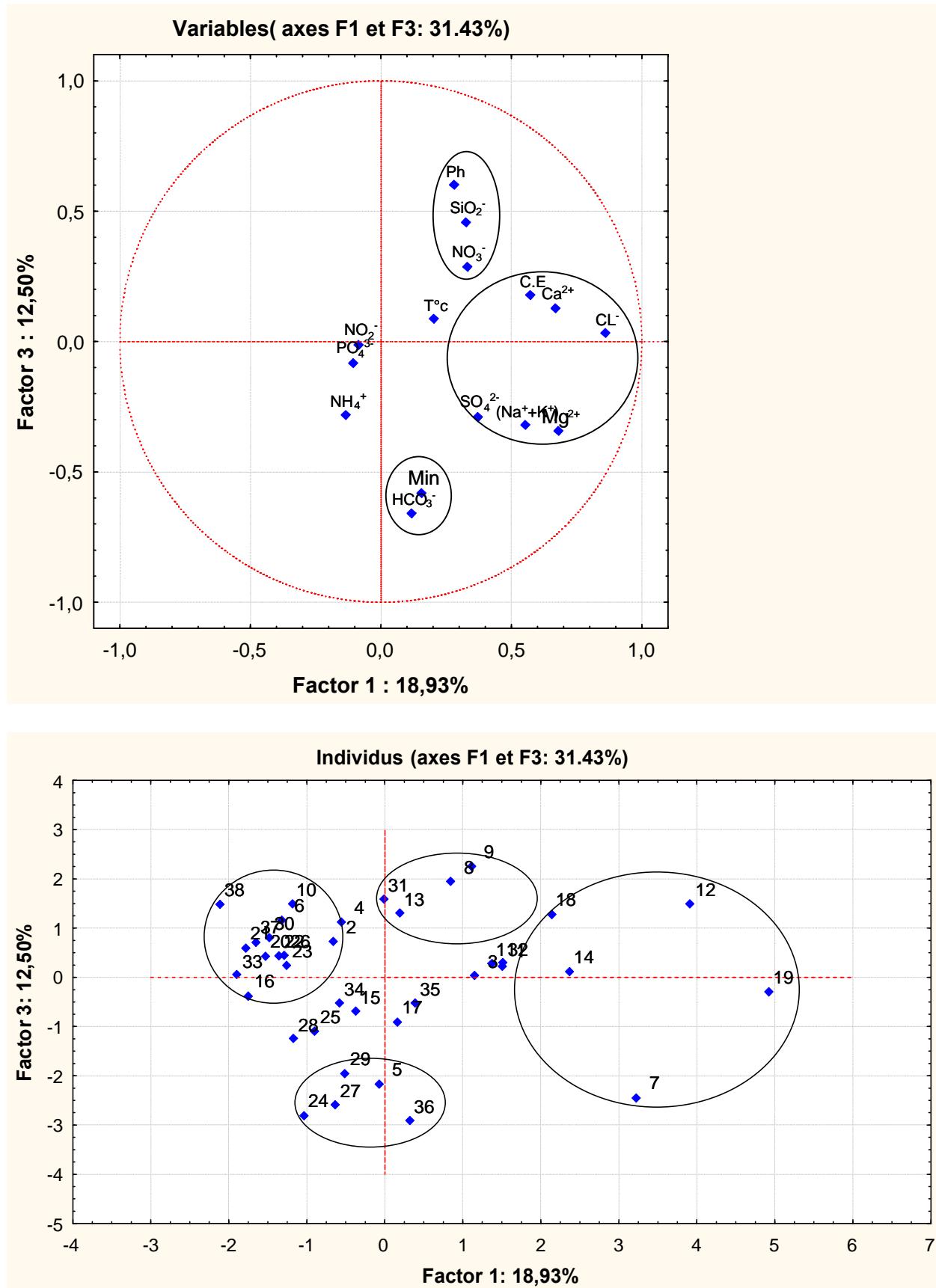


Figure IV.68. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F3

Le cercle de corrélation F1-F3 totalise 31,43 % de la variance cumulée.

Le facteur F3 représentant 12,50 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant les bicarbonates, la minéralisation, cependant la partie positive est caractérisée par les nitrates, la silice et le pH et s'oppose au premier nuage de points.

L'axe F3 regroupe donc les bicarbonates, la minéralisation d'un côté et les s'opposent aux nitrates, on peut donc dire que c'est un axe représentant les eaux bicarbonatées, minéralisées et polluées.

Le facteur F1 représentant 18,93 % de la variance totale montre dans sa partie positive, un nuage de points regroupant la conductivité électrique, les chlorures, le calcium, le magnésium, le sodium et les sulfates.

Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux souterraines qui sont le chloruré - sodique, le chloruré - calcique et le chloruré- magnésien, avec l'influence de la conductivité électrique et les sulfates.

La projection des individus selon le plan F1-F3 montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-sodique. Dans le sens négatif un deuxième nuage de points s'oppose au premier et il est caractérisé par les faciès chloruré-sodique, calcique et magnésien. L'axe F1 a donc regroupé les individus présentant le même faciès chimique.

L'axe F3 quand à lui regroupe dans son sens négatif les individus présentant des teneurs élevées en bicarbonate et en minéralisation, dans son sens positif, il individualise les puits P8, P9, P13 et le forage F1 présentant des teneurs élevées en nitrates, silice et pH. L'axe F3 a donc regroupé les individus présentant des teneurs élevées en nitrate et en silice.

III.2.2. Analyse en composantes principales des eaux de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf

L'analyse statistique a été faite sur 11 variables et 19 individus. Pour l'interprétation nous avons opté pour deux axes qui expriment 73,32 % de l'information.

Le tableau IV.38 permet de constater que plus de 69 % de l'information est contenue dans l'axe factoriel F1.

Tableau IV.38. Inerties totale de l'A.C.P des eaux de surface

Facteurs	F1	F5
Valeur propre	7.67	0.39
% Variance	69.72	3.60

Pour interpréter cette A.C.P, nous allons nous contenter du cercle de corrélation formé par les axes F1 et F5, qui fournit 73,32 % de l'information (Fig. IV.69).

La matrice de corrélation correspondante (tableau IV.39), nous indique les éléments ayant des bonnes corrélations entre eux.

La matrice de corrélation montre de bons coefficients de corrélations indiquant les éléments bien corrélés entre eux.

Tableau IV.39. Matrice de corrélation de l'A.C.P des eaux de surface

Variables	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	TDS
pH	1	0.680	0.723	0.711	0.670	-0.280	0.673	0.706	-0.181	0.026	0.679
CE	0.680	1	0.936	0.965	0.998	-0.436	0.997	0.936	-0.417	0.045	0.999
Ca ²⁺	0.723	0.936	1	0.939	0.920	-0.418	0.923	0.950	-0.483	0.090	0.933
Mg ²⁺	0.711	0.965	0.939	1	0.953	-0.420	0.958	0.958	-0.385	0.061	0.966
Na ⁺	0.670	0.998	0.920	0.953	1	-0.435	0.999	0.917	-0.405	0.039	0.998
K ⁺	-0.280	-0.436	-0.418	-0.420	-0.435	1	-0.436	-0.390	-0.057	-0.108	-0.435
Cl ⁻	0.673	0.997	0.923	0.958	0.999	-0.436	1	0.915	-0.407	0.039	0.997
SO ₄ ²⁻	0.709	0.936	0.950	0.958	0.917	-0.390	0.915	1	-0.458	0.059	0.936
HCO ₃ ⁻	-0.181	-0.417	-0.483	-0.385	-0.405	-0.057	-0.407	-0.458	1	0.163	-0.412
NO ₃ ⁻	0.026	0.045	0.090	0.061	0.039	-0.108	0.039	0.059	0.163	1	0.045
TDS	0.679	0.999	0.933	0.966	0.998	-0.435	0.997	0.936	-0.412	0.045	1

La matrice de corrélation montre les variables qui sont bien corrélées entre-elles mentionnées en gras. On cite notamment les corrélations suivantes : (Ca²⁺ - Mg²⁺), (Ca²⁺ - Na⁺), (Ca²⁺ - Cl⁻), (Ca²⁺ - SO₄²⁻), (Mg²⁺ - Na⁺), (Mg²⁺ - Cl⁻), (Mg²⁺ - SO₄²⁻), (Na⁺ - Cl⁻) et (Na⁺ - SO₄²⁻).

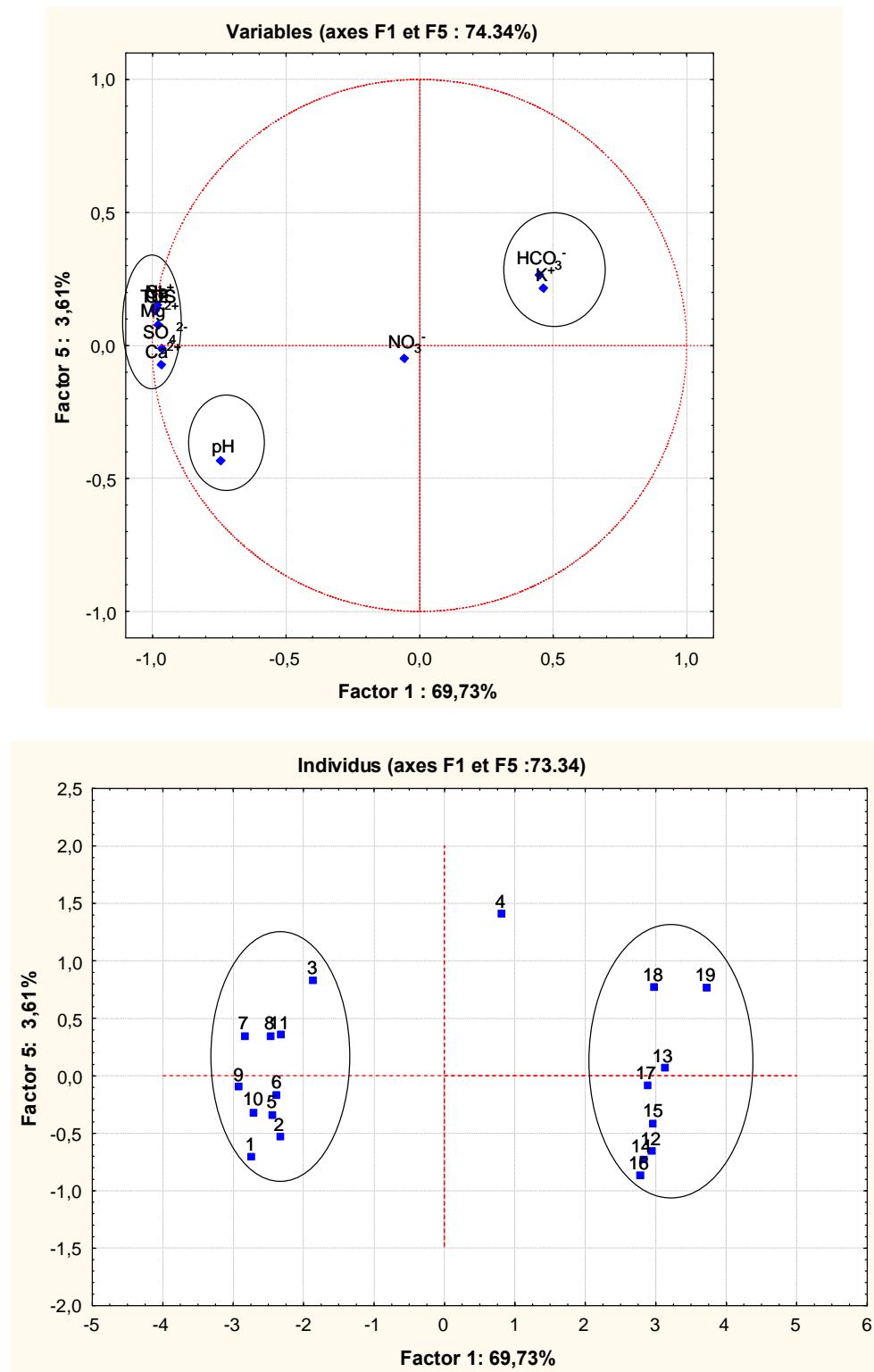


Figure IV.69. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F5

On a pris en considération le cercle de corrélation le plus représentatif F1-F5 représentant 73,32 % de la variance cumulée.

Le facteur F1 représentant 69,73 % de la variance totale met en évidence dans sa partie négative le pH.

Le facteur F5 représentant 3,61 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant les chlorures, le calcium, le magnésium, le sodium, les sulfates, la conductivité électrique et la minéralisation (TDS), cependant la partie positive est caractérisée par le regroupement des bicarbonates et du potassium, qui s'opposent au premier nuage de points.

Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux de surface qui sont le chloruré – sodique, le bicarbonaté - sodique, le bicarbonaté - calcique et le bicarbonaté-magnésien, avec l'influence de conductivité électrique, de minéralisation (TDS) et de potassium.

On peut donc dire que l'axe F5 est un axe caractérisant la minéralisation, du moment qu'il regroupe tous les éléments responsables de la minéralisation des eaux de surface.

La projection des individus selon le plan F1-F5 montre selon l'axe F5 dans son sens négatif un nuage de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-sodique. Dans le sens positif un deuxième nuage de points s'opposant au premier et il est caractérisé par le faciès chloruré-sodique et les faciès bicarbonaté – calcique, sodique et magnésien.

Conclusion

Les résultats obtenus dans les deux A.C.P réalisées respectivement dans les eaux souterraines et les eaux de surface, sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette étude, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire.

En effet à travers les deux A.C.P effectuées on peut dire que les axes principaux exprimaient ou regroupaient des variables présentant des caractères évoluant de la même manière.

Ces variables étaient soit responsables des faciès chimiques, ou présentaient des teneurs excessives en tel ou tel élément.

Les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon un axe précis, alors que les individus qui présentent des teneurs excessives en nitrites et en phosphates ont été regroupés selon l'autre axe.

B. Vulnérabilité du bassin à la pollution

Malgré qu'elle soit très abondante dans le bassin du Saf-Saf, l'eau devient souvent impropre à la consommation, sous l'effet des pollutions qu'elle subit avec l'emprise des activités humaines, l'évolution importante de la production industrielle et des techniques agricoles.

I. Différents types de pollutions dans le bassin du Saf-Saf

La gestion très insuffisante de l'assainissement et l'absence de traitement dans le bassin du Saf-Saf ont aggravé la pollution du milieu, et particulièrement les ressources en eau. Les eaux usées domestiques et industrielles sont partout rejetées à l'état brut dans le milieu naturel et occasionnent des pollutions de plus en plus dangereuses pour les ressources en eau et la santé publique.

I.1. Pollution urbaine

Les eaux usées domestiques représentent la principale source de pollution organique dans le bassin du Saf-Saf. Elles engendrent une dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines, ainsi que celles des eaux marines.

La population du bassin qui dépasse les 450 milles habitants, déverse annuellement dans le milieu naturel un volume de 21,16 millions de m^3 d'eaux usées. Les villes d'El Harrouch, Ramdane Djamel, Salah Bouchaour et Skikda, représentent elles seules plus de 62 % du volume rejeté. Dont, l'oued Saf-Saf reçoit la plus grande partie des ces rejets.

Le secteur d'assainissement dans le bassin accuse actuellement un sous-équipement en terme de réseaux et ouvrage d'épuration, les grandes et les moyennes villes disposent presque toutes

d'un réseau d'assainissement collectif à un état moyen, par contre, les petites agglomérations en amont du bassin sont assainis par des systèmes autonomes. Et pour améliorer cette situation, il y a un projet de réalisation de quatre bassins de décantation dans les agglomérations de Saïd Bousbaâ et Toumiète (amont du bassin).

Il est à mentionner que la ville de Skikda avec une population qui dépasse les 100 milles habitants (167 286 habitants en 2010), pour laquelle l'implantation d'une station d'épuration est imposée par le règlement en vigueur (la loi n° 02-02 du 05 Février 2002 relative à la protection et la valorisation du littoral, article 22), ce qui n'est pas le cas, il n'y a que la station d'épuration en essai de Ben M'hidi. Un tel retard au niveau de traitement des eaux usées est à l'origine d'une très grande partie de la dégradation que connaît la qualité des eaux dans le bassin du Saf-Saf.

Tableau IV.40. Débits rejetés en fonction de la population dans le bassin du Saf-Saf (2010).

Bassin	Population (2010)	Débits Rejetés (m ³ /j)
Amont	46 125	5 634,60
Centre	168 040	20 005,78
Aval	237 552	35 080,72
Total	451 717	60 721,10

Source. DHW Skikda, 2012

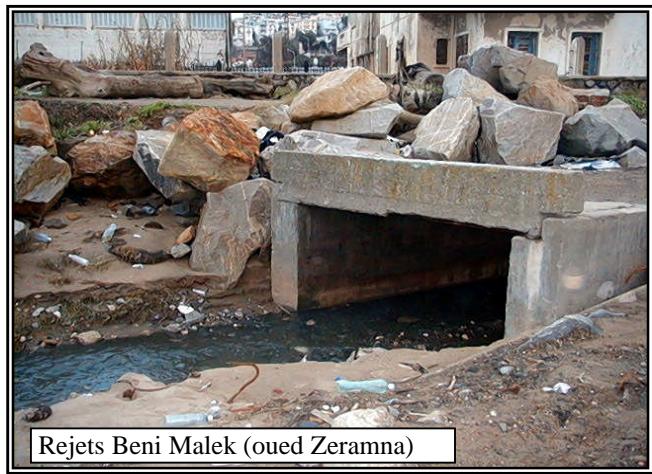


Figure IV.70. Rejets des eaux usées urbaines dans le milieu naturel dans le bassin du Saf-Saf.

I.2. Pollution industrielle

La pollution industrielle est fortement enregistrée en aval du bassin (ville de Skikda), vu l'implantation du pôle hydrocarbure d'une superficie d'environ 1200 ha.

Chaque unité de production rejette normalement ses eaux usées industrielles vers une sous station de traitement, où les eaux résiduaires du processus de production doivent subir une neutralisation avant évacuation vers l'oued Saf-Saf. Ces eaux chargées en hydrocarbure doivent aussi subir une décantation, ce qui n'est pas le cas, toutes ces eaux ne subissent aucun traitement adéquat, elles sont déversées directement dans l'oued Saf-Saf ou la mer.

A titre d'exemple, le complexe gaz naturel liquéfié (GL1/K) rejette ces eaux résiduaires dans l'oued Saf-Saf avec des teneurs élevées en phénols de l'ordre de 5,6 mg/l (la norme admise en Algérie est de 0,5 mg/l), et contiennent des produits classés hautement toxiques tel que la Morpholine et la Monoethanolamine (MEA).

Ainsi, les effluents de la centrale thermique d'électricité (CTE) sont chargés de polluants bactériologiques et organiques caractérisés par leur température élevée (pollution thermique) conduisant à l'épuisement de l'oxygène dissous.

Parmi les métaux lourds enregistrés dans la région, c'est le plomb qui prédomine par son emploi fréquent par les différentes unités. Le chlore et la soude en sont aussi problématiques.

Tableau IV.41. Types de polluants et volumes d'eaux usées rejetés de quelques unités de la zone industrielle pétrochimique de Skikda.

Unités	Type de produit	Type de polluant	Eau rejetée (m ³ /j)	Milieu récepteur
RA1/K	Raffinage des produits pétrochimiques	Hydrocarbure, boues, Produits chimiques	2162	Oued Marhoum, Oued Saf-Saf
GL1/K	Liquéfaction du gaz naturel	Phénols, Morpholine, Monoethanolamine.	980	Oued Saf-Saf
CP1/K	Matières plastiques	Mercure, produits chlores, acides, bases	1421	La mer
CTE	Production d'électricité	Soude solide, sulfates, fer	136	Oued Saf-Saf La mer

Source. Direction de l'Environnement de Skikda, 2010

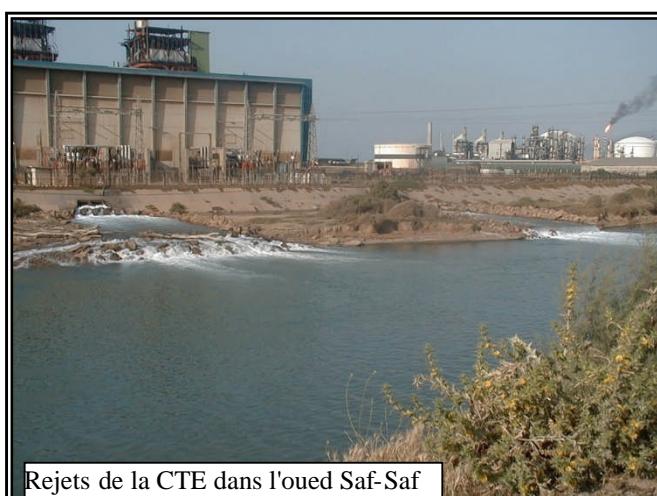


Figure IV.71. Rejets d'eaux usées industrielles dans le bassin du Saf-Saf.

L'insuffisance ou, carrément, l'absence de stations d'épuration et de traitement à l'exutoire de ces centres et des zones d'activités industrielles permet d'appréhender l'ampleur de la catastrophe qui menace les ressources en eau superficielles et souterraines.

Pour promouvoir une politique de concertation avec le secteur industriel, le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a encouragé un certain nombre d'industries à signer des engagements pour la mise en œuvre d'action de contrôle et de surveillance de la pollution industrielle.

Ainsi, le recours aux codes des eaux, reste l'outil réglementaire incontournable pour une législation performante équilibrant l'environnement et le développement industriel (application du principe Pollueur - Payeur).

I.3. Pollution agricole

Le recours à l'agriculture intensive dans le bassin du Saf-Saf s'est accéléré durant les années 1990, par le développement de l'irrigation (périmètre irrigué du Saf-Saf). Ainsi, la libéralisation du secteur agricole a facilité aux agriculteurs l'utilisation d'engrais et de produits chimiques de traitement de cultures, pour augmenter leur production, notamment les incitations financières introduites par les programmes de développement agricole mis en œuvre par l'Etat. Cependant, cette utilisation d'engrais et de produits chimiques n'est pas toujours maîtrisée, et on constate souvent une sur utilisation de ces produits, se trouvant dans les eaux superficielles et souterraines par ruissellement et infiltration. Ils entraînent donc une dégradation de la qualité de l'eau qui la rendre à terme impropre à la consommation.

A titre d'exemple, à la commune d'Emjez Edd Chich qui représente le secteur IV du périmètre irrigué, les agriculteurs utilisent des quantités considérables de produits phytosanitaires solides (16 240 Kg/an) et d'engrais chimiques (19 320 quintaux). De même, à El Harrouch, les agriculteurs utilisent en excès les produits phytosanitaires liquides (6425 l/an).

Tableau IV.42. Quantités d'engrais et de produits phytosanitaires délivrées dans quelques communes du bassin du Saf-Saf.

Quantité délivrée aux producteurs	Produits Phytosanitaires Liquides (L)	Produits Phytosanitaires Solides (Kg)	Engrais chimiques (Quintal)
El Harrouch	6425	1780	15825
Emjez Ed Chich	3515	16240	19320
Salah Bouchaour	550	350	1900
Skikda	470	680	1880

Source. DSA Skikda, 2010



Figure IV.72. Irrigation et agriculture intensive dans le périmètre du Saf-Saf.

II.2.2. Carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du Saf-Saf; application de la méthode DRASTIC

Avec des pollutions urbaines et industrielles qui s'accroissent d'année en année, les risques de contamination des aquifères périurbains s'intensifient de manière préoccupante. Le modèle DRASTIC, en donnant poids et cote à sept paramètres hydrogéologiques, permet d'établir pour les eaux souterraines d'un aquifère alluvionnaire des courbes de vulnérabilité des nappes et de visualiser les principales zones à risque. Dans ce sens, cette méthode est appliquée en Aval du bassin du Saf-Saf à la nappe alluviale du Saf-Saf (H.Chaffai et al. 2006).

La méthode DRASTIC développée dans les années 1980 par la National Water Well Association est un moyen pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Bien qu'il ne soit pas initialement conçu pour les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), ce modèle repose sur une analyse spatiale classique largement répandue dans les SIG.

Dans la pratique, chaque paramètre a été subdivisé en intervalles de valeurs significatives et a été affecté d'une cotation numérique croissante, en fonction de son importance dans la vulnérabilité.

L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales de sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité (Bézélguès et al. 2002) : la profondeur de l'eau (D), la recharge efficace (R), les matériaux de l'aquifère (A), le type de sol (S), la topographie ou la pente (T), l'impact de la zone vadose ou zone aérée (I) et la perméabilité ou la conductivité hydraulique de l'aquifère (C). A chaque paramètre est attribuée une échelle comprenant des intervalles où une cote est attribuée selon la particularité du milieu. Chaque paramètre a été classé en classes associées à des cotes variant de 1 à 10. Par exemple, plus la profondeur de la nappe est grande, plus la cote est faible. Chacun des sept paramètres a ensuite été affecté d'un facteur multiplicatif (Dp) fixe de 1 à 5 qui augmente selon l'importance du paramètre dans l'estimation de la vulnérabilité.

L'indice de vulnérabilité DRASTIC notée ID a été déterminé. Elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. L'ID a été calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants selon l'équation (1) (Osborn et al., 1998) :

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp \dots \dots (1)$$

(où D, R, A, S, T, I, et C sont les sept paramètres de la méthode DRASTIC, "p" étant le poids du paramètre et "c" la cote associé).

L'établissement de 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. IV.73) 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 Hadaïk, 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.

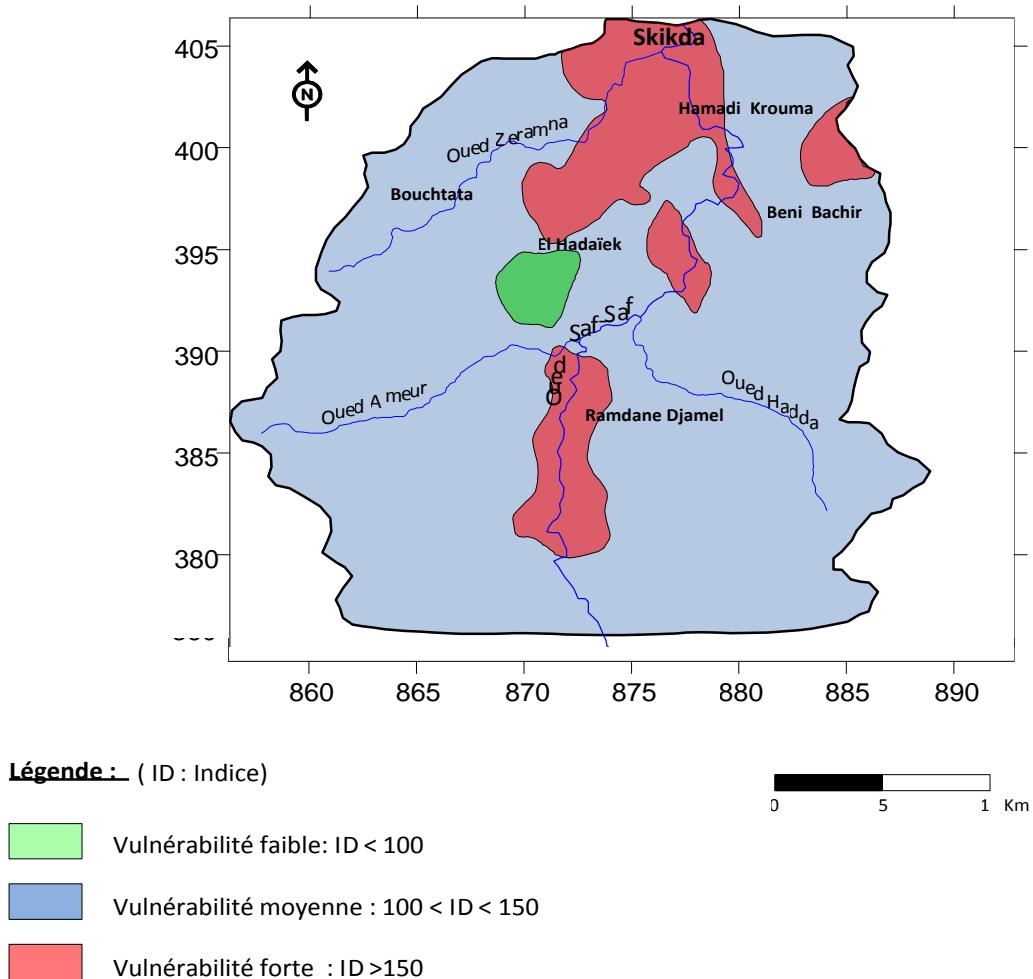


Figure IV.73. Carte de Vulnérabilité de la plaine alluviale du Saf-Saf (Chaffai et *Al*, 2006. Modifiée).

Conclusion

Le diagnostic de l'état de la qualité des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf montre que dans l'ensemble, les cours d'eau présentent un état de qualité assez bonne sur la totalité ou la majeure partie de leur parcours, à l'exception des tronçons situés en aval des rejets urbains des grandes agglomérations et de la zone industrielle, qui dégradent de façon notable la qualité des eaux de surface.

Les eaux souterraines ont une composition chimique étroitement liée aux terrains qui les contiennent, dont l'amont est caractérisé par des eaux sulfatées-calciques issues des formations marneuses, argileuses et gréseuses. Cependant, les eaux de la partie aval (plaine alluviale du Saf-Saf) sont principalement chlorurées sodiques. Les eaux de la plaine sont donc moyennement potables malgré les fortes concentrations en sulfates, en chlorures et en bicarbonates.

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la basse plaine du Saf-Saf réalisée à partir de la méthode DRASTIC révèle une tendance de vulnérabilité à la pollution moyenne à forte.

Trois grandes classes de vulnérabilité ont été mises en évidence (faible, moyenne et forte). La classe la plus dominante est la classe moyenne, couvrant la majeure partie du terrain. Une zone de faible vulnérabilité localisée à El Hadaeïk, au centre de plaine. Cependant, les zones de forte vulnérabilité sont situées autour de la ville de Skikda au nord et dans la région de Ramdane Djamel au Sud.

Cette carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines pourra alors servir à l'élaboration de schémas directeurs d'aménagement des territoires en tenant compte de la préservation de ces ressources.

Chapitre : 5

**Diagnostic quantitatif des ressources
en eau dans le bassin du Saf-Saf**

Introduction

Bien gérer la problématique de l'eau, implique une connaissance aussi parfaite que possible de la disponibilité de la ressource et de sa variabilité dans le temps et dans l'espace, et autant que faire ce peut proposer des scénarios prospectifs pour l'analyse du risque et la gestion des crises, dans un avenir où les effets anthropiques sont mal maîtrisés. Le bassin du Saf-Saf ne fait pas exception, les ressources hydriques dont on dispose sont plus ou moins limitées, cette limitation est d'abord naturelle, mais elle est accentuée par les besoins toujours croissants du développement démographique et socio-économique, par le gaspillage, ainsi par les différents types de pollutions menaçant le bassin.

Cette situation, parait angoissante, nécessite une planification basée sur un diagnostic quantitatif et qualitatif des potentialités hydriques dans le bassin, pour faire face à toute situation de crise probable.

I. Diagnostic quantitatif des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf

I.1. Potentialités hydriques dans le bassin du Saf-Saf

Avec une pluviométrie moyenne annuelle de 690 mm sur l'ensemble du bassin, traduisant un apport total globalement très important de l'ordre de 800 Hm³/an. Ce potentiel hydrique considérable, est malheureusement, se trouve confronté à d'importants problèmes de gestion de la maintenance des ouvrages hydrauliques mis en place, réduisant le volume de mobilisation à près de 50 Hm³/an dans le bassin. (Hecto m³ c'est l'équivalent du million m³)

I.1.1. Potentiel hydrique superficiel

a. Oueds

Les ressources en eau de surface proviennent en quasi-totalité de l'oued Saf-Saf et ses principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales.

Dans le sous bassin de Zardézas, les oueds Bou Adjeb et Khémakhem fournissent un apport moyen annuel de l'ordre de 33,75 Hm³.

Sur l'ensemble du bassin, les apports en eau de surface de l'oued Saf-Saf et ses affluents traduisent un volume approximatif extrapolé de l'ordre de 121 Hm³/an, qui reste très peu exploité vu le volume total mobilisé par les différents ouvrages hydrauliques dans le bassin.

b. Barrages

La wilaya de Skikda dispose de quatre grands barrages en exploitation. Seul le barrage de Zardézas qui appartient au bassin du Saf-Saf. Ce barrage est construit entre 1929 et 1945, et surélevé en 1974. Il est destiné à l'alimentation en eau potable des communes de Zardézas, Ain Bouziane, El Harrouch, Salah Bouchaour et Emjez Edd Chich, ainsi que la ville de Skikda et sa zone industrielle par l'adduction sur la station de pompage de Guénitra.

La capacité de stockage de cette infrastructure hydraulique est de 32 Hm³ en théorie, tandis que l'envasement de ce dernier ne permet finalement que de régulariser 18,12 Hm³.

Outre, il existe deux barrages en projet au sein du bassin du Saf-Saf. Le barrage de l'oued Charchar dans la commune de Bouchtata, doté d'un double objectif, il est destiné à servir comme un moyen de protection de la ville de Skikda exclusivement contre les inondations, et par la même occasion alimenter en eau potable la commune de Bouchtata et ses environs, sans oublier l'irrigation de la plaine d'El Hadaeïk. Avec le choix de son emplacement immédiat, ce barrage, dont la capacité est de 11,5 Hm³, peut rendre d'énormes services au bassin.

Le second barrage est celui de Ramdane Djamel dans la commune de Zardézas. Il est actuellement en phase d'étude au niveau de l'Agence Nationale des Barrages et de Transfert

(ANBT). Cet ouvrage est prévu au confluent des deux oueds, Bou Adjeb et Khémakhem d'une capacité de $12,5 \text{ Hm}^3$. Il aura pour rôle de servir comme un barrage écrêteur en amont du barrage de Zardézas et de pallier au manque d'eau dans la partie amont du bassin.

c. Retenues collinaires

Les retenues collinaires dans le bassin du Saf-Saf sont essentiellement destinées à l'irrigation des moyens et des petits périmètres et l'abreuvement du cheptel. Elles sont au nombre de 18 (ABH 2010), mobilisant un volume global de $2,54 \text{ Hm}^3/\text{an}$ d'eau de surface.

Actuellement, sur l'ensemble de 18 retenues, il ne reste que treize (13) en bon état, avec des capacités qui peuvent atteindre les $400\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ (retenue de Bougraïna et Bouchtata).

Ainsi, avec la détérioration des autres, on assiste à une réduction considérable de l'apport en eau de surface.

Outre, il y a un volume de $100\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ est régularisé par les différents types de réservoirs et de châteaux d'eau installés dans le bassin du Saf-Saf.

Tableau V.1. Les différentes retenues collinaires dans le bassin versant du Saf-Saf.

Commune	Nombre de retenues	Capacité totale (m^3)
Ramdane Djamel	3	370 000
Emjez Edd Chich	6	510 000
El Harrouch	2	460 000
Aïn Bouziane	2	100 000
Sidi Mezghich	2	360 000
El Hadaeïk	1	220 000
Bouchtata	1	400 000
El Ghédir	1	120 000
Total dans le bassin	18	2 540 000

Source. ABH csm, 2010

d. Dessalement de l'eau de mer

Une station de dessalement de l'eau de mer que possède le bassin du Saf-Saf, d'une capacité de production de $10\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($3,65 \text{ Hm}^3/\text{an}$). Actuellement, elle produit une moyenne de 3000 à $4000 \text{ m}^3/\text{j}$, assurant les besoins en eau potable de la ville de Skikda et Ben M'hidi ($1,46 \text{ Hm}^3/\text{an}$).

Deux autres stations sont en projet, la première d'une capacité de production de $100\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($36,5 \text{ Hm}^3/\text{an}$) assurant les besoins totaux de la ville de Skikda et ses environs ($70\,000 \text{ m}^3/\text{j}$) et l'excédent d'eau sera destinée pour l'irrigation. La deuxième station est située au voisinage du bassin, dans la région de Filfila, d'une capacité de production de $50\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ ($18,25 \text{ Hm}^3/\text{an}$). Dans les années à venir, avec la mise en service de ces deux stations de dessalement, le

volume produit sera presque $58,4 \text{ Hm}^3/\text{an}$, satisfaisant ainsi tous les besoins en eau dans le bassin du Saf-Saf.

I.1.2. Potentiel hydrique souterrain

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin, elles représentent près de 61 % de son potentiel hydrique reconnu.

Les réserves souterraines constituées par les différentes nappes existantes dans le bassin du Saf-Saf sont alimentées par les précipitations efficaces, ainsi qu'une alimentation souterraine à partir des bassins avoisinants.

Les investigations réalisées dans le bassin permettent d'estimer son potentiel en eaux souterraines à près de $30,45 \text{ Hm}^3/\text{an}$ (DHW Skikda 2010), dont la nappe alluviale du Saf-Saf et Zeramna représente elle seule $24,12 \text{ Hm}^3/\text{an}$ (Ben Rabah 2006), soit 80 % de la totalité du potentiel hydrique souterrain du bassin.

a. Forages

La majorité du potentiel hydrique souterrain du bassin est exploité par pompage, à partir d'une batterie de forages implantée dans les alluvions de la plaine du Saf-Saf.

D'après le bilan actuel de la DHW de Skikda, on a dénombré près de 61 forages répartis à travers le bassin, dont 18 forages sont abandonnés pour des raisons de colmatage ou du rendement très faible.

Les autres forages en service mobilisent annuellement un volume de $14,53 \text{ Hm}^3$, ils sont destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'industrie (besoins de la zone industrielle).

b. Puits

A travers la superficie du bassin du Saf-Saf, il existe un nombre considérable de puits qui captent les eaux de la nappe superficielle, dont le rôle est limité uniquement à satisfaire les besoins domestiques (AEP) et l'irrigation de quelques surfaces agricoles. Les débits d'exploitation sont peu signifiants.

c. Sources

En excluant sa partie amont, le bassin du Saf-Saf possède près de 33 sources, dont la plupart sont captées, assurant l'alimentation en eau potable des mêmes communes où elles se trouvent, avec des débits qui dépassent parfois les 10 l/s (Ben Rabah 2006)

Dans le sous bassin de Zardézas (amont), et dans le cadre du projet pilote de développement de l'agriculture de montagne (PPDAMOS), une étude établie en 2005, qui porte sur l'inventaire et l'évaluation des ressources en eaux, permet de déceler la présence de près de 102 puits domestiques, et 316 sources d'un débit varie de ($0,1$ à 1 l/s). La majorité des sources inventoriées sont mal captées ou partiellement aménagées. Certaines d'entre elles ayant un débit intéressant ($> 2 \text{ l/s}$).

I.2. Mobilisation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf

Globalement, les ressources en eau mobilisées dans le bassin du Saf-Saf sont évaluées à près de 35 Hm^3 par an, soit 74 % des ressources en eau mobilisables.

Les eaux de surface, dont le volume mobilisable est estimé à $30,25 \text{ Hm}^3$ par an, sont mobilisées à hauteur de 95 %. Cependant, le volume mobilisable pour les eaux souterraines est de l'ordre de $17,29 \text{ Hm}^3$ par an, mais seulement un taux de 37 % qui est réellement mobilisé.

Tableau V.2. Potentiel hydrique global dans le bassin du Saf-Saf.

Ressources en eau	Potentiel reconnu (Hm^3/an)	R ^{ces} mobilisables (Hm^3/an)	R ^{ces} mobilisées (Hm^3/an)
Superficielles	25,89	30,25	28,64
Souterraines	30,47	17,29	6,35
Totales	56,36	47,54	34,99

Source. DHW Skikda, 2010

En vue de visualiser la répartition des ressources en eau à travers le bassin du Saf-Saf, on a jugé utile de diviser ce dernier en trois parties distinctes; l'amont, le centre et laval.

Dont, l'amont englobe les communes de Zardézas, Ouled Hebaba, Es Sebt, et Aïn Bouziane. Les communes qui appartiennent au centre du bassin sont: El Harrouch, Salah Bouchaour, Emjez Edd Chich, El Ghédir, Sidi Mezghich et Ramdane Djamel. Laval contient les communes de Skikda, Hamadi Krouma, El Hadaeïk, Bouchetata et Beni Bachir.

La répartition des ressources en eau dans les trois parties du bassin du Saf-Saf est représentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.3. Répartition des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf.

R ^{ces} en eau	Potentiel reconnu (Hm^3/an)			R ^{ces} mobilisables (Hm^3/an)			R ^{ces} mobilisées (Hm^3/an)		
	Total	Superficiel	Souterrain	Total	Superficiel	Souterrain	Total	Superficiel	Souterrain
Amont	20,06	18,19	1,87	1,46	0,40	1,05	0,96	0,40	0,56
Centre	17,27	6,32	10,95	15,86	6,25	9,62	10,42	6,25	4,17
Aval	19,03	1,38	17,65	30,23	23,61	6,62	23,61	21,99	1,62
Total bassin	56,36	25,89	30,47	47,54	30,25	17,29	34,99	28,64	6,35

Le potentiel hydrique est inégalement réparti dans le bassin, le volume le plus important ($20,06 \text{ Hm}^3$) se trouve en amont du bassin avec un taux de 36 %. Laval totalise un volume de $19,03 \text{ Hm}^3$, soit 34 % du potentiel hydrique dans le bassin. La partie centrale du bassin ne contient que 30 % de la totalité des ressources reconnues.

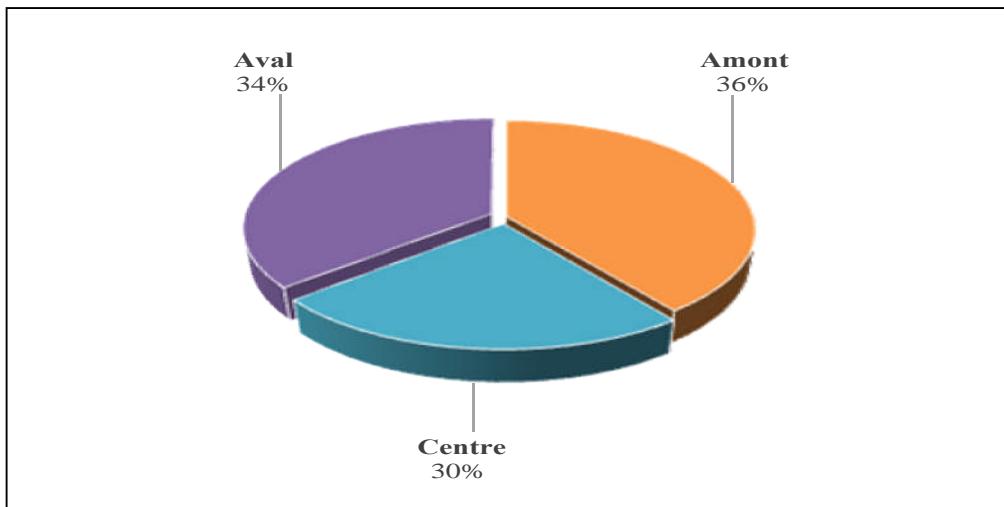


Figure V.1. Répartition du potentiel hydrique dans le bassin du Saf-Saf.

En matière de mobilisation, le volume total mobilisé (exploité) est de l'ordre de $34,99 \text{ Hm}^3$ (pour l'année 2010), soit 74 % de la ressource totale mobilisable. Dont le volume exploité le plus important ($23,61 \text{ Hm}^3$) est concentré en aval du bassin, avec un taux de 67 %, en raison de la concentration démographique dans le chef lieu de Skikda et l'intensité des activités industrielles (zone industrielle pétrochimique).

Le centre du bassin, avec ses besoins domestiques et agricoles (périmètre irrigué du Saf-Saf), exploite près de 30 % des ressources mobilisées, soit un volume de $10,42 \text{ Hm}^3$.

L'amont du bassin est dépourvu de toute activité industrielle ou agricole, ses ressources en eau mobilisées sont peu significantes, elles représentent 3 % de la totalité des ressources mobilisées.

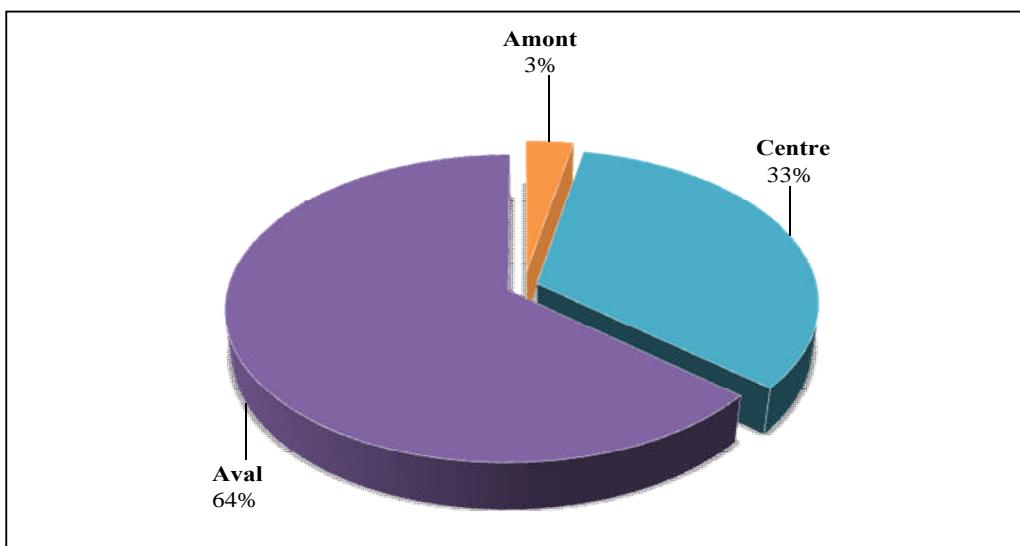


Figure V.2. Répartition des ressources mobilisables dans le bassin du Saf-Saf.

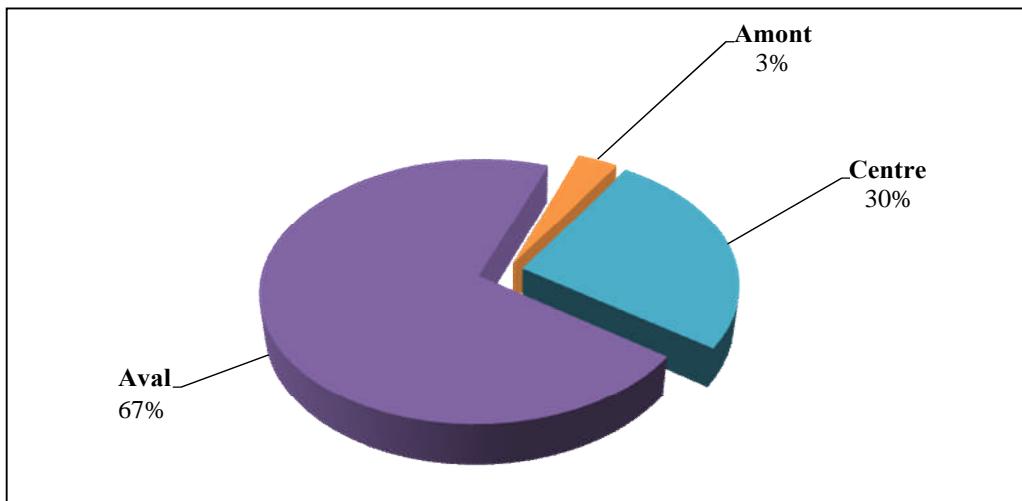


Figure V.3. Répartition des ressources mobilisées dans le bassin du Saf-Saf.

