

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA
BADJI MOKHTAR UNIVERSITY – ANNABA



Année : 2016

Faculté des sciences de la terre
Département de Géologie

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT EN SCIENCES

Option

Hydrogéologie

**Impact de l'activité anthropique sur la dégradation
de la qualité des eaux et de l'environnement : Cas
du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien)**

Par

SAADALI Badreddine

(Ingénieur d'état en hydrogéologie, Magister en hydrogéologie)

DIRECTEUR DE THÈSE | **P^r. DERRADJI El Fadel** **Univ. BADJI Mokhtar - Annaba**

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT

P^r. KHERICI Nacer

Univ. BADJI Mokhtar - Annaba

EXAMINATEURS

**P^r. KHERICI-
BOUSNOUBRA. Houria**

Univ. BADJI Mokhtar - Annaba

P^r. DJIDEL Mohamed

Univ. KASDI Merbah - Ouargla

P^r. MAOUI Amar

Univ. 08 Mai 1945 - Guelma

P^r. KACHI Slimane

Univ. 08 Mai 1945 - Guelma



« C'est dans cet immeuble où j'ai vécu mes heureux moments, j'ai connu de beaux amis, je me suis formé par de meilleurs enseignants ... »

﴿ بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ ﴾

"أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيَجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ

يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿٢١﴾"

سورة الزمر-سورة 39

﴿ *Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux* ﴾

"Ne vois-tu pas qu'Allah fait descendre du ciel de l'eau, puis Il l'achemine vers des sources dans la terre; ensuite, avec cela, Il fait sortir une culture aux couleurs diverses, laquelle se fane ensuite, de sorte que tu la vois jaunie; ensuite, Il la réduit en miettes. C'est là certainement un rappel aux [gens] doués d'intelligence ﴿21﴾"

LES GROUPES (AZ-ZUMAR)- SOURATE 39.

TABLE DES MATIÈRES

Tables des matières

Remerciements

Résumé en français

Résumé en arabe

Résumé en anglais

i-1/ INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
i-2/ AIRES PROTÉGÉES EN ALGÉRIE	5
i-2-1/ Parcs nationaux	5
i-2-1-1/ Convention sur la diversité biologique	6
i-2-2/ Réserves naturelles	6
i-2-3/ Zones humides	7
i-2-3-1/ Réserves intégrales	9
i-2-3-2/ Convention Ramsar	9
i-3/ Bref historique sur le PNEK	9

CHAPITRE I

APERÇU SOCIO- ÉCONOMIQUE

I-1/ LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE	11
I-2/ DÉCOUPAGE ADMINISTRATIF	13
I-2-1/ Statut du parc d'El Kala	13
I-2-2/ Objectifs du Parc d'El Kala	15
I-2-3/ Zonage du Parc d'El Kala	16
I-3/ POPULATION HUMAINE	18
I-3-1/ Agglomérations dans le PNEK	23
I-3-1-1/ Pression urbaine	25
I-3-2/ Réseau routier	27
I-3-2-1/ Routes nationales	27
I-3-2-2/ Routes wilayas	27
I-3-2-3/ Routes communales	27
I-3-2-4/ Autoroute Est- Ouest	28

I-4/ ACTIVITE AGRICOLE	28
I-4-1/ Extension de l'agriculture	31
I-4-1-1/ Feux des forêts	34
I-4-2/ Occupation du sol	35
I-4-3/ Population animale	37
I-5/ INDUSTRIE	38
I-6/ TOURISME	40

CHAPITRE II

ANALYSE DU MILIEU PHYSIQUE

II-1/ GÉOMORPHOLOGIE DE LA RÉGION	41
II-1-1/ Relief	41
II-1-2/ Hydrographie	48
II-2/ CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES	50
II-2-1/ Litho- stratigraphie	50
II-2-1-1/ Secondaire	50
II-2-1-1-1/ Crétacé inférieur à moyen	50
II-2-1-1-2/ Crétacé supérieur	52
II-2-1-2/ Tertiaire	54
II-2-1-2-1/ Paléogène	54
II-2-1-2-2/ Néogène	56
II-2-1-3/ Quaternaire	57
II-2-1-3-1/ Quaternaire ancien	57
II-2-1-3-2/ Quaternaire moyen	57
II-2-1-3-3/ Quaternaire récent	58
II-2-1-3-4/ Quaternaire actuel	58
II-2-2/ Tectonique	59
II-2-2-1/ Évènements sismiques	62
II-3/ RICHESSE NATURELLE	64
II-4/ RICHESSE CULTURELLE	66

CHAPITRE III

HYDROCLIMATOLOGIE

III-1/ CLIMATOLOGIE	68
III-1-1/ Facteurs climatiques	69
III-1-1-1/ Humidité relative de l'air	69
III-1-1-2/ Vitesse du vent	69
III-1-1-3/ Précipitations	70
III- 1-1-3-1/ Précipitations moyennes mensuelles	71
III- 1-1-3-2/ Précipitations annuelles	71
III- 1-1-3-3/ Précipitations saisonnières	72
III- 1-1-3-4/ Coefficient pluviométrique	75
A/ Coefficient pluviométrique annuel	75
B/ Coefficient pluviométrique mensuel	76
III-1-1-4/ Températures.....	77
III- 1-1-4-1/ Températures moyennes mensuelles	77
III- 1-1-4-2/ Températures annuelles	78
III-1-2/ Type du climat	79
III-1-2-1/ Diagramme pluvio –thermique	79
III-1-2-2/ Indice d'aridité de Emmanuel de MARTONNE	80
III-1-2-2-1/ Indice d'aridité annuel	80
III-1-2-2-2/ Indice d'aridité mensuel	81
III-1-2-3/ Indice de Paul Moral	81
III-1-3/ Bilan hydrologique.....	83
III-1-3-1/ Évapotranspiration	83
III-1-3-1-1/ Évapotranspiration potentielle	83
A/ ETP- formule de Thornthwaite	83
III-1-3-1-2/ Évapotranspiration réelle	84
A/ ETR – Selon Turc	84
B/ ETR – Selon Coutagne	85
C/ ETR – Selon Wundt	85
D/ ETR – Selon Thornthwaite	86
III-1-3-1-3/ Réserve facilement utilisable	86
III-1-3-1-4/ Déficit agricole	87

III-1-3-1-5/ Excédent	87
III-1-3-1-6/ Établissement du bilan hydrique	87
III-1-3-2/ Ruissellement de surface	89
III-1-3-3/ Infiltration	90
III-2/ HYDROLOGIE	91
III-2-1/ Bassins versants	91
III-2-1-1/ Caractéristiques géométriques	94
III-2-1-1-1/ Indice de compacité : Coefficient de Gravelius	94
III-2-1-1-2/ Rapport de circularité de Miller	95
III-2-1-1-3/ Rectangle équivalent	95
III-2-1-2/ Caractéristiques orographiques	96
III-2-1-2-1/ Répartition et courbe hypsométrique	97
III-2-1-2-2/ Indice de pente globale	103
III-2-1-2-3/ Indice de pente de Roche	104
III-2-1-2-4/ Pente moyenne d'un bassin versant	104
III-2-1-3/ Caractéristiques hydrographiques	105
III-2-1-3-1/ Description du réseau hydrographique	105
A/ Bassin versant d'El Kebir- amont	107
B/ Bassin versant de Ballouta	107
C/ Bassins versants de Bougous et de Sebaa	107
D/ Bassins versants du Mellah et d'Oubeïra	109
E/ Bassins versants de Bou Redim et du lac Noir	109
F/ Bassins versants du Tonga et de Sidi Salem	109
G/ Bassins versants du littoral d'El Kala	111
III-2-1-3-2/ Classification des réseaux hydrographiques	111
A/ Classification selon la forme	111
B/ Classification selon la grandeur	113
III-2-1-3-3/ Densité de drainage	113
III-2-1-3-4/ Coefficient de torrentialité	114
III-2-1-3-5/ Temps de concentration	115
III-2-1-3-6/ Vitesse d'écoulement de l'eau	115
III-2-2/ Mobilisation des eaux de surface	117
III-2-3/ Hydrométrie	118