I.2.1. Mobilisation des eaux de surface

Les ressources en eau de surface mobilisables dans le bassin du Saf-Saf sont estimées à près de $30,25 \text{ Hm}^3$ par an, mais seulement un volume de $28,64 \text{ Hm}^3$ qui est mobilisé par les différentes infrastructures mises en place, traduisant un taux de 95 % de la totalité des ressources mobilisables.

Malgré sa pauvreté en ressources en eau superficielles, l'aval du bassin mobilise un volume de $21,94 \text{ Hm}^3$ d'eau de surface, en bénéficiant des apports provenant des bassins avoisinants; le barrage de Guénitra (bassin du Guebli), alimente le bassin du Saf-Saf avec un volume annuel de $12,04 \text{ Hm}^3$, destiné essentiellement à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Skikda et ses environs. Outre, le barrage de Zit Emba (bassin Kébir Ouest), participe avec un volume de $9,49 \text{ Hm}^3$ par an pour la satisfaction des besoins en eau potable de la ville de Skikda, ainsi que sa zone industrielle.

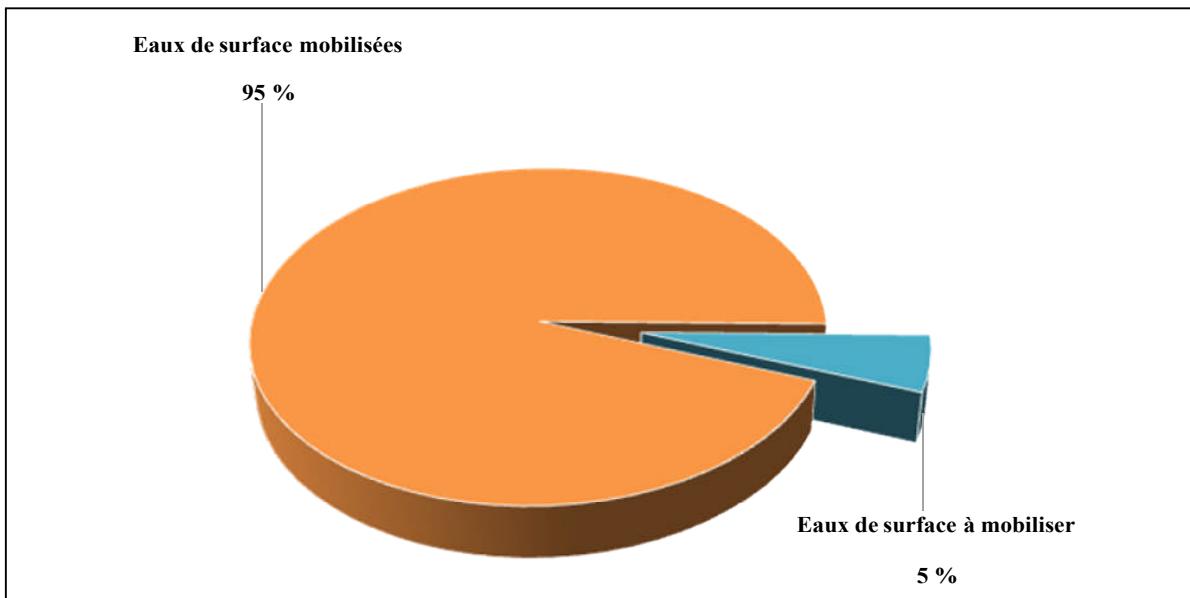


Figure V.4. Taux de mobilisation des ressources en eau de surface dans le bassin du Saf-Saf.

I.2.2. Mobilisation des eaux souterraines

Contrairement aux eaux de surface, en matière de mobilisation, les eaux souterraines sont restées plus ou moins limitées, le volume mobilisable est estimé à $17,29 \text{ Hm}^3$ par an, mais seulement $6,35 \text{ Hm}^3$ sont exploitées, soit un taux de 37 % des eaux souterraines mobilisables.

Prés de 63 % des ressources souterraines restent encore à mobiliser, par l'implantation des forages et la réhabilitation de ceux qui sont en mauvais état.

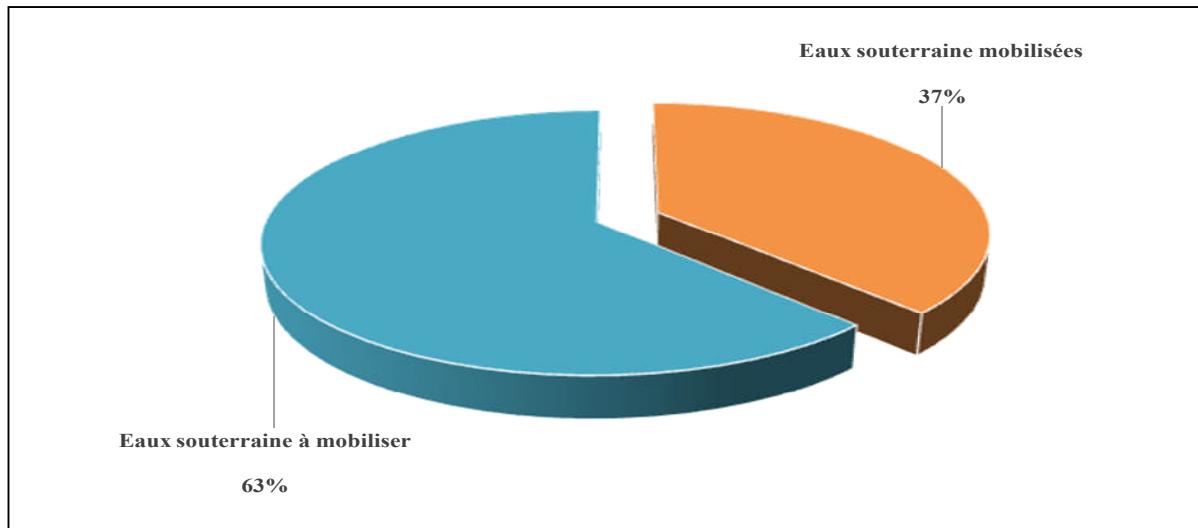


Figure V.5. Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans le bassin du Saf-Saf.

I.3. Affectation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf

Concernant l'affectation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins domestiques (alimentation en eau potable), avec un volume de $25,29 \text{ Hm}^3$ par an, soit un taux de 44 %. Toutefois, cette dominance est due aux besoins des populations qui ne cessent à croître.

L'irrigation tient une place prépondérante dans les prélevements d'eau dans le bassin, un volume de $23,46 \text{ Hm}^3$, soit 42 % de la totalité des ressources mobilisées, sont destinés aux usages agricoles.

Le volume consacré pour couvrir les besoins en eau industrielle est évalué à $7,77 \text{ Hm}^3$ par an, soit 14 % des ressources mobilisées.

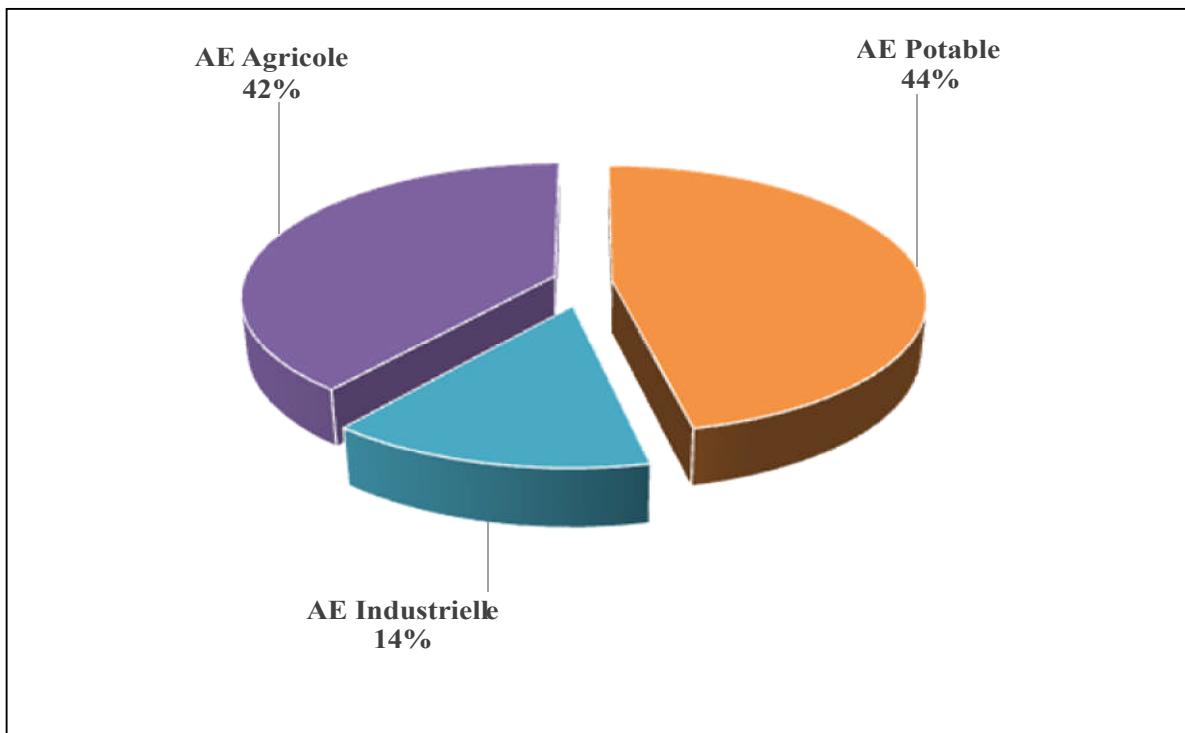


Figure V.6. Affectation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf.

II. Alimentation en eau dans le bassin du Saf-Saf

A chaque usage (domestique, industriel ou agricole), correspond des besoins en eau très variables en quantité et en qualité, suivant les secteurs et surtout les saisons.

La demande en eau pour des usages domestiques devrait croître considérablement dans les prochaines années dans les pays en voie de développement. Dans une étude récente, l'Organisation des Nations Unies rappelle que près de 1,1 milliards de personnes manquent d'eau potable, et que 2,9 milliards de personnes ne disposent pas de services d'assainissement, et estime que les problèmes d'approvisionnement en eau potable dans les pays en voie de développement se verront aggravés par le taux élevé de croissance de population et la concentration graduelle de la population dans les grandes villes (ONU.1997 in Blanco).

Le bassin du Saf-Saf ne fait pas exception, ses besoins en eau sont en augmentation continue. Globalement, on estime les besoins en eau dans le bassin à près de 76,7 millions de m³ par an, dont la consommation domestique (AEP) est considérée comme le grand consommateur d'eau avec un volume de 30,95 millions de m³, soit un taux de 40 % de la totalité des besoins en eau du bassin. Toutefois cette dominance est due au développement démographique considérable dans le bassin. Les besoins en eau d'irrigation pour alimenter le périmètre du Saf-Saf sont estimés à 36,75 millions de m³, soit un taux de 48 %. Quant aux besoins en eau industriels, ils ne représentent que 12 % de l'ensemble des besoins en eau du bassin du Saf-Saf. Cette distinction aux besoins en eau pour chaque usage fait ressortir la vocation agricole du bassin du Saf-Saf, concentrée surtout dans sa partie centrale.

II.1. Alimentation en eau potable (AEP)

L'une des préoccupations majeures des pouvoirs publics du bassin du Saf-Saf a été de s'efforcer de résoudre l'épineuse équation entre les ressources en eau et la satisfaction des besoins eau des populations.

L'évaluation de cette demande en eau toujours croissante dépend de plusieurs facteurs socio-économiques tels que la démographie, le niveau de vie, le type d'habitat, les habitudes socio-culturelles... etc. Donc, en toute logique, on devrait rapporter la demande en eau potable au nombre d'habitants.

Le bassin du Saf-Saf d'une superficie de 1158 Km², couvre entièrement les Daïra de Skikda, Ramdane Djamel et El Harrouch, et partiellement les Daïra d'El Hadaeik et Sidi Mezghiche.

Selon les projections de l'année 2010, basées sur le recensement de 2008, la population du bassin du Saf-Saf atteint les 451 717 habitants, dont plus de 246 milles habitants sont localisés dans sa partie aval, soit un taux de 53 %. Le centre du bassin compte 35% de la population totale, le reste (12 %) est dispersé dans l'amont montagneux.

II.1.1. Ressources et approvisionnement en eau potable

En matière d'approvisionnement en eau potable, la dotation moyenne à travers le bassin est fixée par la DHW de Skikda à 173 l/j/hab, les besoins en eau vont s'augmenter donc à 30,95 millions de m³ pour l'année 2010. Cependant, le volume réellement produit pour couvrir ces besoins en eau domestiques est de l'ordre de 14,12 millions de m³ par an, soit un taux de satisfaction⁽²⁾ de près de 45,6 %.

⁽²⁾: Taux de satisfaction est le ratio entre le volume produit pour l'AEP et le volume des besoins de l'AEP.

Tableau V.4. Tableau récapitulatif de la population et l'alimentation en eau potable dans le bassin du Saf-Saf (2010).

Bassin	Communes	Population 2010	Dotation Théorique (l/J/hab)	Dotation Réelle (l/J/hab)	Besoin en eau (10 ³ m ³ /an)	Volume Produit (10 ³ m ³ /an)	Volume Distribué (10 ³ m ³ /an)	Taux de pertes (%)
Amont	Zardézas	12 997	170	112	806,46	631	210	67
	Ouled Hebaba	8 537	164	110	511,02	365	122	67
	Aïn Bouziane	10 031	164	104	600,46	788	129	83
	Es Sebt	15 873	180	41	1042,86	705	147	79
	Zighout Youcef	1951	180	85	128,18	250	165	34
Centre	El Harrouch	51 072	164	137	3057,17	3 035	1 937	33
	Salah Bouchaour	30 929	165	57	1862,70	688	272	60
	Emjez Edd Chich	20 995	167	65	1279,75	820	379	54
	Ramdane Djamel	28 375	167	71	1729,60	1 830	453	75
	Sidi Mezghich	26 638	165	104	1604,27	1 180	638	46
	El Ghédir	6767	170	84	419,89	286	134	67
Aval	Skikda	167 286	220	152	13433,07	22 265	8 090	40
	Hamadi Krouma	31 847	180	155	2092,35	2080	830	60
	El Hadaiek	18 792	167	100	1145,47	991	293	70
	Bouchtata	9 606	180	30	631,11	379	63	83
	Beni Bechir	10 021	167	97	610,83	1046	262	75
Bassin Saf-Saf Total		451 717	173	94	30 955,2	37 339	14 124	62

Source. DHW Skikda, 2013

Les dotations en eau présentées par habitant dans le bassin du Saf-Saf sont globalement bien inférieures à la moyenne nationale (150 l/j/hab), elles seraient en moyenne de l'ordre de (94 l/j/hab), mais elles sont très inégales suivant les régions dans le bassin, où dans l'aval du bassin les dotations dépassent les (105 l/j/hab). Cependant, pour le centre et l'amont elles n'atteignent pas les (90 l/j/hab). Plus qu'aux différences de niveau de développement socio-économique, cette diversité est liée au type d'habitat ainsi qu'au niveau de vie, avec un amont purement rural, les demandes en eau sont de l'ordre de 30 m³ /an /habitant. Au centre, elles sont de l'ordre de 35 m³ /an /habitant. Ces demandes vont augmenter pour atteindre les 48 m³ annuellement pour chaque habitant en aval du bassin.

Concernant le niveau de service, le taux de raccordement varie entre 72% pour l'amont du bassin et 85% au centre, et atteint les 88% en aval, soit un taux de raccordement moyen de 82% pour l'ensemble du bassin, avec un linéaire total de 439 250 Km.

Il est à signaler que les réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable continuent de poser des problèmes au niveau de leur entretien avec des pertes importantes des eaux. Les fuites enregistrées dans les réseaux du bassin sont estimées en moyenne à 62%. Elles peuvent parfois franchir les 80% (Bouchtata et Aïn Bouziane).

a. Eau potable en milieu urbain

Durant la dernière décennie, le secteur de l'eau potable en milieu urbain a bénéficié d'une grande priorité pour la mobilisation, la production et l'extension du service.

La population urbaine est concentrée à 75 % dans les trois grandes villes de Skikda, Ramdane Djamel, et El Harrouch. (Centre et aval du bassin).

C'est ainsi que la consommation urbaine en eau potable dans la ville de Skikda est estimée à 8 millions de m³ soit 57% du volume total distribué (14,12 Mm³).

La population urbaine branchée au réseau de distribution est de l'ordre de 289 milles habitants, soit un taux de branchement de 91 %.

Ces grands pôles urbains localisés surtout en aval du bassin, sont considérés comme des grands consommateurs d'eau, en bénéficiant des apports provenant de l'amont du bassin du Saf-Saf et des bassins avoisinants (Guebli et Kebir Ouest). Cependant, leur production reste largement insuffisante pour satisfaire leurs besoins en eau.

b. Eau potable en milieu rural

A l'inverse du secteur de l'eau potable en milieu urbain, le service de l'eau potable en milieu rural n'a pas connu un développement aussi important, et n'a pas bénéficié du même effort que celui du milieu urbain. La raison de ce retard est à imputer aux difficultés liées à la dispersion de l'habitat, ainsi que l'insuffisance des investissements publics dans le secteur.

La population rurale dans le bassin du Saf-Saf compte plus de 175 milles habitants, mais elle ne consomme en moyenne que 90 l / j /hab, cette dotation peut descendre de moins de 50 l / j /hab. (41 l / j /hab à la commune d'Es Sebt selon les données de la DHW de Skikda).

L'approvisionnement en eau potable dans le milieu rural se fait principalement à partir des eaux souterraines; puits domestiques et sources aménagées. Une étude faite dans l'amont du bassin du Saf-Saf a permis de déceler la présence d'environ 102 puits domestiques et 316 sources, mais la majorité des sources inventoriées sont mal captées ou partiellement aménagées.

Globalement, la demande en eau dans le milieu rural reste moins accentuée qu'en milieu urbain, malgré que l'amont du bassin soit considéré comme un grand producteur et fournisseur d'eau et encore épargné des pollutions.



Figure V.7. Alimentation en eau potable dans le milieu rural à partir des sources captées en amont du bassin du Saf-Saf.

II.2. Alimentation en eau d'irrigation (AEA)

La promotion du monde rural et l'autosuffisance alimentaire sont les objectifs fondamentaux de la nouvelle politique agricole nationale, basée sur une bonne gestion des ressources hydriques dans les terres agricoles.

La création de l'ONID est l'une des différentes restructurations agraires pratiquées. Il est un établissement public à caractère industriel et commercial, chargé de la gestion et l'exploitation des ressources en eau et les infrastructures hydrauliques dans les périmètres d'irrigation que l'Etat ou les collectivités territoriales lui concèdent. L'ONID est chargé notamment de la commercialisation de l'eau d'irrigation.

II.2.1. Périmètre irrigué du Saf-Saf : présentation physique

Compte tenu des potentialités hydriques superficielles et souterraines et en sol dans le bassin du Saf-Saf, cela permis la valorisation de la petite et la moyenne hydraulique, ainsi que l'irrigation des grands périmètres.

L'irrigation dans le bassin du Saf-Saf est devenue donc une condition nécessaire à la modernisation et à la sécurité des exploitations agricoles.

La plaine du Saf-Saf d'une superficie de 6276 ha, dont la superficie équipée et irriguée est de 5654 ha, divisée en quatre secteurs différents. Le périmètre irrigué du Saf-Saf est doté d'un réseau de distribution de l'eau d'une longueur totale de 135 000 mètres linéaires, avec un réseau de drainage de 19,1 km. Le périmètre est couvert de près de 384 bornes assurant l'arrosage des quatre secteurs.

Tableau V.5. Présentation physique du périmètre irrigué du Saf-Saf.

Secteur		Superficie (ha)	Longueur du réseau (m Linéaire)	Réseau de drainage (km)	Nombre de bornes
Skikda	I	1720	42 000	5,60	90
Salah Bouchaour	II	1609	40 000	5,00	114
El Harrouch	III	1023	29 000	5,20	78
Emjez Edchich	IV	1302	24 480	3,30	102
Périmètre du Saf-Saf		5654	135 480	19,10	384

Source. ONID, 2010

La gestion de ce périmètre était confiée à l'ONID, cependant les terres agricoles non irriguées sont gérées par la DSA de Skikda.

Concernant la mise en valeur hydro agricole du périmètre, dans l'étude de l'avant projet du périmètre irrigué de la vallée du Saf-Saf, il a été programmé de réaliser quatre assolements des différents types de cultures, un premier asselement pour les arbres fruitiers, dans les zones où il existe déjà. Pour les trois autres asselements A, B et C, il a été pris en considération les caractéristiques du sol, ainsi que les sources d'approvisionnement en eau d'irrigation.

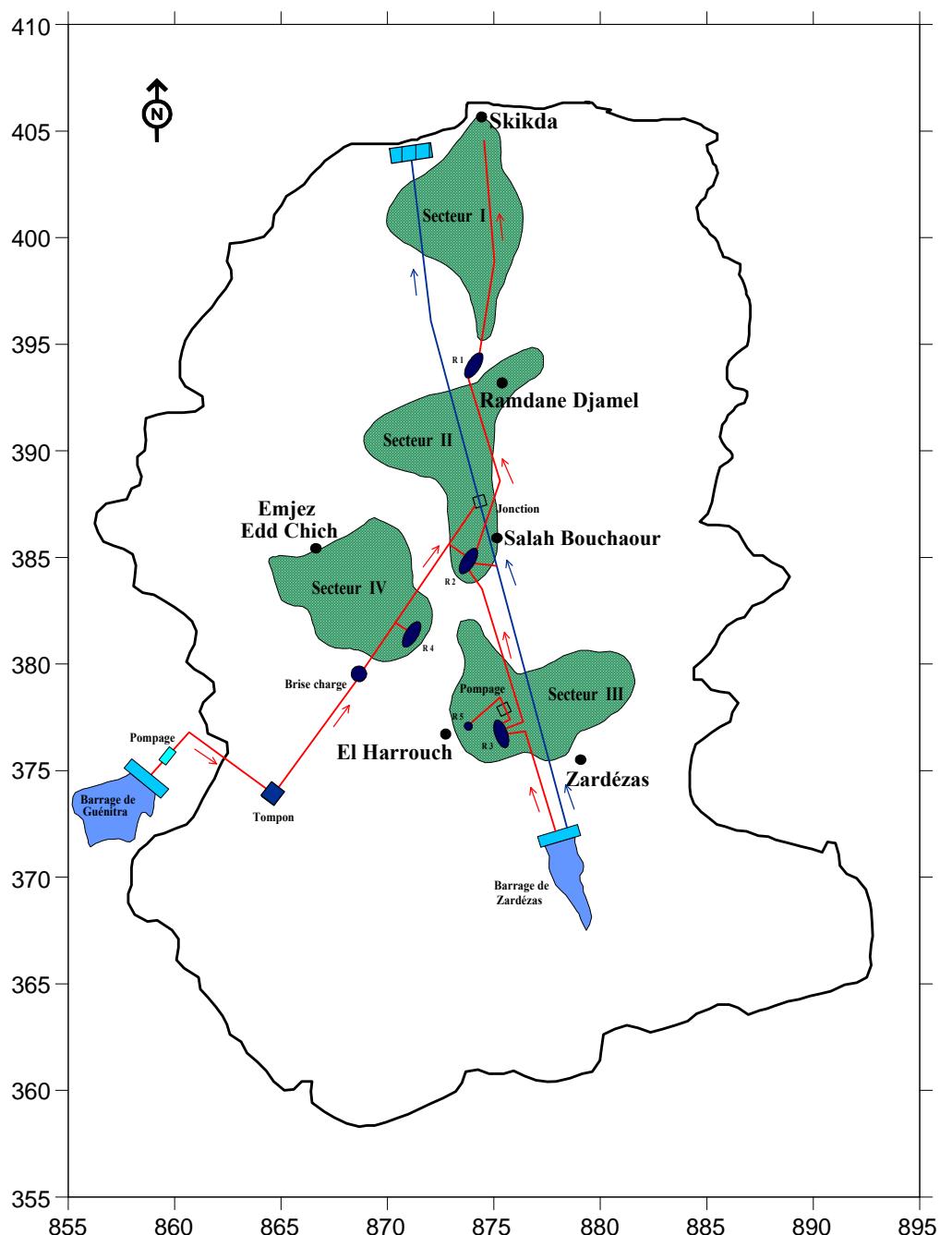
Tableau V.6. Assolements des cultures dans le périmètre irrigué du Saf-Saf

Assolements	Surfaces (ha)	Type de culture
Assolement des arbres fruitiers	1380	-Oranges -Pommes,...
Assolement A	2729	- Cultures maraîchères - Betteraves - Vesce avoine
Assolement B	311	- Luzerne - Cultures maraîchères
Assolement C	680	- Luzerne - Cultures maraîchères - Maïs, grain.... - Vesce avoine

Source. ONID, 2010

Mais, la réalité c'est que les cultures les plus dominantes dans les secteurs opérationnels sont les cultures maraîchères, surtout les pommes de terre et l'oignon, ainsi que l'arboriculture.

Alors que la pratique des cultures fourragères irriguées qui sont programmées dans l'étude de l'avant projet du périmètre, sont absentes en totalité dans les différents secteurs.

**Légende :**

- Conduite mixte AEP . Irrigation
- Conduite AEP Skikda
- R3 (●) Réservoirs
- Sens d'écoulement après pompage
- Station traitement AEP Skikda
- Agglomération

Figure V.8. Schéma directeur de distribution de l'eau dans le périmètre irrigué du Saf-Saf.
(ONID, 2012, modifié).

II.2.2. Besoins et alimentation en eau d'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf

Le périmètre irrigué de la vallée du Saf-Saf occupe une superficie totale de 5654 ha. Il est divisé en quatre secteurs qui sont équipés en totalité. L'alimentation en eau du périmètre s'effectue à partir des débits régularisés des barrages de Zardézas et Guénitra, ainsi qu'un volume d'eau est dernièrement destiné à l'irrigation de la partie aval du périmètre (secteur I) à partir du barrage de Zit el Emba.

Actuellement (2010), les cotations d'eau allouées pour l'irrigation du périmètre sont de l'ordre de 26 millions de m^3 pour satisfaire les besoins de la campagne d'irrigation. Dont le barrage de Guénitra contribue avec un volume de 15 millions de m^3 (soit 57 %), 6 millions de m^3 à partir du barrage de Zardézas. Le reste du volume d'eau (5 millions de m^3) est prélevé à partir du barrage de Zit el Emba.

Théoriquement, les besoins en eau totaux du périmètre du Saf-Saf sont estimés à environ de 44 millions de m^3 , soit un déficit de l'ordre de 18 millions de m^3 .

Mais, actuellement et vu les secteurs opérationnels (III et IV) et les superficies irriguées, les besoins en eau dans le périmètre sont largement satisfaits, dont les deux secteurs en fonction consomment un volume de 25,22 millions de m^3 .

Tableau V.7. Ressources en eau et dotations pour l'irrigation du périmètre du Saf-Saf

Secteur	Superficie (ha)	Débit fictif continu		Volume fictif distribué (Hm ³ /an)
		(m ³ /s)	(10 ³ . m ³ /j)	
Skikda	I	1720	0,73	63,07
Salah Bouchaour	II	1609	0,46	39,74
El Harrouch	III	1023	0,68	60,10
Emjez Edchich	IV	1302	0,90	77,76
Périmètre du Saf-Saf	5654	2,77	240,67	44,03

Source. ONID, 2010

II.2.3. Superficies irriguées et volumes d'eau distribués dans le périmètre du Saf-Saf

Actuellement, deux secteurs seulement sont en exploitation, sont le secteur d'El Harrouch (secteur III) et le secteur d'Emjez Edd Chich (secteur IV). Les deux autres secteurs non opérationnels sont le secteur I de Skikda et le secteur II de Salah Bouchaour. Les travaux de réalisation des ces deux secteurs ont été achevés en 2001, mais ils restent cependant inexploités à cause de l'insuffisance d'eau dans les barrages.

Les superficies irriguées depuis 1992 (année de mise en service du périmètre) sont en augmentation continue jusqu'à 1995, la superficie est passée de 108 à 1125 ha dans une durée de trois ans, cette augmentation est logique, sachant que le secteur III a été mis en exploitation en 1994.

En 1996, les superficies irriguées ont connues une diminution due à la rotation des cultures, les agriculteurs laissent la terre irriguée au repos, ou parfois ils changent les cultures irriguées par d'autres cultures en sec.

Les années 1997 et 2001 ont enregistré des chutes dans les superficies irriguées. Par contre, en 1999 une augmentation a été enregistrée pour atteindre 1613 ha. Ces variations sont dues au changement des précipitations annuelles. De même, en 2005, la superficie irriguée est de l'ordre de 1600 ha.

En 2007, à la fin de la campagne d'irrigation, la superficie irriguée ne dépasse pas les 1080 ha, car les agriculteurs ont irrigué des petites superficies par rapport à leur superficies totales.

Parallèlement, les volumes d'eau réellement consommés sont en augmentation continue, de 0,5 millions de m³ en 1992 jusqu'à 7,3 millions de m³ en 1999, avec une dose moyenne de l'ordre de 4500 m³/ha/an.

L'année 1997 a enregistré le volume d'eau consommé le plus faible (1,28 millions de m³). Cette chute est due à une diminution des superficies irriguées, aussi l'année pluviométrique était largement déficitaire, ce qui a provoqué un arrêt de la campagne d'irrigation. La situation a été observée les années 2000 et 2001, où on a constaté une baisse importante des volumes d'eau distribués.

Actuellement, un volume de 4,9 millions de m³ est seulement distribué pour assurer l'irrigation de près de 1080 ha, soit une dose moyenne annuelle de l'ordre de 4530 m³/ha/an, alors que la dose annuelle théorique a été fixée à 6500 m³/ha/an.

Les variations des volumes d'eau distribués et les superficies irriguées dépendent donc de la disponibilité de l'eau derrière les barrages.

Tableau V.8. Evolution des superficies irriguées et des volumes d'eau distribués dans le périmètre du Saf-Saf (1992-2007).

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2005	2007
Superficie Irriguée (ha)	108	294	653	1125	1104	912	1310	1613	1312	500	1600	1080
Volume d'eau distribué (Hm³/an)	0,5	1,25	3,00	5,00	5,55	1,28	5,94	7,30	5,00	2,70	7,20	4,9
Dose (m³/ha/an)	4630	4252	4594	4444	5027	1404	4534	4526	3811	5400	4500	5570

Source. ONID, 2010

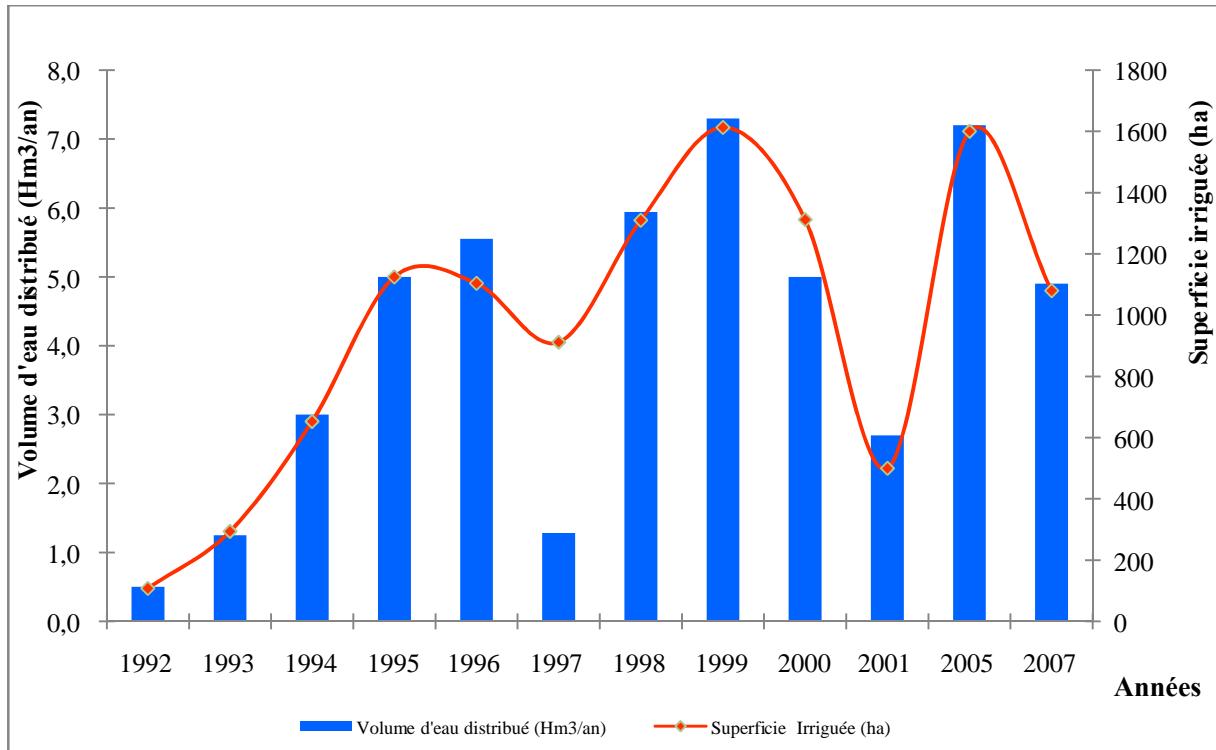


Figure V.9. Evolution des superficies irriguées et des volumes d'eau distribués dans le périmètre du Saf-Saf (1992-2007).

Conclusion

En se basant sur les données recueillies de l'ONID et de la DSA de Skikda, les besoins en eau d'irrigation dans le bassin du Saf-Saf sont de l'ordre de 36,75 millions de m^3 par an pour les quatre secteurs du périmètre. Cependant, seuls les deux secteurs III et IV sont actuellement opérationnels, en consommant un volume de 25 millions de m^3 par an.

Les deux secteurs restent non opérationnels en raison de manque d'eau, un déficit qui sera compensé dans les années à venir à partir des eaux du barrage de Zit el Emba et la nouvelle station d'épuration.

II.3. Alimentation en eau industrielle (AEI)

Dans le bassin du Saf-Saf pour ce qui concerne les industries, à part quelques cas isolés, l'essentiel de l'activité industrielle est concentré en aval du bassin (ville de Skikda).

Le secteur industriel est donc le troisième consommateur d'eau après l'irrigation (AEA) et la consommation domestique (AEP).

Actuellement, les besoins exprimés par ces unités industrielles s'élèvent à plus de 27 000 m^3 par jour, soit près de 10 millions de m^3 par an. Dont plus de 90 % des ces besoins concernent seulement la zone industrielle pétrochimique de Skikda.

III.3.1. Ressources en eau pour l'industrie

Les ressources en eau approvisionnent les unités industrielles implantées dans le bassin proviennent essentiellement des barrages de Zardézas et de Guénitra, ainsi que des forages, des puits, des prises d'eau des oueds, du dessalement de l'eau de mer et une grande quantité de l'eau de mer.

Cependant, les pénuries d'eau fréquentes surtout en période estivale, ont conduit certains industriels à réfléchir sur l'économie et le recyclage de l'eau, en réalisant des forages et des puits sur les sites mêmes de production et l'utilisation de l'eau de mer pour le cas des unités implantées en bordure de mer (zone industrielle pétrochimique), qui constitue un complément en eau pour certaines phases de production.

II.3.1.1. Industries pétrochimiques

La zone industrielle pétrochimique de Skikda située en aval du bassin du Saf-Saf est le grand consommateur d'eau industrielle dans le bassin, elle consomme à elle seule un volume de 19 000 m³ par jour, soit près de 7 millions de m³ par an, partagé sur ses différentes unités. Un volume qui est largement insuffisant pour satisfaire leur propre besoin. Donc le recours aux eaux de mer, de dessalement et de recyclage est la meilleure solution pour compenser ce déficit.

Tableau V.9. Besoins et consommation en eau de la zone industrielle de Skikda (2010).

Unités	Type de produit	Besoins en eau (m ³ /j)	Consommation (m ³ /j)	Eau recyclée (m ³ /j)	Eau rejetée (m ³ /j)
RA1/K	Raffinage des produits pétrochimiques	6000	7205	5043	2162
GL1/K	Liquéfaction du gaz naturel	700	622	435	187
CP1/K	Matières plastiques	2000	2530	1771	759
ENGI	Oxygène, azote et argon liquide	14420	7000	N.C	N.C
ENDG	Gaz industriel	1600	1320	924	396
POLYMED	Produits pétrochimiques	360	412	288	124
Zone Industrielle	SONATRACH	25 080	19 089	8 461	3 628

Source. DHW Skikda, 2010

II.3.1.2. Industries agro alimentaires et autres

A coté des industries lourdes en aval du bassin, nous signalons aussi l'existence de quelques unités de moins degré de consommation d'eau, pour lesquelles, les besoins en eau s'élèvent à 2250 m³ par jour, soit 0,82 millions de m³ par an.

Elles sont essentiellement, les industries agro alimentaires en amont (minoterie et semoulerie d'ERIAD d'El Harrouch) et au centre du bassin (Conserverie ENAJUC de Ramdane Djamel). Ainsi que les autres industries de construction (ENAMARBRE) et de services en aval du bassin.

Tableau V.10. Besoins et consommation en eau des unités industrielles dans le bassin Saf-Saf

Partie du bassin	Unités	Type de produit	Besoins en eau (m ³ /j)	Consommation (m ³ /j)
Aval	CTE	Electricité	783	688
	ENAMARBRE	Marbre	572	572
Centre	EPS	Services	356	450
	ERIAD. H. Krouma	Minoterie de production des pâtes.	225	225
Amont	ENAJUC	Conserverie et agro alimentaire	66	66
	ERIAD. El Harrouch	Minoterie et Semoulerie	252	252
Industrie agro alimentaire et autres			2252	2253

Source. DHW Skikda, 2010

Conclusion

Le bassin du Saf-Saf d'une superficie de 1158 Km², couvre entièrement les Daïra de Skikda, Ramdane Djamel et El Harrouch, et partiellement les Daïra d'El Hadaeik et Sidi Mezghiche. La population du bassin atteint les 451 717 habitants (2010), dont plus de 230 milles habitants (soit un taux de 53 %) sont localisés dans sa partie aval, Les besoins en eau dans le bassin sont estimés à près de 76,7 millions de m³ par an

En matière d'approvisionnement en eau potable, Les dotations en eau présentées par habitant dans le bassin sont globalement bien inférieures à la moyenne nationale (150 l/j/hab), elles seraient en moyenne de l'ordre de (94 l/j/hab), mais elles sont très inégales suivant les régions, où dans le centre et l'aval du bassin les dotations dépassent les (105 l/j/hab). Cependant, pour l'amont elles n'atteignent pas les (95 l/j/hab), les besoins en eau vont s'augmenter donc à 30,95 millions de m³. Cependant, le volume réellement produit pour couvrir ces besoins en eau domestiques est de l'ordre de 14,12 millions de m³ par an, soit un taux de satisfaction de près de 45,6 %.

Les besoins en eau d'irrigation dans le bassin du Saf-Saf sont de l'ordre de 36,75 millions de m³ par an pour les quatre secteurs du périmètre. Cependant, seuls les deux secteurs III et IV sont actuellement opérationnels, en consommant un volume de 25 millions de m³ par an. Les deux autres secteurs restent non opérationnels en raison du manque d'eau.

Le tissu industriel dans le bassin versant du Saf-Saf est concentré surtout dans sa partie aval, où se trouve le grand consommateur d'eau industrielle, dont les besoins de la zone pétrochimique de Skikda s'élèvent à plus de 25 000 m³ par jour, soit 9 millions de m³ par an, représentant 90 % des besoins globaux du bassin en eau industrielle. Le reste est divisé sur les autres petites unités industrielles à caractère agro alimentaire.

Chapitre : 6

**Modélisation de la gestion intégrée
des ressources en eau :
- Application du modèle WEAP -**

Introduction

Les pressions accrues sur les ressources en eau liées aux changements climatiques et d'usages de l'eau ainsi que les compétitions grandissantes entre usagers sont reconnues comme des enjeux mondiaux. La gestion des ressources en eau est l'un des grands enjeux et défis relevés par le bassin du Saf-Saf. Ses ressources en eau sont renouvelables mais limitées, or les besoins humains ne cessent de croître et les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité. Les écosystèmes, milieux producteurs et régénérateurs de cette ressource sont menacés, pollués et détruits en aval du bassin à vocation industrielle.

Le défi actuel consiste à décrire la situation actuelle du bassin, évaluer la disponibilité des ressources et les demandes en eau futures selon des scénarios climatiques et socio-économiques, puis distribuer l'eau selon des règles prédéfinies.

Une pierre angulaire de la gestion intégrée et de planification de l'eau est l'utilisation de la simulation hydrologique pour étudier l'effet d'un climat changeant sur le processus des précipitations et du ruissellement et en variabilité temporelle et spatiale dans la demande de l'eau.

Pour ceci, une modélisation hydrologique des changements de structure et de paramètres des systèmes hydrauliques est adoptée par le biais du modèle WEAP21 (Water Evaluation and Planning System) pour remédier les problèmes d'approvisionnement et de demande de l'eau sur des horizons de planification à long terme dans le bassin du Saf-Saf, selon les projections de changement climatique et fournit une approche intégrée de la planification des ressources hydriques.

I. Méthode d'approche pour la simulation de la gestion intégrée

La politique du bassin quant aux ressources en eau, reste le préalable indispensable à toute démarche de GIRE. Celle-ci doit être bâtie sur une évaluation de toutes les composantes ayant attrait au bassin (milieu naturel et ressources en eau, évaluation sectorielle des différents usages, etc.). Sur la base de cette évaluation globale sont ensuite émis différents objectifs en relations avec les enjeux du bassin (écosystèmes, activités économiques, inondations, etc.).

Les ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf sont subies aux plusieurs pressions, exercées par les besoins croissants des différents usagers, ces besoins sont traduits sous formes de pollutions rejetées (zone industrielle pétrochimique de Skikda, rejets domestiques des agglomérations dans l'oued Saf-Saf, etc.). La situation est aggravée aussi par l'influence des aléas climatiques (périodes de sécheresse, pénuries).

I.1. Description du modèle de GIRE appliqué (DPSIR)

L'approche DPSIR représente plus efficacement les complexités de l'interaction socio-environnementale et met en lumière la nécessité de comprendre et de mesurer la nature et l'ampleur de cette dynamique. L'intégration plus efficace de la condition sociale, de la dynamique environnementale et de la réponse institutionnelle peut enrichir un processus d'informer les décideurs sur l'utilisation durable des ressources et les pratiques du développement (Bowen et Riley, 2003).

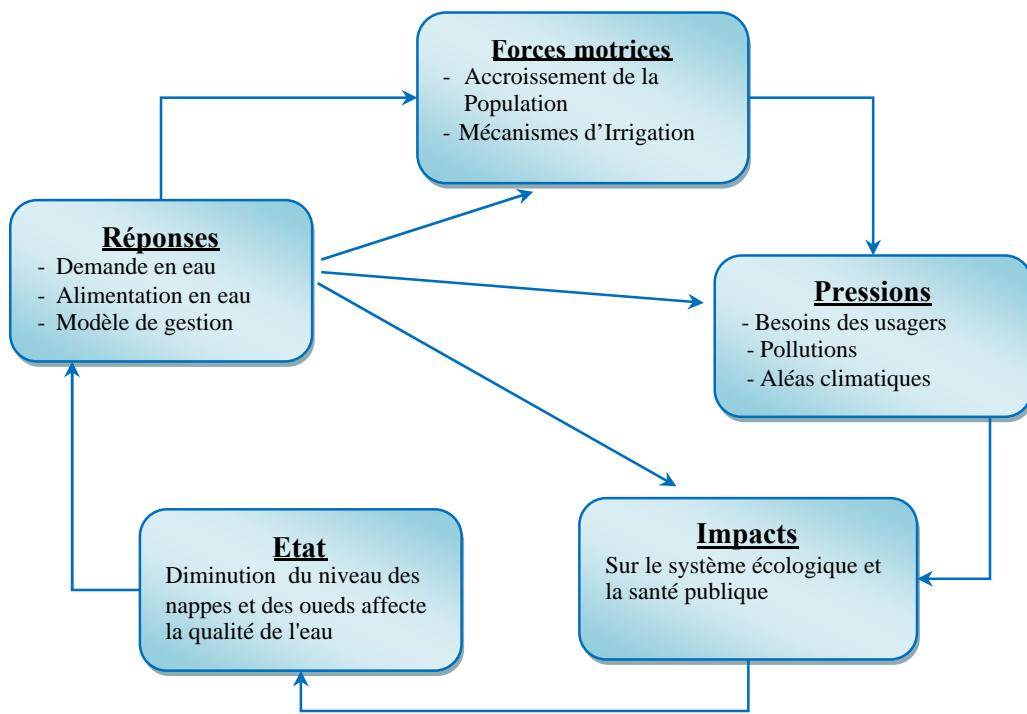


Figure VI.1. Le modèle DPSIR pour développer les indicateurs.

(Source. Agence Européenne pour l'Environnement "AEE", 1999).

La structure de l'indicateur le plus largement acceptée est le "modèle de l'impact de l'état de la pression des forces motrices" (DPSIR). Le modèle DPSIR est une extension du PSR (Pressure State-Response) modèle qui a été développé par Anthony Friend dans les 1970s. L'intégration efficace de la condition sociale, de la dynamique environnementale et de la réponse institutionnelle peut enrichir un processus d'informer les décideurs sur l'utilisation durable des ressources et les pratiques du développement, l'Agence Européenne pour l'Environnement AEE et l'Évaluation Globale des Eaux Internationales GIWA à l'an 2001 ont expliquées ce modèle comme :

D : Les forces motrice (driving forces) englobant les facteurs socio-économiques et sectoriels influençant sur l'ensemble des variables pertinentes,

P : Les indicateurs de pression décrivant les variables qui provoquent directement les problèmes environnementaux,

S : Les indicateurs d'état (state) illustre les conditions existantes et le changement observable de l'environnement,

I : Les indicateurs d'impact décrivent les effets maximaux des changements d'état sur l'homme et l'écosystème,

R : Les indicateurs de réponse présentent les effets au niveau des administrateurs et les politiciens pour traiter et résoudre les problèmes.

I.2. Description analytique du modèle de GIRE appliqué (DPSIR)

Les éléments les plus importants et les sciences reliées à l'eau ont été décrus dans la forme pyramide (figure VI.2) comme un nouveau modèle conceptuel.

La figure (VI.2) indique que le développement et la gestion des ressources en eau doit être avec les limites de la durabilité écologique et la disponibilité des ressources naturelles des eaux. Ce modèle conceptuel est basé principalement sur les trois catégories décisives suivantes: (1) Le système naturel qui forme un critère signifiant pour la disponibilité de l'eau en quantité et qualité, (2) Le système humain qui détermine l'utilisation de l'eau et la pollution de cette ressource, (3) Le système de gestion et institutionnel qui doit équilibrer la balance entre le système humain et le système naturel et leurs interdépendances. Dans la figure VI.2, les trois systèmes sont divisés en cinq catégories basées sur la relation cause-effet du modèle (DPSIR) pour le développement des variables reliées à l'eau. Ces variables reflètent et traduisent les concepts de la durabilité de l'eau et les approches préventives et écosystémiques. Les cinq catégories sont : les aspects socioéconomiques, les pressions de la pollution anthropique, l'état de la qualité de l'eau, l'impact écologique et de la santé publique, et les réponses institutionnelles. Le système humain est expliqué par les variables des pressions socioéconomiques, de la pollution anthropologique et la santé publique. Le système naturel est représenté par l'état de l'eau et l'impact écologique. Le système institutionnel est représenté par les réponses institutionnelles. La figure VI.2 présente une interaction continue entre le système humain d'un côté et le système naturel dans l'autre côté. D'ailleurs, il y a une relation duale entre l'interaction du système humain, naturel et le système institutionnel. Suivant, une balance sera établie entre la demande en eau de la société et la restauration des eaux dans le côté de la conservation de la nature.

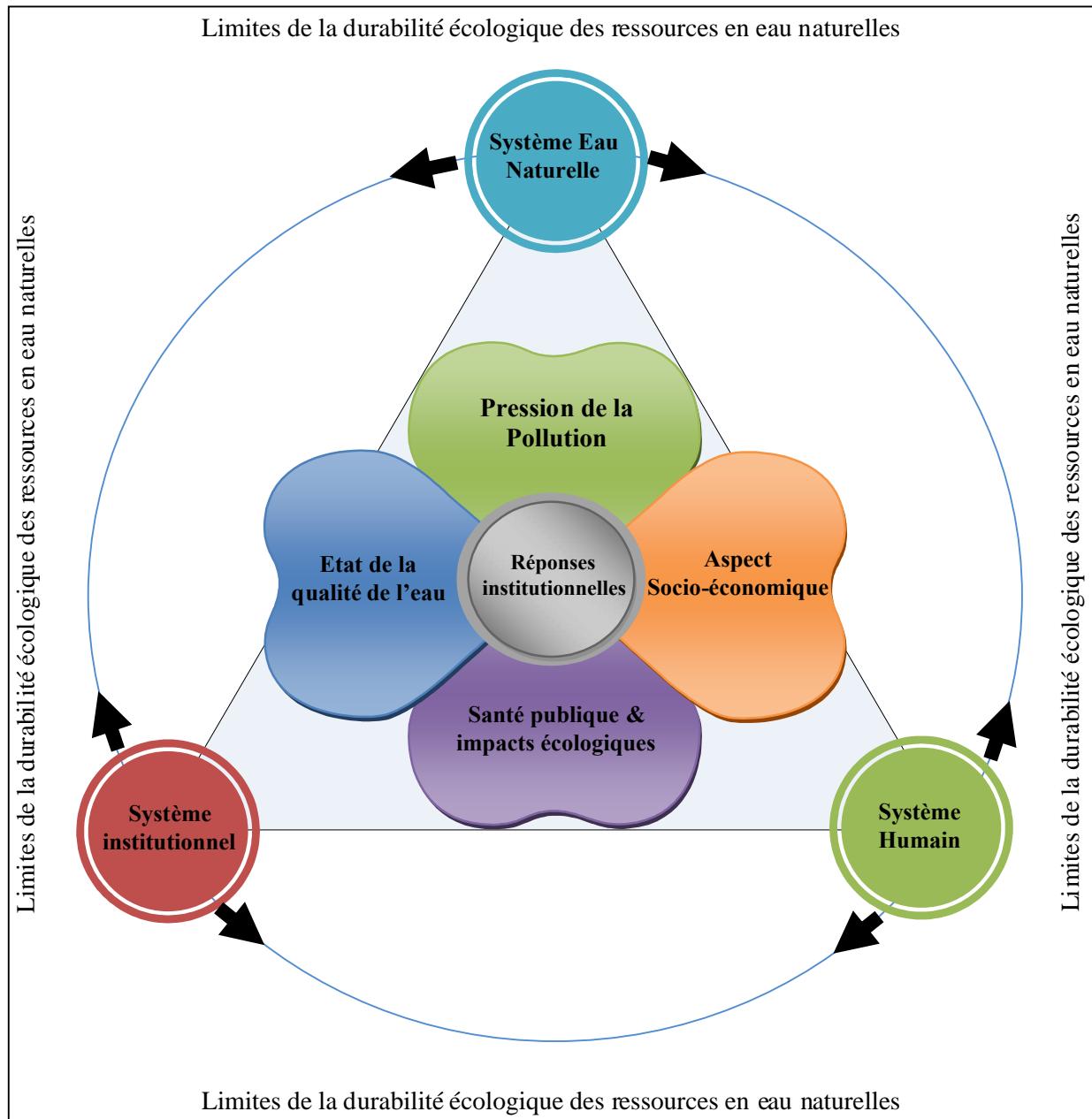


Figure VI.2. Pyramide de démarche de la GIRE. (Sakaa, 2013. Modifiée).

I.3. Présentation du logiciel WEAP

Le logiciel WEAP (Water Evaluation and Planning System) est un outil de simulation des ressources hydriques de surface et des eaux souterraines, basé sur les principes comptables d'équilibre de l'eau, créé par le "Stockholm Environment Institute" (SEI, en 2005). Il peut tester des ensembles alternatifs de conditions pour l'approvisionnement et la demande en eau.

Le WEAP21 est un logiciel qui utilise une approche intégrée de la planification des ressources hydriques. Il a connu une série de développements au cours de ses 20 années de vie. Le WEAP21 essaie de combler le vide entre la gestion de l'eau et l'hydrologie du bassin, et l'exigence qu'un modèle intégré et efficace sur les ressources hydriques soit utile, facile à utiliser, abordable et facilement disponible pour la communauté étendue des ressources hydriques. Il fournit également des fonctionnalités avancées qui permettent un accès rapide à d'autres modèles et logiciels, tels que MODFLOW, Excel, etc. La flexibilité de l'outil à s'adapter à différents niveaux de disponibilité des données et son interface conviviale graphique en font un outil approprié à utiliser dans un bassin comme celui du Saf-Saf, où les données peuvent être rares et les conflits entre les différents usagers de l'eau sont élevés.

Le WEAP21 intègre plusieurs processus hydrologiques physiques avec la gestion des demandes et des infrastructures installées de manière cohérente. Il permet une analyse de plusieurs scénarios, notamment les scénarios climatiques alternatifs et les facteurs de stress anthropogènes évolutifs, tels que les variations de l'utilisation des terres, les changements de la demande municipale et industrielle, les règles alternatives d'exploitation et les changements des points de déviation. La force du WEAP21 réside dans le traitement des problèmes de planification de l'eau et d'affectation des ressources et, il est important de noter qu'il n'est pas conçu pour être un modèle détaillé d'exploitation de l'eau pouvant être utilisé pour optimiser l'énergie hydraulique sur la base de prévisions hydrologiques, par exemple.

Le système de gestion dans le système d'aide à la décision (DSS "Decison Support System") de WEAP21 est décrit par une priorité des demandes définies par l'utilisateur et des préférences d'approvisionnement fixées pour chaque site de demande et utilisées pour construire une routine d'optimisation qui affecte les fournitures disponibles (Yates *et al.*, 2005a, 2005b). Les demandes sont définies par l'utilisateur, mais comprennent généralement la demande municipale et industrielle, les parties irriguées des sous-bassins et les besoins de flux environnementaux.

L'analyse de la demande dans le WEAP 21 qui n'est pas couverte par la demande d'irrigation basée sur l'évapotranspiration suit une approche désagrégée, basée sur l'utilisation finale, pour déterminer les besoins en eau de chaque nœud de demande. Les informations économiques, démographiques et d'utilisation de l'eau sont utilisées pour construire des scénarios alternatifs qui examinent la façon dont la consommation totale est désagrégée de l'eau évolue au fil du temps. Ces scénarios de demande sont calculés dans le WEAP 21 et appliqués de façon déterministe à un algorithme d'affectation basé sur un programme linéaire. L'analyse de la demande est le point de départ pour conduire une analyse intégrée de la planification de l'eau, étant donné que tous les calculs d'approvisionnement et de ressource dans le WEAP 21 sont menés par la routine d'optimisation qui détermine la livraison finale à chaque nœud de demande, selon les priorités spécifiées par l'utilisateur.

Il est important de noter qu'il existe une suite d'assistance en ligne et de documents de formation, notamment des tutoriels en anglais, chinois, espagnol, français et farsi et un forum

de discussion en ligne (en anglais). Il existe également une liste étendue de publications couvrant son application dans plusieurs contextes de planification de l'eau, notamment des études spécifiques des répercussions et de l'adaptation au changement climatique, nombre d'entre elles pouvant être téléchargées à partir du site internet de WEAP.

Il existe également des cours de formation réguliers et un réseau de départements universitaires qui englobent le WEAP 21 dans leur cursus, et ont par conséquent une expertise nationale du logiciel.

<<http://www.weap21.org/>>.

I.4. Acquisition du logiciel WEAP 21

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif «économiser données» est handicapé. Une version démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire. Le SEI (Stockholm Environment Institute) envoi par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif "économiser données" fonctionnel. Il est préférable que l'ordinateur soit relié à l'internet car le WEAP a un forum d'utilisateur sur le site: <http://forums.seib.org/weap>. Il faut un pseudo et un mot de passe pour entrer dans ce forum. Le forum peut aider l'utilisateur pendant la mise en marche du logiciel, le traitement de données et la mise à jour du logiciel. Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée.

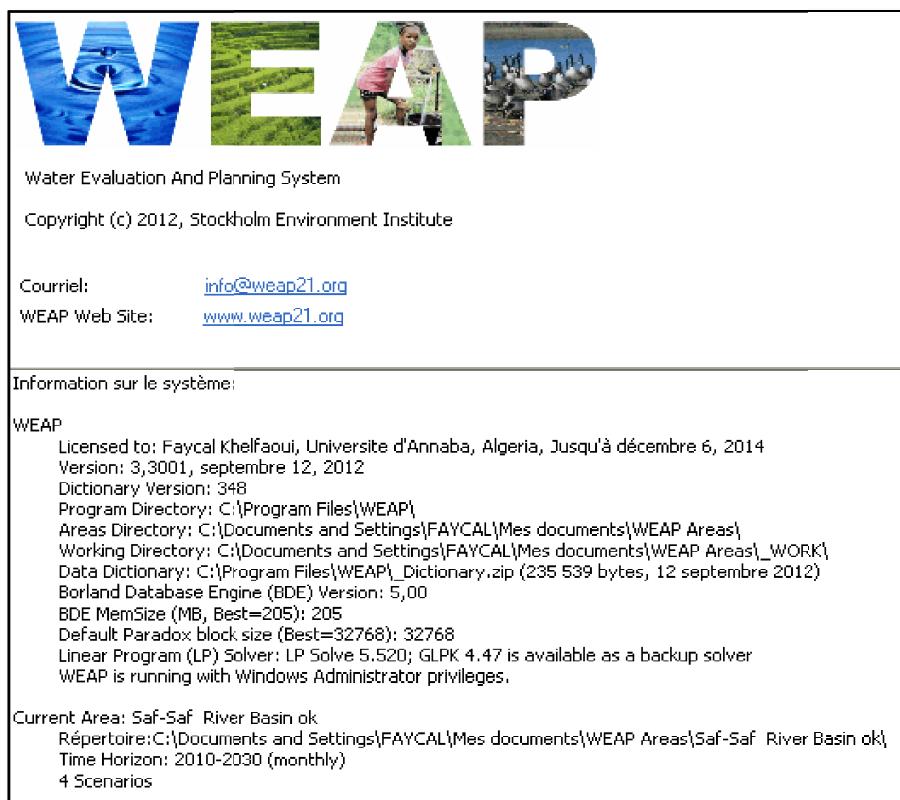
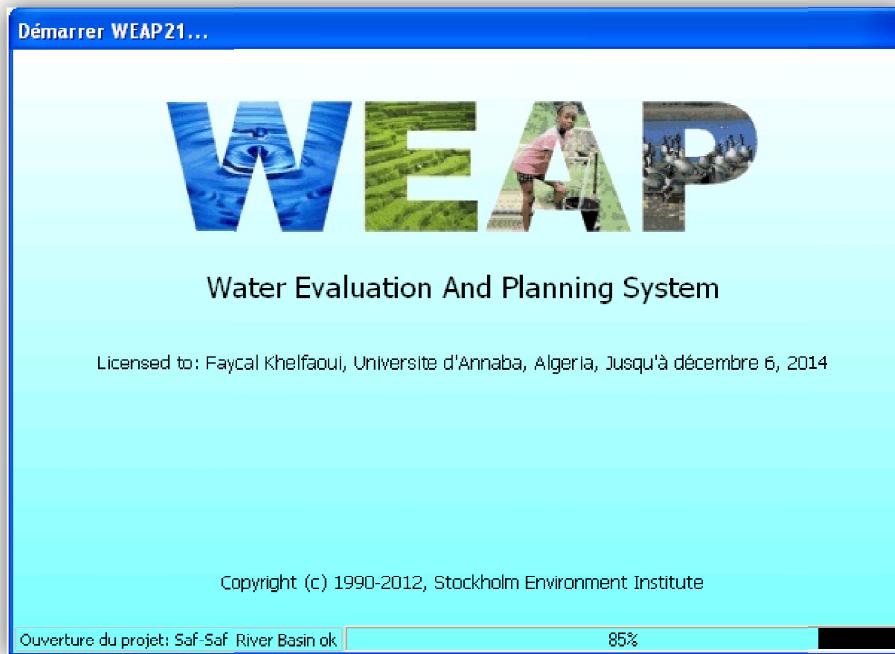


Figure VI.3. License WEAP acquise à partir du SEI (Stockholm Environment Institute).

II. Application du modèle WEAP dans le bassin du Saf-Saf

II.1. Cartographie

Dans le programme WEAP il existe déjà une carte du monde où on peut choisir et créer la zone d'étude (Fig.VI.4). En suite, on va ajouter une carte SIG (Système d'Information Géographique à vecteur à notre zone d'étude, cette carte peut nous aider pour orienter et construire notre système et raffiner les limites du projet. Les données vecteur fond de plan peuvent être ajoutées en cliquant sur « Add Vector Layer ». WEAP lit l'information vectorielle dans le format « Shapefile ». Ce fichier de format peut être créé par la majorité des logiciels SIG (Arc view, Arc Gis, etc.). En sélectionnant la carte de la ville de Skikda et après on a crée la carte du nouveau projet nommé "bassin du Saf-Saf". (Fig.VI.5).

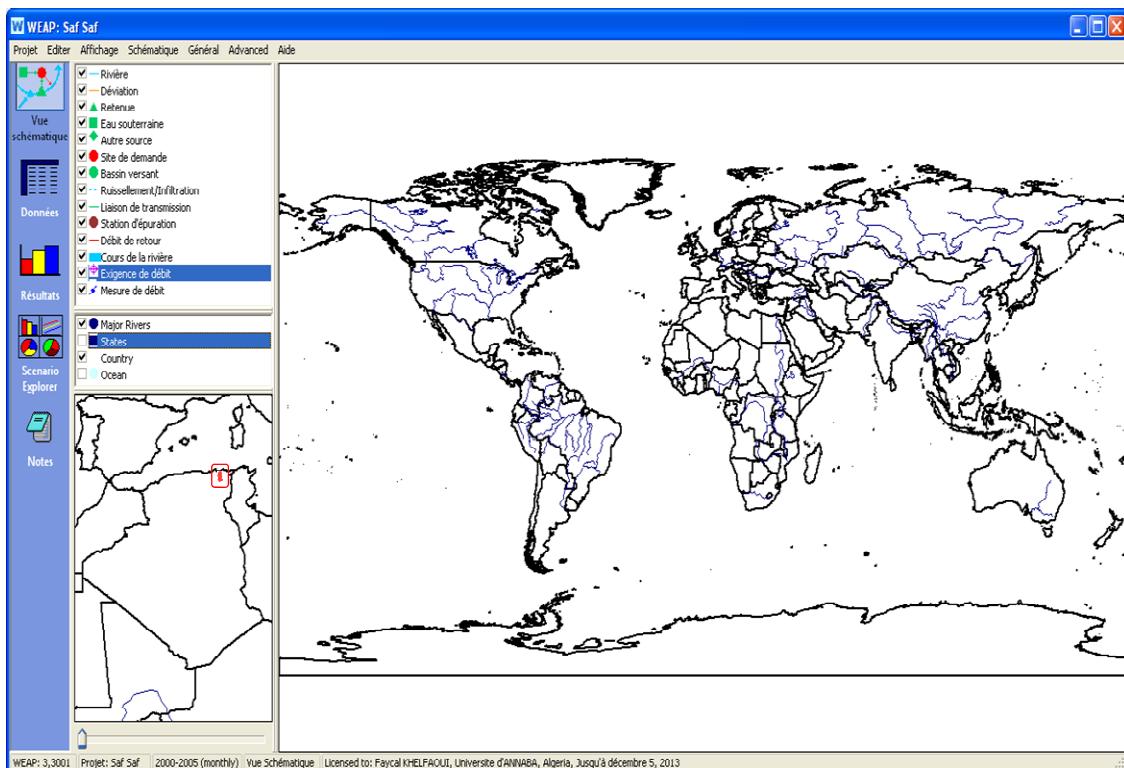


Figure VI.4. Carte du monde dans le logiciel WEAP.

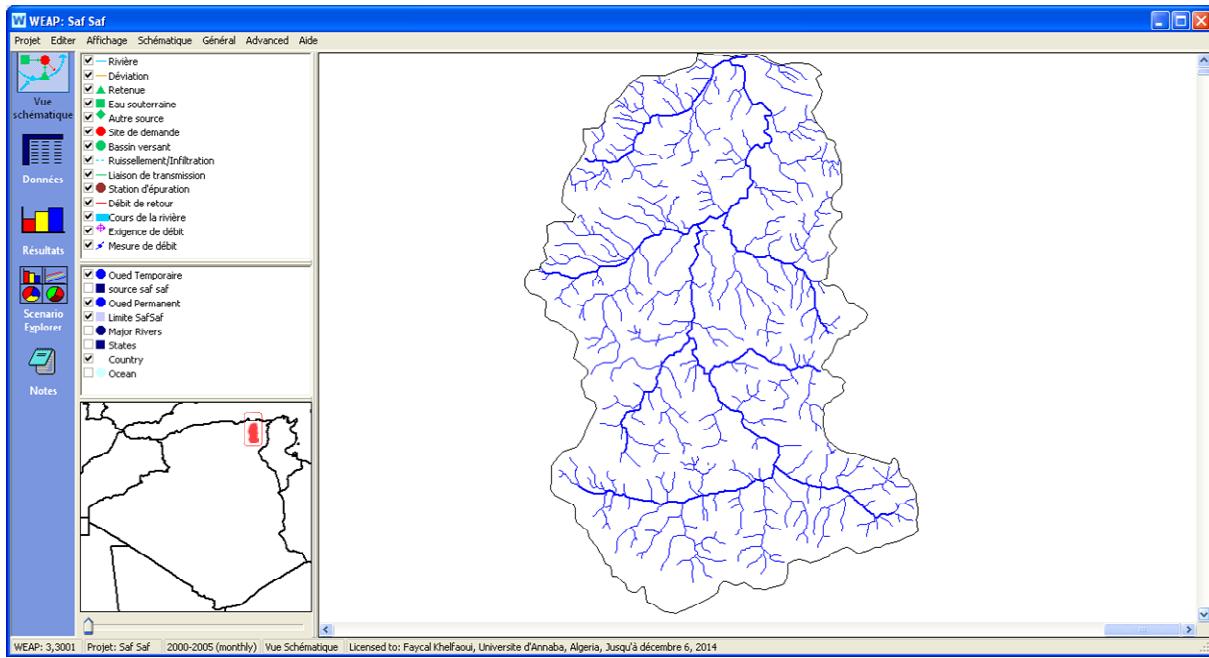


Figure VI.5. Carte du bassin du Saf-Saf avec le réseau hydrographique sous WEAP.

II.2. Réglage des paramètres généraux

Dans cette partie, les paramètres temps devraient être réglés. Créer une année de comptes courants pour le projet. Dans cette étude, nous limitons entre 2010-2030 pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement, etc.).

Les données collectées et portées dans WEAP concernent :

- les sites de demandes avec leur emplacement : urbain (commune), les secteurs de demandes.
- les ressources et les lieux de captage (site de l'offre) : eaux souterraines exploitées (forages, puits) données hydrogéologiques (Fig.VI.7)

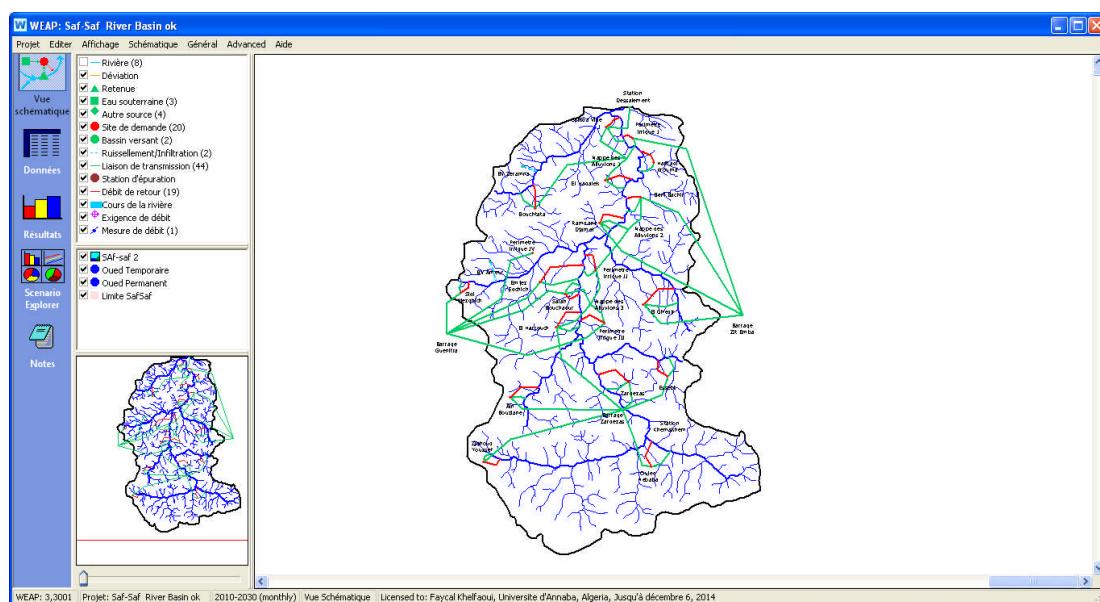


Figure VI.6. Carte du bassin du Saf-Saf avec les priorités d'approvisionnement.

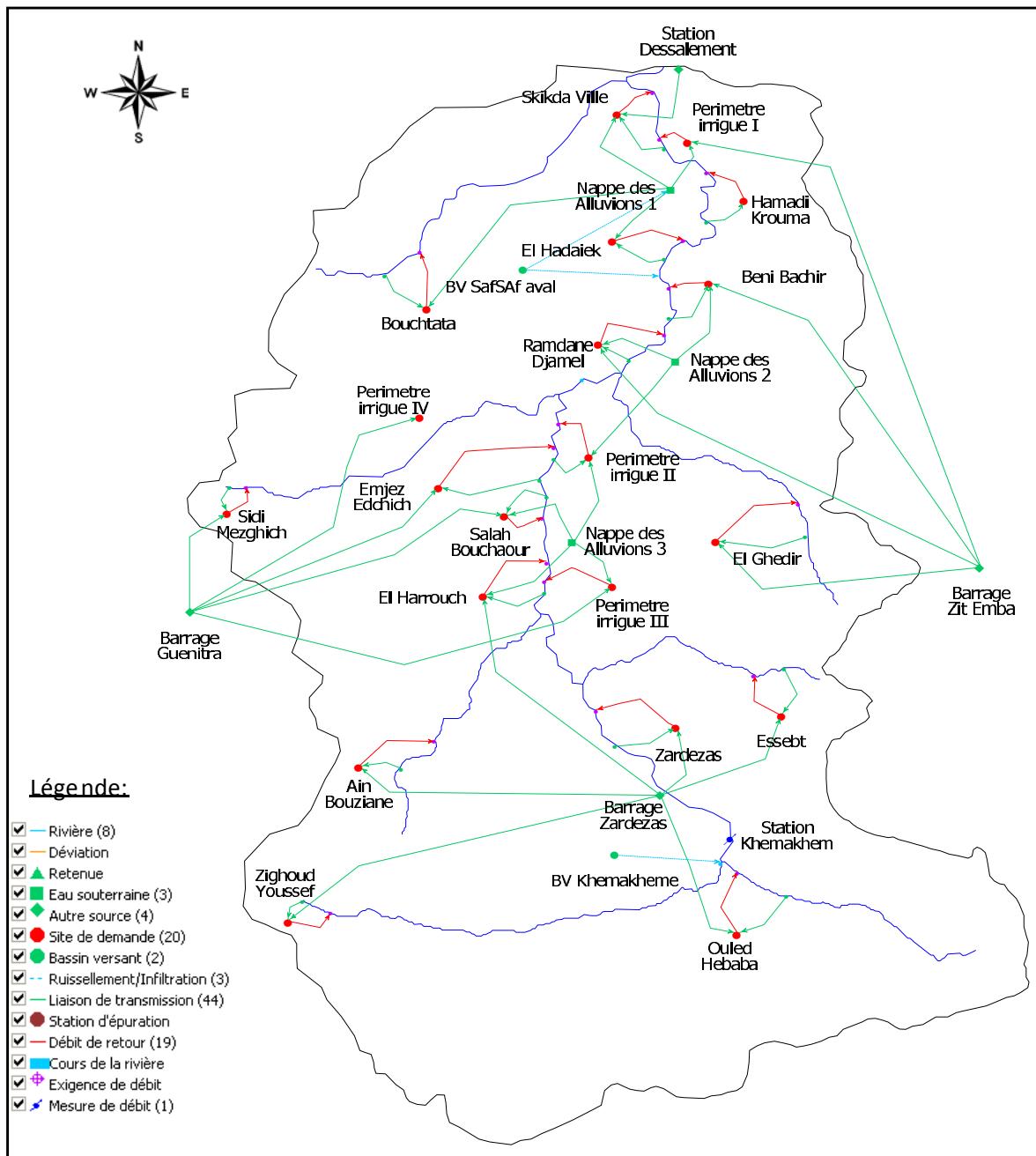


Figure VI.7. Schéma hydraulique du bassin du Saf-Saf. « Compte d'état actuel, 2010 ».

II.3. Fonctionnement du logiciel

Le programme WEAP fonctionne donc suivant cinq (5) étapes.

II.3.1. Crédation de la zone d'étude

Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier Arcview. Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que: les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude.

II.3.2. Crédation des hypothèses clés et références

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc. Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

II.3.2.1. Hypothèses clés

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre (4) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur.

II.3.2.2. Références

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence.

II.3.3. Proposition des Scénarios

Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarios pour évaluer les effets des changements socio-économiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

II.3.4. Saisie des données

Les données sont à saisir en cliquant droit après avoir créé les éléments dans la zone d'étude (placer les emplacements urbains, industriels, élevages, etc.) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

II.3.5. Présentation des résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario de changements climatiques.

Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par l'organigramme ci-dessous (Fig.VI.8).

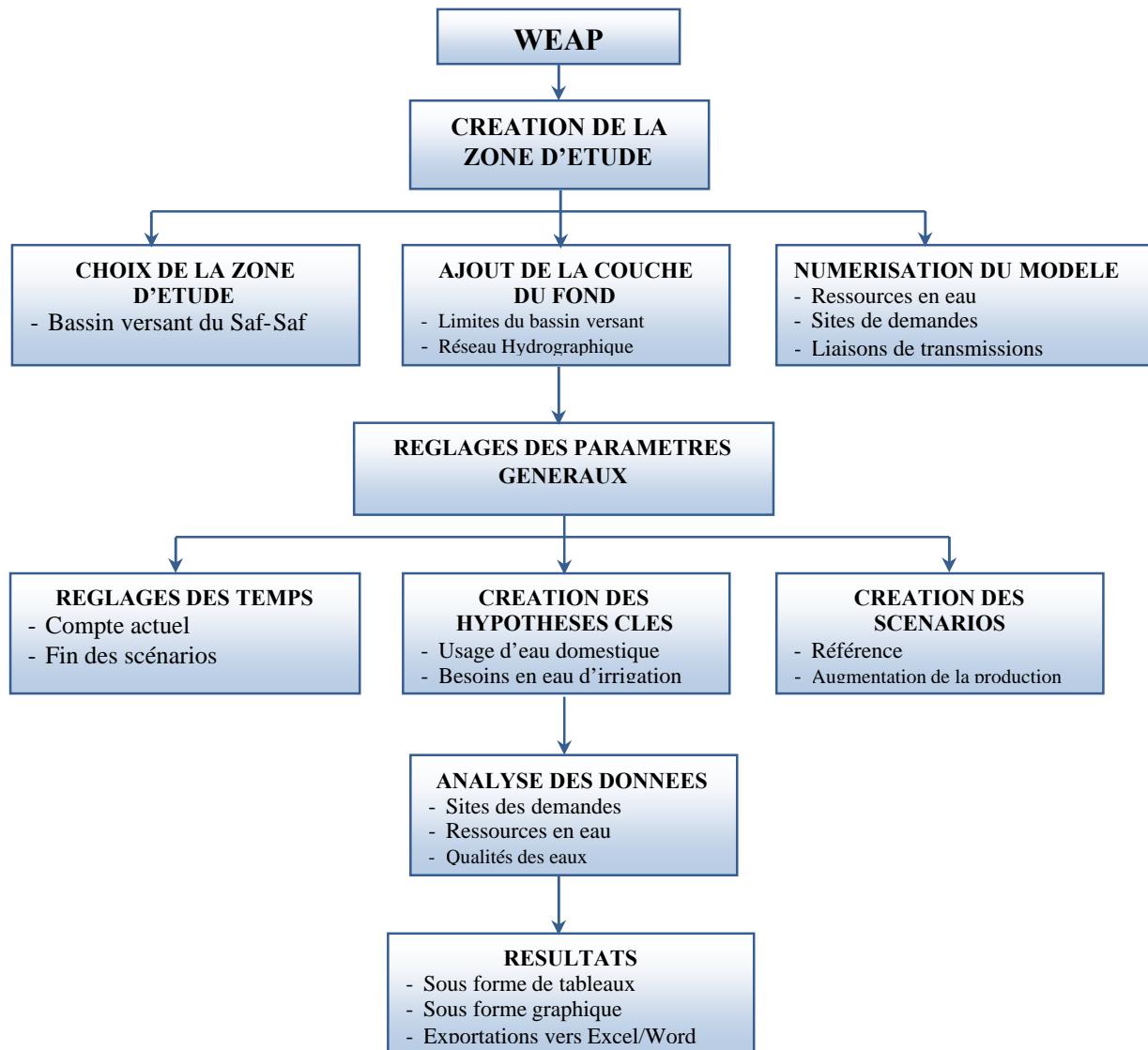


Figure VI.8. Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP 21.

III. Analyse et traitement des données nécessaires

Etant donné que le modèle WEAP est un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des besoins en eau, la gestion intégrée des ressources en eau nécessite certaine connaissance aussi parfaite que possible sur :

- La réserve et la ressource en eau,
- Les sites de l'offre ou captage,
- Les sites de demandes.

Des données collectives à ces points ont été collectées au niveau de certaines institutions travaillant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement dans le bassin, ainsi que dans des organismes régionaux.

On numérise les sites de demande et les sites de l'offre : eaux souterraines exploitées (forages, puits) et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés.

III.1. Etude de l'offre et de la demande en eau

Pour l'étude de l'offre et de la demande ou l'étude de l'approvisionnement en eau, les principales données nécessaires sont la quantité d'eau domestique utilisée, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, la quantité d'eau utilisée pour l'élevage, les nombres ou effectifs d'utilisateurs (population, bétails, etc), la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration et les débits.

Ces données supposées englobant d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande. La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres rend la modélisation plus proche de la réalité.

III.2. Compte d'état actuel « Current Account »

L'année de l'état actuel est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information (les données de la demande et de la distribution de l'eau) est introduit dans l'état actuel. L'année 2010 va servir comme compte d'état actuel « Current Account », à partir duquel les scénarios sont construits. Les Scénarios explorent les changements possibles du système dans les années futures, après l'année de l'état actuel.

Tableau VI.1. Les informations nécessaires pour les sites de demandes.

Sites des Demandes		Niveau d'activité annuelle		Variation mensuelle	Consommation (m ³ /j)
Secteurs du bassin du Saf-Saf	Amont	46 125 hab	30,21 m ³ /an/hab	Proportionnel au nombre de jours dans un mois	0,08
	Centre	168 040 hab	35,24 m ³ /an/hab		0,10
	Aval	237 552 hab	48,90 m ³ /an/hab		0,13
Sites Agricultures: Périmètre irrigué du Saf-Saf	Périmètre irrigué I	735 ha	6700 m ³ /an/ha	Avril : 5%	18,35
	Périmètre irrigué II	687 ha	4500 m ³ /an/ha	Mai – Juin : 10%	12,33
	Périmètre irrigué III	434 ha	10750 m ³ /an/ha	Juillet : 20%	29,45
	Périmètre irrigué IV	554 ha	10920 m ³ /an/ha	Août : 30% Septembre:25% Octobre – Mars 0%	29,91

III.2.1. Sites des demandes

- *le niveau d'activité annuelle* qui détermine la demande tel que le nombre d'usagers de l'eau pour des motifs domestiques ou le niveau de consommation d'eau par le secteur et de l'agriculture par unité d'activités. Donc, la demande annuelle représente le montant d'eau exigé par chaque demande. Les pertes, la réutilisation, et l'efficacité sont estimées séparément. La consommation de l'eau est calculée en multipliant le niveau de l'activité annuel par un taux d'usage de l'eau. Les Niveaux de l'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande en eau de WEAP comme une mesure d'activité sociale et économique.

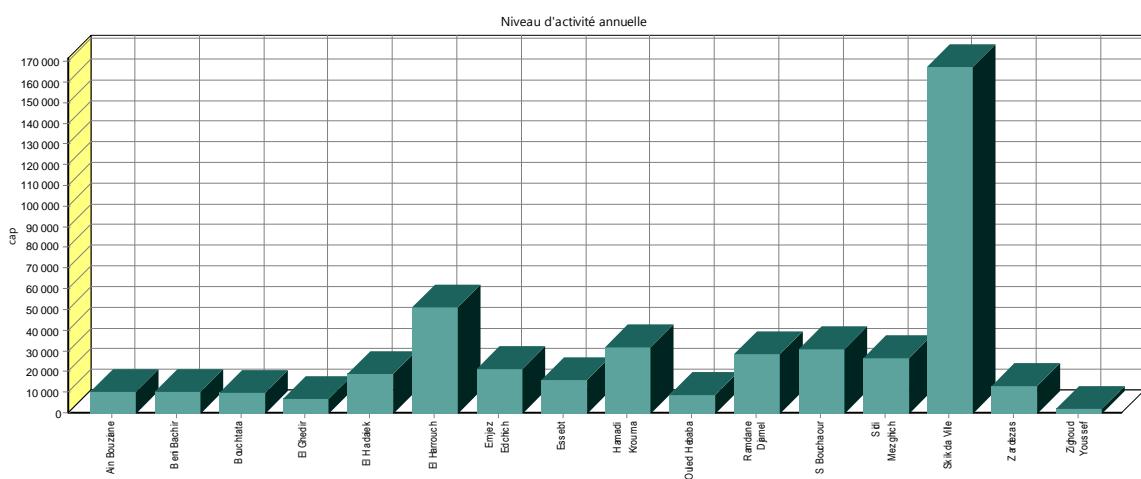


Figure VI.9. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes domestiques.

-Compte d'état actuel, 2010-

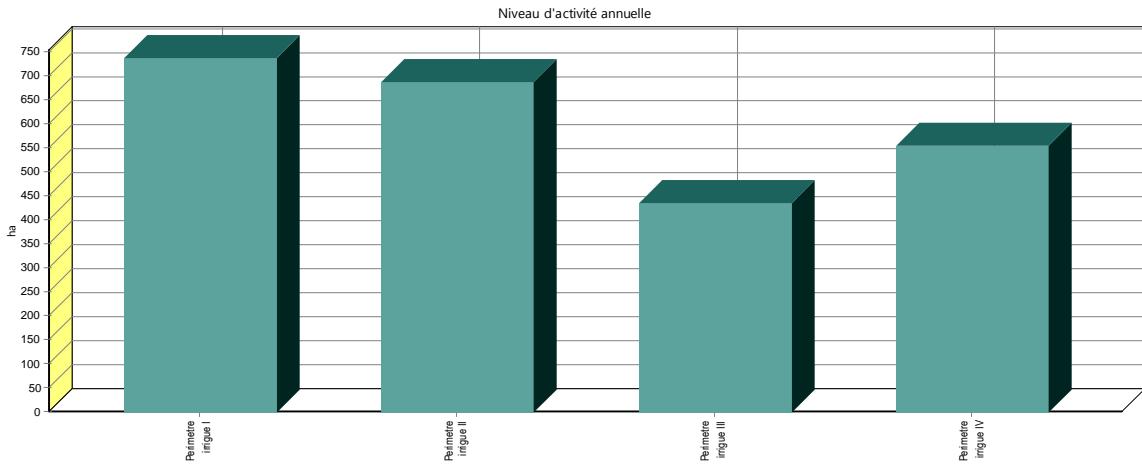


Figure VI.10. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes d'agriculture.
-Compte d'état actuel, 2010-

- *La consommation annuelle* c'est la consommation de l'eau annuelle moyenne par unité d'activité. WEAP affiche le dénominateur (personne, dans l'exemple au-dessous) accentuer que c'est un taux par unité, pas le montant total d'eau a utilisé.

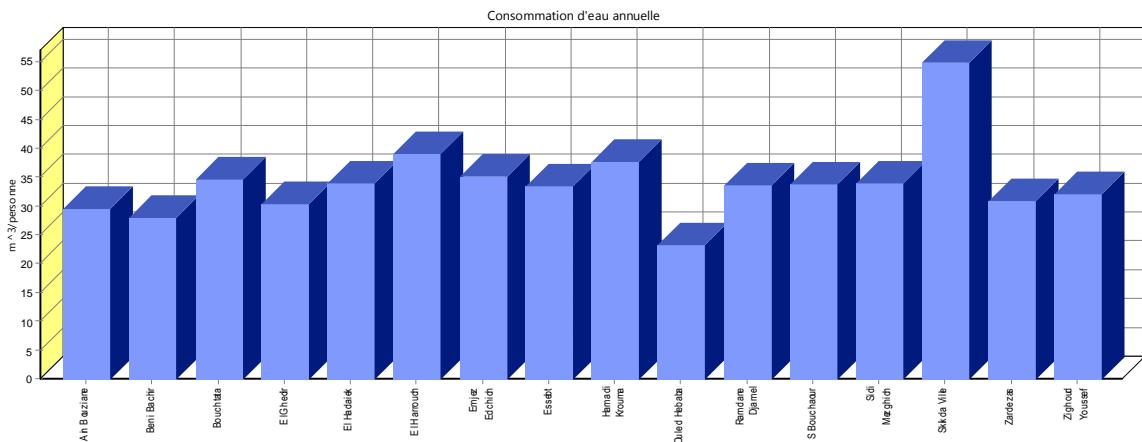


Figure VI.11. Consommation annuelle des sites des demandes domestiques.
-Compte d'état actuel, 2010-

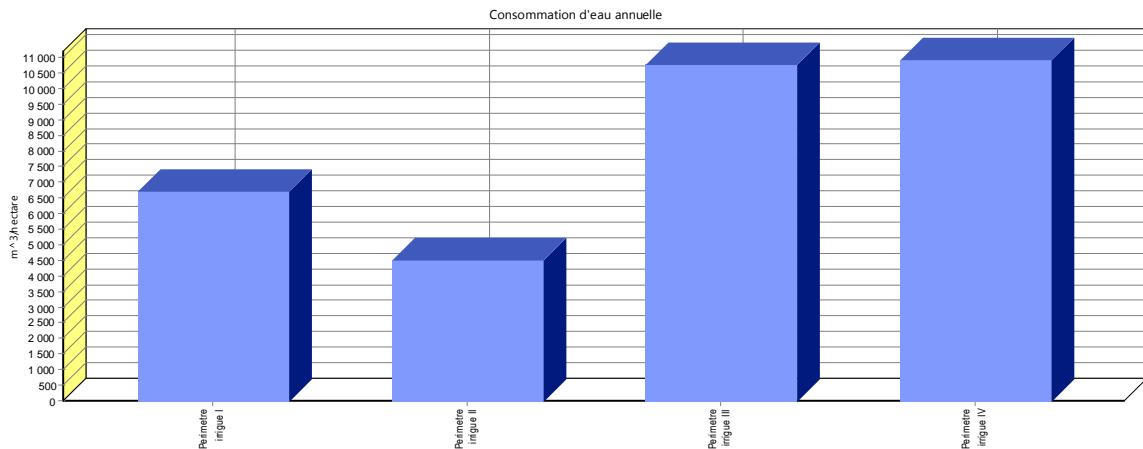


Figure VI.12. Consommation annuelle des sites des demandes d'agriculture.
-Compte d'état actuel, 2010-

III.2.2. Sites de l'offre : ressources et lieux de captage

Ce sont les rivières, le barrage, les réservoirs, les eaux souterraines et les autres sources.

➤ Eaux de surface

Les données mensuelles de débits de tête mesurés au niveau de la station hydrométrique de Khemakhème et la représentation graphique du débit sont représentées dans la figure ci-dessous (Fig. VI.13).

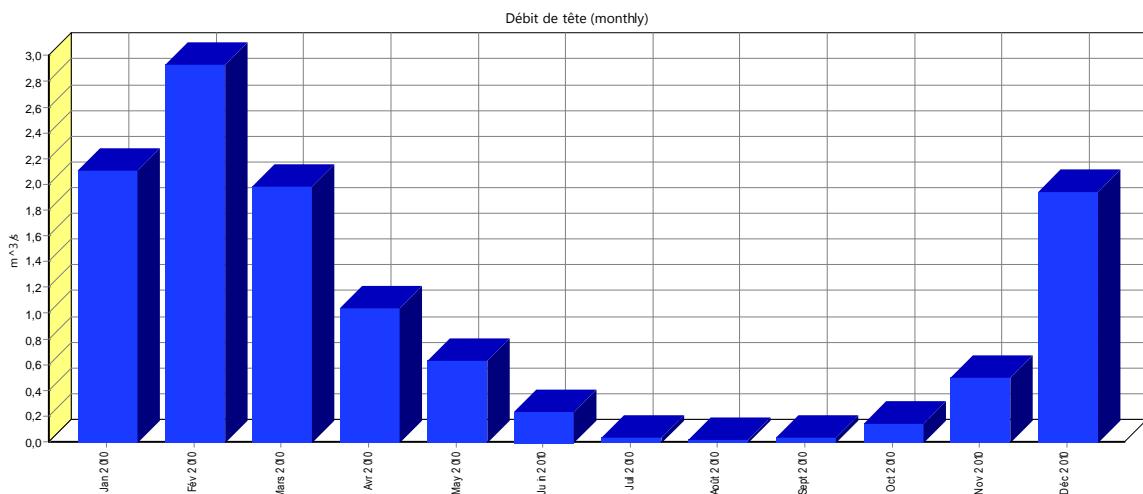


Figure VI.13. Débit de tête de l'oued Saf-Saf (station de Khemakhème).
-Compte d'état actuel, 2010-

➤ Eaux souterraines

Concernant les eaux souterraines et les autres sources, à part les données physiques comme le débit, la capacité de stockage, etc.

Les figures ci-dessous montrent les informations sur ces ressources (Fig. VI.14 et Fig. VI.15).

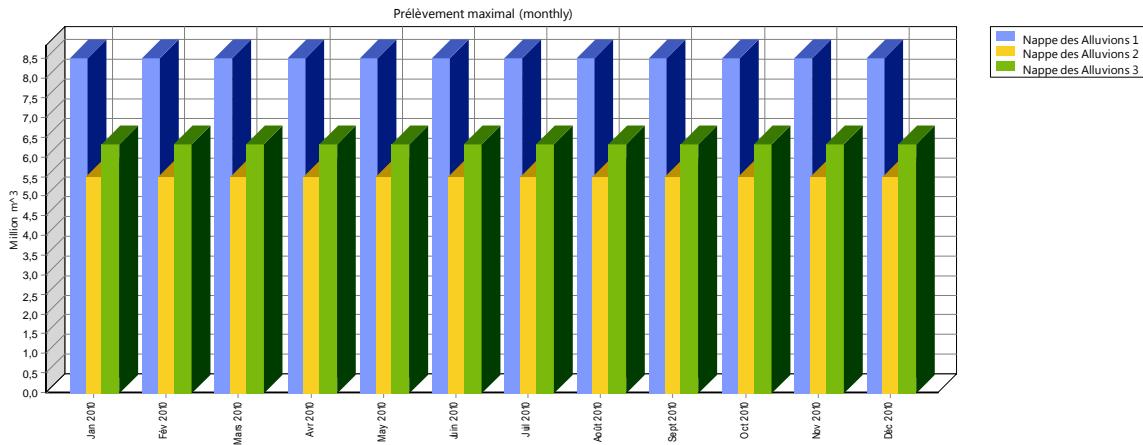


Figure VI.14. Prélèvement maximal des nappes alluviales du Saf-Saf
-Compte d'état actuel, 2010-

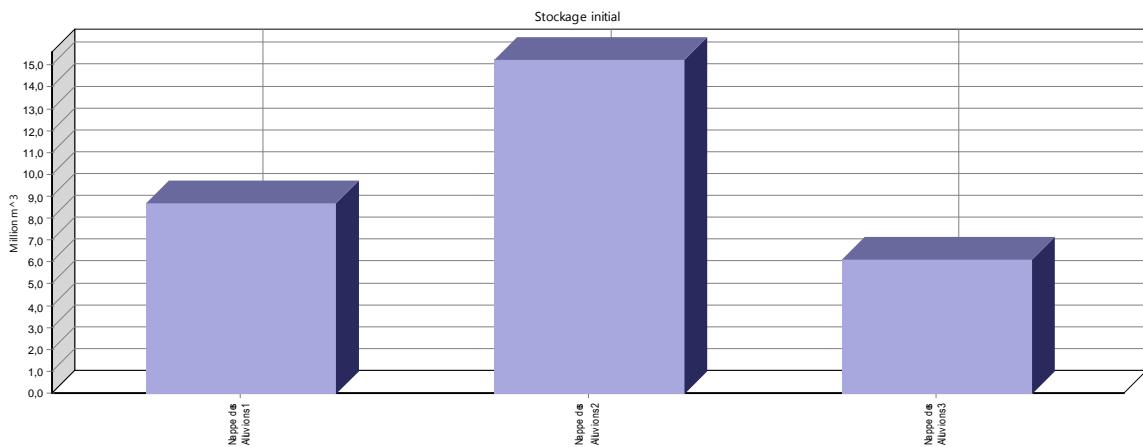


Figure VI.15. Capacité de stockage intiale des nappes alluviales du Saf-Saf
- Compte d'état actuel, 2010 -

➤ Autres sources

Concernant les eaux souterraines et les autres sources, on utilise les données physiques comme le débit, la capacité de stockage, etc.