III-2-3-1/ Variation des débits en fonction des pluies	118
III-2-3-2/ Inondations du 2012	120

CHAPITRE IV
HYDROGEOLOGIE

IV-3/ HYDROGÉOLOGIE	123
IV-3-1/ Systèmes aquifères	123
IV-3-1-1/ Secteur du Mellah	123
IV-3-1-2/ Secteur d'Oum Teboul	123
IV-3-1-2-1/ Nappe superficielle d'Oum Teboul	124
IV-3-1-2-2/ Nappe semi- captive d'Oum Teboul	124
IV-3-1-3/ Secteur de Bordj Ali Bey – Bou Redim – Aïn Khiair	125
IV-3-1-4/ Secteur d'El Tarf – Aïn El Assel	127
IV-3-1-4-1/ Nappe superficielle d'El Tarf	127
IV-3-1-4-2/ Nappe profonde d'El Tarf	127
IV-3-1-5/ Secteur de Bougous	127
IV-3-2/ Profils hydrogéologiques	128
IV-3-2-1/ Secteur de Bordj Ali Bey – Bou Redim – Aïn Khiair	128
IV-3-2-2/ Secteur d'Oum Teboul	128
IV-3-2-3/ Secteur de Bougous	128
IV-3-3/ La piézométrie	131
IV-3-3-1/ Piézométrie en mars 2011	131
IV-3-3-2/ Piézométrie en juillet 2011	132
IV-3-3-3/ Gradient hydraulique	132
IV-3-4/ Hydrodynamique des aquifères	134
IV-3-5/ Mobilisation des eaux souterraines	136

CHAPITRE V
CHIMIE ET POLLUTION DES EAUX

V-1/ CHIMIE DES EAUX	138
V-1-1/ Échantillonnage et analyse	138
V-1-2/ Interprétation des paramètres physico-chimiques	141

V-1-2-1/ Température de l'eau (T)	141
V-1-2-2/ Potentiel d'hydrogène (pH)	142
V-1-2-3/ Conductivité électrique (CE)	144
V-1-2-4/ Salinité de l'eau (S)	145
V-1-3/ Interprétation des éléments chimiques	146
V-1-3-1/ Notion d'équivalence	147
V-1-3-1-1/ Fiabilité des résultats	148
V-1-3-1-2/ Balance ionique	148
A/ Calcium (Ca^{2+})	148
B/ Magnésium (Mg^{2+})	149
C/ Sodium (Na^+)	150
D/ Potassium (K^+)	151
E/ Chlorures (Cl^-)	152
F/ Bicarbonates (HCO_3^-)	153
G/ Sulfates (SO_4^{2-})	154
V-1-3-2/ Détermination des faciès hydrochimiques	155
V-1-3-2-1/ Formule ionique	155
V-1-3-2-2/ Interprétation graphique de Piper	155
A/ Pour les eaux superficielles	157
B/ Pour les eaux souterraines	157
V-1-3-2-3/ Evolution des faciès chimiques (rapports de concentrations)	157
V-1-3-2-4/ Interprétation graphique de Stiff	158
V-1-3-3/ Origine des éléments chimiques	161
V-1-3-3-1/ Rapports des concentrations	162
A/ Graphique : Calcium / rapport bicarbonates et sulfates	162
B/ Graphique : Sodium / Chlorures	163
C/ Graphique : Anions / CE – pH	164
V-1-4/ Interprétation des paramètres organiques	164
V-1-4-1/ Cycle de L'azote	165
V-1-4-1-1/ Ammonium (NH_4^+)	166
V-1-4-1-2/ Nitrates (NO_3^-)	167
V-1-4-1-3/ Nitrites (NO_2^-)	167