La figure ci-dessous montre les informations sur ces ressources (Fig. VI.16).

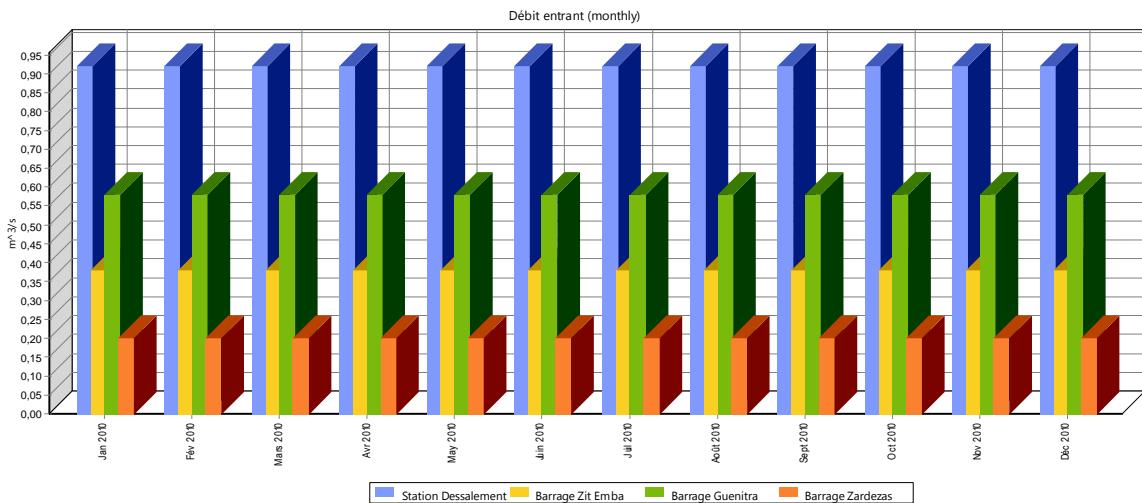


Figure VI.16. Débits entrants à partir des autres sources dans le bassin du Saf-Saf
- Compte d'état actuel, 2010 -

III.2.3. Priorités d'approvisionnement

Il existe des liaisons entre les ressources et l'utilisateur suivant la priorité d'approvisionnement.

On parle de débit de retour. Certaines d'entre elles devraient être créées suivant la priorité d'approvisionnement :

- une liaison de transmission à partir de l'emplacement urbain jusqu'à l'emplacement agricole pour un modèle conceptuel de réutilisation d'eau usée urbaine dans l'agriculture.
- des liens de débits de retour (eaux usées) avec les emplacements des utilisations (urbain, industrie, élevage, agriculture) vers la rivière si on veut étudier la charge et la propagation des pollutions.

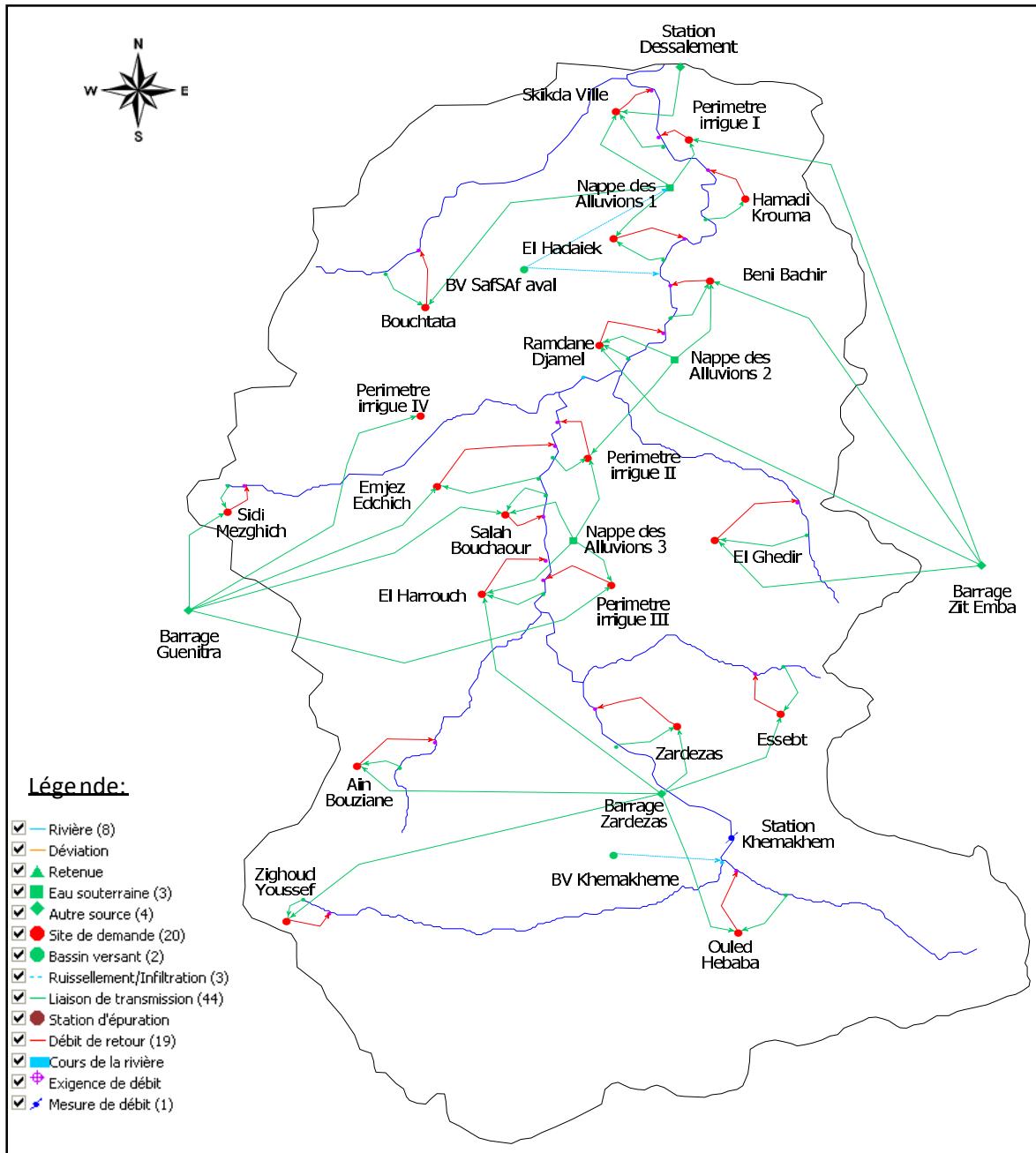


Figure VI.17. Schéma hydraulique du bassin de Saf-Saf selon le modèle WEAP.

- Compte d'état actuel, 2010 -

III.3. Création des hypothèses clés

Deux (2) hypothèses principales sont créées (Fig.VI.18).

- L'utilisation d'eau domestique (dépend de l'accroissement de la population),
- Les besoins en eau pour l'irrigation (dépend de l'augmentation des superficies irriguées).

A noter que WEAP possède une fonction qui permet de calculer automatiquement le nombre de population d'avenir. Le logiciel modélise automatiquement les besoins en eau d'avenir en fonction des utilisateurs et les changements climatiques.

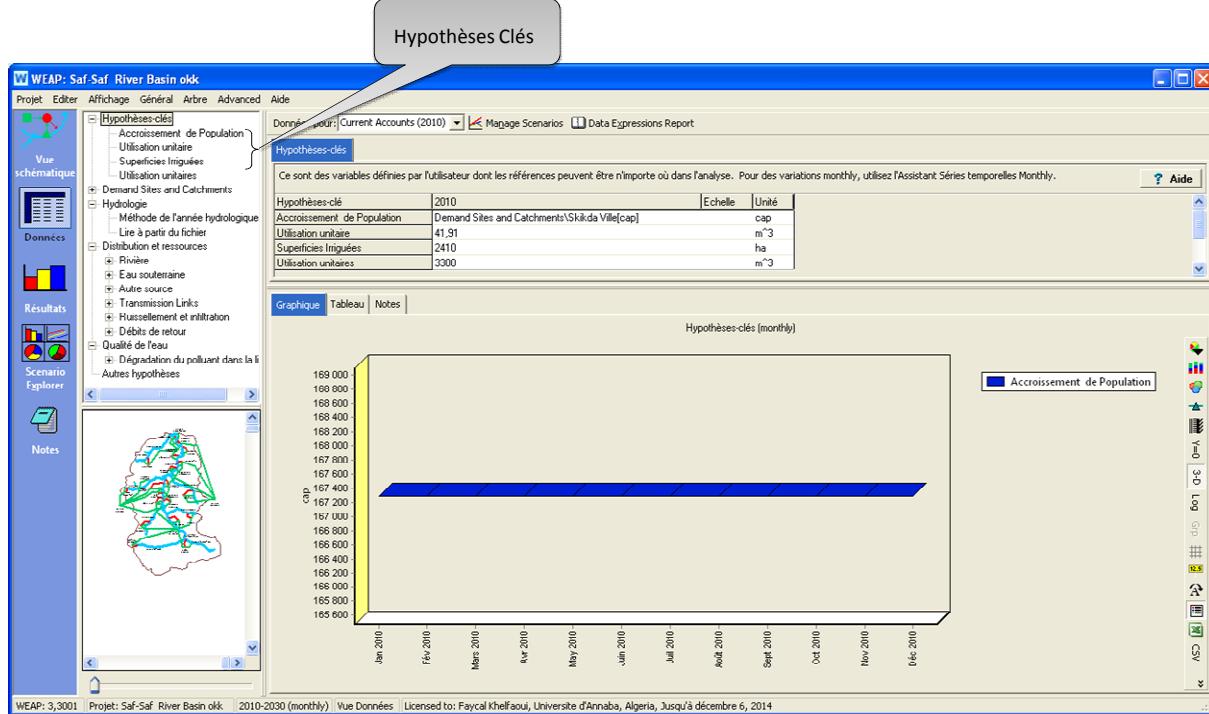


Figure VI.18. Fenêtre montrant les hypothèses clés.

IV. Résultats d'application du modèle WEAP

Les résultats de l'application du modèle WEAP 21 dans le bassin versant du Saf-Saf sont représentés sous formes cartographique et graphique en considérant quatre scénarios :

- Scénario de référence,
- Scénario de fort accroissement de la population,
- Scénario d'augmentation des superficies irriguées,
- Scénario d'augmentation de la production en eau.

Ces scénarios sont présentés simultanément dans les résultats et comparés entre eux pour savoir

l'impact sur les systèmes aquatiques et les ressources en eau.

L'horizon de projection futur considéré est de 2011-2030.

IV.1. Création et analyse des scénarios

IV.1.1. Changement d'horizon de temps du secteur

Le compte courant est créé depuis que nous avons créé la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios (Fig.VI.19). En choisissant comme compte courant (l'année 2010) et année de fin des scénarios 2030.

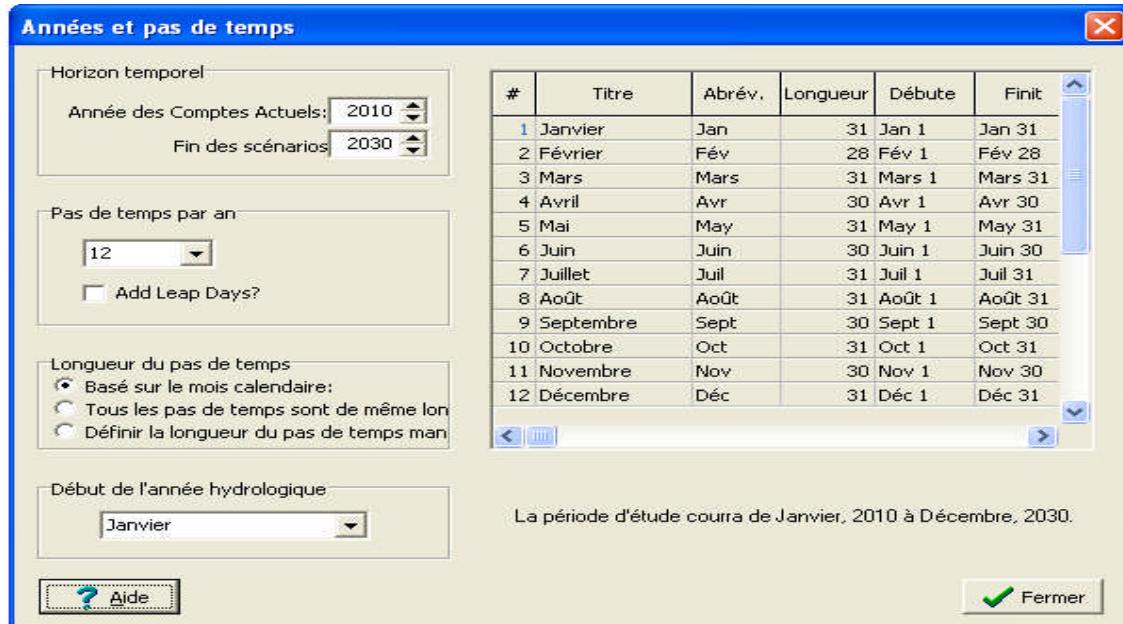


Figure VI.19. Création des scénarios.

IV.2. Analyse du scénario de référence

Le scénario de référence est le scénario de base à travers lequel les autres scénarios seront comparés. Ce scénario est hérité du compte courant. Il traduit simplement une projection des tendances courantes sans changements majeurs, et sert comme point de comparaison pour les autres scénarios dans lesquels des changements des données du système peuvent être réalisées.

Dans notre scénario de référence 2011-2030 utilisé, on fait varier seulement les variables de niveau (la taille de la population, y compris la taille du secteur industriel, ainsi que la taille des superficies irriguées) en maintenant tous les paramètres de structure constants. Cela a pour effet :

- ⊕ de faire croître le besoin en AEP des ménages et des collectivités au sein du bassin du Saf-Saf au taux de croissance de la population entre 2010 et 2030 (soit 1,74%),
- ⊕ de faire croître les besoins en eau d'irrigation au taux de croissance de la superficie du périmètre irrigué (soit 3%).

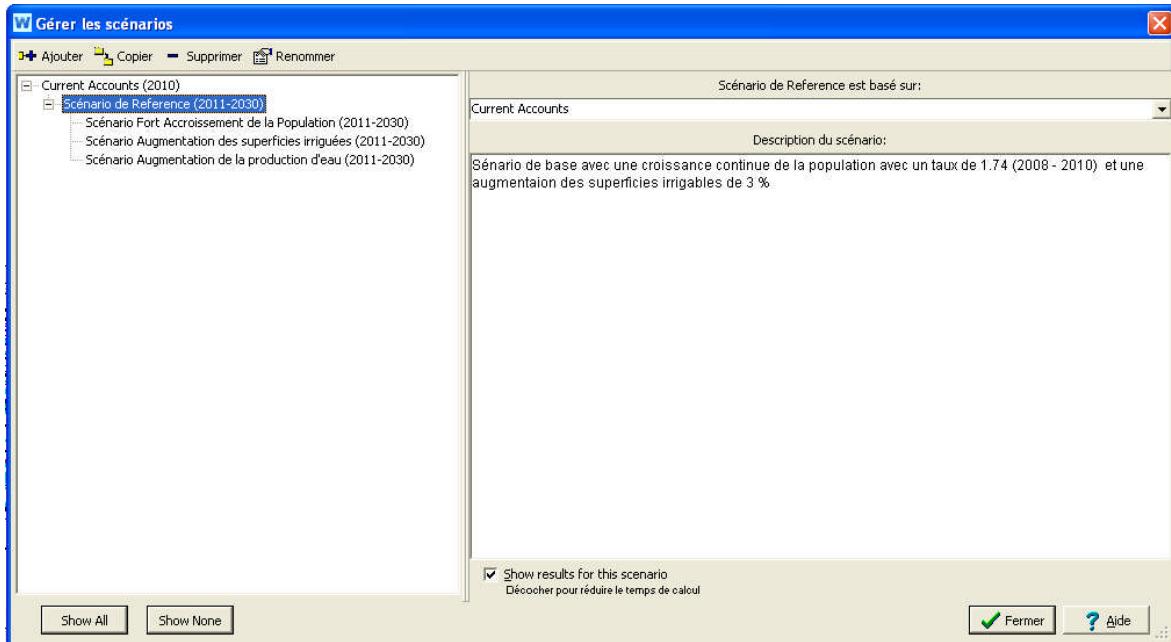


Figure VI.20. Création du scénario de référence

IV.2.1. Niveau d'activité annuelle

La présente étude de prospective démographique 2011-2030 repose sur :

- une exploitation et un traitement des informations et données des populations publiées par l'Office National des Statistiques (ONS), à partir des RGPH (Recensement Général de la population et de l'habitat) de 1966 à 2008.
- une intégration des principaux facteurs d'évolution démographique liés à la politique d'aménagement du territoire (SNAT, SRAT) et des grands projets de développement socio économique programmés à court, moyen et long terme (politique de création d'emploi, logements, développement de l'agriculture) sur l'ensemble du territoire à l'horizon 2030.

IV.2.1.1. Projection d'accroissement de la population

La démarche adoptée consiste à supposer que le bassin du Saf-Saf s'inscrit dans la tendance de la wilaya de Skikda, dont le taux d'accroissement démographique global moyen est de l'ordre de 1,74 % selon les données de la DPAT basées sur le RGPH 2008.

Un nouveau scénario devrait être créé pour évaluer l'impact d'un taux de croissance plus élevé que 1,74% pour la période 2011-2030. Pour évaluer et comparer le taux de croissance de la population si le taux de croissance augmente de 1.74% à 3.0%. On a un scénario « fort accroissement de la population».

Tableau VI.2. Projection de la population totale dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Années	2011	2015	2020	2025	2030
Population projetée	459 577	492 408	536 764	585 117	637 824

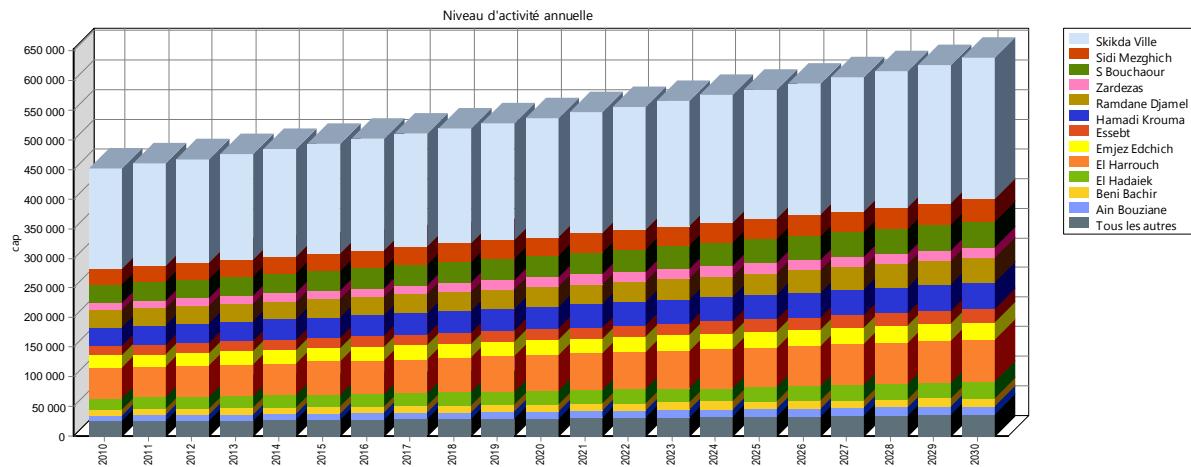


Figure VI.21. Evolution de la population dans le bassin du Saf-Saf
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.2.1.2. Projection d'augmentation des superficies irriguées

Pour établir le scénario de référence pour l'horizon 2011-2030, on maintient constant tous les paramètres du modèle (taux d'infiltration, taux d'efficience, etc.) sauf la superficie du secteur irrigué. On suppose que la surface irriguée croît au taux de 3% entre 2011 et 2030, ce qui est le taux retenu par les services de la DPAT et l'ONID. Par cela, la superficie irriguée passera de 2482 ha en 2011 à 4353 ha en 2030.

Avec cette hypothèse, les tensions sur les ressources vont être plus fortes car les prélèvements vont croître alors que les ressources restent à un même niveau. Cela peut se voir dans la progression des prélèvements qui seront effectués au cours de la période.

Tableau VI.3. Projection des superficies irriguées dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Superficies irriguées (ha)	2011	2015	2020	2025	2030
Périmètre irrigue I	757	852	988	1 145	1 327
Périmètre irrigue II	708	796	923	1 070	1 241
Périmètre irrigue III	447	503	583	676	784
Périmètre irrigue IV	571	642	745	863	1 001
Périmètre Saf-Saf	2 482	2 794	3 239	3 755	4 353

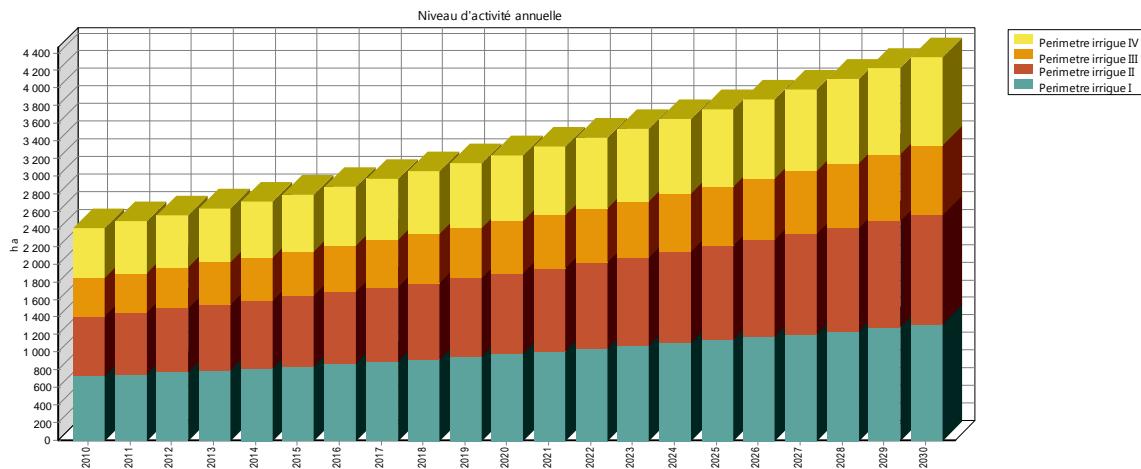


Figure VI.22. Evolution des superficies irriguées le bassin du Saf-Saf
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.3. Résultats du scénario de référence

IV.3.1. Sources de production

Dans ce scénario de référence, le schéma hydraulique de la wilaya distingue la production de la stations de dessalement de Skikda, les transferts externes des barrages de Guenitra et Zit El emba.

Les priorités d'affectation des ressources en eau sont de deux niveaux qui doivent être précisés dans le programme de résolution:

- *Les priorités de demande* : elles indiquent l'ordre dans lequel les besoins des sites sont satisfaits. On impose que les localités sont prioritaires dans la satisfaction de leur besoin d'eau par rapport à l'agriculture et vient après l'industrie ;
- *Les préférences d'approvisionnement* : lorsqu'un site de demande peut être alimenté par plusieurs sources (stations de dessalement, station de traitement, transferts ou autres sites), la priorité d'approvisionnement doit être précisée. On a imposé un approvisionnement en priorité des forage exploitant la nappe des alluvions du Saf-Saf, puis à l'eau de dessalement, puis aux transferts des barrages des autres bassins.

La répartition des ressources en eau dans les différents sites est alors réalisée par le modèle sous les contraintes des priorités de demande et des préférences d'approvisionnement retenues.

IV.3.2. Demande en eau

S'agissant du futur et des projections de demande en eau avec les évaluations des consommations individuelles, on est dans un domaine qui est beaucoup plus clair et la formulation des enjeux est assez simple. Les dotations doivent traduire un besoin élémentaire du citoyen en eau quotidiennement. Un élément cependant peut jouer à la hausse: le gaspillage "à la maison" qui fait que le citoyen, pas assez conscient de la rareté (et du coût de production) de l'eau peut surconsommer. La parade à cette surconsommation réside dans une approche politique basée sur l'information et sur le tarif.

La détermination de la demande en eau potable repose sur un ensemble d'hypothèses d'estimation et d'évolution des facteurs liés :

- à la démographie et aux projections de populations à différents horizons,
- aux dotations unitaires domestiques et à leurs évolutions aux différents horizons,
- aux facteurs de majorations associés pour la prise en compte des «autres usages» (administrations, commerces, artisanat et petites industries) et l'activité touristique,
- aux rendements des infrastructures et à leurs évolutions dans le temps.

De plus, en liaison avec le volet besoins en eau industrielle, il convient d'intégrer dans la présente étude demande en eau potable, les incidences spécifiques de la demande en eau industrielle qui est fonction de son type d'approvisionnement.

IV.3.2.1. Demande de la population (domestique)

La demande en eau potable intègre les résultats des besoins en eau des agglomérations (besoins nets AEP) et des industries.

Face à la croissance de la population du bassin du saf-Saf, la demande en eau potable augmente régulièrement entre 2011 et 2030, elle a augmenté de 19,79 millions de m³ en 2011, pour atteindre en 2020 environ de 29,09 millions de m³ et elle s'élèvera au total en 2030 à environ 44,67 millions de m³.

Le graphique ci-dessous résume l'évolution des demandes en eau en parallèle avec l'évolution de la population, selon une dotation moyenne de 115 l/j/hab à l'échelle du bassin du Saf-Saf, et avec un taux d'augmentation annuel de 2,6 % de ces dotations.

Tableau VI.4. Evolution de la demande en eau domestique dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Années	2011	2015	2020	2025	2030
Population (Personne)	459 577	492 408	536 764	585 117	637 824
Demandes en eau (Mm³)	19,79	23,46	29,08	36,04	44,67

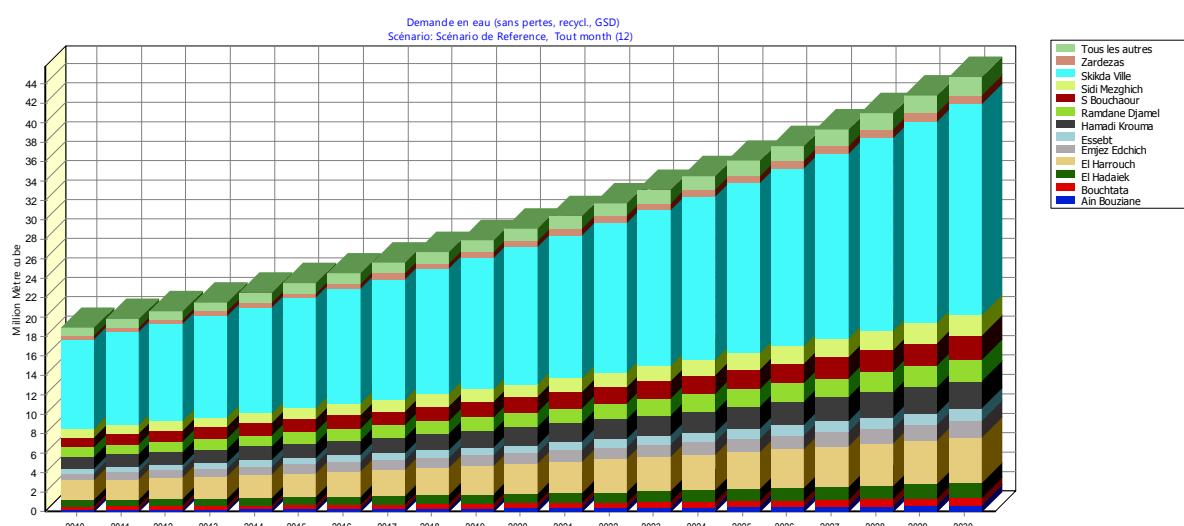


Figure VI.23. Evolution de la demande en eau domestique dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.3.2.2. Demande de l'irrigation

La demande en eau à usage agricole est classiquement estimée à partir de données des superficies irriguées, de la nature des cultures et de développement des superficies (intensité culturelle), des techniques d'irrigation ainsi que d'autre données (GPI / PMH, exploitations individuelles ou collectives, etc.).

Toute fois s'agissant de la demande en eau agricole, il faut prendre en compte que cette demande est tributaire de l'offre. Cette particularité simple à envisager à l'échelle nationale (la demande en eau agricole est la différence entre le total des ressources et la demande en eau potable) devient complexe à l'échelle régionale.

L'agriculture dans le bassin du Saf-Saf est l'une des activités économiques les plus importantes : c'est la force motrice dans la région et a une haute demande de l'eau d'irrigation. Les surfaces irriguées vont augmenter dans les prochaines années, il faut donc évaluer le taux de besoin en eau pour l'irrigation dans le scénario de référence. (Tab. VI.5, Fig.VI.24)

Le calcul des besoins en eau futurs se fait à partir de la formule : $B = Bi (1+Yi)^n$

Dont :

B : besoin en eau projeté ($m^3/ha/an$)

Bi : besoin en eau actuel ($m^3/ha/an$)

Yi : seuil de 3%

n : nombre d'années comptés à partir de l'année de base

Tableau VI.5. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1: Scénario de référence (2011-2030)-

Demande en eau d'irrigation (Mm ³)	2011	2015	2020	2025	2030
Périmètre irrigue I	5,22	6,62	8,89	11,95	16,06
Périmètre irrigue II	3,28	4,15	5,58	7,5	10,08
Périmètre irrigue III	4,95	6,27	8,43	11,32	15,22
Périmètre irrigue IV	6,42	8,13	10,93	14,68	19,73
Périmètre total du Saf-Saf	19,87	25,17	33,83	45,47	61,1

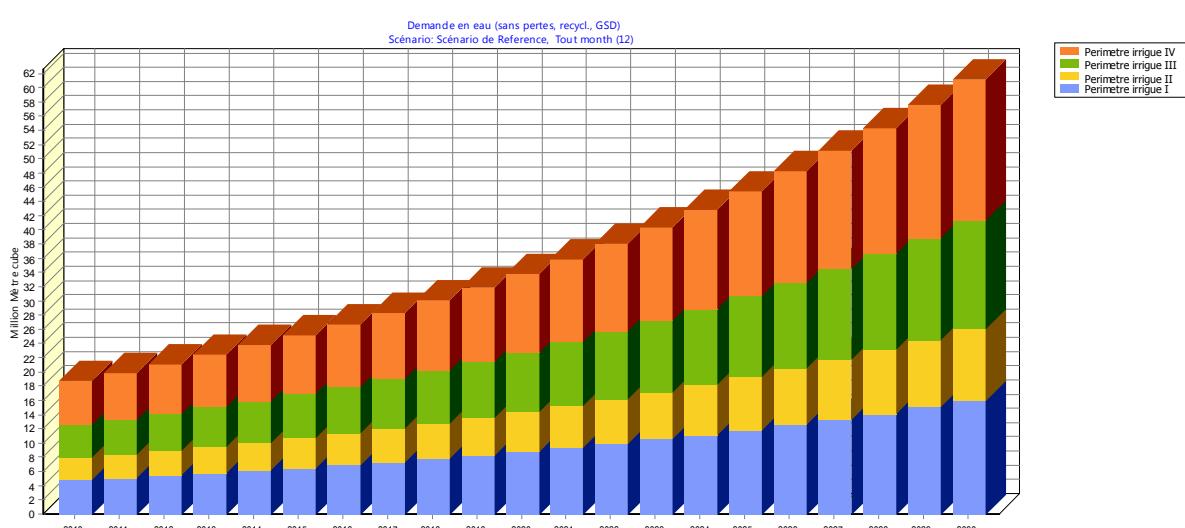


Figure VI.24. Demande en eau d'irrigation dans le bassin versant du Saf-Saf.

- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.3.2.3. Demande en eau globale dans le bassin du Saf-Saf

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans le bassin du Saf-Saf s'élèvent en 2011 à près de 39,63 millions de m³ par an, dont 49,9 % sont des besoins domestiques et industriels. Et selon les projections du WEAP, les besoins en globaux s'élèveront à moyen terme (2020) à plus de 62,9 millions de m³ par an. Ces besoins atteindront à l'horizon 2030 les 105,7 millions de m³ par an, dont plus 57 % sont proprement des besoins en eau d'irrigation.

Tableau VI.6. L'évolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Demande en eau dans le Saf-Saf (Mm ³)	Années				
	2011	2015	2020	2025	2030
Eau domestique	19,76	23,46	29,08	36,04	44,67
Eau d'irrigation	19,87	25,17	33,83	45,47	61,10
Demande en eau globale	39,63	48,63	62,91	81,51	105,77

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'accroissement de la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf pur le scénario de référence.

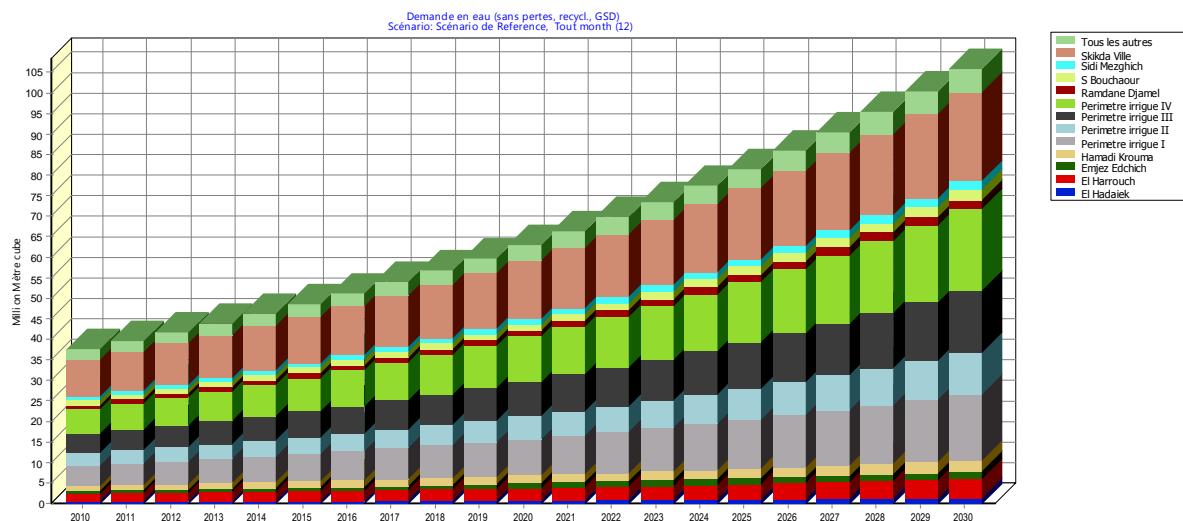


Figure VI.25. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.3.3. Eau distribuée

Il est admis que l'offre ne présente pas un potentiel de croissance parallèle à celui de la demande. Les ressources en eau distribuées sont de l'ordre de 39 Mm³ en 2011, intégrant les apports d'eau provenant des bassins avoisinants (barrage de Guénitra et le barrage de Zit El Emba), et devenant vers l'horizon 2020 à environ 63 Mm³ et elles atteindront les 102 Mm³ à l'an 2030. (Tab.VI.7 et Fig.VI.26)

Toutefois, compte tenu des pertes de distributions, le volume d'eau requis pour satisfaire les besoins des secteurs doit être supérieur à la demande. Aussi, une absence d'intervention entraînera un déficit ou une demande non satisfaite en eau et cela à partir de l'année 2027

avec un volume de 0,11 Mm³ et atteindront à l'horizon 2030 environ 3,6 Mm³. (Tab.VI.7, Fig.VI.27).

Tableau VI.7. L'eau distribuée et la demande en eau non satisfaite dans le bassin versant du Saf-Saf. - Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Années	2011	2012	2015	2017	2020	2022	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Eau distribuée (Mm³)	39,05	41,71	48,64	53,9	62,91	69,76	81,51	85,85	90,33	94,08	98,03	102,19
Eau non satisfaite (Mm³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	1,2	2,36	3,58

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de l'eau distribuée par rapport au scénario de référence.

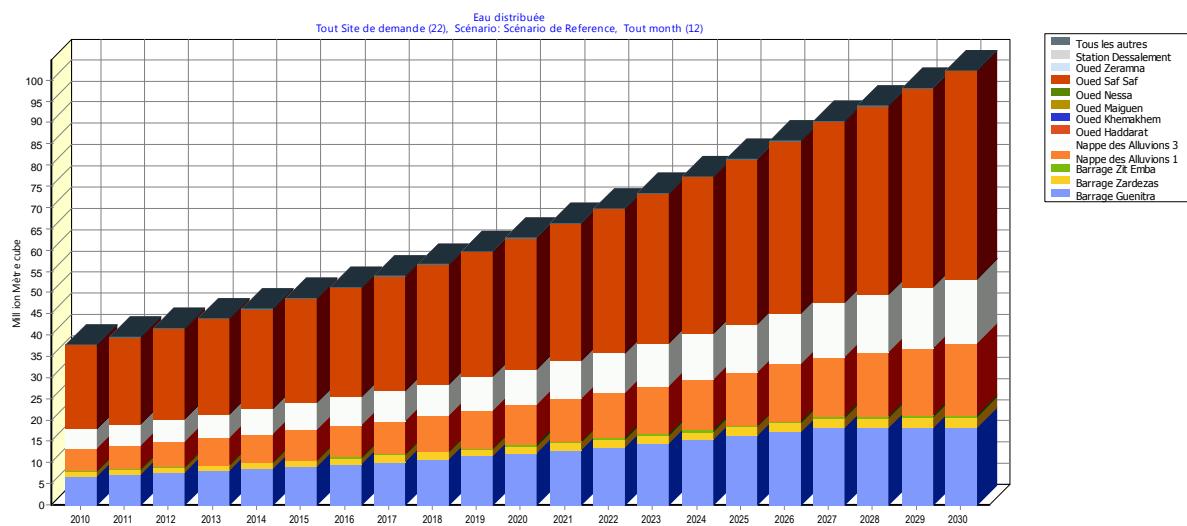


Figure VI.26. L'eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

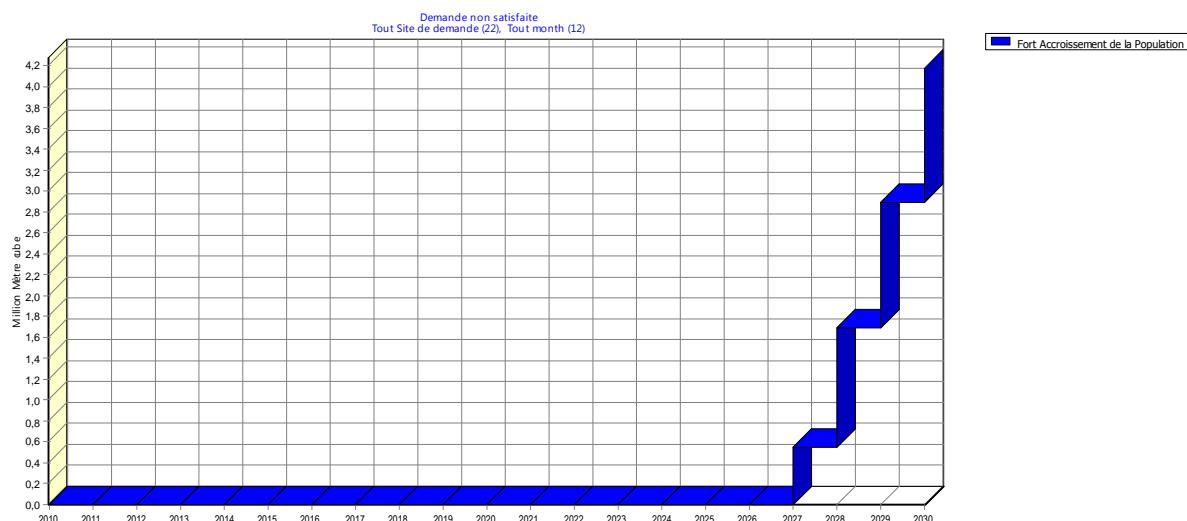


Figure VI.27. Demande en eau non satisfaite dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

IV.3.4. Débits entrants et sortants du bassin du Saf-Saf

La moyenne annuelle de la lame d'eau précipitée sur le bassin du Saf-Saf est de l'ordre de 690 mm, traduisant un volume de 842.6 Mm³. L'évapotranspiration réelle moyenne est estimé à 477 mm/an (soit 547.69 Mm³), représentant 65 % de la totalité des précipitations. Le surplus d'eau va partir sous forme de ruissellement, qui est calculé à 216,05 Mm³, ce qui présente plus de 25.6 % des précipitations. Le reste va déloger sous forme d'infiltration pour la recharge de la nappe souterraine, qui correspond à 78,86 Mm³, soit 9,4 % de la totalité des précipitations.

Tableau VI.8. Volumes des débits mensuels entrants et sortants du bassin du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Volumes (Mm ³)	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Somme
Evapotranspiration	-78,32	-68,67	-54,79	-48,26	-30,27	-12,98	-2,56	-7,07	-30,4	-51,8	-68,26	-94,3	-547,69
Infiltration souterraine	-11,06	-9,84	-7,72	-6,78	-4,19	-1,93	-0,31	-1,05	-4,45	-7,72	-10,08	-13,73	-78,86
Précipitations	120,5	105,64	84,29	74,25	46,57	19,97	3,94	10,88	46,77	79,69	105,02	145,08	842,60
Ruisseaulement	-31,12	-27,13	-21,78	-19,21	-12,11	-5,06	-1,07	-2,76	-11,92	-20,17	-26,68	-37,05	-216,05

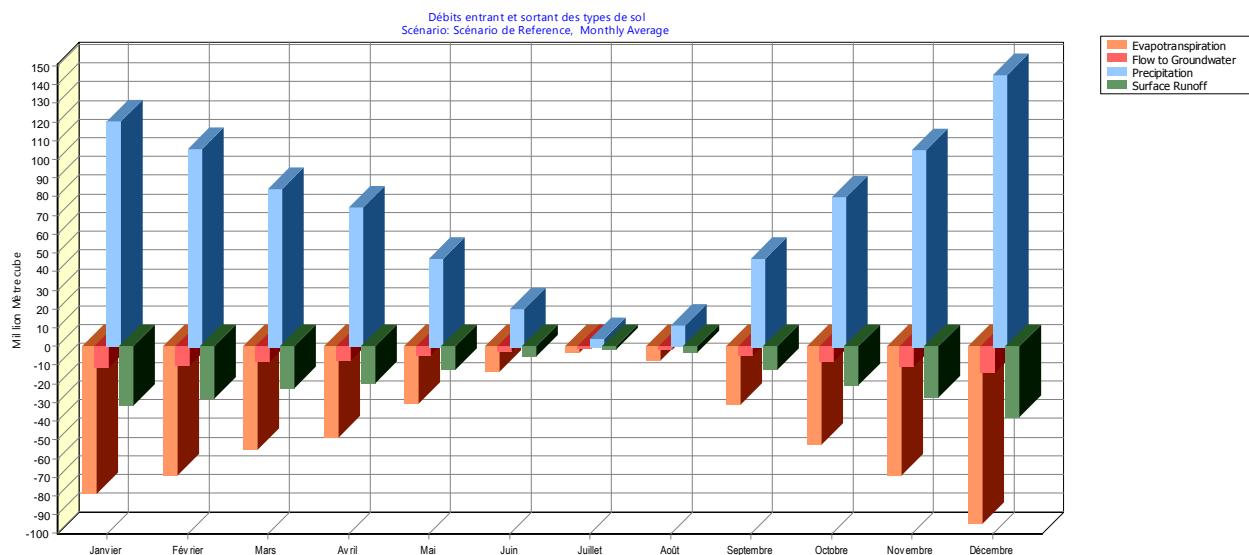


Figure VI.28. Débits mensuels entrants et sortants du bassin du Saf-Saf.
- Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2030)-

Conclusion

Le scénario de référence est un scénario passif, car les responsables des services de l'hydraulique sont supposés n'avoir pris aucune action permettant de faire face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. En réalité, des projets sont en cours comme par exemple l'extension du dessalement et du traitement des eaux usées. D'un autre côté, ce scénario suppose que les besoins unitaires en eau sont constants tout au long de la période de simulation. Or, avec le progrès dans le niveau de vie et notamment la disponibilité plus grande de logements, la migration de la population vers les villes qui entraîne plus d'accès à l'eau potable à travers un plus grand taux de raccordement et d'une façon générale

avec l'amélioration du niveau de vie, les besoins unitaires vont s'accroître entraînant une demande globale plus grande encore.

C'est pourquoi on va procéder à la simulation de trois scénarios alternatifs. Dont deux scénarios seront explorés une simulation de l'augmentation des demandes : le premier introduit un fort accroissement de la population (de 1,74 à 3%) et le deuxième introduit une grande augmentation des superficies irriguées (de 3 à 4,3%). Par contre, le troisième va influer la production d'eau en introduisant la mise en place d'une nouvelle station de dessalement et d'une station d'épuration (STEP) pour augmenter les ressources en eau (non conventionnelles) du bassin.

IV.4. Analyse du scénario 2 : Simulation d'un fort accroissement de la population

La démographie et particulièrement l'urbanisation sont les premiers éléments qui déterminent la demande en eau potable et industrielle.

On étudie un premier scénario alternatif où les besoins unitaires à la fois des ménages, des collectivités et du secteur de l'industrie vont se modifier sous l'effet de plusieurs facteurs entre 2011 et 2030 (la croissance rapide des petites agglomérations, et la stabilisation de populations de ces agglomérations, le développement des activités industrielles (PME), développement des infrastructures socio-économiques).