V-1-4-2/ Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	168
V-1-4-3/ Demande Chimique en Oxygène (DCO)	169
V-1-4-4/ Phosphate (PO ₄ ³⁻)	170
V-1-4-5/ Oxygène dissous (O ₂)	171
V-2/ POLLUTION DES EAUX	173
V-2-1/ Qualité de l'eau	173
V-2-2/ Pollution organique	175
V-2-2-1/ Indice de contamination	176
V-2-2-2/ Indice de pollution organique (Leclercq et Maquet 1987)	177
V-2-2-3/ Lisec-Index (Beckers & Steegmans, 1979)	178
V-2-2-4/ Méthode de l'IHE (Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, 1986)	179
V-2-3/ Qualité des eaux irriguées	180
V-2-3-1/ Aptitude des eaux à l'irrigation	181
V-2-3-1-1/ Risque de salinité	181
V-2-3-1-2/ Risque de solidité	182

CHAPITRE VI

IMPACT ANTHROPIQUE

VI/ DEPENDANCE HOMMES- MILIEUX	187
VI-1/ Activité anthropique	187
VI-2/ Figures d'intrusion anthropique dans le PNEK	188
VI-2-1/ Impact des rejets d'ordures	188
VI-2-1-1/ Conséquences de ces rejets	193
VI-2-2/ Impact des rejets d'automobile	194
VI-2-2-1/ Conséquences de ces rejets	195
VI-2-3/ Contamination métallique des eaux	196
VI-2-3-1/ Conséquences sur la faune	198
ii-1/ CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS	201

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des photos

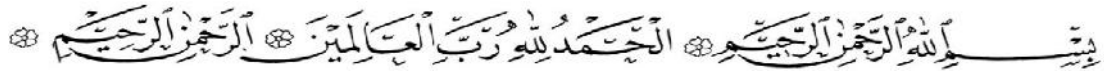
Liste des tableaux

Liste des équations

Liste des abréviations

Annexes

REMERCIEMENTS



La présente thèse n'aurait jamais pu être réalisée sans la collaboration, le soutien et l'aide de certaines personnes qu'Allah le tout-puissant me les a octroyé et il serait nécessaire de leur adresser mes remerciements et mes gratitudes alors qu'ils méritaient plus que ces mots incitants.

Monsieur le professeur **DERRADJI El Fadel**, le directeur de ma thèse, à qui je dois beaucoup de choses. Je vous remercie de m'avoir formé, guidé et soutenu durant plusieurs années d'encadrement. Vous étiez toujours disponible, patient et compréhensif pour le bien de ce travail. Vos conseils, vos critiques instruites seront, pour de bon, conservées dans ma conscience professionnelle : Merci beaucoup professeur.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à tous les membres du jury pour avoir accepté d'honorer ma soutenance de leur présence en examinant, critiquant et jugeant mon travail espérant que je serai à la hauteur de leurs attentes et leurs satisfactions. À monsieur le professeur **KHERICI Nacer**, de l'université d'Annaba, d'avoir accepté de présider le jury alors que je lui en suis hyper reconnaissant. À monsieur le professeur **DJIDEL Mohamed** de l'université d'Ouargla, monsieur le professeur **KACHI Slimane** et le professeur **MAOUI Ammar** de l'université de Guelma et madame le professeur **KHERICI-BOUSNOUBRA Houria** de l'université d'Annaba qui m'ont fait le plaisir le plus admirable de participer au jury et l'importance qu'ils ont accordé à ce travail.

Je remercie tous mes enseignants du département de géologie à l'université d'Annaba de m'avoir bien enseigné et même éduqué. Vous étiez beaux, l'exemple d'une bonne discipline et d'un raisonnement spacieux. Je remercie le staff administratif du département de géologie pour son courage et sa gentillesse car il nous a toujours considéré comme des membres de leur famille.

Je tiens à remercier notre professeur **DJABRI Larbi**, le chef de la spécialité, pour ses efforts et ses recommandations et de nous permettre de franchir et d'atteindre cette phase de connaissance souveraine espérant que nos efforts soient une récompense méritée. Sans oublier

monsieur le professeur **LAOUAR Rabar** qui m'a soutenu et encouragé avec ses conseils et ses orientations avantageuses.