IV.4.1. Evolution de la demande en eau

Ce nouveau scénario a été créé pour évaluer l'impact d'un taux de croissance plus élevé que 1,74% adopté au scénario de référence pour la période 2011-2030. Dans le scénario de « fort accroissement de la population» on va évaluer et comparer la demande en eau si le taux de croissance augmente de 1,74% à 3,0%.

Pour ce scénario, les dotations unitaires moyenne utilisées sont de 130 l/hab/j pour la population urbaine en aval du bassin et 100 l/hab/j pour la population au centre du bassin et 80 l/hab/j pour la population rural en amont du bassin.

Nous avons donc retenu 115 l/hab/j pour le milieu urbain et 80 l/hab/j pour le milieu rural pour distinguer les niveau de consommation en eau entre les deux types d'agglomération.

Sur la base de ces hypothèses, les demandes en eau domestique seraient de 20,01 millions de m³ en 2011 et 32,89 millions de m³ en 2020. et elles s'élèveront au total en 2030 à environ 57,17 millions de m³.

En fait, pour l'année 2010, nous avons bien sûr considéré que les besoins estimés dans ce scénario qui correspondent à la situation actuelle resteraient valables pour le scénario de référence (18,93 millions de m³).

Tableau VI.9. Evolution de la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

Demande en eau (Mm ³)	Années				
	2011	2015	2020	2025	2030
Eau domestique	20,01	24,95	32,89	43,35	57,14
Eau d'Irrigation	19,87	25,17	33,83	45,45	61,09
Demande en eau totale	39,88	50,13	66,72	88,81	118,24

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'accroissement de la demande en eau par rapport au scénario d'un fort accroissement de la population.

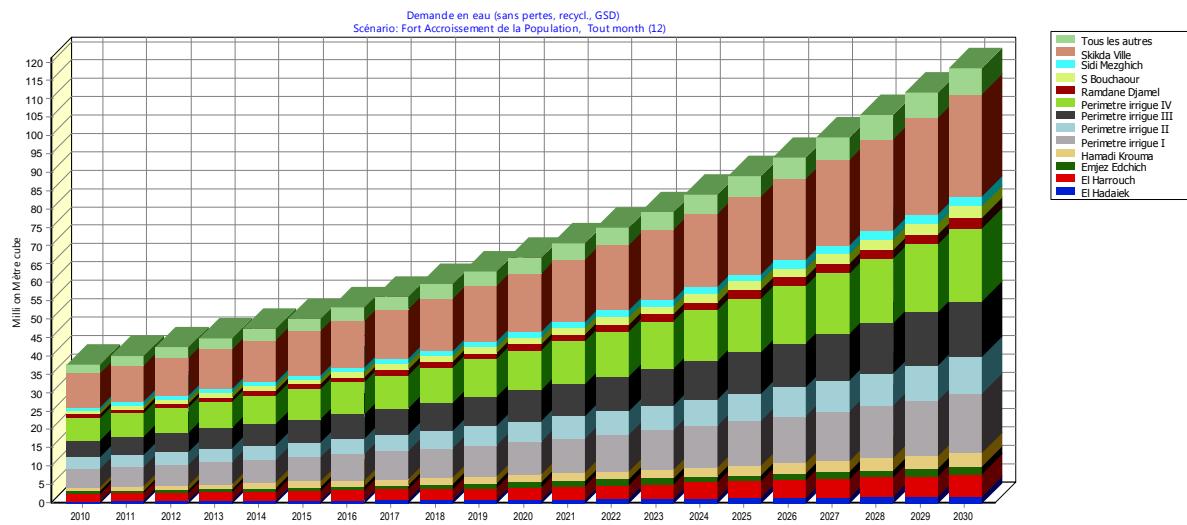


Figure VI.29. Evolution de la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

L'allure du résultat de l'effet d'un fort accroissement de la population sur la demande en eau est bien visible, où on observe une demande en eau domestique de l'ordre de $57,14 \text{ Mm}^3$ avec un taux d'accroissement de 3%, cependant elle ne dépasse pas les $44,67 \text{ Mm}^3$ pour un taux de 1,74%, soit un taux d'augmentation des demandes de 21,82%. contrairement à la demande en eau totale (y compris l'irrigation), où on a une demande en eau de l'ordre de $105,77 \text{ Mm}^3$ pour un taux d'accroissement de 1,74% et serait $118,24 \text{ Mm}^3$ pour un taux de 3%, soit une augmentation de 10,99% seulement.

De même, pour la demande en eau non satisfaite, son taux d'augmentation et de l'ordre de 36,28% pour l'eau domestique seulement, cependant il ne dépasse guère le taux de 14 % pour la totalité des demande en eau. (Tab.VI.10).

Tableau VI.10. Pourcentage annuelle sur de la demande en eau domestique et totale.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

	Scénarios	Demande en eau	Taux d'augmentation	Demande non satisfaite	Taux d'augmentation
Eau domestique	1,74% taux d'accroissement	44,67	21,82 %	0,72	36,28 %
	3% taux d'accroissement	57,14		1,13	
Demande en eau totale	1,74% taux d'accroissement	105,77	10,99 %	3,58	14,15 %
	3% taux d'accroissement	118,24		4,17	

Le graphique de la figure ci-dessous présente une comparaison de l'évolution de la demande en eau par rapport au scénario de référence et le scénario d'un fort accroissement de la population.

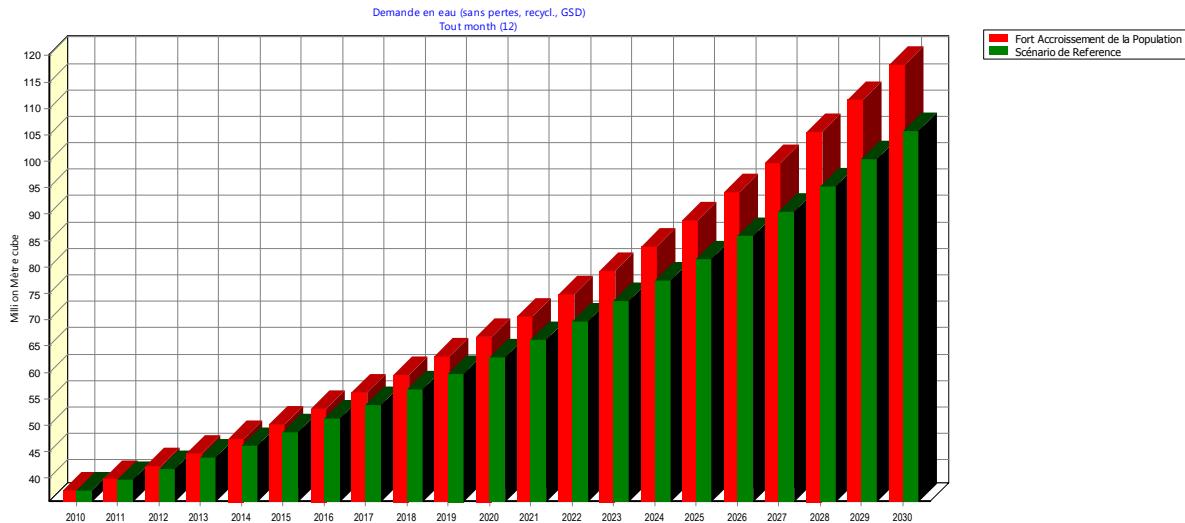


Figure VI.30. L'effet du fort accroissement de la population sur la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf. 2011-2030 (en Mm³)

IV.4.2. Eau distribuée

Les ressources en eau distribuées à partir tous les sources disponibles dans le bassin du Saf-Saf sont de l'ordre de 39,2 Mm³ en 2011, intégrant les apports d'eau provenant des bassins avoisinants (barrage de Guénitra et le barrage de Zit El Emba), et devenant vers l'horizon 2020 à environ 66,7 Mm³ et elles atteindront les 114 Mm³ à l'an 2030. (Tab.VI.11 et Fig.VI.31).

Toutefois, compte tenu des pertes de distributions, le volume d'eau requis pour satisfaire les besoins des secteurs doit être supérieur à la demande. Aussi, une absence d'intervention entraînera un déficit ou une demande non satisfaite en eau et cela à partir de l'année 2027 avec un volume de 0,55 Mm³ et atteindront à l'horizon 2030 environ 4,2 Mm³. (Tab.VI.11, Fig.VI.31)

Tableau VI.11. L'eau distribuée et la demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

Années	2011	2012	2015	2017	2020	2022	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Eau distribuée (Mm ³)	39,28	42,23	50,13	56,2	66,72	74,81	88,81	94,04	99,03	103,76	108,77	114,06
Eau non satisfaite (Mm ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	1,69	2,89	4,17

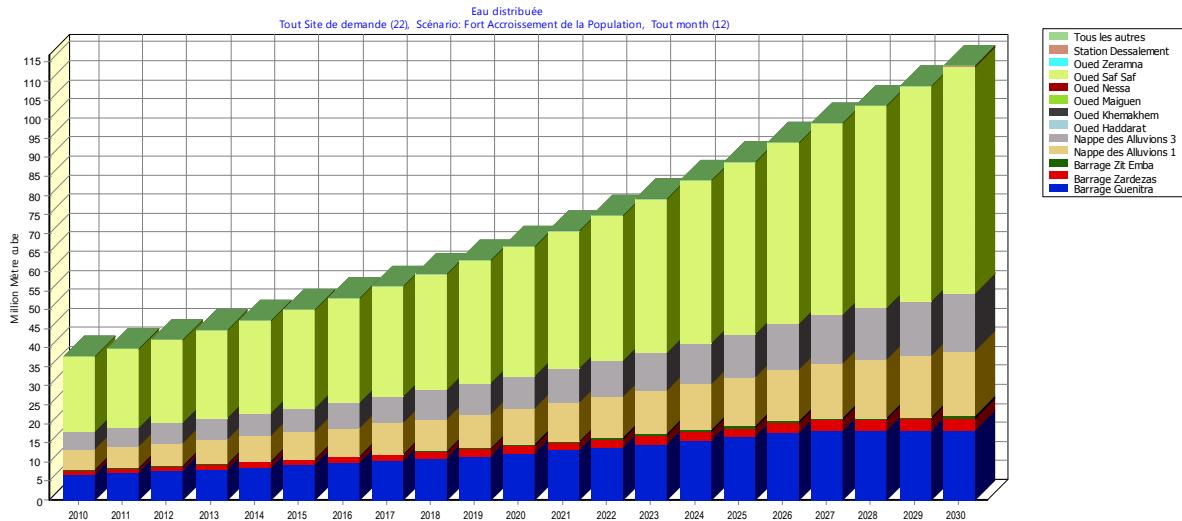


Figure VI.31. Eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

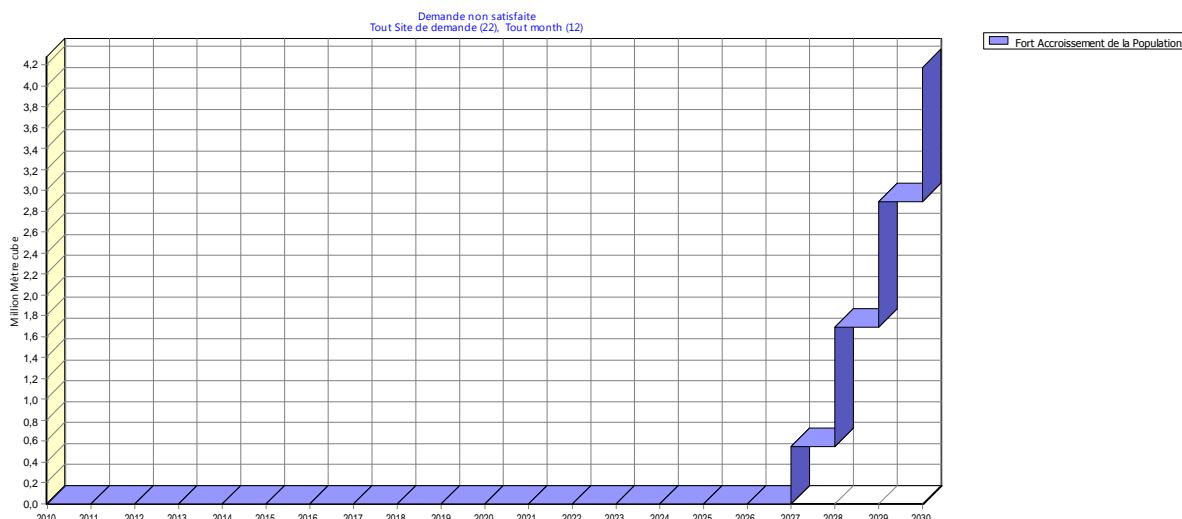


Figure VI.32. Demande en eau non satisfaite dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Scénario 2 : Fort accroissement de la population (2011-2030)-

Conclusion

Pour ce scénario on fait varier seulement le taux de croissance de la population entre 2011 et 2030 de 1,74 à 3%, sans considérer aucune expansion des surfaces irriguées. Cela a pour effet une augmentation plus ou moins conséquente de la demande en eau domestique par rapport à celle du scénario de référence.

compte tenu d'hypothèses de rendements d'une part et de dotations unitaires d'autre part, on aboutit à une demande à l'horizon 2030 qui peut être de 118,24 millions de m³ au minimum. Cette valeur fortement contrastée met en évidence que les enjeux de la rationalité dans la distribution de l'eau (politique assidue de résorption des fuites et mise au point de standards de consommation unitaire réalistes) conduisent à des totaux de mobilisation significativement différents.

Ainsi dans une vision optimiste à 2030 (118,24 millions de m^3 de demande), on peut envisager d'améliorer le niveau de la mobilisation en considérant que le surcroît de demande, année après année, due à la démographie, sera compensé par les économies dans les domaines du gaspillage et des rendements .

IV.5. Analyse du scénario 3 : Simulation d'augmentation des superficies irriguées

La promotion du monde rural et l'auto suffisance alimentaire sont les objectifs fondamentaux de la nouvelle politique agricole nationale, basée sur une bonne gestion des ressources hydriques dans les terres agricoles.

Compte tenu des potentialités hydriques superficielles et souterraines et en sol dans le bassin du Saf-Saf, cela permis la valorisation de la petite et la moyenne hydraulique, ainsi que l'irrigation des grands périmètres. L'irrigation dans le bassin du Saf-Saf est devenue donc une condition nécessaire à la modernisation et à la sécurité des exploitations agricoles.

Ce scénario a été créé pour évaluer l'impact de l'augmentation des superficies irriguées de 3% à 4,3 % sur la demande en eau globale dans le bassin du Saf-Saf.

IV.5.1. Projection d'augmentation des superficies irriguées

Pour établir le scénario d'augmentation des superficies irriguées pour l'horizon 2011-2030, on maintient constant tous les paramètres du modèle (taux d'infiltration : taux d'efficience, etc...) sauf la superficie du secteur irrigué. On suppose que la surface irriguée croît au taux de 4,3% entre 2011 et 2030. Par cela, la superficie irriguée passera de 2515 ha en 2011 à 5654 ha en 2030.

Avec cette hypothèse, les tensions sur les ressources vont être de plus en plus fortes car les prélèvements vont croître alors que les ressources restent à un même niveau. Cela peut se voir dans la progression des prélèvements qui seront effectués au cours de la période.

Tableau VI.12. Projection des superficies irriguées dans le bassin du Saf-Saf.

-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Superficies irriguées (ha)	2011	2015	2020	2025	2030
Périmètre irrigue I	767	910	1 126	1 394	1 725
Périmètre irrigue II	717	850	1 053	1 303	1 612
Périmètre irrigue III	453	537	665	823	1 018
Périmètre irrigue IV	578	686	849	1 051	1 300
Périmètre Saf-Saf	2 515	2 983	3 693	4 571	5 654

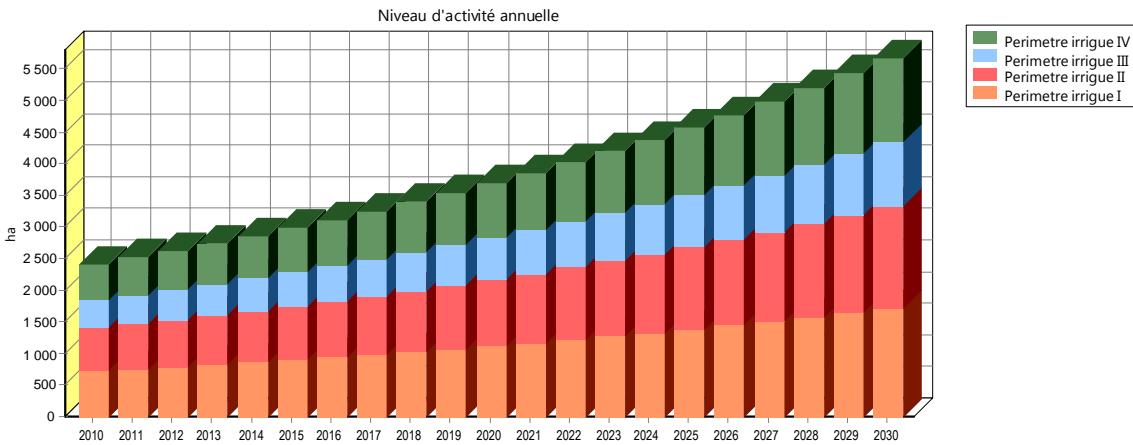


Figure VI.33. Evolution des superficies irriguées le bassin du Saf-Saf
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2010-2030)-

IV.5.2. Evolution de la demande en eau d'irrigation

L'étude de l'évolution de la consommation en eau pour l'agriculture vise à chercher une relation entre l'évolution des superficies irriguées et l'évolution des prélevements d'eau (pour l'agriculture au cours de la période de ce scénario).

Donc, l'évolution des besoins en eau d'irrigation est liée directement à l'augmentation des terres irrigables. En effet, en projetant une augmentation de 810 ha toute les cinq années à venir avec une dose moyenne annuelle de l'ordre de 6500 m³/ha/an.

Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent donc de 20,39 millions de m³ en 2011 à 43,73 millions de m³ en 2020, pour atteindre un volume de 102 millions de m³ en 2030.

Tableau VI.13. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin du Saf-Saf.
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Demande en eau d'irrigation (Mm ³)	2011	2015	2020	2025	2030
Périmètre irrigue I	5,36	7,52	11,5	17,56	26,84
Périmètre irrigue II	3,37	4,72	7,22	11,03	16,85
Périmètre irrigue III	5,08	7,13	10,89	16,64	25,43
Périmètre irrigue IV	6,58	9,24	14,12	21,58	32,97
Périmètre total du Saf-Saf	20,39	28,62	43,73	66,81	102,08

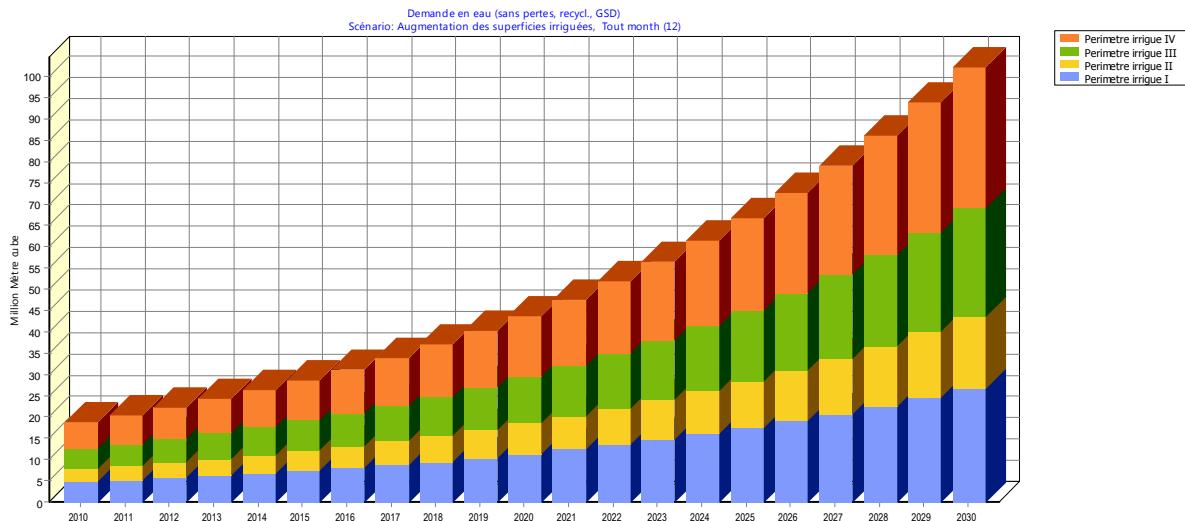


Figure VI.34. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans le bassin versant du
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

IV.5.3. Demande en eau globale dans le bassin du Saf-Saf

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans le bassin du Saf-Saf pour le scénario d'augmentation des superficies irriguées s'élèvent actuellement à près de 40,15 millions de m^3 par an, dont 49,2 % sont des besoins domestiques et industriels. Et selon les projections du WEAP, les besoins en eau globaux s'élèveront à moyen terme (2020) à plus de 72,8 millions de m^3 par an. Ces besoins dépassent à l'horizon 2030 les 146 millions de m^3 , dont plus 69,5 % sont proprement des besoins en eau d'irrigation.

Tableau VI.14. L'évolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Demande en eau dans le Saf-Saf (Mm 3)	Années				
	2011	2015	2020	2025	2030
Eau domestique	19,76	23,46	29,08	36,04	44,67
Eau d'irrigation	20,39	28,62	43,73	66,81	102,07
Demande en eau globale	40,15	52,08	72,81	102,85	146,74

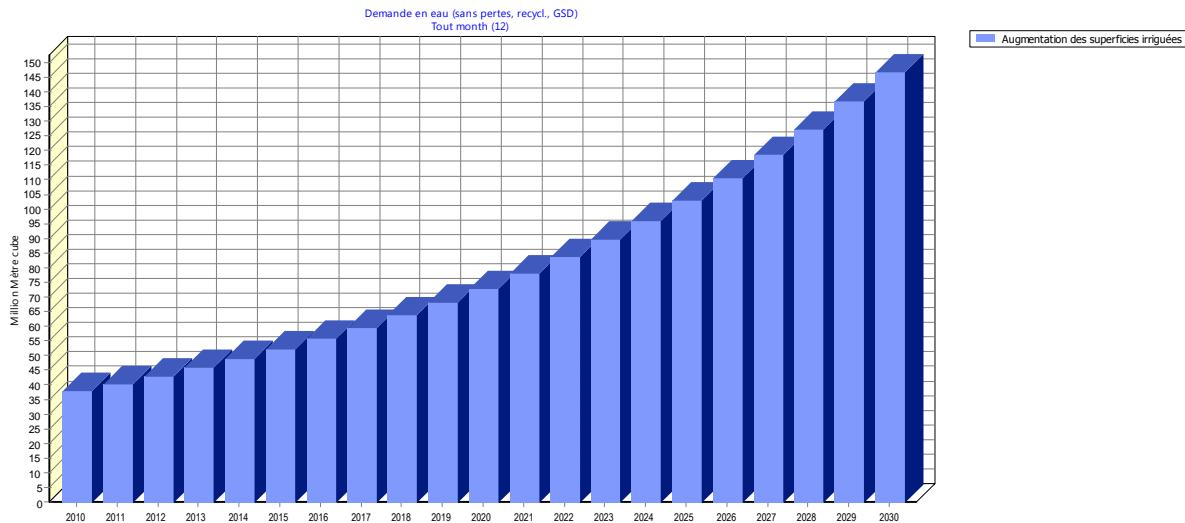


Figure VI.35. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

IV.5.4. Eau distribuée

Les ressources en eau distribuées sont de l'ordre de 39,5 Mm³ en 2011, intégrant les apports d'eau provenant des bassins avoisinants (barrage de Guénitra et le barrage de Zit El Emba), et devenant vers l'horizon 2020 à environ 72,8 Mm³ et elles vont dépasser les 129 Mm³ à l'an 2030. (Tab.VI.15, Fig.VI.36)

Tableau VI.15. Projection de l'eau distribuée dans le bassin du Saf-Saf.
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Années	2010	2012	2015	2017	2020	2022	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Eau distribuée (Mm ³)	39,56	42,82	52,08	59,47	72,81	83,49	97,84	103,35	109,27	115,66	122,53	129,93

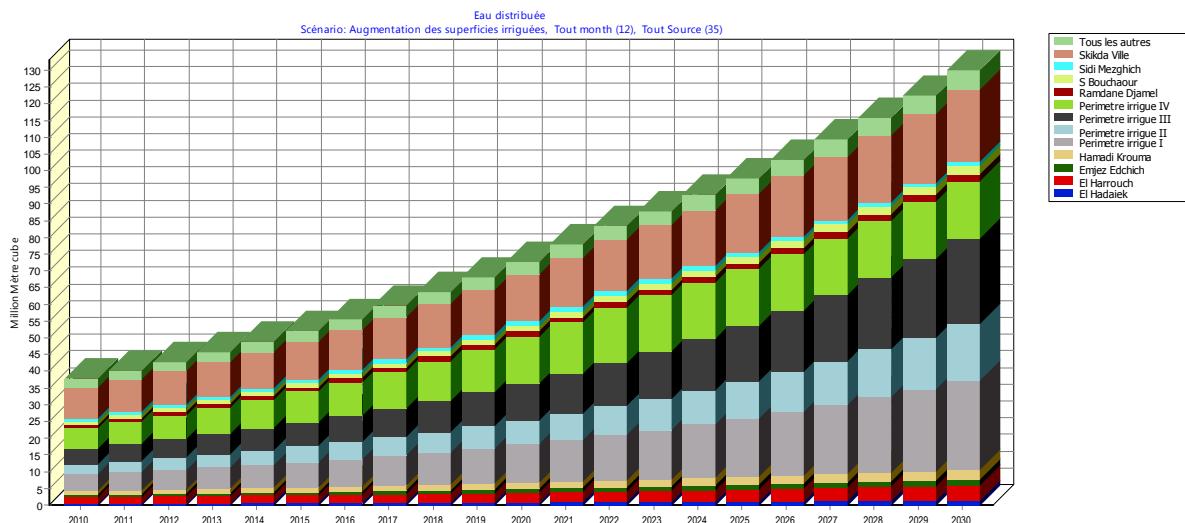


Figure VI.36. Eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.
-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

IV.5.5. Demande en eau non satisfaite dans le bassin

Pour la demande en eau non satisfaite dans le scénario d'augmentation des superficies irriguées, on constate qu'à partir de l'année 2023 un volume de 1,5 Mm³, dont 92% concerne seulement secteur IV du périmètre irrigué, passant à l'horizon 2025 à 5 Mm³ et atteindront les 16,8 Mm³ à l'horizon 2030 (Tab.VI.16, Fig.VI.37)

Tableau VI.16. Projection de la demande en eau non satisfaite dans le bassin.

-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Années	2011	2012	2015	2020	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Périmètre irrigué IV	0	0	0	0	1,38	2,94	4,64	6,5	8,53	10,74	13,16	15,79
Sidi Mezghich	0	0	0	0	0,12	0,24	0,37	0,5	0,63	0,76	0,89	1,02
Eau non satisfaite (Mm³)	0	0	0	0	1,5	3,18	5,01	6,99	9,15	11,5	14,04	16,81

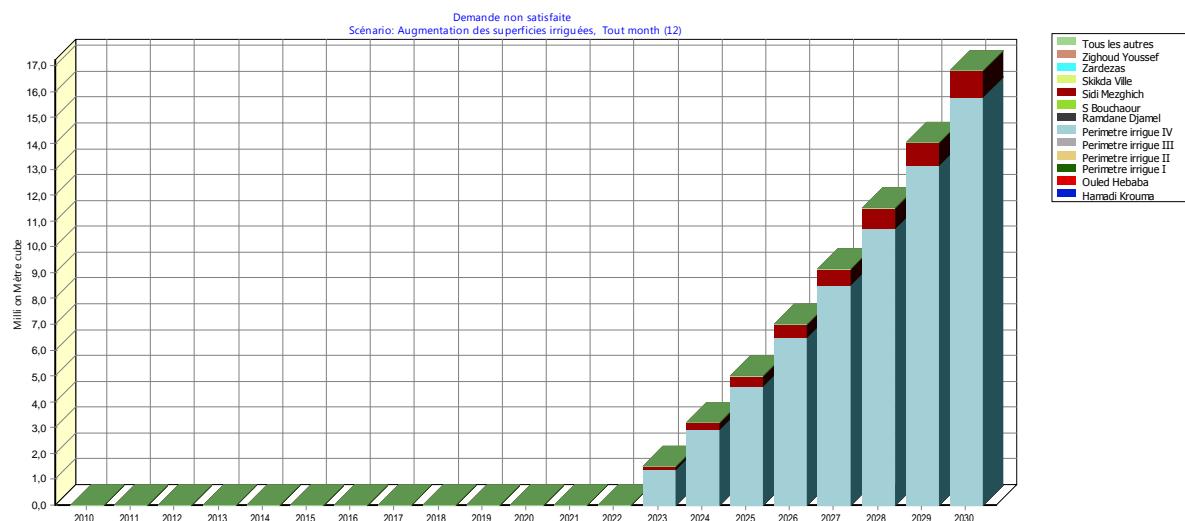


Figure VI.37. Demande en eau non satisfaite dans le bassin versant du Saf-Saf.

-Scénario 3 : Augmentation des superficies irriguées (2011-2030)-

Conclusion

Dans la simulation précédente, on a prévu un accroissement du secteur irrigué de 4,3 % par an, ce qui correspond à une extension des superficies irriguées de 2515 hectares en 2011 à 5654 hectares en 2030, soit un surcroit de 3139 ha environ sur deux décennies.

Si seule l'expansion des surfaces irriguées est prise en compte sans considérer aucun changement climatique, ni croissance démographique par rapport à la situation de référence, la demande totale en eau sur le bassin du Saf-Saf à l'horizon 2030 est de l'ordre de 146,74 Mm³. La plus forte demande est associée au secteur agricole du fait des faibles précipitations et de leurs irrégularités. La demande en eau agricole s'élève à 102 Mm³/an, soit environ 70 % de la demande totale en eau.

Les prélevements annuels en eau sont considérables pour l'agriculture irriguée, elle constitue le secteur aux besoins en eau les plus importants sur le bassin du Saf-Saf, avec des prélevements moyens annuels de l'ordre de 4,5 Mm³/an. Donc, l'évolution des besoins en eau d'irrigation est liée directement à l'augmentation des terres irrigables.

IV.6. Analyse du scénario 4 : Simulation d'augmentation de la production de l'eau

Dans les scénarios précédents, on a supposé que la production reste à son niveau de l'année de base. Ceci n'est pas réaliste compte tenu des projets des services de l'hydraulique pour augmenter les capacités de fourniture d'eau. Le scénario qu'on va simuler, tout en intégrant tous les changements dans les besoins unitaires étudiés ci-dessus, va modifier la production d'eau en introduisant la mise en place d'une nouvelle station de dessalement et d'une station d'épuration (STEP) pour augmenter les ressources en eau (non conventionnelles) du bassin.

IV.6.1. Installation d'une nouvelle station de dessalement de l'eau de mer

Les projets au niveau du bassin portent sur la mise en place d'une nouvelle station de dessalement qui est en cours de réalisation à la plate forme industrielle de Ben M'hidi, devait entrer en fonction en 2015 avec une capacité de traitement de 100 000 m³ par jour en plein régime. Cette station entre dans la politique générale de l'eau poursuivie par l'Algérie pour développer la production d'AEP à partir de l'eau de mer.

Cette station servira à l'alimentation en eau potable de la ville de Skikda et sa zone industrielle, et les chefs lieux des communes de Hamadi Krouma, Beni Bechir, Ramadane Djamel, Salah Bouchaour et l'agglomération de Larbi Ben Mhidi.

L'évolution suit la courbe logistique suivante :

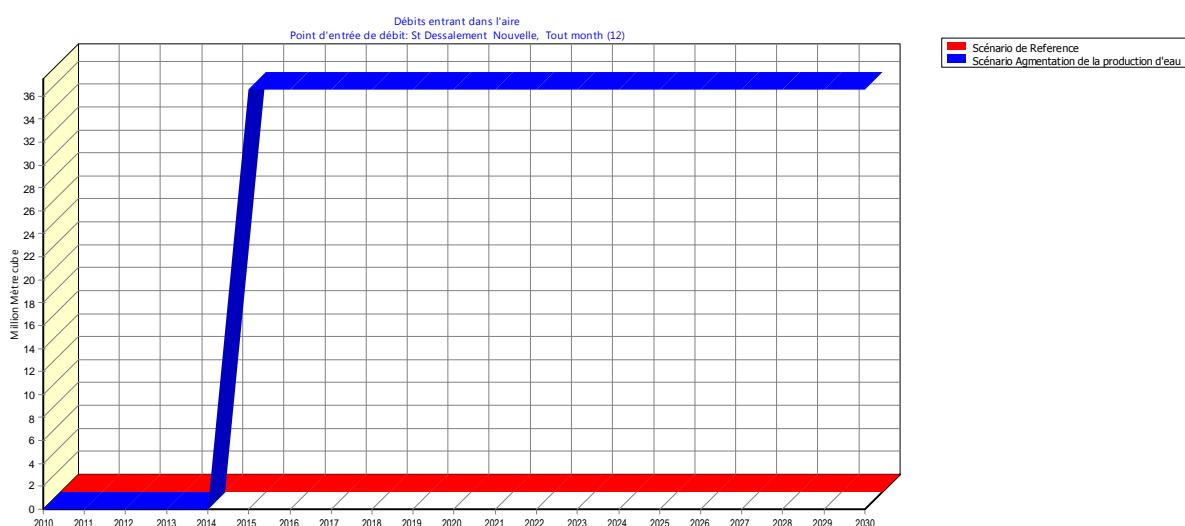


Figure VI.38. Evolution de la production de la nouvelle station de dessalement de l'eau de mer. -Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

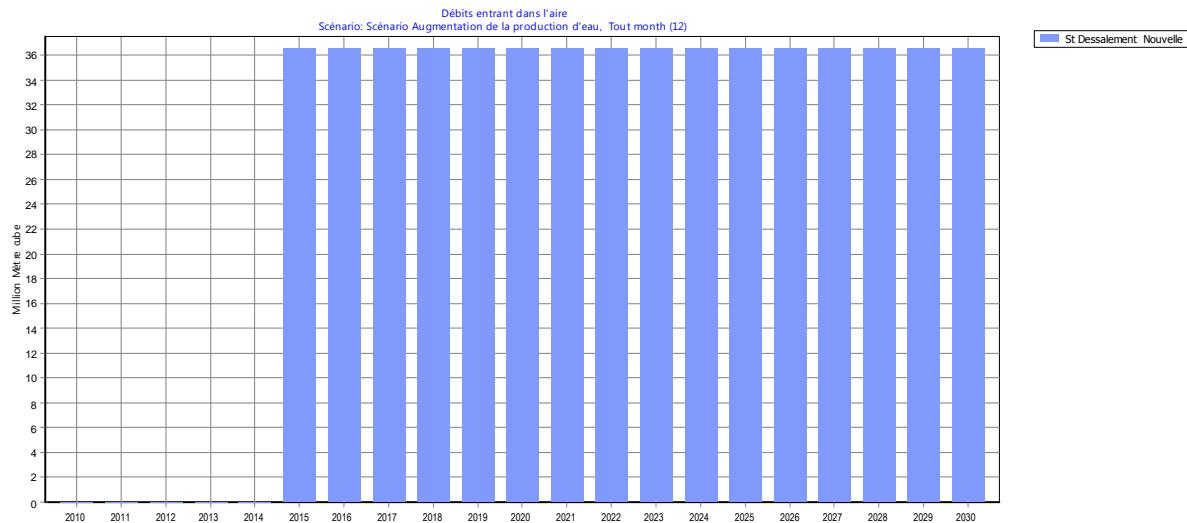


Figure VI.39. Débits entrants à partir de la nouvelle station de dessalement de l'eau de mer.

-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

IV.6.2. Installation d'une nouvelle station d'épuration (STEP)

Le scénario projette également l'entrée en production d'une station d'épuration des eaux usées à partir de l'année 2015 en relation avec le programme de développement des ressources en eau du bassin.

Dans les projections de ce scénario, la nouvelle STEP aura pour but d'alimenter le secteur de l'agriculture pour le moment (secteur I du périmètre irrigué). La nouvelle STEP aura une capacité de traitement de 34 000 m³/j soit 12,41 Hm³/an à l'horizon 2015. Elle atteint progressivement une capacité de traitement de 42 000 m³/j soit 15,33 Hm³/an à l'horizon 2025. L'évolution suit la courbe suivante :

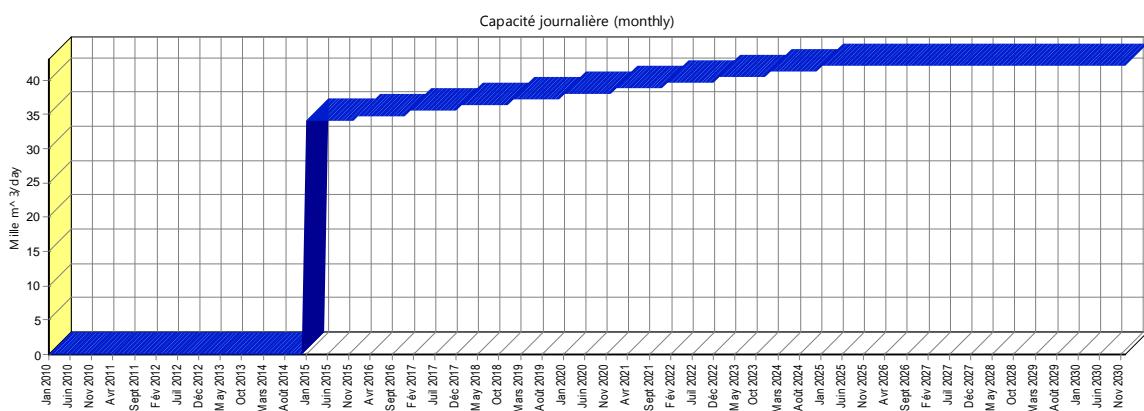


Figure VI.40. Evolution de la capacité journalière de production de la nouvelle STEP.

-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

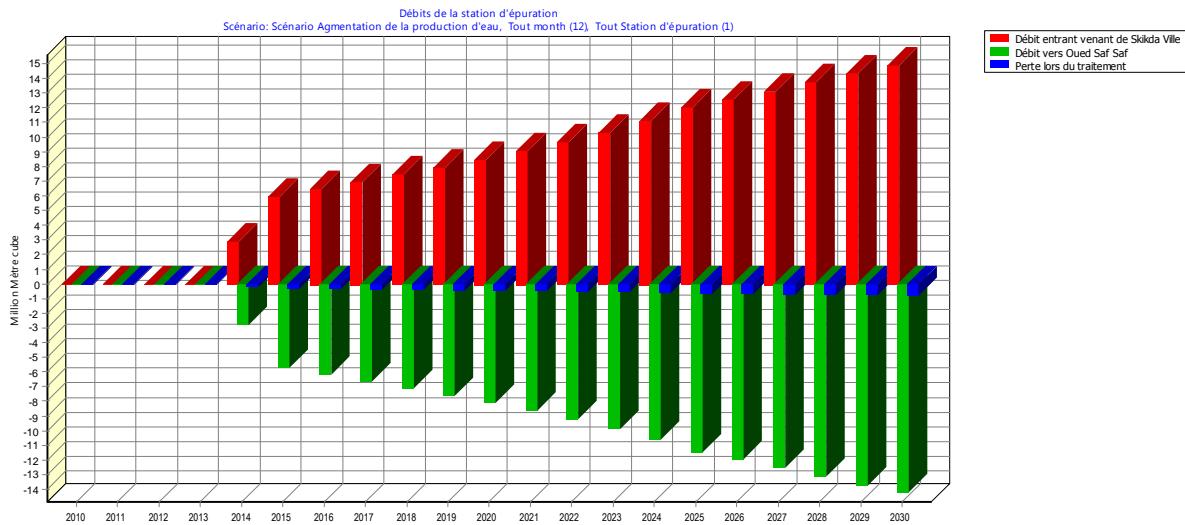


Figure VI.41. Débits entrants et sortants de la station d'épuration.

-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

▪ **Les débits de retours du site de demande et leur routage**

Dans les simulations, on suppose que 60% de la consommation des sites de demande (ménages, collectivités, industrie) seront dirigés vers la STEP, le reste étant dirigés vers d'autres réceptacles (oueds, mer, etc.). La STEP transmet l'eau traitée au secteur de l'agriculture. Le surplus éventuel des eaux traitées sera rejeté dans la mer. Le schéma de liaisons doit être modifié par rapport au scénario de référence pour tenir compte des nouvelles infrastructures comme le montre la figure ci-après :

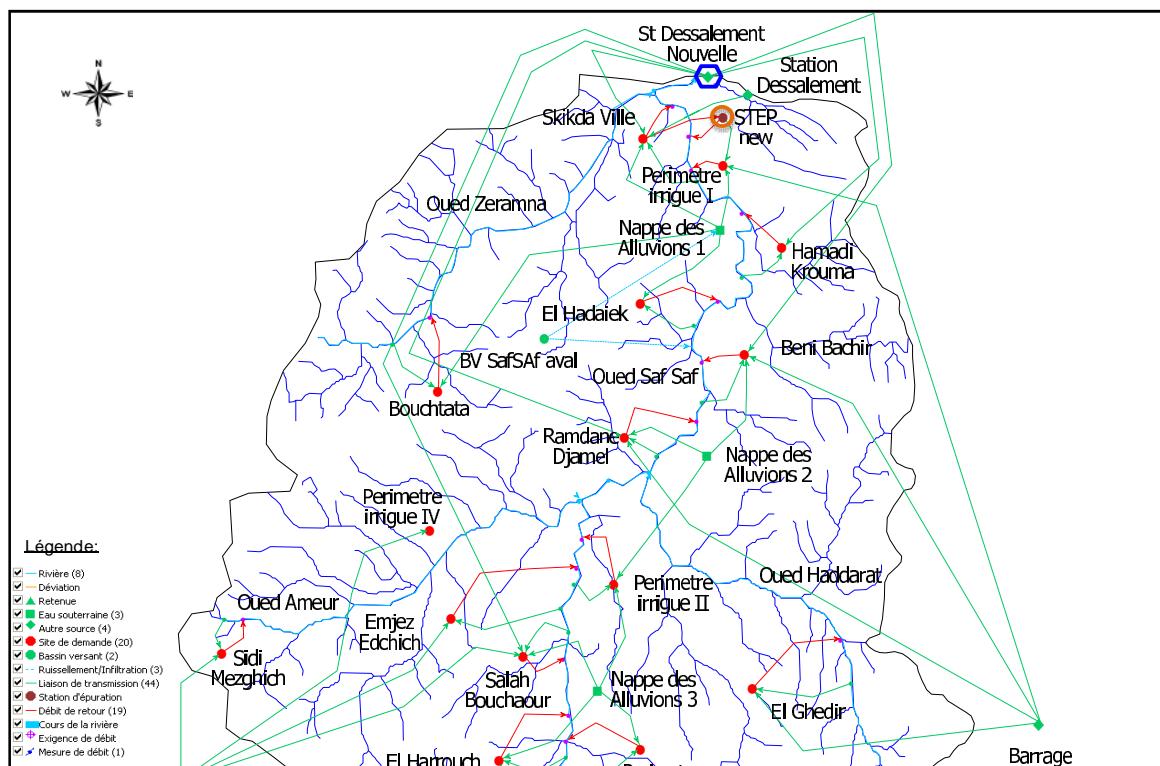


Figure VI.42. Schéma hydraulique projeté de l'aval du bassin du Saf-Saf.

-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

IV.6.3. Priorités de demande et d'approvisionnement

Comme dans le scénario de référence, la priorité des sites de demande à partir de la nouvelle station de dessalement sera l'alimentation en eau des ménages et des collectivités avant le secteur de l'industrie. Cependant, l'alimentation du secteur de l'agriculture sera effectuer à partir de la nouvelle station d'épuration des eaux usées STEP (périmètre irrigué I).

Pour les préférences d'approvisionnement, les ménages et les collectivités seront de préférence alimentés par les stations de dessalement (priorité 1) à cause des coûts qui exigent que les stations fonctionnent à plein. Viennent ensuite les ressources conventionnelles locales puis les transferts d'eau des barrages hors bassin). Pour l'irrigation, on a par ordre de priorité : les barrages (Guénitra et zardézas), la production de la nouvelle STEP (Périmètre irrigué I), et la nappe des alluvions.

Les autres paramètres par rapport au scénario de référence sont maintenus constants, en particulier l'efficience du réseau de distribution.

L'objectif de ce scénario d'augmentation des ressources en eau est de minimiser les transferts externes des bassins avoisinants puis de les éliminer en comptant plus sur les ressources locales du bassin et également le dessalement, ainsi que les nouveaux projets d'ouvrages hydrauliques (barrages et retenues).

IV.6.4. Résultats des simulations

L'installation de la nouvelle station de dessalement a pour effet d'accroître la production d'eau dès son entrée en fonctionnement en 2015. La mise en place de la STEP n'accroît pas les débits entrant dans le système, mais plutôt diminue la production d'eau requise pour satisfaire la demande (de l'irrigation) car l'eau fournie aura un autre cycle d'utilisation après son retraitement.

IV.6.4.1. Evolution de la production en eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement

On remarque que la production en eau commence à augmenter dès l'année de mise en fonction des stations de dessalement et d'épuration en 2015, la figure ci dessous décrit les volumes annuels produits à partir de ces deux nouvelles infrastructures.

On rappelle que les préférences d'approvisionnement vont du dessalement vers les ressources locales puis les transferts et les priorités de demande sont en faveur des ménages et des collectivités. Cependant, pour la l'agriculture, on a par ordre de priorité : les barrages (Guénitra et Zardézas), la production de la nouvelle STEP (Périmètre irrigué I), et vient au dernier lieu les eaux souterraines.

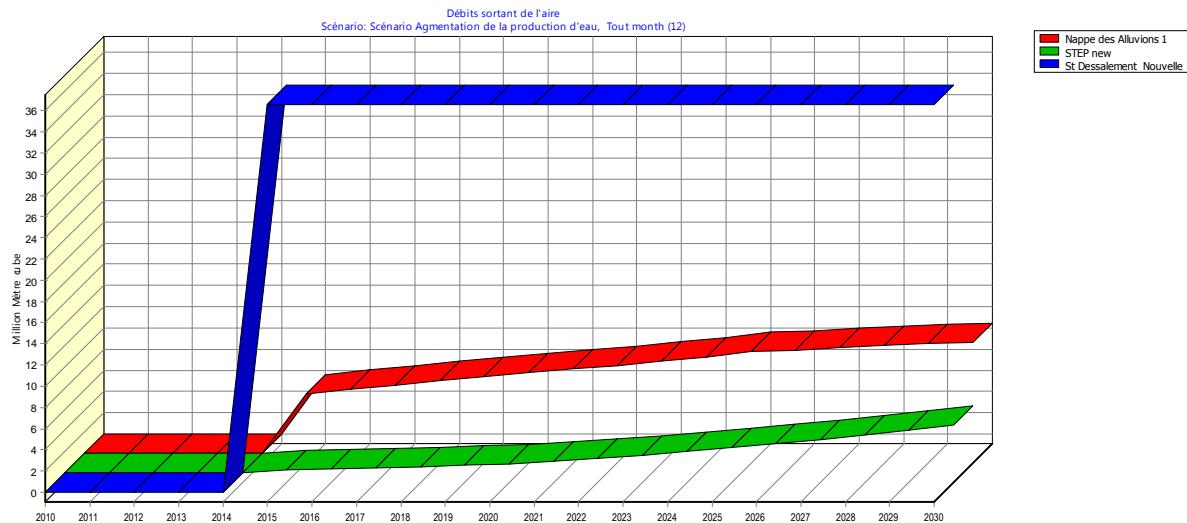


Figure VI.43. Evolution de la production en eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement. -Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

On constate, un accroissement du volume produit à partir de la nappe des alluvions 1 à partir de l'année 2016 avec un volume de six (06) million de m³ (courbe en rouge), et cela en parallèle avec la mise en fonction de la station d'épuration, destinée à soutenir l'approvisionnement en eau du périmètre irrigué I, ce qui explique le rôle primordial qui va le jouer cette STEP pour réduire la pression sur les aquifères actuellement surexploitées.

Le dessalement alimentera exclusivement les besoins domestiques et industrielles de 36 Mm³ par an y compris les pertes de distribution, le reste des besoins des ménages provenant des transferts (barrages Guénitra et Zit El Emba) et des sources locales représentées par les eaux souterraines pour des faibles quantités.

La figure ci après montre l'évolution des quantités supplémentaires aux besoins domestiques et de l'agriculture que fournit la nouvelle station de dessalement et la STEP. Ces quantités d'eau supplémentaires qui, dans ce scénario, sont rejetées à la mer, peuvent être dirigées vers un site alternatif (secteur agricole).

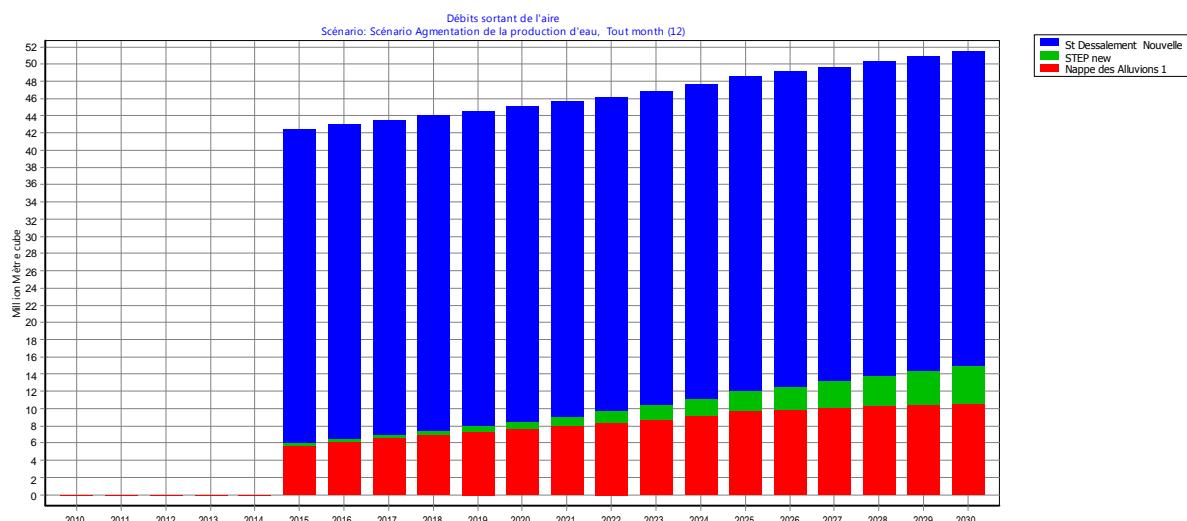


Figure VI.44. Evolution de la production de l'eau à partir des nouvelles sources d'approvisionnement -Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

L'introduction de la STEP permet de satisfaire l'ensemble des besoins en eau d'agriculture en aval du bassin. La figure (VI.45) ci-dessous présente les liaisons de transmissions entre les différentes sources et les sites de demandes, où on observe que le débit entrant venant de la nappe des alluvions 1 pour assurer la satisfaction des besoins du secteur 1 du périmètre irrigué a chuté directement en 2015 lors de la mise en marche de la STEP. Une des conséquences de l'amélioration de la gestion des ressources en eau par le recyclage et la réutilisation des eaux usées est d'augmenter les débits de retour de la STEP. C'est ainsi que plus de 15 millions de mètres cubes produites par la STEP à partir de 2025 seront alimenté le secteur 1 du périmètre irrigué, et permet de réduire le recours aux ressources en eaux souterraines vulnérables et menacées par la surexploitation.

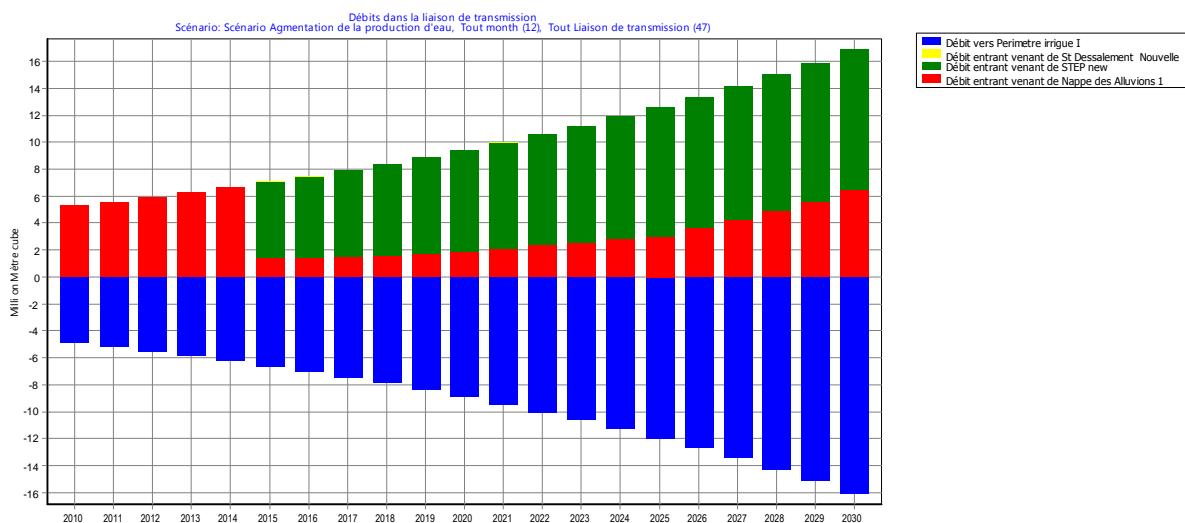


Figure VI.45. Débits entrants à partir des nouvelles sources d'approvisionnement.

-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

IV.6.4.2. Débits de liaison de transmission des nouvelles source d'approvisionnement

Actuellement, les rejets des ménages seuls dans le bassin sont de l'ordre de 28 Mm³/an. Le recours à l'irrigation par les eaux traitées par la STEP aura aussi pour effet non seulement d'améliorer la qualité de l'eau, mais aussi de substituer les ressources de la STEP aux prélèvements souterrains. L'effet sera de réduire ainsi la pression sur les aquifères actuellement surexploitées. Aussi, dans ce scénario, on constraint les prélèvements des nappes souterraines à une exploitation normale.

Rappelons que la priorité d'approvisionnement des sites agricole a été donnée à la STEP, le scénario de réduction des pertes et recyclage des eaux utilisées par l'industrie, en améliorant l'utilisation des ressources dans le système.

Le niveau de prélèvement des eaux souterraines à partir de la nappe des alluvions 1 se diminue rapidement de 6,24 Mm³ en 2014 pour atteindre 0,98 Mm³ en 2015 jusqu'à 2019 où on observe une augmentation progressive. Par contre, les débits de la nappe des alluvions 3 vont augmenter à partir de l'an 2019 de 1,28 Mm³ à 15,2 Mm³ en 2030.

Si on ne retient que la croissance de référence de 3% des surfaces irriguées, la STEP ne peut pas à elle seule satisfaire les besoins d'irrigation en aval du bassin, elle est sous dimensionnée par rapport à l'objectif de préservation des nappes. Les nappes des alluvions 1 et 3 seront

toujours exploitées, la production de la STEP se substituant partiellement à l'exploitation des ces deux aquifères comme le montre la figure ci-dessous.

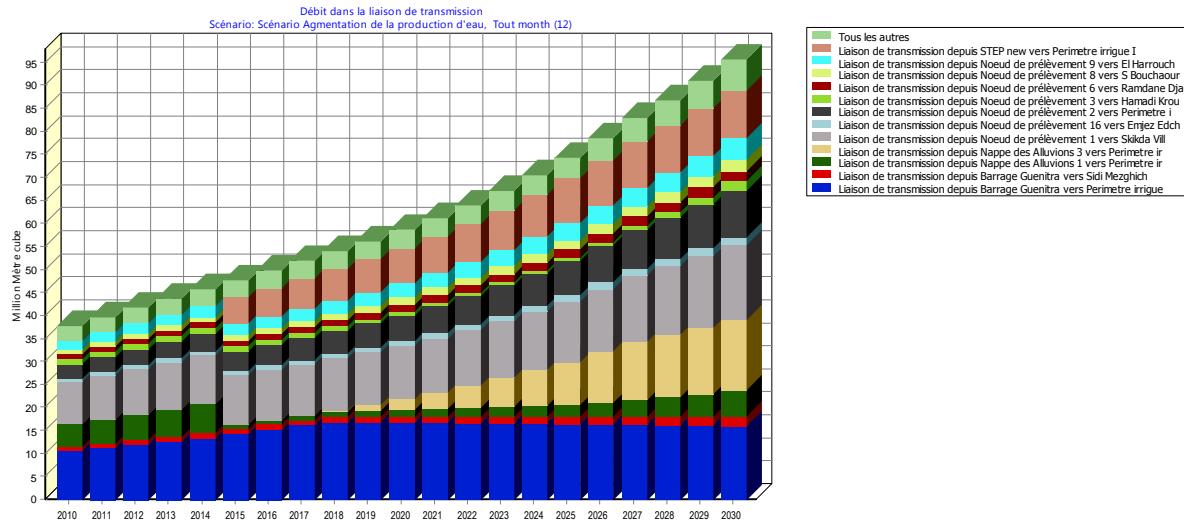


Figure VI.46. Apports de la STEP et des autres sources à l'approvisionnement.
-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

IV.6.4.2. Débits de retour des nouvelles source d'approvisionnement

Pour les débit de retour, on constate une diminution considérable des rejets de la ville de Skikda vers l'oued Saf-Saf, directement avec la mise en service de la station d'épuration, les volumes vont diminuer de 9,5 Mm³ en 2010 et s'annulent totalement à l'horizon 2025. Par ailleurs, les rejets de la ville de Skikda vers loued Saf-Saf diminuent fortement et s'annulent à l'horizon 2025, inversement au rejets de la STEP vers l'oued, ils augmentent progressivement passant en 2030 à 13 Mm³/an (Fig.VI.47).

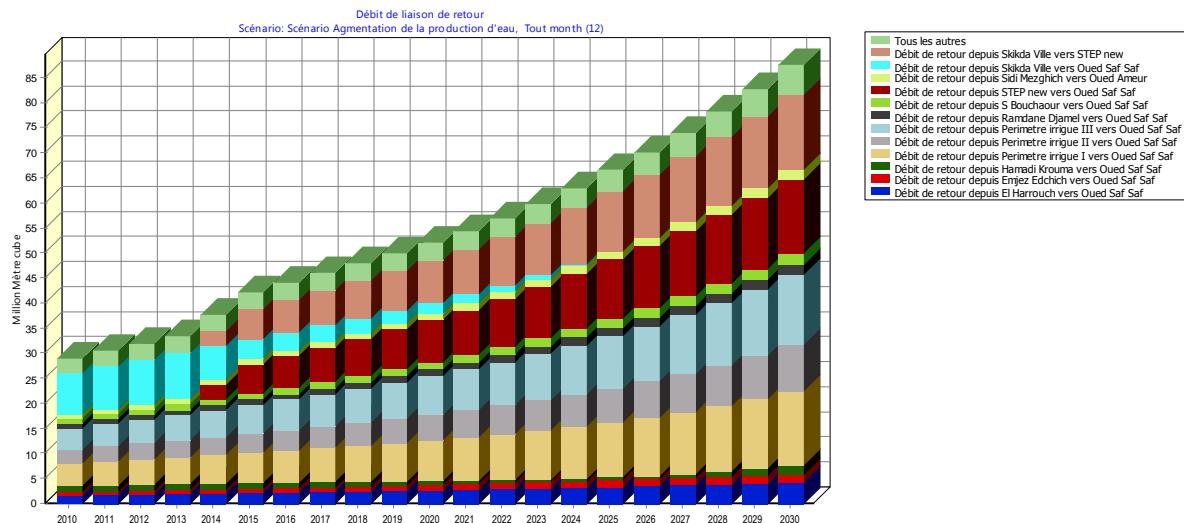


Figure VI.47. Débits de retour des nouvelles source d'approvisionnement.
-Scénario 4 : Augmentation de la production de l'eau (2011-2030)-

Conclusion

L'installation de la nouvelle station de dessalement a pour effet d'accroître la production d'eau dès son entrée en fonctionnement en 2015. L'effet sera de réduire ainsi la pression sur les transferts à partir des bassins avoisinants (Barrage de Guénitra et Zit el Emba). Aussi, dans ce scénario, on constraint les prélèvements des nappes souterraines à une exploitation normale.

La mise en place de la STEP n'accroît pas les débits entrant dans le système mais diminue la production d'eau requise pour satisfaire la demande. En fait, la réalisation de la STEP compte tenu de l'importance de ses capacités doit être considérée comme un projet d'extension de la superficie irriguée dans le bassin du Saf-Saf.

V. Comparaison entre les différents scénarios analysés

L'ensemble des scénarios retenus sont récapitulés ci-dessous, les résultats précédemment escomptés sur la période 2011-2030 après la mise en œuvre de toutes les réalisations physiques projetées dans la même période ainsi que les opérations d'amélioration de l'efficience de la distribution et de l'irrigation qu'on a préconisé et compte tenu de l'évolution des besoins des différents usagers de l'eau dans le bassin du Saf-Saf (ménages, services collectifs, industrie et les quatre secteurs du périmètre irrigués) et de leur croissance.

L'agriculture est considérée comme le grand consommateur d'eau dans le bassin, l'allure du résultat de l'effet d'augmentation des superficies irrigués est bien visible, la courbe d'évolution des demandes est bien supérieure par rapport aux autres scénarios, où elles dépassent les 145 Mm³ à l'horizon 2030, cependant elles n'atteignent pas les 120 Mm³ pour le scénario du fort accroissement de la population.(Tab.VI.17, Fig VI.48)

Pour les scénarios de référence et d'augmentation de la production en eau, les résultats sont identiques, parce qu'on a gardé les mêmes hypothèses d'évolution de la population et les superficies irriguées retenues dans le scénario de référence.

Tableau VI.17. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

Scénarios de la demande en eau	2011	2015	2020	2025	2030
Scénario augmentation de la production d'eau	39,63	48,64	62,91	81,51	105,77
Scénario augmentation des superficies irriguées	40,15	52,08	72,81	102,85	146,74
Scénario fort accroissement de la population	39,88	50,13	66,72	88,81	118,24
Scénario de référence	39,63	48,64	62,91	81,51	105,77

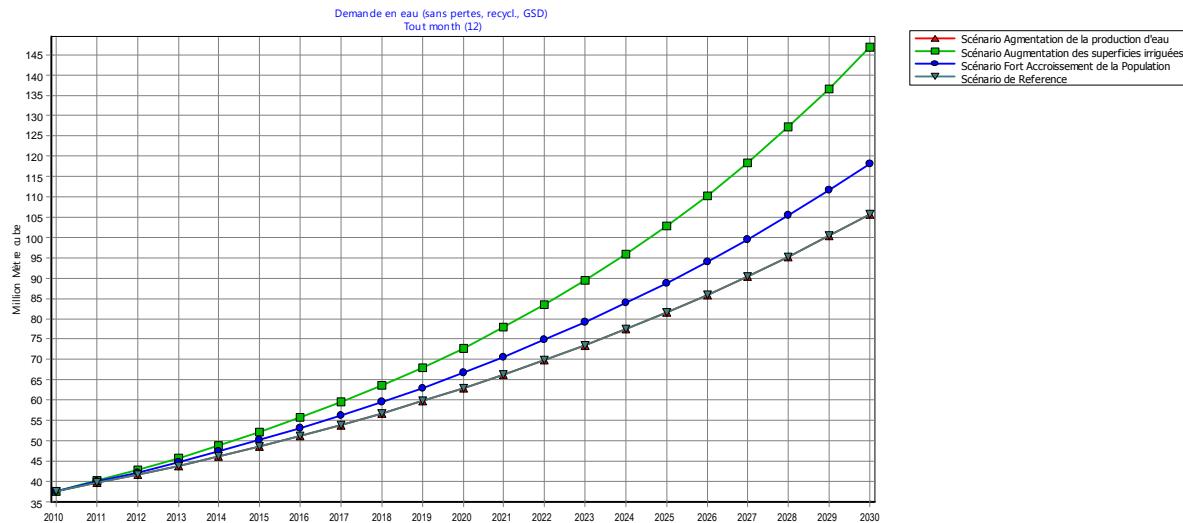


Figure VI.48. Evolution de la demande en eau globale dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2010-2030)-

Pour les exigences de distribution, on constate toujours la dominance du secteur d'agriculture avec 50 Mm³ en 2015 et passant à environ 140 Mm³ à l'horizon 2030 pour le scénario d'augmentation des superficies irriguées (SASI), en deuxième position c'est les exigences du secteur domestique (ménages, collectivités et industries) avec des volumes de l'ordre de 47,5 Mm³ en 2015 et elles n'atteignent pas en 2030 les 110 Mm³ pour le deuxième scénario qui prend en considération l'effet d'un fort accroissement de la population (SFAP).

Cependant, pour le scénario d'augmentation de la production en eau (SAPE), les exigences de distribution des ressources en eau sont moins importantes par rapport aux scénarios précédemment cités, où on constate des volumes qui oscillent de 47,6 Mm³ en 2015, et 74,2 Mm³ en 2025 pour atteindre 99 Mm³ en 2030.

Aussi, on observe que les exigences de distribution pour le scénario d'augmentation de la production en eau (SAPE) sont supérieures par rapport au scénario de référence et ceci seulement sur la période allant de 2010 au 2019, et à partir de 2020, les courbes vont inverser. Cela peut expliquer par l'effet de l'augmentation de la production de l'eau par la mise en service de la station de dessalement de l'eau de mer et la station d'épuration, qui vont participer, même à un faible degré, à soulager la pression sur la demande en eau et par conséquent sur les exigences de distribution.

Tableau VI.18. Evolution des exigences de distribution dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

Scénarios des exigences de distribution	2011	2015	2020	2025	2030
Scénario augmentation de la production d'eau	39,63	47,60	58,56	74,23	99,11
Scénario augmentation des superficies irriguées	39,56	49,57	68,81	97,94	140,09
Scénario fort accroissement de la population	39,28	47,45	62,20	82,90	109,72
Scénario de référence	39,05	46,12	58,91	76,59	99,11

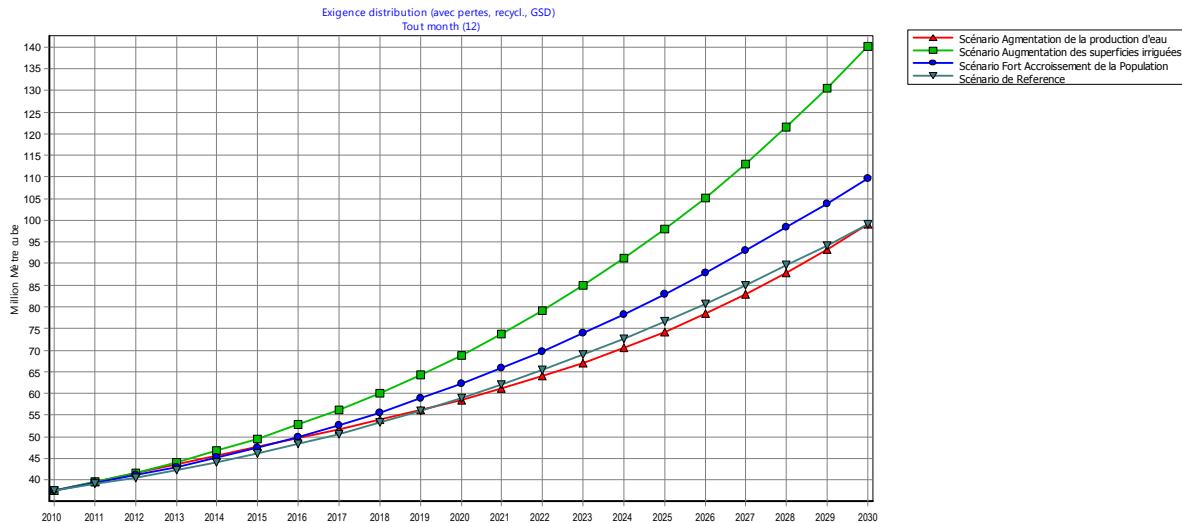


Figure VI.49. Evolution des exigences de distribution dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

La quantité d'eau distribuée connaît une nette variation entre les différents scénarios, dont leur comparaison (Tab.VI.19 et Fig.VI.50) montre que cette fluctuation est très remarquable, et l'eau distribuée va augmenter à plus de 123 Mm³ en 2030 pour le scénario d'augmentation des superficies irriguées (SASI), contre seulement un volume de 105 Mm³ pour le scénario de fort accroissement de la population (SFAP), ceci est dû à la vocation agricole du Saf-Saf et la priorité en faveur de l'irrigation, tout en gardant l'alimentation en eau domestique (ménages et collectivités) comme le secteur prioritaire à approvisionner dans les cas des pénuries.

Toutefois, pour le scénario d'augmentation de la production en eau (SAPE), et compte tenu des ouvrages hydrauliques réalisés, le volume d'eau requis pour satisfaire les besoins des différents usagers devient moins important à partir de l'horizon 2015 par rapport aux deux scénarios (SASI et SFAP) et ceci dès la mise en service de la nouvelle station de dessalement. Cependant, en comparant au scénario de référence, les volumes distribués vont abaisser à partir de l'horizon 2019, à cause de l'introduction de la station de dessalement de l'eau de mer de capacité nominale de 100 000 m³/jr en plein régime permet de combler initialement le déficit en eau à distribuer.

Tableau VI.19. Evolution de l'eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

Scénarios de l'eau distribuée	2011	2015	2020	2025	2030
Scénario de référence	39,63	47,60	58,56	74,23	95,53
Scénario augmentation de la production d'eau	39,56	49,57	68,81	92,93	123,28
Scénario augmentation des superficies irriguées	39,28	47,45	62,20	82,90	105,55
Scénario fort accroissement de la population	39,05	46,12	58,91	76,59	95,53

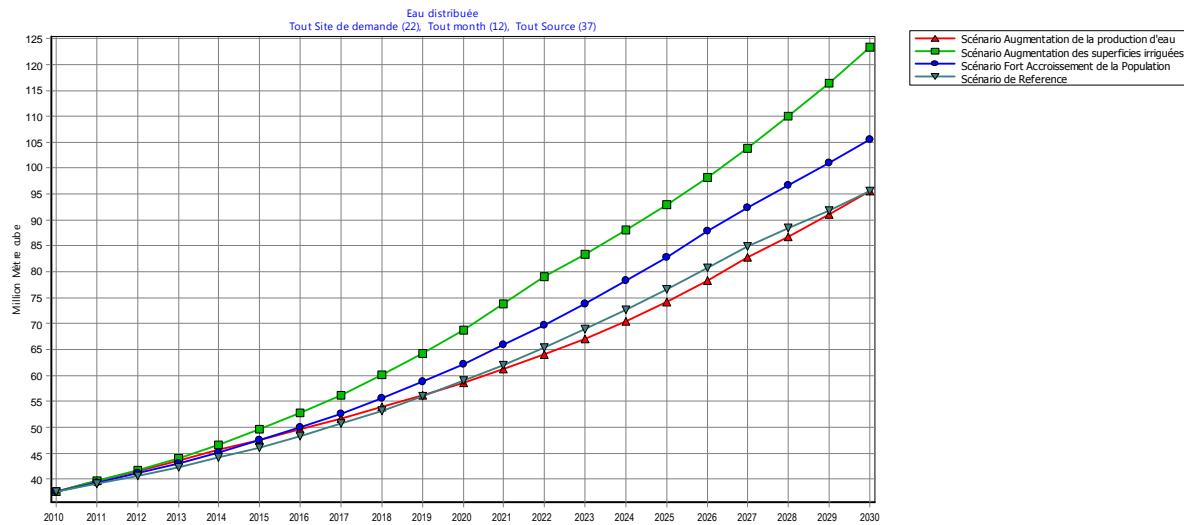


Figure VI.50. Evolution de l'eau distribuée dans le bassin versant du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2010-2030)-

Aussi, une absence d'intervention entraînera un déficit ou une demande non satisfaite en eau, La comparaison des scénarios montre que cette variation est très remarquable pour le scénario d'augmentation des superficies irriguées, où la demande non satisfaite commence à partir de l'année 2023 avec un volume de 1,5 Mm³ et atteindront à l'horizon 2030 environ 16,8 Mm³, et aura de nouveau recours à des transferts externes à partir des bassin avoisinant pour satisfaire les besoins croissants des quatre secteurs du périmètre irrigué (Tab.VI.20, Fig.VI.51). Cependant, pour les trois autres scénarios, c'est qu'à partir de l'horizon 2027 qu'on commence à constater cette demande non satisfaite, avec une légère différence observée au profit du scénario de fort accroissement de la population.

Tableau VI.20. Evolution de la demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

Scénarios demande en eau non satisfaite	2011	2015	2020	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Scénario de référence	0	0	0	0	0	0	0	0,11	1,2	2,36	3,58
Scénario fort accroissement de la population	0	0	0	0	0	0	0	0,55	1,69	2,89	4,17
Scénario augmentation des superficies irriguées	0	0	0	1,5	3,18	5,01	6,99	9,15	11,5	14,04	16,81
Scénario augmentation de la production d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0,11	1,2	2,36	3,58

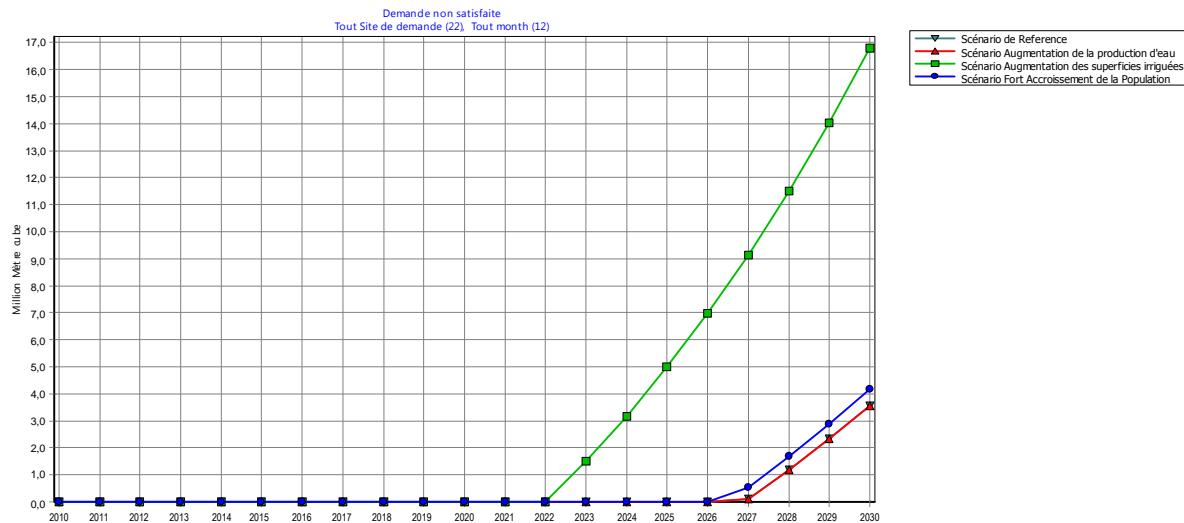


Figure VI.51. Evolution de la demande en eau non satisfaite dans le bassin du Saf-Saf.
- Comparaison des différents scénarios (2011-2030)-

VI. Calibration et vérification du modèle

Les paramètres du modèle WEAP qui exigent le calibrage sont ceux en rapport avec le ruissellement et la recharge des eaux souterraines. Dans un captage naturel, plusieurs approches sont possibles pour estimer le ruissellement à partir des précipitations. Ceux-ci incluent la méthode de ruissellement FAO et un modèle de comptabilité de l'humidité du sol. Ce dernier exige plus de paramétrage y compris l'évaluation de stockage de l'humidité du sol et le taux de l'infiltration. Les plus vieilles versions du modèle WEAP ont autorisé des pertes de recharge des eaux souterraines être spécifié, ce qui était utile dans les situations données de courtes durées. Dans la version la plus tardive du modèle, les pertes peuvent être calculées en utilisant l'approche de l'humidité du sol, ou elles peuvent être estimées avec les pertes de la transmission. L'objectif principal du calibrage est d'estimer correctement le bilan de l'eau, en assurant que le réglage saisonnier des débits de rivière et la recharge des eaux souterraines est correct.

Notre modèle a été calibré avec les données des débits au niveau du bief n°6 sur l'oued Khemakhème. Le calibrage est exécuté en comparant les débits observés à la station de Khemakhème et les débits simulés par le modèle WEAP.

La gamme de valeurs résultantes du processus de calibrage est montrée dans la figure ci-dessous. Dans cette figure nous présentons des résultats pour la période de calibrage qui allant de 1973 à 2012. Elle montre le bon accord entre les débits simulés et mesurés dans le bassin du Saf-Saf.

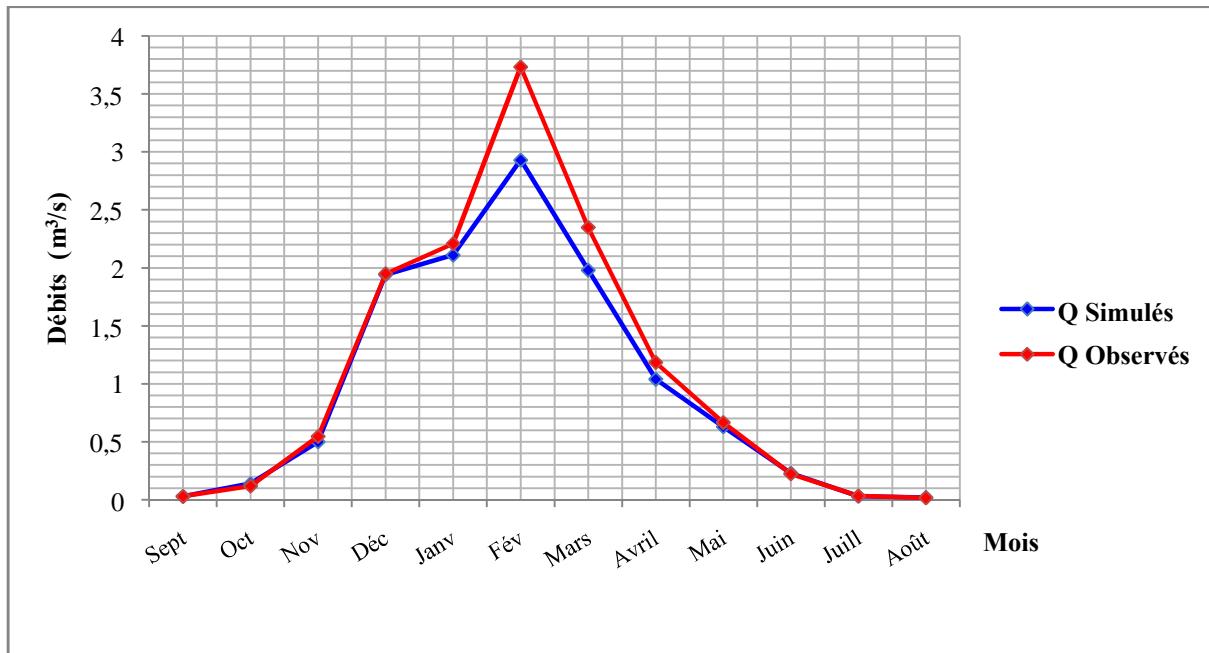


Figure VI.52. Comparaison entre les débits observés et les débits simulés.

Ce résultat est aussi vérifié dans la figure VI.53, qui montre que la valeur absolue de l'écart calculée entre les débits observés et les résultats de la simulation. On a trouvé que le maximum d'écart est de l'ordre de 15% et le minimum est de l'ordre de - 21%. (dont la moyenne est de l'ordre de - 6%).

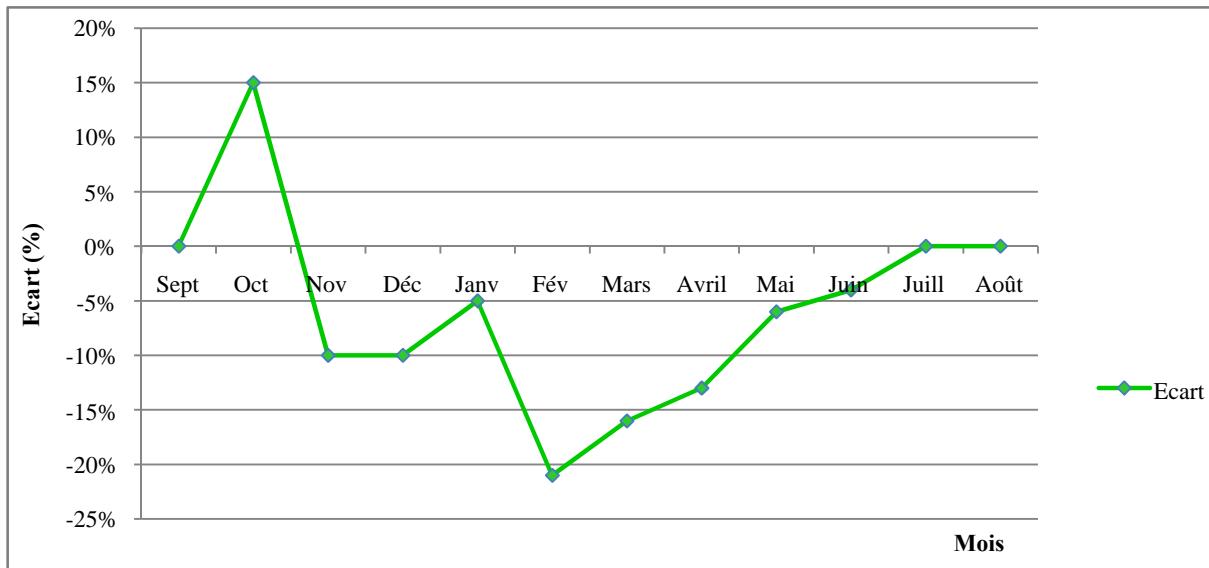


Figure VI.53. Ecart entre les valeurs des débits enregistrées et calculées.

Avec ces valeurs, le modèle reproduit nettement le bilan d'eau du bassin du Saf-Saf en 2010 comme le montre la figure VI.54. Celle-ci montre le bilan d'eau simulé avec le modèle WEAP ainsi calibré. L'équilibre entre les flux entrant (842,6 millions de m^3) dans le bassin et les flux sortant vers le système : l'évapotranspiration (547,7 millions de m^3), le ruissellement (216 millions de m^3) et la recharge des eaux souterraines (78,9 millions de m^3), reproduit presque la même situation hydrique du bassin du Saf-Saf en 2010.

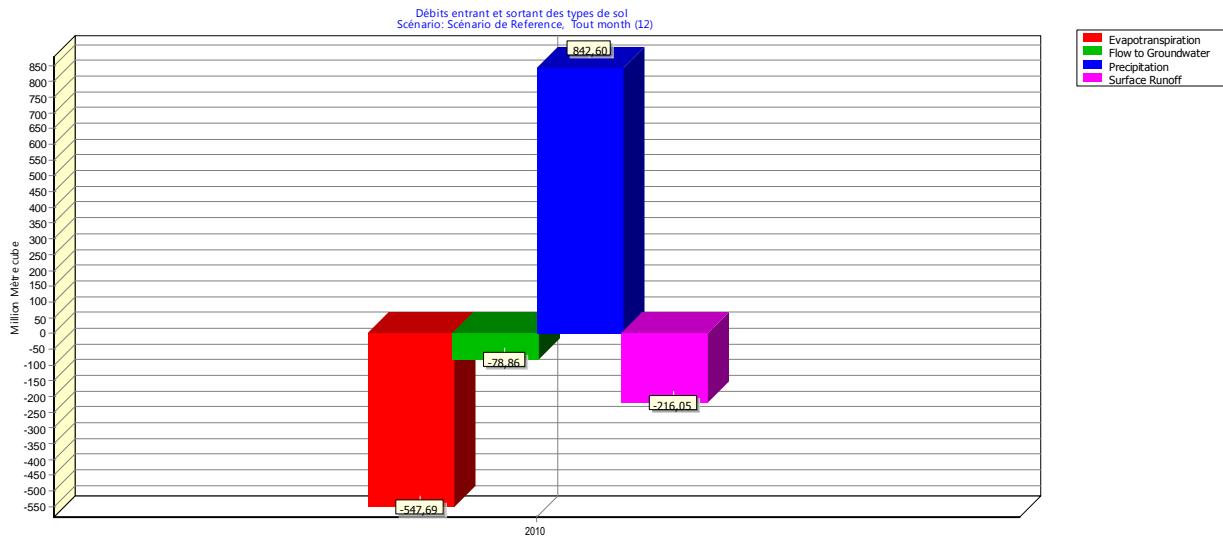


Figure.VI.54. Flux entrants et sortants dans le bassin du Saf-Saf (2010).

Conclusion

Le modèle WEAP appliqué au bassin du Saf-Saf permet d'analyser les différents scénarios de gestion de l'eau selon plusieurs variantes. Cela nous a permis d'évaluer les implications de différents facteurs de changement, et comment les changements qui en résultent peuvent être atténués par des politiques et/ou des interventions techniques. Ce programme a été utilisé pour évaluer l'approvisionnement en eau et les impacts de la demande sous l'effet de l'évolution de la démographie, de l'utilisation des terres irrigables et aussi l'accroissement de production d'eau en introduisant la mise en place de nouvelles infrastructures. Trois modèles en plus du scénario de référence ont été testés pour évaluer la disponibilité de l'eau pour l'avenir ainsi que la demande en eau future pour les différents usagers dans le bassin.

Nous nous sommes basés dans cette analyse avec WEAP sur l'hypothèse qui suppose qu'il y a une stabilisation de l'approvisionnement en eau et des augmentations de la demande en eau domestique et agricole. Pour les derniers essais, nous avons tenté d'effectuer des augmentations linéaires de la production en eau pour plusieurs nœuds d'approvisionnement en aval du bassin.

Cette approche simplifiée montre que la demande en eau potable devra croître d'une façon importante au cours des deux prochaines décennies sous l'effet d'un grand nombre de facteurs qu'on a tenté d'identifier dans ce chapitre. A ce titre, on a essayé de quantifier la capacité des infrastructures nécessaires pour faire face à cette augmentation de la demande pour les vingt prochaines années.

Toutefois, on s'est limité aux secteurs des ménages, des services collectifs, de l'industrie et le secteur de l'agriculture, ce dernier qui est le plus important consommateur d'eau, sans considérer aucun changement climatique significatif par rapport à la situation de référence.

Sous le poids de l'évolution démographique et de l'augmentation de la demande en produits agricoles, les besoins du secteur de l'eau vont aller en s'accroissant et la pénurie de l'eau ne peut que s'alourdir et s'aggraver. En réalité, les sécheresses sont susceptibles d'augmenter en fréquence et en intensité, ce qui risque de poser plus de problèmes au système de l'oued Saf-Saf. Il est donc important de prendre en compte cette nouvelle approche en relation avec l'évolution des besoins et les ressources en eau à mobiliser dans le futur.

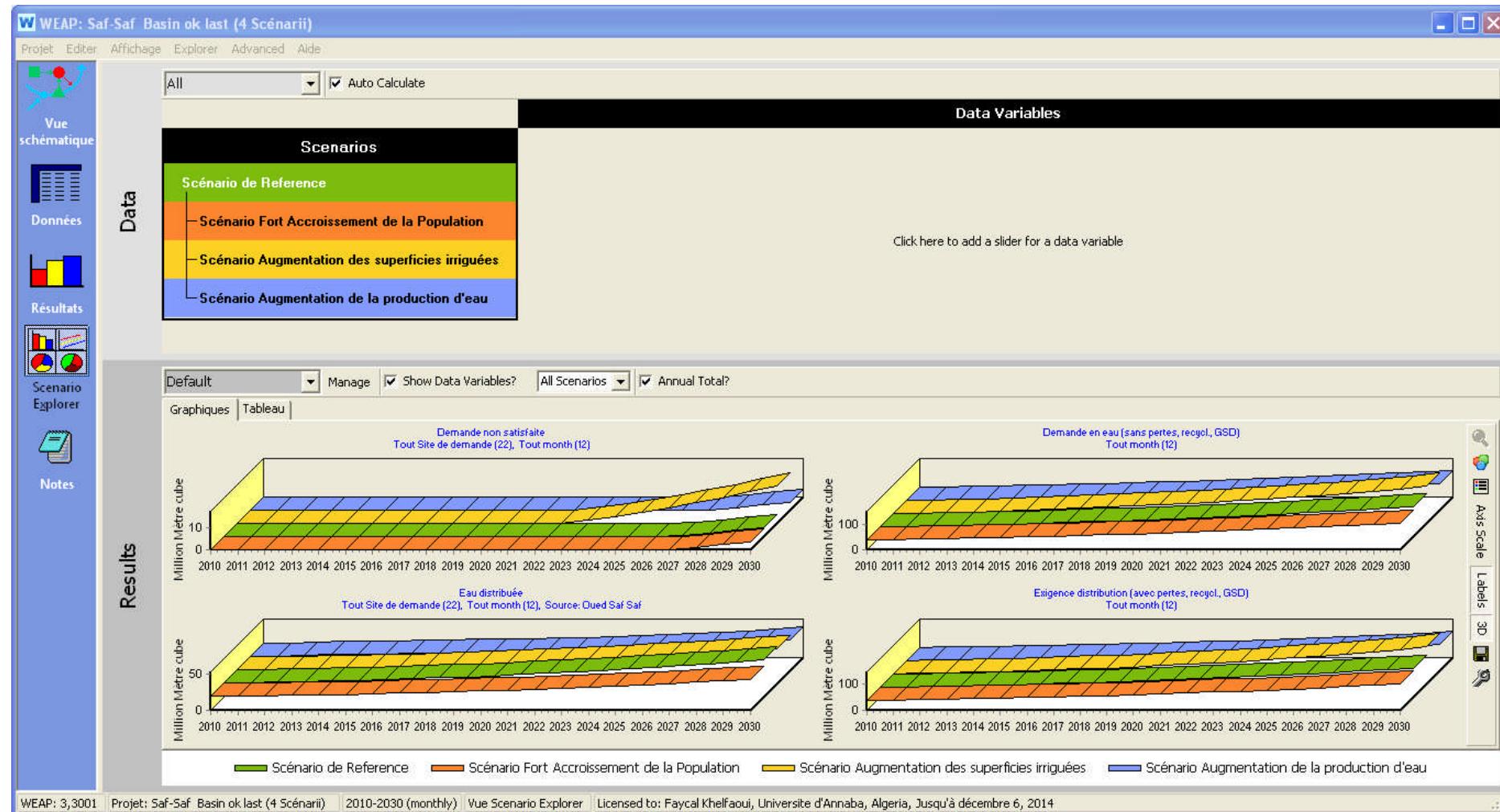


Figure VI.55. Comparaison récapitulative des différents scénarios de mobilisation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf (2010-2030).

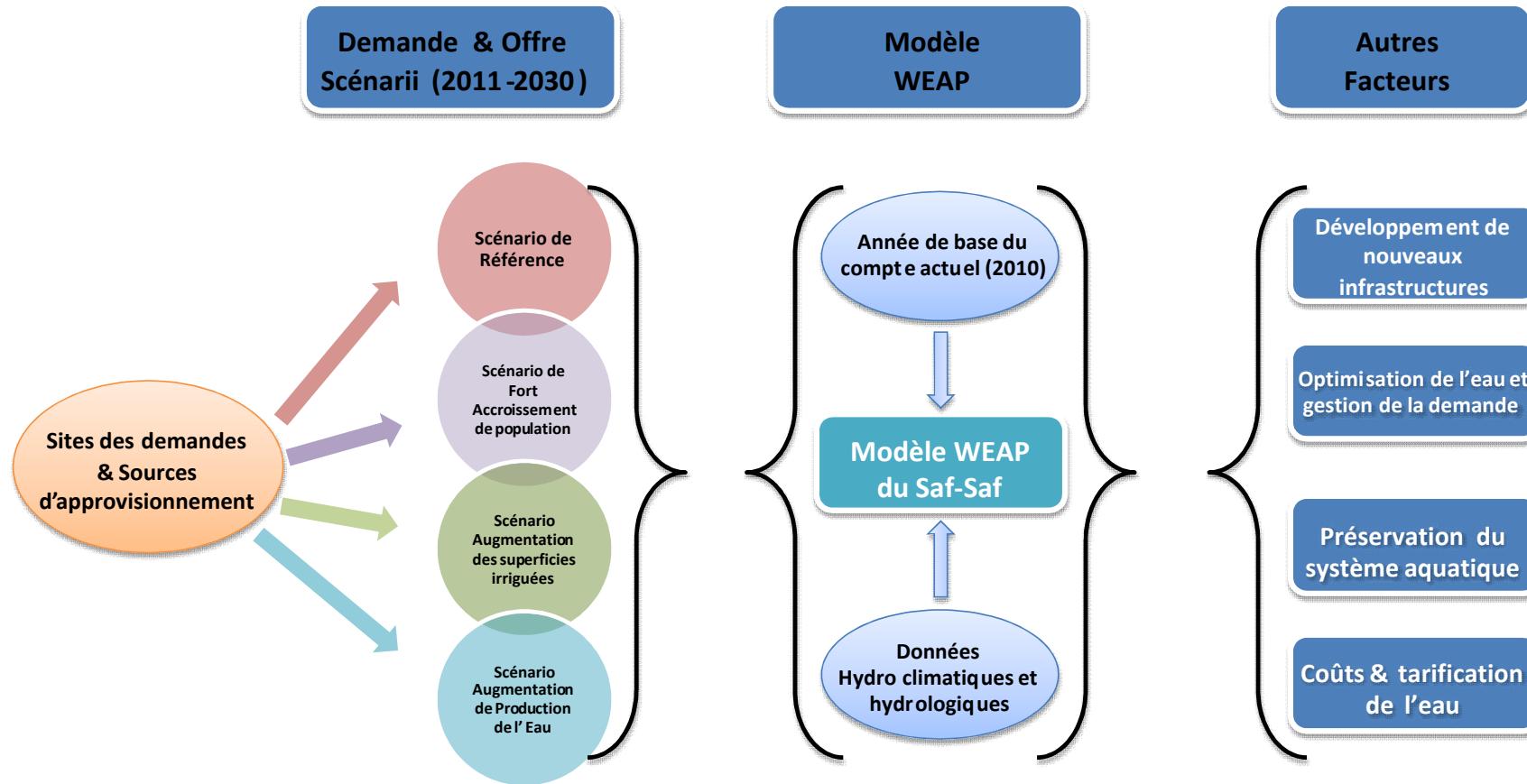


Figure VI.56. Disposition des scénarios retenus et données de base du modèle WEAP dans le bassin du Saf-Saf.

VII. Confrontation offre-demande en eau dans le bassin du Saf-Saf

En raison de la croissance démographique et des besoins en eau induits par le développement industriel et agricole, les ressources en eaux potentielles du bassin du Saf-Saf s'avèrent insuffisantes à l'horizon 2030, tandis que les coûts liés à leur mobilisation se feront de plus en plus lourds et les offices en place incapables de gérer rationnellement cette ressource.

La tension sur la demande exercée concurremment par les secteurs de l'agriculture et de l'industrie, et plus fortement encore par la population en constant accroissement, sera de plus en plus forte, au point qu'il sera nécessaire de réguler la consommation par le prix.

La confrontation entre les demandes et les ressources en eau a le sens d'une comparaison des données actuelles ou projetées, elle sert en principe à constater l'adéquation des ressources (elles sont significativement supérieures aux demandes), ou à révéler les problèmes posés par l'éventualité d'une pénurie d'eau plus ou moins long terme.

Le bassin du Saf-Saf d'une pluviométrie moyenne annuelle de 690 mm, présente le paradoxe d'être une région riche en eau, cependant, ces besoins en eau restent loin d'être satisfait.

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans le bassin du Saf-Saf s'élèvent en 2011 à près de 39,63 millions de m³ par an, dont 50,26 % sont des besoins domestiques et industriels. Et selon les projections du WEAP, les besoins en globaux s'élèveront à moyen terme (2020) à plus de 62 millions de m³ par an. Ces besoins atteindront à l'horizon 2030 les 105 millions de m³ par an, dont plus 57 % sont proprement des besoins en eau d'irrigation. Dont les ressources en eau naturelles renouvelables sont estimées à 151,82 millions de m³ par an (écoulement superficiel 121,37 millions de m³ par an et nappes 30,45 millions de m³ par an).

S'il est admis que l'offre ne présente pas un potentiel de croissance parallèle à celui de la demande, les situations de rareté de l'eau dans le bassin du Saf-Saf vont se multiplier dans les années à venir, surtout avec une population qui ne cesse à croître. Les ressources en eau actuellement mobilisées sont de l'ordre de 56,36 millions de m³ par an, intégrant les apports d'eau provenant des bassins avoisinants, soit un indice de consommation⁽¹⁾ de l'ordre de 29,5% (en 2011). Ce taux est bien un indicateur de risque de pénurie s'il approche de 100 %. Dès qu'il est supérieur à 50 %, on peut considérer en général qu'il y a présomption de risque de pénurie conjoncturelle plus ou moins localisée.

A court terme (2015), l'indice de consommation dans le bassin du Saf-Saf est de l'ordre de 34 %, il s'élève à l'horizon 2020 à 44 %. A long terme (2030), il peut atteindre 59 %, signalant un risque de pénurie, nécessitant une gestion rationnelle des ressources en eau dans le bassin.

⁽¹⁾ : Indice de consommation : ratio entre la somme des consommations et les ressources en eau naturelles renouvelables.

Tableau VI.21. Demande en eau globale et indices de consommation des différents usagers dans le bassin du Saf-Saf - Scénario de référence (2011-2030)-

Demande en eau dans le Saf-Saf (Mm ³)	Années				
	2011	2015	2020	2025	2030
Demande en eau globale	39,63	48,63	62,91	81,51	105,77
Indice de consommation (%)	29,50	34,20	43,80	51,30	59,20

La transition majeure vers un équilibre durable entre ressources et demandes en eau est ici encore supposée être essentiellement reliée à la transition démographique (liée aux besoins en eau potable et aux besoins en eau d'irrigation par les objectifs de la sécurité alimentaire). Les auteurs proposent d'expliquer le phasage entre une gestion de la ressource en eau axée sur l'augmentation de l'offre, tant que cela est possible dans les limites des ressources naturelles, et une deuxième phase de gestion de la demande en eau, tâchant d'infléchir la courbe de croissance de la demande lorsque la mobilisation des ressources supplémentaires est trop coûteuse.

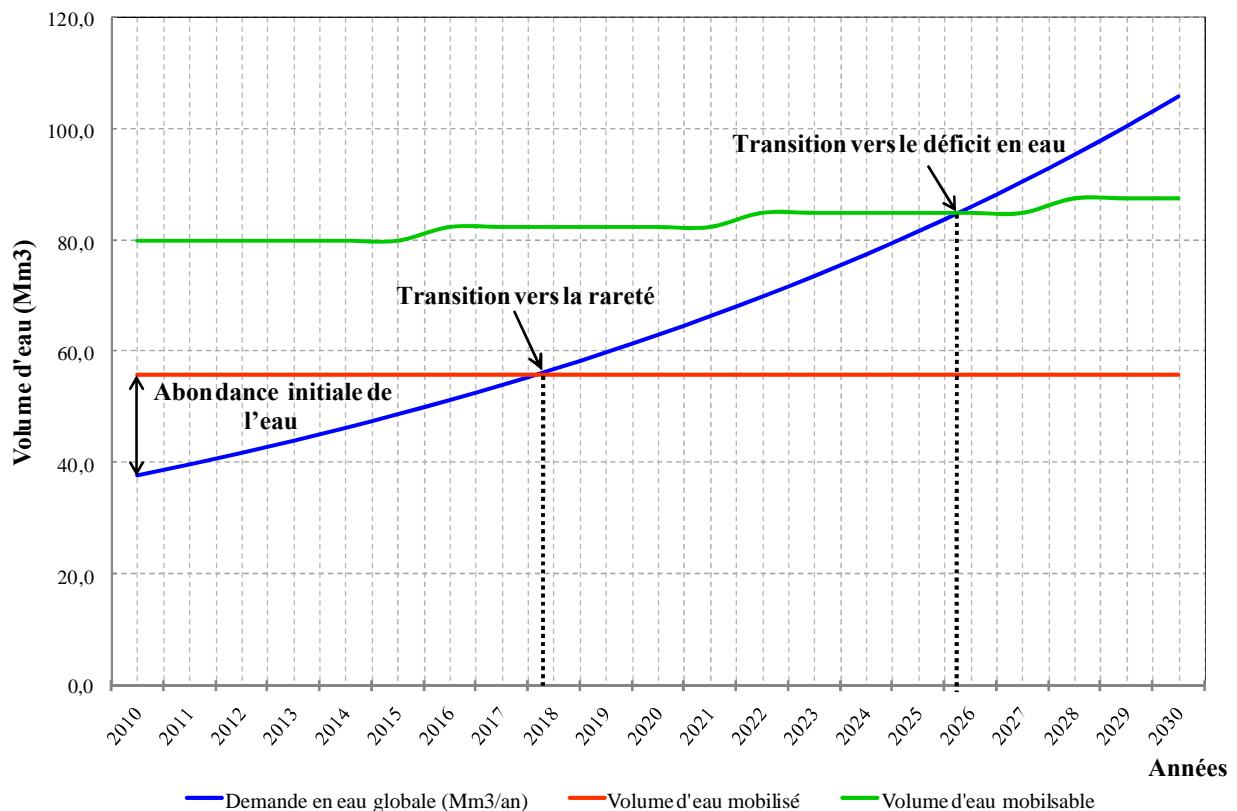


Figure VI.57. Courbe de confrontation de l'offre et la demande en eau dans le bassin du Saf-Saf (2010-2030).

Avec des ressources en eau évaluées à plus de 200 millions de m³ par an pour une population de l'ordre de 450 milles d'habitants, la disponibilité en eau dans le bassin du Saf-Saf est estimée à 448 m³ par habitant et par an (la moyenne nationale est de 500 m³/hab/an). Le bassin est passé alors à un état de stress hydrique, après avoir été depuis quelques dizaines d'années dans un contexte hydrique excédentaire.

Le capital en eau naturelle renouvelable dans le bassin est de 138 millions de m³ par an, cependant, seulement un volume maximal de 80 millions de m³ par an peut être mobilisé du point de vue technique et financier.

On est donc dans la transition vers la rareté de l'eau, où les besoins en eau commencent à dépasser les ressources actuellement mobilisées, nécessitant une révision urgente de la politique hydraulique existante, et améliorer les efforts de mobilisations et d'investissement, par la réalisation des infrastructures hydrauliques (barrages, retenues, forages, sources aménagées, etc.). La stratégie de la petite hydraulique basée sur la réalisation des retenues collinaires de moindres charges financières, paraît la plus adéquate, vu la géomorphologie du bassin du Saf-Saf. Le recours aux transferts d'eau à partir des bassins avoisinants excédentaires (Guebli et Kébir Ouest) est également un moyen de mobilisation des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf.

Avec le temps, la pression sur la ressource en eau devrait de plus en plus très forte, le bassin va passer donc à l'horizon 2026 à une transition vers le déficit en eau, nécessitant le passage à une gestion de la demande en eau, est basée essentiellement sur l'optimisation de l'utilisation de la ressource. Notamment, par les efforts de réduction des pertes dans les réseaux de distribution, le changement des technologies d'usage de l'eau en irrigation, en utilisant des systèmes plus économies de l'eau, où on estime un rendement sur champs est jusqu'à 20 % plus élevé avec la goutte à goutte qu'avec l'aspersion.

La tarification est également un instrument pour la gestion de la demande, elle consiste en premier lieu à inciter le consommateur à limiter ses besoins au strict minimum, et à éviter le gaspillage d'une ressource très limitée, et cela par une sensibilisation de l'usager, pour avoir une idée sur le coût réel du service et de la rareté de la ressource. La tarification incite l'industriel à rechercher les procédés économies d'eau (recyclage des eaux usées industrielles).

Outre, il est admis qu'une politique d'éducation et de sensibilisation des citoyens aux problèmes de rareté de l'eau, est une composante essentielle de toute politique rationnelle de gestion des ressources en eau. Ces actions d'éducation et de sensibilisation pourraient prendre plusieurs formes, allant des campagnes de sensibilisation ponctuelles relayées par les médias, jusqu'à des véritables sessions de plusieurs jours permettant d'apporter une véritable culture d'économie de l'eau.

VIII. Contraintes et défis de la gestion des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf

La politique du bassin quant aux ressources en eau, reste le préalable indispensable à toute démarche de GIRE. Celle-ci doit être bâtie sur une évaluation de toutes les composantes ayant attrait au bassin (milieu naturel et ressources en eau, évaluation sectorielle des différents usages, etc.). Sur la base de cette évaluation globale sont ensuite émis différents objectifs en relations avec les enjeux du bassin (écosystèmes, activités économiques, inondations, etc.).

Les ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf sont subies aux plusieurs pressions, exercées par les besoins croissants des différents usagers, ces besoins sont traduits sous formes de pollutions rejetées (zone industrielle pétrochimique de Skikda, rejets domestiques des agglomérations dans l'oued Saf-Saf, etc.). La situation est aggravée aussi par l'influence des aléas climatiques (périodes de sécheresse, pénuries).

Ces différentes pressions amènent à un état instable des ressources en eau, traduits par une rareté de l'eau, accompagnée d'une diminution des ouvrages hydrauliques de captages (envasement du barrage de Zardézas et de plusieurs retenues collinaires, plusieurs forages sont abandonnés dans la plaine du Saf-Saf). En plus, il y a les risques naturels (inondations de la ville de Skikda en aval du bassin par l'oued Zeramna).

Une situation qui nécessite une réaction et une réponse de certaines catégories de la société (usagers, décideurs, gestionnaire, etc.), pour résoudre ou au moins réduire ces problèmes, par la mise en œuvre d'une nouvelle stratégie basée sur une gestion efficiente qui permet la satisfaction des besoins sociaux et économiques tout en préservant au maximum et durablement la qualité et la quantité des ressources en eau, et l'incitation des usagers à l'économie de l'eau par les différents instruments de régulations (financement, tarification). Aussi de prendre des mesures de protection contre les inondations.

Pour mettre en œuvre une politique de développement des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf, il y a lieu de palier l'ensemble des contraintes de la disponibilité de l'eau. A cet effet, les principaux défis à relever dans le futur pour garantir un développement durable et intégré des ressources en eau, et de satisfaire la demande future dans les prochaines décennies sont les suivants:

VIII.1. Approvisionnement en eau potable en quantité suffisante et en qualité satisfaisante aux moindres coûts

Une maîtrise plus complète des eaux passera souvent par une gestion plus intégrée des eaux superficielles et souterraines, et une planification des ressources en eau vise à mettre en cohérence les options majeures de l'ensemble des secteurs connexes (eau potable, irrigation, industrie, épuration des eaux usées domestiques et industrielles).

Les sources d'approvisionnement en eau potable dans le bassin du Saf-Saf, pour répondre aux besoins de près de 450 milles habitants, restent très limités avec un seul barrage (celui de Zardézas), une station de dessalement et quelques forages captant les eaux de la nappe alluviale du Saf-Saf. Le manque d'eau est compensé par les eaux des bassins avoisinants excédentaires à partir des barrages de Guénitra et Zit el Emba.

L'eau prélevée à des fins agricoles est utilisée principalement à l'irrigation du périmètre du Saf-Saf. L'eau de surface constitue, à quelques exceptions près, la seule source d'approvisionnement en eau agricole (barrage de Zardézas et Guénitra). D'ailleurs, seulement deux secteurs du périmètre irrigué sont actuellement en exploitation, les deux autres restent non opérationnels à cause de l'insuffisance d'eau.

L'industrie ne fait pas exception, elle est alimentée en eau à partir des deux barrages, quelques forages sont également implantés au sein des unités industrielles. Cependant, les pénuries d'eau fréquentes surtout en périodes estivales, ont imposé aux industriels le recours au recyclage des eaux.

La combinaison des différents types et ordres de grandeurs des ressources en eau et des différents degrés de tensions présents entre demandes et ressources détermine une géographie de problèmes et de conflits assez contrastée. Ces problèmes résident principalement aux conflits d'usages, entre les collectivités de l'amont et de l'aval. C'est souvent en amont que se situent les aménagements hydrauliques (barrage de Zardézas en amont du bassin du Saf-Saf), mais c'est en aval (ville de Skikda) qu'on utilise l'eau.

Aux conflits d'usages proprement dit, s'ajoutent les tensions entre usagers de l'eau, qui prennent parfois la forme de concurrence entre les objectifs de sécurité d'approvisionnement en eau, notamment en qualité, et les objectifs de développement socio-économique, la raréfaction des disponibilités en eau rend mal compatible. A cet égard, il est donc nécessaire

de poursuivre les efforts de mobilisation des ressources en eau, et les efforts d'investissements et d'équipement en ouvrages de captage.

A coté de ces grands équipements, la petite hydraulique peut encore contribuer largement à amplifier la maîtrise des eaux.

Les transferts d'eau à longues distances, dont les techniques sont parfaitement maîtrisées, sont engagés dans le bassin du Saf-Saf, avec des transferts d'eau des barrages de Guénitra et Zit el Emba vers la ville de Skikda et sa zone industrielle.

Outre, le recours aux eaux non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer et régénération des eaux usées domestiques et industrielles) est une alternative incontournable dans le bassin du Saf-Saf, surtout pour alimenter le secteur industriel et agricole.

Enfin, la mise en œuvre des économies d'eau par les usagers doit être encouragée par la conjugaison à bon escient (connaissance) des assistances techniques, des incitations financières (mesures tarifaires) et des efforts d'éducation et d'informations.

VIII.2. Sécurité de la population et réduire les dommages causés par les inondations

La nature des régimes hydrologiques et le contexte géomorphologique font que les inondations notamment en milieu urbain, pose une problématique majeure dans le bassin du Saf-Saf. Des dégâts considérables à l'habitat, aux infrastructures de base et à la production agricole ont été constatés en aval du bassin (ville de Skikda). Des dégâts importants ont également enregistrés par des cours d'eau (villes de Ramdane Djamel et Salah Bouchaour).

Cette problématique est amplifiée par l'urbanisation anarchique et non contrôlée, entraînant l'imperméabilisation des grandes proportions du bassin. Ainsi qu'une réduction de la capacité d'écoulement des oueds par le dépôt d'objets encombrants.

La basse ville de Skikda s'étend sur des terrains mitoyens au lit de l'oued Zeramna. Egalement, sa zone industrielle a été implantée et développée tout près de l'oued Saf-Saf. Et en raison de leurs faibles pentes et leur proximité aux oueds, ces zones sont les plus exposées aux inondations lors des crues importantes (telle que la crue de décembre 1984 et récemment la crue du 03 février 2011).

Une cartographie des zones vulnérables aux inondations est donc une tâche primordiale dans la lutte contre ces événements extrêmes. Des mesures de prévention et de protection contre les crues ont été également proposées pour chacun des sites, par la construction des barrages et de retenues d'écrêtelement (le barrage en projet de l'oued Charchar dans la commune de Bouchtata, doté d'un double objectif, il est destiné à servir comme un moyen de protection de la ville de Skikda exclusivement contre les inondations, et l'alimentation en eau de la région).

Aussi, les endiguements dans les zones exposées aux crues de faibles occurrences, la construction des canaux de déviations des cours d'eau et la restructuration des réseaux d'écoulement.

En plus, le renforcement des systèmes de prévisions et d'annonces de crues par la multiplication des stations de mesures hydrométriques, et la proposition des schémas et des plans d'aménagement de prévention des risques d'inondations (P.P.R.I)⁽¹⁾.

Ces mesures prises par les autorités doivent nécessairement être complétées par les initiatives individuelles, par une attitude responsable et consciente des citoyens.

⁽¹⁾ : P.P.R.I : Plan de Prévention de Risque d'Inondations.

VIII.3. Conservation et restauration des écosystèmes aquatiques et du milieu naturel

Les problèmes posés par la pollution de l'eau sont de nature récente et ont accompagné le développement urbain, industriel et agricole dans le bassin. Cependant, les programmes de protection et de conservation de la qualité de l'eau n'ont pas suivi le rythme de mobilisation des ressources en eau, et accusent actuellement un important retard.

La qualité de l'eau dans le bassin du Saf-Saf se dégrade au fur et à mesure que les pressions exercées par les activités socio-économiques s'intensifient.

Les grandes agglomérations dans le bassin, avec une population qui dépasse les 450 milles habitants, génèrent une importante charge polluante. Ses rejets sont déversés directement dans l'oued Saf-Saf ou l'un de ses affluents. Ils présentent donc un risque majeur pour la qualité des eaux de surface. De même, les rejets industriels sont déversés soit dans les réseaux d'assainissement, soit directement dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable.

La situation nécessite donc une stratégie urgente pour arriver le plutôt possible à épurer l'ensemble des rejets liquides et solides avant émission dans le milieu récepteur. Il faut aussi, instaurer et promouvoir des mécanismes permettant de développer la prévention de la pollution industrielle et agricole en adoptant les technologies récentes. L'application du principe " Pollueur- Payeur " est également un instrument pour lutter contre la pollution. Et finalement, il faut développer un observatoire de suivi et de contrôle de la qualité des eaux à travers le bassin.

VIII.4. Gestion des données et amélioration des connaissances dans le secteur de l'eau

La gestion des ressources en eau dans un bassin versant implique une connaissance aussi parfaite que possible de la ressource et sa variabilité dans le temps et dans l'espace, ainsi qu'une évaluation de la partie mobilisable de ces ressources est devient impératif. Parce que rien ne pourrait être fait sans que le gestionnaire possède de données sûres et fiables :

- pour la connaissance de la ressource en quantité et en qualité,
- pour les besoins des divers usagers de l'eau,
- pour les contraintes qu'impose l'activité économique avec les prélèvements et les rejets.

Les données occupent donc une position stratégique vis-à-vis de la mise en œuvre d'une politique d'aménagement des eaux. L'amélioration de l'acquisition de données se fait par le renforcement des réseaux de mesures et de surveillance (stations pluviométriques, de jaugeage, piézomètres et le suivi de la qualité des eaux).

Egalement, l'élaboration d'une banque de données relatives à l'eau, permettant une grande activité scientifique et technique, pour lancer des programmes de recherches appliquées dans le domaine de la maîtrise des ressources en eau dans le bassin.

Conclusion

Le bilan de la gestion des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf est globalement négatif, où le secteur de l'eau potable en milieu rural n'a pas connu un développement aussi important que celui en milieu urbain. L'agriculture souffre également des problèmes de manque d'eau, plus que la moitié du périmètre reste encore non opérationnel (secteur de Skikda et de Salah Bouchaour). En plus, les responsables de la gestion de l'eau plaçant la disponibilité de l'eau pour les besoins d'alimentation en première priorité, n'avaient pas donné suffisamment d'importance à la préservation des écosystèmes dans leurs actions de développement des ressources en eau.

En revanche, la stratégie de gestion des ressources en eau basée essentiellement sur la gestion de l'offre, ne peut pas à elle seule, assurer la satisfaction des besoins des différents usagers de l'eau dans le bassin à moyen et long terme d'une manière durable.

Dans cette optique, une nouvelle stratégie, consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale, susceptible de prévenir les impacts négatifs éventuels. Cette gestion intégrée des ressources en eau devrait être appréhendée en terme de maîtrise des instruments de régulation (tarification et financement), d'amélioration de la gouvernance de l'économie de l'eau, de réduction des pertes en eau dans les réseaux de distribution, de développement de la recherche scientifique dans le domaine de la maîtrise des ressources en eau et entreprendre des vastes programmes d'informations et de sensibilisation des citoyens.



Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations

Ce travail avait pour objectif l'étude prospective de la gestion des ressources en eau dans le bassin du Saf-Saf (Skikda, Nord-Est Algérien). Il a permis d'aborder deux questions importantes dans l'analyse.

La première concerne le diagnostic de l'état de la qualité des eaux. Elle montre que dans l'ensemble, les cours d'eau présentent un état de qualité assez bonne sur la majeure partie de leurs parcours, à l'exception des tronçons situés en aval des rejets urbains et industriels.

Les eaux souterraines ont une composition chimique liée étroitement aux terrains qui les contiennent offrant des eaux sulfatées calciques en amont du bassin, cependant l'aval est caractérisé principalement par des eaux chlorurées sodiques.

La carte de la vulnérabilité du bassin établie par la méthode DRASTIC fait ressortir trois horizons différents où la majorité du terrain est caractérisée par une vulnérabilité moyenne, cependant les zones de fortes vulnérabilité sont situées autour de la ville de Skikda ainsi que sa zone industrielle.

La seconde s'intéresse de l'utilisation de la modélisation pour la gestion de l'eau et les simulations des scénarios (court et moyen terme).

Ce travail a montré l'importance de la modélisation et les bénéfices qu'on peut en tirer dans le cadre d'une analyse prospective.

Dans le secteur de l'AEP et de l'industrie, on a modélisé l'évolution des besoins en eau des ménages et des collectivités en spécifiant des variables explicatives : taux de croissance démographique, de raccordement, l'amélioration du niveau de vie dans le pays, etc. Cela nous a conduits à construire le scénario de référence et de réaliser des simulations tant du côté de la demande (cas de changement dans les paramètres du modèle) que du côté de la production d'eau.

Par contre, dans l'étude du secteur agricole, on a utilisé le scénario d'augmentation des superficies irriguées probables.

Ainsi, ce travail a utilisé un modèle intégré prenant en compte la modélisation de :

- l'utilisation des ressources en eau,
- flux d'écoulements de l'eau,
- et l'équilibre du bilan hydrique du bassin.

Un autre axe de notre travail s'est focalisé sur l'estimation des besoins en eau du bassin pour l'ensemble des secteurs utilisateurs (ménages, services collectifs, industrie et agriculture) et la simulation des scénarios alternatifs pour la réalisation, non seulement de l'équilibre entre production et demande en eau au cours de la période 2011-2030, mais aussi de l'autosuffisance hydrique du bassin dont les ressources externes représentent actuellement plus de 38 % du total des ressources.

Nos résultats ont montré les vulnérabilités du bassin vis-à-vis des :

- demande en eau potable importante à l'horizon 2030 (plus de 105 millions de m³ dont 44,7 millions de m³ pour les ménages).
- secteur agricole, prélevant presque exclusivement des nappes, accentuera la surexploitation des ressources en eau souterraines dont la nappe alluvionnaire.

Face à cette situation, on a simulé un scénario alternatif de recommandations pour faire face à cette augmentation future des besoins en eau dans le bassin. Les résultats obtenus pour les différents secteurs sont les suivants :

- dans le secteur de l'AEP, la mise en fonction d'une station de dessalement de l'eau de mer (SDEM) de capacité nominale de 100 000 m³ en plein régime permet de renforcer les ressources mobilisées surtout pour les villes situées en aval du bassin (Skikda, Hamadi Krouma, Beni Bachir et Salah Bouchaour au centre du bassin).
- l'augmentation des capacités de traitement d'eaux usées en faveur de l'irrigation est une option qui va résorber le déficit et soulager les nappes souterraines. Néanmoins, le bassin ne garantira pas son autosuffisance hydrique et aura de nouveau recours à des transferts externes à partir de 2019 pour satisfaire les besoins croissants des différents usagers.
- dans le secteur agricole, actuellement une croissance de 3% des superficies agricoles irriguées fera apparaître un taux moyen d'exploitation des ressources souterraines de près de 140% pour l'ensemble du bassin. Cela veut dire la nécessité de mettre en place des programmes d'irrigation diversifiés qui ne font pas peser du poids de l'irrigation uniquement sur les prélevements souterrains.
- la simulation d'une plus grande mobilisation des ressources de surface, à travers la mise en place d'une station de dessalement de l'eau de mer, permet d'alléger le taux d'exploitation de la nappe des alluvions 1.

Toutefois, c'est surtout le traitement des eaux provenant des ménages et des collectivités et leur réutilisation par le secteur agricole, permettra de contribuer à résoudre la question de l'assainissement en aval du bassin. La mise en place d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) alimentée à hauteur de 60% des eaux de retour des ménages et des collectivités permettra une exploitation optimale des ressources souterraines et de développer le secteur 1 du périmètre irrigué.

Dans ce contexte délicat, seule une nouvelle stratégie consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale susceptibles de prévenir les impacts négatifs éventuels. Cette gestion éfficiente des ressources en eau devrait être appréhendée en terme de maîtrise des instruments de régulation (tarification), optimiser l'utilisation de la ressource par la mise en œuvre d'une gestion de la demande, de développer la recherche scientifique dans le secteur de l'eau et entreprendre de vastes programmes d'informations et de sensibilisations des usagers à l'économie de cet élément vital.

Cependant, des efforts restent à faire dans le domaine de la protection quantitative et qualitative des ces ressources en eau, les recommandations suivantes sont proposer pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans le bassin du Saf-Saf :

Au niveau des infrastructures

1. Maintenir et renforcer les efforts de mobilisation de l'eau par la construction des ouvrages de captages (barrages, retenues, forages, etc.) et la préservation des infrastructures hydrauliques déjà existants.
2. La poursuite du développement par les SDEM des ressources issues du dessalement. L'avantage de cette opération est de découpler la mobilisation de l'eau des aléas

climatiques et de mobiliser une ressource qui est inépuisable (l'eau de mer). Celle-ci peut même être utilisée pour la recharge artificielle des nappes. Il reste toutefois à évaluer précisément le coût financier de la production de l'eau ainsi que de résoudre le problème lié aux rejets des saumures.

3. Le développement du traitement des eaux usées par les STEP et leur réutilisation dans le secteur agricole. En effet, ils permettent non seulement d'augmenter les capacités d'irrigation et de soulager l'exploitation des nappes souterraines mais aussi de diminuer les déversements des eaux usées dans l'oued Saf-Saf et ses affluents réduisant la pollution et préservant ainsi la qualité de l'eau.
4. La récupération des eaux de surface, par des barrages et des retenues collinaires. Le barrage en projet de l'oued Charchar dans la commune de Bouchtata, doté d'un double objectif est destiné à servir comme un moyen de protection de la ville de Skikda contre les inondations et l'alimentation en eau de la région. Ainsi, le barrage de Ramdane Djamel a pour rôle de servir de barrage écrêteur en amont du barrage de Zerdézas.

Au niveau des économies dans les prélèvements

5. Il s'agit de développer et de vulgariser les méthodes d'irrigation modernes qui permettent de réaliser des économies de l'efficience des systèmes d'irrigation (pivots centraux, etc) et l'introduction des méthodes de gouttes à gouttes permet de réduire les prélèvements.
6. Une gestion active des ressources en eau et de leur distribution doit permettre de réduire les pertes dans le réseau de distribution et la demande exprimée à travers des campagnes de sensibilisation au niveau des secteurs utilisateurs.
7. Une tarification plus large de l'eau faisant payer plus chères les tranches de consommation supérieures pouvant être envisagées pour inciter les utilisateurs à un moindre gaspillage de cette ressource rare.

Au niveau de la gestion des ressources en eau

8. Les institutions internationales recommandent une gestion intégrée des ressources en eau (Integrated Water Resource Management). Il est important de mettre en développement cette approche dans notre bassin pour tenir compte à la fois des dimensions sociales, économiques, environnementales et techniques de maîtrise des ressources hydriques.
9. La gestion de la demande de l'eau est actuellement faite par des entreprises étrangères dans le cadre de contrat de gestion. Il convient de développer et de valoriser parallèlement les ressources humaines nationales par le transfert des compétences et par la contribution des universités pour arriver à une gestion optimale des ressources en eau dans le bassin.
10. Il est important de mettre en place un système performant de données hydrologiques, hydrogéologiques, la prévision hydrométéorologique, et l'amélioration du réseau d'observation hydrométrique par l'implantation des stations de jaugeage et des stations pluviométriques.
11. Le suivi systématique de la piézométrie permet d'avoir une convergence numérique du potentiel souterrain disponible et de généraliser la modélisation au niveau des administrations de l'hydraulique comme un outil d'analyse et d'aide à la décision.

Au niveau de protection du milieu naturel et aquatique

12. La maîtrise et l'atténuation des impacts négatifs de la pollution sur le potentiel des ressources en eau par la surveillance permanente de la qualité des eaux.
13. Eviter le déversement direct des rejets urbains et industriels dans l'oued Saf-Saf et ses affluents sans traitements préalables.
14. Installation de stations d'épuration pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles.
15. Réalisation des périmètres de protection autour des sources potentielles d'approvisionnement en eau (forages, barrages, retenues, etc).

Cette étude, menée au niveau du bassin versant du Saf-Saf porte un certain nombre d'informations et de précisions pourront orienter les futurs travaux dans le domaine de la maîtrise et de la gestion des ressources en eau dans un contexte du développement durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Aké G.E., et al, (2009). Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-17.
2. Akivaga E. M., et al, (2010). Impact of introducing reserve flows on abstractive uses in water stressed catchment in Kenya: Application of WEAP21 model. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(16), pp. 2441-2449, 4.
3. Alfarra A., et al, (2012). Modeling water supply and demand for effective water management allocation in the Jordan valley. Journal of Agricultural Science and Applications (JASA). Vol. 1, No. 1, Mar. 2012 PP. 1-7.
4. Al Omari A., Salman A. & Karablieh E., (2013). The red dead canal project: an adaptation option to climate change in Jordan, Desalination and Water Treatment, DOI: 10.1080/19443994.2013.819168.
5. Amrani L., Seghirou D., (1998). Etude hydrogéologique du bassin versant de l'oued Saf-Saf. Wilaya de Skikda. Mémoire d'ingénieur, Université de Constantine. 125p.
6. Annie Erhard C., Margat J., (1979). L'eau, première matière ; Ressources, utilisations, besoins et demandes, coût et prix, prélèvements et consommations. Edition BRGM. Orléans. Cedex
7. Annie Erhard C., Margat J., (1983). Introduction à l'économie générale de l'eau. Edition Masson. Paris. 361p.
8. Aoun. S., (2003). Hydrochimie des eaux souterraines de zone industrielle de Skikda, explication de l'origine de la minéralisation. Mémoire d'ingénieur. Université d' Annaba. 82p.
9. Arafat A. R., (2009). Integrated water resources planning for a water-stressed basin in Palestine. Masters of Science, An-Najah National University. 97p.
10. Bruce P. H., (2003). Integrated Water Resources Managementand River Basin Governance. Universitiescouncil on water resources. Water resources update, ISSUE 126, pages 12-20.
11. Bakir. H. A., (2001). Sustainable waste water management for small communities in the Middle East and North Africa. Journal of Environmental Management. 61, p 319-328.

12. Belkhiri L., (2005). Etude hydrogéologique et problèmes de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Aïn-Azel -Wilaya de Sétif- (Est Algérien). Mémoire de magister. Université de Batna. 168p.
13. Ben Abdelmalek M., (2013). Elaboration d'un modèle de gestion pour les bassins versants transfrontaliers Tuniso-Algérien. Mémoire d'ingénieur. Institut national agronomique de Tunisie. 69p.
14. Ben Rabah S., (2006). Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (Essai de synthèse): Bilan-Gestion-Perspective. Mémoire de Magister, Université Annaba. 150p.
15. Ben Redjem. R, Boularoug. W., (2006). Hydrogéologie et hydrochimie de la zone industrielle, wilaya de Skikda. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba. 109p.
16. Blanco Guétirrez I., (2010). Economic-hydrologic analysis of water management strategies for balancing water for nature and water for food. Thèse de doctorat de l'université Politécnica de Madrid. L'Espagne. 258p.
17. BNEDER. (2005). Etude d'inventaire et d'évaluation des ressources en eau souterraines dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (amont). Phase 1, Phase 3.
18. Bouchtata M. et Hafs N., (1999). Exploitation et Gestion des eaux dans la Wilaya de Guelma (essai de synthèse). Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba. 107p.
19. Boukhedcha N., (2002). Contribution à l'étude hydrologique de la vallée du Saf-Saf. Mémoire de magister. Université de Constantine.
20. Bouklia Hassane R., (2011). Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran. Mémoire de magister. Université d'Oran.129p.
21. Boulgheb M. A., (2011). Implantation et suivie d'un forage d'eau. Mémoire des études approfondies. Université d'Oran. 117p.
22. Boulghobra N., (2006). Protection de la Ville de Skikda contre l'innondation – Essai de P.P.R.I- . Mémoire de magister. Université de Batna.179p.
23. Bourouh H., (2002). Etude hydrogéologique et pollution des eaux du bassin versant de l'oued Saf-Saf Wilaya de Skikda. Mémoire d'ingénieur, Université de Constantine. 261p.
24. Bourourou. N., (2006). Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'oued Saf-Saf aval, wilaya de Skikda. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine. 115 p.
25. Bousnoubra H. (2002). Les ressources en eau des régions ; Skikda, Annaba, El Tarf, Guelma, Souk Ahras (Nord Est Algérien). Evaluation, gestion et perspectives, vulnérabilité et protection. Thèse de doctorat d'état. Université d'Annaba. 159 p.

26. Bowen R.E. et Riley C., (2003). Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean& Coastal Management* 56, 299-312.
27. Chaffai H. et al, (2006). Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de Skikda; Application de la méthode DRASTIC. *Bulletin du Service Géologique National*. Vol.17.n°1, pp 63-74.
28. Chouchane S. et al, (2013). A new conceptual water integrated model for the Seybouse basin, Annaba region. *Desalination and water treatment*, 52 (2014) 2102–2113.
29. Cour J., (2010). Gestion des eaux du bassin de la Haute Comoé (Burkina-Faso). Projet WAIPRO (USAID. (IWMI) Institut International de Gestion de l'eau. Ouagadougou, Burkina Faso.
30. CTI, Engineering international, (2010). The study on the integrated water resources management for the SEFIDRUD river basin in the Islamic Republic of Iran, Volume 1, May 2010.
31. Dan R., Jesper K., (1983). Integrated water resources management within the Susl basin. Scientific Procedures Applied to the Planning, Design and Management of Water Resources Systems (Proceedings of the Hamburg Symposium, August 1983). IAHS publ. n°. 147.
32. Djombo V.A., (2010). Evaluation et allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama ; Contribution du modèle WEAP. Mémoire de master en GIRE. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et d'Environnement (2iE). 37p.
33. Energo-Projekt & MRE., (2010). Présentation des unités hydrogéologiques, carte des ressources en eau souterraines du Nord de l'Algérie. Région Est. 68p.
34. Esqueda G. S.T., Ospina N. J. E., Gay-García C. & Conde C., (2011). Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. *Atmósfera* 24(1), 141-155 (2011).
35. Francesco. R.K, Francesca. T, Stefano. C., (2001). An integrated model for water resources management at basin level. Scientific Assembly at Maastrich. The Netherlands. IAHS. Publ N° 268.
36. Gert A. S., (2001). Integrated water resources management: the requirements of the European Union, the problem of environmental impact assessment, and implementation of the sustainable development principle. *Integrated Water Resources Management* (Proceedings of a symposium held at Davis. California. April 2000). IAHS Publ .n°. 272.

37. Gladwell J. S., (1986). International cooperation in water resources management, helping nations to help themselves, *Hydrological Sciences Journal*, 31:4, 515-527. DOI: 10.1080/02626668609491071.
38. Gupta A. D., (2001). Challenges and opportunities for water resources management in southeast Asia, *Hydrological Sciences Journal*, 46:6, 923-935, DOI: 0.1080/02626660109492886.
39. GWP & RIOB., (2009). *Manuel de Gestion intégrée des ressources en eau par bassin*. Elanders, Suède, 2009. ISBN : 978-91-85321-73-5.
40. Hamlat AEK., Errih M. et Guidoum A., (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arab Journal of Geosciences*. (2013) 6:2225–2236. DOI 10.1007/s12517-012-0539-0.
41. Harma K. J., Johnson M.S. et Cohen S. J., (2012). Future water supply and demand in the Okanagan basin, British Columbia: a scenario-based analysis of multiple, interacting stressors. *Water Resources Management* (2012) 26:667–689. DOI 10.1007/s11269-011-9938 -3.
42. Hendrickx F. et Sauquet E., (2013). Impact of warming climate on water management for the Ariège River basin (France), *Hydrological Sciences Journal*, 58:5, 976-993, DOI: 10.1080/02626667.2013.788790.
43. Hoff H., Swartz C., Tielborger K. & Yates D., (2007). Water management under extreme water scarcity: scenario analyses for the Jordan river basin, using WEAP21. CIHEAM, 2007. p. 321-331(Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n° 56 Vol. II).
44. Ismail S., (1998). Managing water resources sustainably ; challenges and solutions for the new millennium. *La Houille Blanche*, n° 2.
45. Kadi A., (1997). La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological Sciences Journal*, 42:2, 191-197. DOI: 10.1080/02626669709492019.
46. Khelfaoui F., Zouini D. et Tandjir L., (2014). Quantitative and qualitative diagnosis of water resources in the Saf-Saf river basin (North East of Algeria). *Desalination and water treatment*, 52 (2014) 2017-2021, DOI : 10.1080/19443994.2013.815583.
47. Khelfaoui F. et Zouini D., (2010). Gestion intégrée et qualité des eaux dans le bassin versant du Saf-Saf (wilaya de Skikda, Nord-Est algérien). *Revue Nature et Technologie*. Université de Chlef, n°3, Juin 2010. pp 50-56.

48. Khelfaoui F., Tandjir L., Zouini. D & Bentouilli. M. Y., (2010). Issues and Challenges for an integrated and sustainable management of water resources in the watershed of Saf-Saf (North East of Algeria)". International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brasil, 1(1), Décembre 2010, pp. 198-204.
49. Kjeldsen T. R., Lundorf A. & Rosbjerg D., (1999). Barriers to sustainable water resources management, a Zimbabwean case study. Hydrological Sciences Journal, 44:4, 529-539, DOI: 10.1080/02626669909492250.
50. Kouam Kenmogne G.R. et al, (2006). Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique : Cas du Cameroun. Vertigo – La revue en sciences de l'environnement, Vol 7, n°2, septembre 2006.
51. Mannocchi F., Todisco F. & Casadei S., (2001). An integrated model for water resources management at basin level. Regional Management of Water Resources (Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS. Scientific Assembly at Maastricht, The Netherlands, July 2001). IAHS Publ. n° 268.
52. Maou A., (2001). Estimation des crues de référence pour les plans de prévention du risque inondation. Cas du bassin versant du Saf-Saf, N.E algérien. Mémoire de magister, Université d'Annaba. 118p
53. Milano M., (2012). Changements globaux en méditerranée; impacts sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau. Thèse de doctorat de l'université de l'université Montpellier 2. 152p.
54. MRE & Groupement BCEOM – BG – SOGREAH., (2003 - 2005). Etude d'actualisation et de finalisation du plan national de l'eau (PNE) des régions hydrographiques Centre et Est. Rapports des missions (1, 2, 3). 85p.
55. MRE & Groupement SOFRECO – Grontmij/Carl - Bro – Progress – OI Eau., (2010, 2011). Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau (PNE). Rapports des missions (2, 3, 4, 5). 86p.
56. Neil S. G., (2008). Integrated water resources management: balancing views and improving practice, Water International, 33:3, 279-292, DOI: 10.1080/02508060802272820.
57. Okounde J.E., (2010). Problématique d'alimentation en potable de la ville de djougou : contribution de la GIRE. Mémoire de master en GIRE. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et d'Environnement (2iE). 55p.

58. Ouled Zaoui S., Snani S. et Djebbar Y., (2010). Management of Water Resources at the Souk Ahras region. International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brasil, 1(1), pp. 213-218, jan./jun. 2010.
59. Pierrette L., (1998). Considérations générales sur la politique de l'eau au 21ème siècle. La Houille Blanche, N° 2.
60. Rakotondrabe F., (2007). Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar). Mémoire des études approfondies de l'école supérieure polytechnique d'Antananarivo. Madagascar. 87p.
61. Raskin P., et al. (1992). Simulation of water supply and demand in the Aral sea region. Water International, 17 (1992) 55-67.
62. Rihia Dj., (2012). Impacts environnementaux et sanitaires relatifs aux sites pollués urbains et industriels dans la région de Skikda (cas des eaux souterraines). Mémoire de magister. Université d'Annaba. 98p.
63. Rochdane S., et al, (2012). Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya watershed (Morocco), with potential adaptation strategies. Water 2012, 4, 28-44; doi:10.3390/w4010028. ISSN 2073-4441.
64. Rodier J., et al. (2009). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 9^{ème} édition. Dunod. Paris.
65. Sharda M., (2004). Integrated water resource management in Trinidad and Tobago. International Institute for Applied Systems Analysis. Schlossplatz 1. A-2361 Laxenburg, Austria. IR-04-008. 16 pages.
66. Sakaa B., Chaffai H. & Hani A., (2012). 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 Journal of Geosciences. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0654-y>.
67. Sakaa B., Chaffai H., Aoun Sebait B. & Hani A. (2013). The modeling of response indicators of integrated water resources management with artificial neural networks in the Saf-Saf river basin. Rev. Sci. Technol., Synthèse n°26. p 75 – 85.
68. Sakaa B., (2013). Développement durable, vers un modèle de GIRE dans le bassin versant de Saf-Saf. Thèse de doctorat en sciences. Université d'Annaba. 156p.

69. Salaün G., (2006). Gestion de la ressource en eau, acteurs non gouvernementaux et développement institutionnel. Le cas de la France sur le bassin du fleuve Sénégal. Mémoire de master. Recherche Sciences de Gouvernement Comparées. Université Pierre Mendès- Grenoble. France. 108p.
70. Saleth R. M., (2011). Water scarcity and climatic change in India: the need for water demand and supply management. *Hydrological Sciences Journal*, 56:4, 671-686, DOI: 10.1080/02626667.2011.572074.
71. Sanjaq L.M., (2009). The use of water evaluation and planning "WEAP" program as a planning tool for Jerusalem water undertaking "JWU" service area. Master of water and environmental engineering. An-Najah National university. Nablus, Palestine. 103p.
72. Shrivastava G., (2006). Eco-hydrology and water resources management: a pilot study in Trinidad. *Hydrological Sciences Journal*, 51:6, 1163-1176. DOI. : 10.1623/hysj.51.6.1163.
73. Sieber J., Swartz C. and Huber-Lee A., (2005). WEAP user guide, Stockholm Environmental Institute SEI. U.S. Center .Boston, USA.
74. Sieber J. et Purkey D., (2011). Water evaluation and planning system user guide. Stockholm Environment Institute, U.S. Center. 335p.
75. Sivakumar B., (2011). Water crisis: from conflict to cooperation, an overview, *Hydrological Sciences Journal*, 56:4, 531-552, DOI: 10.1080/02626667.2011.580747.
76. Stockholm Environmental Institute SEI., (2005). WEAP tutorial. A collection of stand-alone modules to aid in learning the WEAP software. 194p
77. Tandjir L., (1997). Utilisation agricole des eaux usées non conventionnelles dans la Wilaya de Skikda». EDIL Inf - EAU. Bulletin International de l'Eau et de l'Environnement. N° 16, p 4 et 5. ISSN 1111- 4916.
78. Tandjir L., (2008). The Hydro systems of the area of Skikda (Algeria). Publication Chatila. Beirut. Juillet 2008.
79. Tandjir L., (2009). Maillage des réseaux d'Adduction d'Eau Potable : l'expérience algérienne. Magazine Wold Water Arab. Juillet (2009).
80. Thivet G. et Blinda M., (2008). Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. XIIIème Congrès Mondial de l'Eau. Plan Bleu Centre d'Activités Régionales 15, rue Ludwig Van Beethoven Sophia-Antipolis 06560 Valbonne – France. 16p.
81. Thomas R.K., Allan L. et Dan R., (1999). Barriers to sustainanble water resources management – a Zimbabwean case study-. *Journal des Sciences Hydrologiques*. 44 (4).

82. Traoré F., (2012). Optimisation de l'utilisation des ressources en eau du bassin du Kou pour des usages agricoles. Thèse de Doctorat de l'université de Liège. Belgique. 163p.
83. Treyer S., (2006). A quelle raréfaction de l'eau faut – il se préparer ? Construire une intervention prospective au service de la planification pour les ressources en eau en Tunisie. Thèse de doctorat d'état de l'école nationale du génie rural, des eaux et des forêts, ENGREF. 670p.
84. Triquet C. & Couture M., (1978). Gestion des eaux intérieures au Québec : Activités fédérales dans le domaine des eaux au Québec. Canadian Water Resources Journal, 3:4, 18-37, DOI: 10.4296/cwrj0304018.
85. Upadhyay K. & Salman M. A. S., (2011). Legal aspects of sharing and management of transboundary waters in South Asia: preventing conflicts and promoting cooperation. Hydrological Sciences Journal, 56:4, 641-661, DOI: 10.1080/02626667.2011.576252.
86. Uthman Khader Abdo R., (2009). Evaluation of urban water supply options using WEAP: the case of Nablus city. Master of water and environmental engineering. An-Najah National university. Nablus, Palestine. 72p.
87. Vadim I.S., (1999). Integrated water resources management in the republic of Uzbekistan. IWRA. Water International, vol 24, N° 2, p 104-104.
88. Valiron F., (1984). Gestion des eaux, principes, moyens et structures. Tome I, 1^{ère} édition. ISBN. 350 p.
89. Valiron F., (1989) .Gestion des eaux, alimentation en eau et assainissement. Tome II, 2^{ème} édition. ISBN. 501 p.
90. Wenger R., Rogger C. & Wymann von Dach S., (2003). Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) – La voie du développement durable. Inforessources. Focus n°1/03. 16p.
91. Yates, D., et al. (2005a). WEAP21 - A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2: Aiding fresh water ecosystem service evaluation. Water International, 30, 501-512.
92. Yates D., et al. (2005b). WEAP21- A demand, priority, and preference-driven water planning model. Water International, 30:4, 487-500, DOI: 10.1080/02508060508691893.
93. Zannou A. B. Y., (2011). Analyse et modélisation du cycle hydrologique continental pour la gestion intégrée des ressources en eau au Bénin. Cas du bassin de l'Ouémé à Bétou. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi (UAC) Cotonou, République du Bénin. 315p.

94. Zeghaba N., (2011). Etude du chimisme des eaux souterraines et de surface de la basse vallée de l'oued Saf-Saf. Skikda (N-E Algérien). Mémoire de magister. Université d'Annaba. 132p.
95. Zeitouni N. & Dinar A., (1997). Mitigating negative water quality and quality externalities by joint management of adjacent aquifers. Environmental and Resource Economics 9. 1-20, 1997. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Sites Internet consultés

www.abh.org.dz
www.deswater.com
www.hydrogeologie.com
www.ineris.fr
www.inra.fr
www.legalis.net
www.link.springer.com
www.mre.gov.dz
www.oieau.fr
www.riob.org
www.semide.org
www.sndl.cerist.dz
www.univ-montp2.fr
www.u-picardie.fr

Annexes

Précipitations mensuelles à la station de Skikda (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
1970-1971	5,0	186,4	5,7	84,8	148,7	110,0	156,3	65,7	36,1	3,0	1,3	0,3	803,3
1971-1972	37,0	127,3	71,6	33,6	128,7	69,1	92,7	94,9	51,0	5,7	1,1	2,4	715,1
1972-1973	50,6	89,2	7,2	175,6	194,6	115,6	125,2	17,7	2,1	18,6	6,0	5,2	807,6
1973-1974	32,5	31,7	32,5	78,4	19,9	80,9	42,1	82,6	2,4	1,3	7,0	0,0	411,3
1974-1975	29,1	166,3	74,0	57,6	25,6	55,8	72,7	9,2	58,2	6,2	0,0	21,3	576,0
1975-1976	4,2	25,0	156,3	81,2	92,5	113,8	82,4	34,4	47,1	26,6	0,0	23,8	687,3
1976-1977	22,6	18,6	139,0	28,0	54,0	44,0	17,0	67,0	62,0	19,0	0,0	21,0	492,2
1977-1978	24,0	11,0	151,0	22,0	124,0	116,0	62,0	77,0	37,0	8,0	0,0	1,0	633,0
1978-1979	9,0	81,0	139,0	51,0	111,0	169,0	95,0	211,0	13,0	20,0	10,0	3,0	912,0
1979-1980	51,0	73,0	112,0	38,0	48,0	30,0	94,0	74,0	56,0	1,0	0,0	1,7	578,7
1980-1981	19,0	88,0	151,0	240,0	87,0	101,0	51,0	39,0	17,0	21,0	1,0	46,0	861,0
1981-1982	14,0	67,0	37,0	188,0	141,0	128,0	121,0	59,0	37,0	7,0	0,5	12,0	811,5
1982-1983	14,6	100,0	232,0	156,0	21,0	37,0	70,0	13,0	23,0	0,7	0,5	8,0	675,8
1983-1984	55,0	91,0	119,0	62,0	204,0	161,0	104,0	52,0	22,0	14,0	0,0	0,9	884,9
1984-1985	68,0	148,0	27,0	343,0	148,0	76,0	172,0	21,0	29,0	0,0	0,0	2,0	1034,0
1985-1986	42,0	22,0	66,0	50,0	162,0	82,0	88,0	55,0	12,0	18,0	13,0	3,0	613,0
1986-1987	24,0	86,0	149,0	157,0	140,0	246,0	89,0	36,0	82,0	4,0	11,0	1,0	1025,0
1987-1988	30,0	30,0	116,0	50,0	111,0	111,0	55,0	36,0	37,0	24,0	0,0	1,0	601,0
1988-1989	58,0	4,0	130,0	147,0	48,0	53,0	23,0	148,0	2,0	9,0	5,0	0,0	627,0
1989-1990	33,0	83,0	69,0	100,0	157,0	1,0	75,0	85,0	22,0	31,0	4,0	41,0	701,0
1990-1991	0,0	66,0	123,0	326,0	89,0	104,0	103,0	34,0	25,0	5,0	0,0	13,0	888,0
1991-1992	49,0	118,0	51,0	30,0	109,0	87,0	120,0	144,0	60,0	28,0	7,0	1,0	804,0
1992-1993	9,0	38,0	39,0	237,0	53,0	78,0	63,0	39,0	69,0	6,0	1,0	1,0	633,0
1993-1994	36,0	85,0	40,0	136,0	116,0	120,0	0,0	142,0	12,0	0,0	1,0	4,0	692,0
1994-1995	58,0	102,0	6,0	170,0	219,0	25,0	107,0	32,2	3,0	19,0	0,0	12,3	753,5
1995-1996	100,0	9,0	48,0	55,1	65,0	192,0	59,3	92,0	46,4	14,0	1,0	4,0	685,8
1996-1997	38,0	95,0	49,0	102,0	66,0	13,3	18,0	34,2	72,0	27,0	0,0	4,0	518,5
1997-1998	69,0	190,0	174,0	148,2	82,0	104,2	43,0	57,3	129,2	11,0	0,0	25,0	1032,9
1998-1999	25,0	26,0	198,0	86,0	116,7	106,0	72,4	32,0	15,0	4,0	1,0	8,0	690,1
1999-2000	29,5	25,0	106,1	238,0	61,0	20,0	21,0	16,0	119,0	43,0	0,0	5,0	683,6
2000-2001	18,0	52,0	36,7	102,0	150,0	87,0	11,0	48,0	28,0	0,0	0,0	5,0	537,7
2001-2002	65,0	2,0	103,0	95,0	47,5	121,6	21,4	59,1	10,1	1,0	22,1	30,6	578,4
2002-2003	35,9	85,0	244,0	215,0	276,0	114,0	35,0	99,0	14,0	2,0	0,0	0,0	1119,9
2003-2004	114,0	47,0	37,0	169,0	121,0	161,0	73	66,0	31,0	20,5	1,0	0,0	840,5
2004-2005	55,5	26,2	284,0	165,4	156,0	189,0	65,2	99,0	7,0	87,0	0,0	64,0	1198,3
2005-2006	34,4	25,5	90,0	181,0	128,0	58,0	41,1	15,0	8,0	9,0	1,0	3,0	594,0
2006-2007	29	65	24,1	229	23,3	56	141	62	24	33	2	6	694,4
2007-2008	50	74	96	144	32	24	171	14,6	60	4,3	1	0,3	671,2
2008-2009	81	67,1	84	119	251	110	90	107	59,8	0	2	8	978,9
2009-2010	203	83,3	119	137	133	54,8	85	28,5	78	28,6	0,4	5	955,6
2010-2011	21	164	164,3	79,3	57,4	169	75,8	48,4	39,9	8,8	7,9	0	835,8
2011-2012	33,6	125,2	64,1	125	56,5	192,3	72,2	117,4	1,8	1,1	0,4	51,9	841,5
Moy Totale	43,0	74,6	97,4	132,6	106,8	95,1	74,6	65,5	40,5	18,6	3,0	10,1	761,7

Précipitations mensuelles à la station d'El Harrouch (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
1970-1971	0,9	66,1	4,2	46,1	122,5	111,8	108,9	21,0	46,5	4,8	6,8	92,0	631,6
1971-1972	82,4	59,3	51,0	23,9	133,3	63,0	85,4	16,4	57,3	6,1	0,6	13,0	591,7
1972-1973	31,6	65,8	0,0	89,5	167,4	109,2	119,7	26,2	0,0	4,1	0,0	0,0	613,5
1973-1974	43,7	68,0	29,8	69,5	0,8	60,2	44,8	59,6	28,3	0,0	3,6	0,0	408,3
1974-1975	29,7	71,2	46,1	32,7	12,5	27,8	69,7	13,3	46,3	0,0	0,0	0,0	349,3
1975-1976	19,2	22,6	107,4	47,8	78,2	87,9	88,4	42,3	35,5	8,3	33,7	11,7	583,0
1976-1977	57,2	82,0	79,1	19,7	55,9	15,5	14,2	61,5	60,2	26,6	0,0	19,6	491,5
1977-1978	5,1	0,0	109,7	7,2	101,3	89,9	41,7	61,2	69,7	0,4	0,0	30,8	517,0
1978-1979	7,2	26,6	105,9	19,4	61,3	111,9	77,5	155,0	5,5	38,4	4,2	0,6	613,5
1979-1980	48,9	51,2	54,2	48,7	46,7	46,5	61,8	57,8	52,4	0,6	1,7	3,0	473,5
1980-1981	19,3	19,9	36,7	139,1	65,8	68,9	57,7	21,1	11,6	35,0	0,0	21,4	496,5
1981-1982	11,5	22,2	34,7	95,8	83,8	75,5	128,0	57,6	23,4	7,3	0,0	0,0	539,8
1982-1983	9,8	158,9	198,4	101,2	10,4	27,2	25,7	7,3	14,1	2,4	0,0	1,2	556,6
1983-1984	28,3	36,0	88,2	42,2	112,3	118,3	17,7	19,2	4,5	8,3	0,0	8,3	483,3
1984-1985	36,5	133,8	16,3	379,6	85,2	46,9	159,8	35,2	36,8	2,1	0,0	0,0	932,2
1985-1986	55,8	24,6	26,9	30,8	108,4	39,8	98,0	37,0	8,6	11,6	5,2	0,4	447,1
1986-1987	28,2	105,1	135,3	130,4	71,0	152,3	51,8	25,9	79,7	0,0	5,5	0,3	785,5
1987-1988	0,3	29,5	66,3	21,6	62,8	56,0	33,3	19,1	20,1	27,0	7,1	0,0	343,1
1988-1989	98,2	1,3	72,8	215,0	50,1	39,3	33,4	55,5	6,0	18,1	4,6	4,5	598,8
1989-1990	30,6	52,1	45,8	62,0	141,8	1,1	27,7	75,0	39,0	21,1	3,1	3,1	502,4
1990-1991	0,0	19,1	92,4	148,3	43,3	79,3	130,3	65,9	48,8	26,6	0,0	4,3	658,3
1991-1992	42,7	128,8	28,0	217,0	55,2	71,1	136,3	86,7	81,6	14,3	8,7	0,0	870,4
1992-1993	44,4	34,4	74,1	231,7	78,3	51,7	28,3	17,8	11,0	10,2	0,0	1,2	583,1
1993-1994	12,8	49,9	20,7	101,3	61,0	59,8	16,1	87,9	9,0	25,0	0,0	0,0	443,5
1994-1995	28,1	88,5	20,1	114,1	254,2	25,4	112,6	36,8	5,8	38,3	0,0	2,7	726,6
1995-1996	76,0	29,6	59,8	28,6	102,8	227,0	46,6	78,2	46,2	17,1	1,5	2,7	716,1
1996-1997	39,6	35,1	34,7	76,0	68,7	28,8	42,7	52,2	20,4	10,6	0,0	26,7	435,5
1997-1998	53,4	8,9	92,8	124,1	27,2	74,4	49,5	67,8	80,7	3,3	0,0	8,0	590,1
1998-1999	69,4	50,1	184,2	45,0	70,7	38,0	37,2	17,9	8,3	8,8	5,9	5,3	540,8
1999-2000	14,7	14,8	65,6	146,9	24,3	23,8	23,5	17,6	100,7	6,5	0,0	12,7	451,1
2000-2001	1,9	53,3	29,7	50,3	144,5	55,9	18,4	57,9	33,1	0,0	0,0	0,3	445,3
2001-2002	65,4	4,9	75,3	31,5	31,4	89,4	17,9	52,6	8,4	2,7	25,9	29,6	435,0
2002-2003	14,3	59,0	162,8	103,1	237,8	81,7	30,4	117,3	19,5	0,2	0,0	0,0	826,1
2003-2004	80,0	34,8	21,6	162,4	70,8	15,1	54,9	84,5	77,9	37,7	0,0	7,5	647,2
2004-2005	34,6	44,2	219,2	155,9	89,9	126,9	43,8	105,5	0,0	0,0	1,6	2,3	823,9
2005-2006	11,9	15,4	26,4	112,1	117,0	85,9	39,4	5,2	48,0	2,6	0,0	2,9	466,8
2006-2007	35,9	39,1	25,7	169,9	21,3	48,5	182,8	56,5	9,3	22,4	0,6	3,4	615,4
2007-2008	31,4	61	55,4	128,4	8,8	30,8	117,8	17	57,1	11,5	4,3	1,7	525,2
2008-2009	60,2	21	53,4	45,7	192	57,3	51,9	107,5	66,6	0	3,3	2,5	661,4
2009-2010	176,2	58,2	50,8	47,4	125,6	38,5	49,1	28,1	61,8	14,4	0,8	4,3	655,2
2010-2011	17,2	63,5	140,6	46,5	27,3	227,1	108,6	46,3	39,2	34,4	4,3	4,2	759,2
2011-2012	20,7	127,9	94,9	63,2	45,5	118,2	93,3	50,6	3,6	1,2	0,7	59,5	679,3
Moy Totale	37,5	50,9	69,9	94,6	82,6	71,5	66,1	50,6	35,3	12,1	3,2	9,3	583,7

Précipitations mensuelles à la station de Ramdane Djamel (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
1970-1971	1,0	104,5	5,0	125,5	125,5	87,3	47,0	34,5	4,0	3,5	3,4	666,7	
1971-1972	73,0	119,5	48,5	28,0	99,3	56,0	113,0	103,5	46,5	39,0	0,0	6,3	732,6
1972-1973	51,5	53,0	5,0	110,0	162,5	103,6	109,5	17,0	0,0	29,5	0,0	1,0	642,6
1973-1974	53,0	92,0	25,5	58,5	33,0	55,5	38,0	58,5	21,0	4,1	14,0	1,5	454,6
1974-1975	30,0	68,0	34,8	32,0	9,5	70,5	34,0	10,0	64,5	6,5	0,0	13,0	372,8
1975-1976	13,0	7,0	104,9	66,5	89,9	89,5	79,4	49,3	34,0	11,9	11,1	12,8	569,3
1976-1977	31,2	204,0	125,6	38,1	44,3	11,5	29,7	57,6	62,5	20,8	0,5	11,4	637,2
1977-1978	7,5	11,6	94,1	9,9	79,5	78,8	44,2	57,7	61,6	12,4	0,0	0,7	458,0
1978-1979	2,3	36,1	94,5	19,9	53,7	103,2	95,3	160,7	8,8	30,1	10,2	0,4	615,2
1979-1980	13,2	56,4	55,9	37,2	48,5	48,0	61,2	56,1	50,7	0,0	0,0	0,0	427,2
1980-1981	17,9	55,0	61,8	163,8	62,1	71,1	41,3	40,2	11,3	25,5	4,8	26,7	581,5
1981-1982	32,2	29,0	28,9	112,1	131,3	114,7	102,8	57,6	30,7	9,7	3,0	0,0	652,0
1982-1983	7,5	138,3	136,0	74,9	13,4	25,5	54,6	7,0	20,3	0,0	1,5	5,6	484,6
1983-1984	35,5	25,3	84,5	53,8	165,7	190,6	57,0	24,7	16,4	9,7	0,0	0,0	663,2
1984-1985	52,7	150,3	23,7	427,8	118,1	70,4	137,9	39,2	32,0	15,1	0,0	0,0	1067,2
1985-1986	28,1	19,6	46,0	48,3	134,0	49,6	76,5	39,5	9,2	7,5	6,5	0,0	464,8
1986-1987	32,7	102,2	147,3	147,7	62,3	143,7	69,9	44,9	60,9	10,0	4,3	0,0	825,9
1987-1988	17,2	40,5	75,8	22,1	64,9	51,6	37,9	23,8	22,9	31,6	9,6	0,0	397,9
1988-1989	35,9	1,5	55,4	160,6	36,0	50,5	46,1	54,3	1,0	9,1	2,1	4,3	456,8
1989-1990	24,0	58,2	49,4	69,6	153,3	1,6	25,6	52,4	30,8	13,4	3,0	15,6	496,9
1990-1991	0,0	32,5	90,5	147,6	69,3	73,8	102,4	45,4	16,2	13,6	0,0	2,0	593,3
1991-1992	53,0	115,5	34,6	18,1	59,6	62,9	135,0	103,8	67,5	19,4	15,0	0,0	684,4
1992-1993	2,2	45,7	51,2	175,3	106,9	37,1	46,8	21,4	54,4	0,0	0,0	1,6	542,6
1993-1994	17,0	36,2	24,4	104,1	90,0	68,1	36,0	84,9	9,8	0,0	0,0	0,0	470,5
1994-1995	25,9	76,7	10,0	110,0	222,8	21,5	81,8	34,6	5,3	31,0	0,0	4,6	624,2
1995-1996	79,0	9,4	49,1	50,6	76,5	127,7	40,7	73,4	44,4	11,2	2,1	7,3	571,4
1996-1997	51,2	51,8	34,2	70,3	45,7	13,0	51,0	32,2	9,8	19,4	0,0	18,0	396,6
1997-1998	42,0	94,7	81,5	85,1	27,2	55,6	31,1	37,3	53,6	6,0	0,0	6,3	520,4
1998-1999	29,5	31,6	181,2	39,0	122,7	46,4	54,7	27,2	22,0	8,0	4,6	2,3	569,2
1999-2000	10,3	24,7	60,0	131,4	24,4	31,7	22,2	17,6	92,7	6,7	0,0	9,8	431,5
2000-2001	0,9	28,4	37,8	60,6	127,1	82,6	8,2	31,6	22,6	0,0	0,0	0,9	400,7
2001-2002	69,9	6,4	53,6	59,5	28,8	95,7	16,6	31,1	11,2	1,6	40,2	26,1	440,7
2002-2003	14,5	43,9	196,1	128,9	227,8	96,2	22,8	116,7	21,9	0,0	0,0	0,0	868,8
2003-2004	67,7	42,6	19,1	230,9	85,1	16,8	57,8	78,3	65,1	28,3	0,5	3,1	695,3
2004-2005	34,6	32,1	233,9	149,7	111,9	107,1	36,9	105,7	3,9	7,9	0,1	11,6	835,4
2005-2006	18,5	25,9	70,3	116,4	116,8	91,4	39,2	8,2	14,3	0,3	0,0	7,5	508,8
2006-2007	29,5	99,2	45,5	177,8	23,8	32,1	59	50,5	11,8	14,7	0,4	1	545,3
2007-2008	25,7	75,9	69,1	134,7	8,8	22,8	124,9	2,5	40,8	6,5	6,7	0	518,4
2008-2009	36,8	28	52,7	47,5	167,9	51,3	54,6	105,6	65	0	0,1	2,5	612
2009-2010	158,8	61,6	53,6	64,2	126,2	29,4	59,3	51,5	61,9	15,1	1,6	5,3	688,5
2010-2011	5,8	69,3	131,9	49,9	24,1	198,5	92,1	34,7	35,3	11,9	10,7	0,1	664,3
2011-2012	12,4	82,8	124,4	86,3	62,1	105	60,8	71	3	6,8	0,4	78,6	693,6
Moy Totale	32,0	59,2	71,6	96,3	86,7	70,9	61,3	51,6	32,2	11,9	3,7	6,9	584,4

Précipitations mensuelles à la station de Zardézas (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
1970-1971	0,2	58,8	1,6	58,3	129,2	78,9	117,6	44,9	43,1	2,7	5,1	16,4	556,8
1971-1972	54,6	161,4	52,2	42,7	162,6	70,5	111,3	113,4	50,3	12,3	0,4	15,3	847,0
1972-1973	62,9	50,4	7,7	143,8	250,5	108,3	135,6	32,2	2,4	32,1	0,0	16,8	842,7
1973-1974	58,5	72,3	32,6	58,5	21,9	61,5	66,0	67,6	27,5	0,3	13,4	2,0	482,1
1974-1975	23,4	91,7	55,0	45,3	28,0	120,8	80,1	18,4	77,6	1,6	0,0	15,9	557,8
1975-1976	8,6	14,8	97,1	41,6	79,6	102,7	78,1	63,2	37,6	13,6	32,6	18,6	588,1
1976-1977	59,0	124,0	133,9	25,1	52,5	14,4	40,7	85,8	54,9	21,9	0,0	13,8	626,0
1977-1978	2,6	14,4	87,5	7,8	103,5	77,1	59,5	68,3	39,1	11,1	0,5	17,8	489,2
1978-1979	4,5	35,4	98,2	25,7	75,8	119,9	99,8	174,3	19,0	36,5	7,1	1,7	697,9
1979-1980	58,7	44,5	62,9	50,1	57,8	53,1	80,0	56,9	56,7	3,5	0,0	3,5	527,7
1980-1981	124,6	41,3	83,8	161,7	95,1	68,3	59,5	25,9	23,0	33,9	0,0	31,4	748,5
1981-1982	12,9	26,5	41,4	93,6	116,7	98,0	126,5	65,5	43,6	16,5	0,4	4,5	646,1
1982-1983	25,0	138,8	194,5	106,5	14,4	17,9	68,7	12,8	25,1	9,7	0,9	5,1	619,4
1983-1984	23,2	52,5	101,1	49,7	172,5	271,7	45,5	51,9	14,1	12,9	0,0	0,3	795,4
1984-1985	42,3	137,3	17,5	452,5	99,5	46,5	159,0	38,5	46,3	0,0	0,0	0,0	1039,4
1985-1986	25,0	32,5	28,5	46,0	118,5	42,0	97,5	35,0	8,5	18,0	14,0	3,0	468,5
1986-1987	23,0	110,0	140,0	121,0	58,5	164,5	56,5	39,0	70,7	1,0	14,3	0,5	799,0
1987-1988	7,0	23,1	69,2	27,3	77,9	69,5	37,7	24,2	42,2	38,0	5,6	0,1	421,8
1988-1989	44,2	1,5	71,4	204,8	56,3	51,8	35,6	57,9	3,7	12,4	2,8	19,7	562,1
1989-1990	43,1	73,6	33,7	56,9	148,2	0,3	75,1	61,6	55,9	20,5	6,4	1,7	577,0
1990-1991	1,0	18,5	125,4	169,5	59,7	104,7	126,2	66,1	48,4	5,3	5,2	6,6	736,6
1991-1992	25,1	127,3	29,6	19,7	66,1	67,6	123,5	152,2	110,2	18,1	16,4	0,0	755,8
1992-1993	1,7	21,5	85,1	292,7	111,0	51,4	19,0	29,9	71,1	8,5	0,0	2,6	694,5
1993-1994	27,1	42,8	20,1	196,6	63,3	62,8	8,7	98,2	9,7	0,0	0,0	0,0	529,3
1994-1995	15,7	66,1	10,5	97,7	225,3	18,1	106,6	23,5	3,0	40,3	0,4	3,4	610,6
1995-1996	59,9	21,4	37,2	50,1	106,6	191,5	58,0	71,7	50,2	10,5	1,2	6,3	664,6
1996-1997	34,3	36,3	30,0	82,2	45,8	22,7	38,8	44,5	12,4	29,1	0,8	5,3	382,2
1997-1998	47,9	53,7	90,8	130,9	21,0	92,8	44,6	54,3	51,9	5,0	0,0	14,9	607,8
1998-1999	76,1	39,5	171,4	62,5	115,6	70,6	39,9	31,0	37,0	17,2	6,4	0,2	667,4
1999-2000	6,0	32,2	56,1	145,4	40,5	25,4	30,7	21,8	83,2	5,1	0,0	6,4	452,8
2000-2001	2,2	46,8	31,8	32,7	112,1	74,1	9,9	52,6	28,1	0,0	0,0	1,1	391,4
2001-2002	35,2	8,2	80,9	36,2	35,1	91,2	24,6	57,9	8,4	2,3	24,6	23,4	428,0
2002-2003	20,1	24,3	136,1	118,0	199,0	115,9	31,3	129,4	30,1	0,0	0,5	0,0	804,7
2003-2004	86,5	34,0	27,7	115,3	135,3	24,6	52,2	68,6	100,8	47,3	0,0	1,7	694,0
2004-2005	41,7	19,8	249,7	190,1	91,1	137,6	65,5	124,2	3,8	0,2	3,6	4,5	931,8
2005-2006	17,9	22,0	25,0	245,6	136,9	124,1	37,8	14,4	30,8	3,7	1,0	4,2	663,4
2006-2007	29	44,7	36,3	148,2	22,8	44,8	150,3	77,8	12,9	30,8	6,9	6,7	611,2
2007-2008	36,4	56	207,8	208	137,8	36,5	99,3	77,8	58,1	17,7	6,9	8,4	950,7
2008-2009	56,8	56,0	78,3	105,4	137,8	100,9	99,2	77,8	58,0	17,7	6,9	8,4	803,2
2009-2010	56,2	56	81,6	108	157	99,2	62,3	28,9	50,2	15,9	0,6	11,7	727,6
2010-2011	11,8	74,1	113,6	59,5	34,4	246,4	82,1	71,5	31	17,9	4,7	2,1	749,1
2011-2012	7	161,5	78,2	82,2	71,7	164	153,4	76,5	2,4	17,8	0	51,8	866,5
Moy Totale	54,0	58,9	82,3	106,3	134,2	104,3	99,2	76,5	38,9	17,7	6,6	9,4	788,20

Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
1970-1971	23,6	19,3	12,4	12,1	11,6	10,7	10,7	15,8	18,2	19,9	23,7	27,6
1971-1972	22,7	19,0	14,2	11,8	11,3	13,2	14,7	13,9	16,0	21,8	22,3	22,7
1972-1973	21,3	18,7	16,4	12,6	11,6	9,5	10,9	13,7	18,5	21,8	24,1	24,6
1973-1974	24,0	19,0	14,8	12,6	13,1	12,4	13,7	13,8	18,1	21,8	22,9	23,8
1974-1975	23,3	17,5	14,9	12,0	12,0	11,4	12,5	13,8	16,8	19,8	23,6	24,5
1975-1976	24,1	18,3	14,6	12,5	10,5	11,2	13,7	14,6	17,3	20,2	23,4	23,6
1976-1977	22,5	19,5	13,6	13,3	12,9	13,5	13,8	15,3	17,8	20,5	23,3	23,3
1977-1978	21,1	20,8	16,2	13,2	10,7	14,0	13,3	14,2	17,2	20,9	23,9	23,9
1978-1979	21,8	17,6	13,6	14,6	13,9	13,5	13,3	13,4	17,4	21,5	23,4	24,1
1979-1980	21,4	19,8	13,8	12,5	11,6	12,3	12,8	11,0	16,6	20,3	22,0	24,2
1980-1981	22,5	18,2	16,1	10,5	9,9	12,5	14,3	16,3	17,8	20,8	22,2	23,6
1981-1982	23,2	19,1	15,1	15,5	13,9	12,3	13,3	14,9	18,1	23,2	27,3	24,6
1982-1983	23,1	20,1	16,4	12,4	11,4	11,2	13,6	16,7	18,9	21,8	27,2	25,1
1983-1984	23,9	20,4	17,9	14,3	12,7	11,8	12,5	15,4	17,3	20,4	24,9	23,6
1984-1985	22,1	19,2	17,8	13,5	11,4	14,6	12,6	16,3	17,8	21,9	24,9	24,1
1985-1986	22,5	20,7	18,0	14,2	12,5	12,6	13,3	15,5	19,5	20,3	23,8	25,9
1986-1987	23,4	21,3	16,6	13,1	12,5	13,0	12,9	16,2	17,2	21,2	24,7	26,2
1987-1988	25,4	23,5	17,0	15,4	14,5	12,1	14,3	15,9	19,0	21,7	24,8	25,8
1988-1989	22,1	22,1	16,8	12,6	11,9	12,7	15,0	16,0	17,7	21,0	25,0	25,9
1989-1990	23,7	19,8	17,6	16,6	12,6	14,6	14,5	15,4	18,8	22,2	24,4	24,3
1990-1991	25,6	22,2	17,1	12,0	12,0	11,4	15,4	13,8	15,8	20,9	24,2	25,3
1991-1992	24,4	20,5	15,9	12,4	11,4	11,8	13,4	15,3	17,7	20,4	22,6	24,8
1992-1993	23,9	19,6	16,7	13,9	11,5	11,1	12,8	15,6	19,2	21,5	24,1	25,4
1993-1994	23,3	21,0	16,1	13,6	12,9	13,4	14,0	14,4	19,5	21,4	25,1	28,5
1994-1995	25,7	21,2	18,3	14,1	12,6	14,6	13,3	14,5	20,0	21,4	24,2	25,7
1995-1996	23,3	20,9	17,8	16,1	15,6	12,2	14,7	16,1	18,3	21,3	24,5	25,6
1996-1997	21,8	18,7	17,4	15,6	14,4	13,4	13,2	15,7	19,9	23,4	24,1	26,0
1997-1998	24,2	21,7	17,5	14,9	13,3	13,3	14,5	16,9	18,5	24,4	24,9	25,6
1998-1999	25,7	19,6	15,5	12,8	12,9	11,9	15,2	16,2	20,6	23,2	25,1	27,9
1999-2000	25,1	23,5	15,9	13,6	10,5	12,9	14,2	17,3	19,5	22,2	26,2	27,0
2000-2001	24,5	21,3	17,7	15,3	14,2	13,1	18,0	16,1	19,0	23,6	25,4	27,3
2001-2002	24,0	23,3	16,6	12,7	12,1	13,1	15,6	13,5	19,3	22,9	24,9	25,4
2002-2003	23,4	21,1	17,9	14,8	12,5	11,9	13,5	17,2	19,4	25,6	28,3	29,2
2003-2004	24,6	22,1	17,2	13,1	12,5	11,9	13,5	17,2	19,4	21,5	24,6	27,5
2004-2005	23,8	24,1	15,6	13,8	11,7	11,5	13,5	16,3	20,0	23,5	26,0	24,6
2005-2006	23,4	21,7	17,5	12,8	11,2	12,0	14,8	17,8	20,7	22,8	26,0	25,9
2006-2007	23,9	23,1	18,4	14,4	14,1	14,8	14,1	17,2	20,3	23,2	25,5	26,5
2007-2008	24,4	20,8	16,2	13,1	13,4	13,1	13,7	17,6	19,8	22,2	26,2	26,5
2008-2009	25,0	21,2	16,4	13,0	12,7	11,6	13,3	15,7	21,0	23,1	26,7	26,7
2009-2010	23,9	20,8	18,1	16,1	13,7	14,8	13,9	16,9	18,8	21,7	25,2	25,3
2010-2011	23,8	20,9	17,1	14,5	13,2	12,5	14,7	17,6	19,4	22,2	26,1	25,9
2011-2012	24,4	20,2	18,0	14,5	12,7	9,9	16,1	17,3	19,0	24,3	26,2	26,8
Moy Total	24,9	21,2	17,3	14,0	13,0	12,6	14,3	17,1	19,8	22,8	25,9	26,2

Humidités moyennes mensuelles à la station de Skikda (1970/71-2011/12)

Années	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
1970-1971	76	78	74	79	76	78	80	81	80	75	77	64
1971-1972	74	76	70	79	79	67	79	80	80	79	72	75
1972-1973	78	74	73	75	78	72	77	68	73	79	74	76
1973-1974	73	75	79	76	78	76	79	77	75	73	74	74
1974-1975	72	72	73	80	74	73	73	76	79	75	69	69
1975-1976	74	72	79	76	77	78	75	73	80	77	74	74
1976-1977	83	73	81	80	79	80	81	82	81	80	81	79
1977-1978	90	75	81	82	80	72	75	79	77	75	74	82
1978-1979	83	81	83	73	77	78	80	79	78	82	75	78
1979-1980	83	82	80	81	78	81	76	76	77	73	69	73
1980-1981	77	75	76	71	74	80	83	80	76	76	74	77
1981-1982	76	74	77	66	75	77	73	79	82	78	72	79
1982-1983	79	77	75	77	80	80	78	76	75	76	69	83
1983-1984	73	79	84	76	81	80	82	77	74	73	72	85
1984-1985	75	83	66	79	77	77	79	74	77	75	74	76
1985-1986	80	79	76	79	72	70	78	74	78	81	80	79
1986-1987	79	78	84	86	72	83	77	77	77	73	80	76
1987-1988	74	68	71	80	71	77	73	82	82	82	77	77
1988-1989	81	73	81	77	77	75	76	75	79	75	76	76
1989-1990	77	81	76	70	76	72	74	75	80	79	72	76
1990-1991	72	74	72	73	71	75	73	72	71	72	69	70
1991-1992	77	71	70	66	75	74	74	73	76	69	77	72
1992-1993	71	68	72	70	73	71	69	70	73	75	70	71
1993-1994	69	68	70	75	72	67	76	70	72	71	69	66
1994-1995	68	75	73	73	69	69	67	69	64	76	73	72
1995-1996	68	71	62	69	64	69	70	71	73	73	67	71
1996-1997	68	71	64	63	65	75	71	67	73	71	74	71
1997-1998	73	72	72	67	72	76	69	69	76	69	70	71
1998-1999	70	72	76	74	76	74	70	71	74	74	69	74
1999-2000	72	65	76	73	76	73	74	66	82	78	68	68
2000-2001	74	72	69	74	74	72	66	71	76	67	72	74
2001-2002	76	74	78	79	77	78	74	77	69	72	76	80
2002-2003	79	73	76	81	78	75	73	80	78	71	70	64
2003-2004	76	76	79	79	79	78	76	77	77	79	76	72
2004-2005	74	56	81	78	81	81	80,5	76	75	76	71	73
2005-2006	73	59	75	73	75	58	71	73	75	71	71	69
2006-2007	71	76	72	76	76	72	73	66	76	63	71	73
2007-2008	72	75	67	73	76	70	73	71	70	65	66	71
2008-2009	73	59	75	73	75	58	71	73	75	71	71	69
2009-2010	71	70	64	65	67	64	66	74	68	71	71	70
2010-2011	68	67	66	60	73	71	68	72	73	73	66	71
2011-2012	71	65	72	70	69	76	72	68	70	69	67	69
Moy Totale	70,9	67,7	68,9	70,4	74,6	68,7	71,3	71,9	71,7	69,7	69,3	70,4

Vitesses des vents moyennes mensuelles à la station de Skikda (1970/71-2011/12)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
1970-1971	3,06	2,90	2,69	2,48	3,57	3,43	2,46	2,27	2,46	3,05	2,60	2,40
1971-1972	2,02	1,50	3,07	2,31	3,50	3,33	2,13	2,43	1,80	1,82	2,22	2,06
1972-1973	1,93	2,56	2,75	3,54	3,39	2,17	2,46	2,23	2,05	2,05	1,65	1,61
1973-1974	2,24	2,23	2,03	3,15	2,78	2,92	2,00	1,74	1,61	1,85	1,84	1,60
1974-1975	1,73	1,72	1,89	2,51	2,48	2,08	2,45	7,46	2,18	2,50	2,30	2,40
1975-1976	2,14	1,79	2,19	1,70	2,60	18,60	2,16	1,60	1,84	2,30	2,55	2,51
1976-1977	2,16	1,81	1,90	2,10	1,30	0,90	1,30	1,60	1,50	2,70	2,80	2,63
1977-1978	2,18	1,83	2,70	1,99	3,47	3,73	3,69	3,50	3,77	3,40	2,79	2,90
1978-1979	3,30	2,60	3,42	4,45	3,90	3,10	3,20	3,18	2,50	2,11	2,78	2,30
1979-1980	1,60	1,70	3,00	2,50	2,50	2,10	3,80	3,10	2,50	3,60	3,36	2,90
1980-1981	2,61	3,70	4,30	4,40	4,70	2,80	2,50	2,70	3,50	3,80	4,30	3,30
1981-1982	4,10	4,00	3,90	5,60	3,90	2,90	3,70	3,00	2,20	1,80	1,80	2,40
1982-1983	2,50	4,65	8,70	3,00	2,70	2,40	3,30	3,00	2,50	2,70	2,80	3,00
1983-1984	3,10	3,30	3,40	4,20	3,80	4,72	3,20	2,90	3,30	2,70	2,70	2,80
1984-1985	2,90	3,10	3,40	4,50	3,90	3,20	3,20	3,90	2,80	2,70	2,50	2,90
1985-1986	2,60	3,03	3,10	3,10	3,80	3,70	3,00	3,40	2,60	3,20	2,90	2,70
1986-1987	2,70	3,10	3,30	3,60	3,90	3,10	3,34	2,60	2,40	2,50	2,40	2,20
1987-1988	2,39	2,70	3,20	2,50	3,29	2,50	3,30	2,10	2,50	2,30	2,30	3,10
1988-1989	3,10	2,70	2,79	3,80	2,37	2,90	2,70	2,90	2,00	2,00	2,40	2,20
1989-1990	2,57	2,60	2,30	2,20	2,30	2,20	2,40	1,80	2,10	1,84	2,20	2,21
1990-1991	2,15	2,37	3,10	2,86	2,05	2,10	2,58	2,38	2,08	1,86	1,38	1,75
1991-1992	1,91	2,08	2,22	3,10	2,19	2,33	2,18	3,21	2,26	2,35	1,82	1,95
1992-1993	2,01	2,36	2,71	3,90	4,24	4,23	3,89	3,90	3,28	3,13	3,06	2,78
1993-1994	3,15	3,42	3,58	4,54	4,60	4,98	3,33	4,08	3,55	3,87	3,33	3,40
1994-1995	3,88	3,43	3,34	3,90	5,72	3,73	4,21	4,13	3,96	3,65	3,40	3,95
1995-1996	3,60	3,51	4,70	3,90	4,20	4,97	3,42	3,16	2,80	2,85	2,40	2,64
1996-1997	3,32	3,76	4,08	4,19	3,70	3,23	3,71	3,73	3,16	2,72	2,89	2,60
1997-1998	2,65	3,33	3,37	4,03	3,76	3,20	2,64	3,24	2,60	2,46	2,70	2,30
1998-1999	2,63	2,67	3,90	3,73	3,20	3,79	3,62	3,28	2,56	2,49	2,83	2,40
1999-2000	2,89	2,81	3,36	3,93	3,02	3,44	2,40	2,98	2,02	2,11	2,70	2,30
2000-2001	2,65	2,65	3,16	3,86	3,50	3,30	3,29	3,30	2,16	2,45	2,27	2,23
2001-2002	1,99	2,20	2,90	3,20	2,84	3,20	2,47	2,78	2,43	2,10	2,20	2,70
2002-2003	2,60	2,52	3,70	3,10	4,12	3,21	2,46	2,64	2,48	2,69	2,73	2,95
2003-2004	3,05	3,00	3,95	6,18	3,65	3,50	2,45	2,77	2,50	3,27	3,25	3,20
2004-2005	3,50	2,86	3,46	4,10	3,17	3,80	2,55	2,90	2,52	2,44	2,59	2,69
2005-2006	2,42	2,50	3,30	3,79	3,59	3,32	4,13	2,98	2,80	3,25	2,60	3,29
2006-2007	2,98	3,08	3,60	3,41	3,40	3,65	4,70	3,35	3,97	3,80	3,88	3,70
2007-2008	3,60	4,20	4,10	4,30	3,90	3,60	3,90	3,52	2,66	3,30	3,40	3,35
2008-2009	3,80	3,40	3,80	3,80	3,90	4,30	3,70	3,80	3,60	3,33	3,13	3,33
2009-2010	3,60	4,00	3,80	4,10	3,90	3,60	3,60	3,15	3,44	3,40	3,40	3,34
2010-2011	3,71	3,70	3,70	3,80	3,50	4,30	3,40	3,30	3,00	3,24	3,30	3,29
2011-2012	3,24	3,60	2,90	4,00	4,00	4,10	3,00	3,40	3,10	2,90	3,50	3,20
Moy Totale	3,34	3,50	3,60	3,89	3,74	3,84	3,78	3,36	3,22	3,32	3,32	3,36

Débits moyens mensuels à la station de Khémakhem. (1973/74 – 2011/12).

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Annuel
1973 - 1974	0,14	0,27	-	-	0,09	0,40	-	0,64	0,14	0,02	0,01	0,01	-
1974 - 1975	0,02	0,02	0,05	0,06	0,03	1,93	0,55	0,21	0,25	0,05	0,01	0,00	0,27
1975 - 1976	0,00	0,00	0,02	0,04	0,26	3,24	4,55	0,69	0,41	0,10	0,02	0,01	0,78
1976 - 1977	0,03	0,36	2,90	0,74	1,14	0,41	0,19	0,34	0,23	0,06	0,01	0,00	0,53
1977 - 1978	0,00	0,00	0,01	0,00	0,56	2,64	0,40	1,19	0,19	0,05	0,00	0,00	0,42
1978 - 1979	0,00	0,00	0,03	0,06	0,15	1,36	1,83	6,18	7,58	4,84	0,33	0,00	1,86
1979 - 1980	0,05	0,05	0,12	0,09	0,39	0,35	1,63	0,41	0,19	0,04	0,00	0,00	0,28
1980 - 1981	0,02	0,03	0,00	0,89	1,08	0,75	0,28	0,57	0,20	0,02	0,01	0,01	0,32
1981 - 1982	0,00	0,00	0,01	0,03	0,47	2,34	3,92	0,71	0,65	0,05	0,00	0,00	0,68
1982 - 1983	0,03	0,22	2,91	4,31	1,67	0,43	1,01	0,25	0,12	0,03	0,00	0,00	0,91
1983 - 1984	0,00	0,01	0,29	0,13	3,18	14,11	0,85	1,64	0,16	0,04	0,03	0,01	1,70
1984 - 1985	0,05	0,18	0,05	19,18	10,21	3,20	14,67	1,00	0,56	0,07	0,05	0,03	4,10
1985 - 1986	0,03	0,08	0,03	0,04	0,41	0,49	1,36	0,26	0,14	0,09	0,05	0,04	0,25
1986 - 1987	0,01	0,25	0,98	3,02	3,52	10,08	2,67	3,60	0,54	0,16	0,07	0,04	2,08
1987 - 1988	0,00	0,01	0,12	0,07	0,28	0,39	1,02	0,13	0,10	0,08	0,02	0,01	0,19
1988 - 1989	0,07	0,01	0,01	2,80	1,26	1,39	0,79	0,37	0,14	0,00	0,00	0,00	0,57
1989 - 1990	0,00	0,04	0,02	0,07	1,51	0,18	0,13	0,08	0,11	0,01	0,01	0,09	0,19
1990 - 1991	0,00	0,00	1,10	3,83	1,66	4,28	5,28	2,83	0,42	0,22	0,04	0,01	1,64
1991 - 1992	0,02	0,19	0,07	0,05	0,28	1,24	1,67	4,18	2,29	0,30	0,12	0,04	0,87
1992 - 1993	0,02	0,01	0,61	6,50	11,72	1,21	1,60	0,20	0,32	0,03	0,01	0,00	1,85
1993 - 1994	0,00	0,00	0,00	1,18	1,79	5,39	0,64	0,89	0,16	0,04	0,01	0,00	0,84
1994 - 1995	0,00	0,55	0,02	0,42	10,22	0,21	4,18	0,55	0,09	0,02	0,01	0,00	1,36
1995 - 1996	0,01	1,38	0,07	0,09	0,67	8,80	3,73	1,40	1,55	0,08	0,03	0,01	1,49
1996 - 1997	0,01	0,02	0,01	0,10	0,10	0,06	0,11	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
1997 - 1998	0,27	0,27	0,49	4,71	1,02	2,10	0,74	0,55	0,90	0,05	0,02	0,00	0,93
1998 - 1999	0,01	0,02	3,74	1,75	4,15	12,40	1,46	0,67	0,16	0,05	0,01	0,00	2,04
1999 - 2000	0,00	0,00	0,01	3,96	0,70	0,16	0,10	0,07	0,51	0,05	0,02	0,00	0,47
2000 - 2001	0,00	0,04	0,01	0,01	2,69	4,90	0,16	0,16	0,12	0,04	0,00	0,00	0,68
2001 - 2002	0,00	0,00	0,23	0,07	0,09	0,62	0,04	0,49	0,01	0,00	0,00	0,17	0,14
2003 - 2004	0,26	0,12	0,12	2,54	4,76	0,55	0,44	0,72	2,01	0,79	0,20	0,07	1,14
2004 - 2005	0,00	0,00	2,83	5,57	4,97	8,25	4,48	5,51	1,70	0,03	0,00	0,00	3,03
2005 - 2006	0,00	0,00	0,00	0,93	3,86	5,74	3,25	0,28	0,26	0,01	0,00	0,00	1,30
2006 - 2007	0,00	0,00	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010 - 2011	0,00	0,00	1,70	0,70	0,63	13,93	4,76	0,50	0,12	0,05	0,01	0,00	2,04
2011 - 2012	0,00	0,08	0,47	2,22	0,99	9,49	5,93	3,08	0,31	0,10	0,03	0,02	2,06
2012 - 2013	0,02	0,03	0,03	0,10	0,78	7,57	5,42	1,09	-	-	-	-	-
Moyenne	0,03	0,12	0,55	1,95	2,21	3,73	2,35	1,19	0,67	0,22	0,03	0,02	1,07