Je remercie M^{me} **BOUARARA- BENSLIMANE- L** et tous les anciens camarades de la société FERPHOS groupe de m'avoir encouragés et soutenus alors que nous avons vécu des bons moments ensemble.

Je remercie le directeur du laboratoire de la qualité Fertiale M^r **DIBI A/El Wahab, Yazid et Mohamed** et les dirigeants du laboratoire central SEATA- Annaba pour leur collaboration et leur assistance durant toute ma période du stage pratique.

Mes remerciements vont sûrement aux enseignants et administrateurs, mes chers collègues, de l'université d'Oum El Bouaghi, à leur tête P^r. **KHIARI Abd El Kader**, qui m'ont aidé et soutenu, par leurs expériences et leurs connaissances, pour finaliser ma thèse alors qu'ils effectuaient énormément d'efforts pour le bien de cette université où j'enseigne. Je tiens à remercier tous les amis qui m'ont encouragé pour réaliser ce travail. Si, par inattention, j'ai oublié quelqu'un, qu'il m'excuse et qu'il soit remercié pour tout.

Enfin, Je voudrai partager cet heureux moment avec ma grande famille mon père **Abd El Madjid**, ma mère **Yamina BELKAHLA** mes sœurs mes beaux-frères et mon fils « **Mohamed El Amine** » que je lui dédie ce travail ; ils ont prié pour moi, ils se sont inquiétés et ils m'ont encouragé toutes ces années longues et lourdes...et ouiii.

Badreddine

Résumé :

L'environnement du parc national d'El Kala se distingue par la pérennité de ses eaux en surface et en profondeur permettant une croissance et une diversité de la de la couverture végétale qui abrite certaines espèces faunistiques très rare et qui sont normalement protégées contre toute activité négative exercée par l'homme qui- par la destruction des forêts, le rejet des eaux usées et des ordures solides, l'utilisation des engrais et des pesticides et le sur-pompage des eaux des lacs et des nappes phréatiques- perturbe, pollue et dégrade la qualité de l'eau et qui va influencer sur le mode de vie de cet environnement naturel.

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico- chimique et organique des eaux naturelles dans le parc d'El Kala et de déterminer une pollution d'origine anthropique de ces eaux et identifier aussi ces diverses sources.

Plusieurs méthodes et applications ont été adoptées afin de mieux interpréter le thème d'étude. Une cartographie de l'écoulement des eaux souterraines a été réalisée, des mesures de paramètres physico- chimiques (sur terrain) et des analyses chimiques et organiques (en laboratoire) ont été effectuées pour de nombreux échantillons d'eaux superficielles et profondes. Des constatations particulières ont été avisées à partir des observations sur terrain dans plusieurs endroits dans le parc d'El Kala.

Les résultats obtenus montrent que les eaux souterraines, influencées par la topographie, s'écoulent depuis le sud et l'est de la région d'étude vers l'intérieur aboutissant à l'alimentation des nappes phréatiques et les mares d'eau. Les analyses physico- chimiques montrent que les eaux sont peu acides et minéralisées. La salinité des eaux oscille entre 0,1 et 0,5 g/l alors que les fortes teneurs sont enregistrées à l'Est du bassin versant du lac Tonga. Les éléments chimiques majeurs des eaux naturelles (majorité) indiquent des concentrations inférieures aux normes de l'OMS. Le faciès chimique dominant, par les représentations graphiques de Piper et de Stiff, est chloruré sodique. Les fortes teneurs en phosphates et la présence d'éléments azotés favorisent l'eutrophisation. La détermination du degré de la pollution organique des eaux naturelles par diverses méthodes (IPO / Lisec-Index / IHE), indique une pollution par les substances organiques d'origine anthropique.

Mots clés : *El Kala - IPO - Diagramme de Piper – piézométrie - eutrophisation - Tonga.*

_____ :

تتميز بيئة الحاضرة الوطنية القالة بديمومة مياهها السطحية و الجوفية مما يسمح بنمو و تنوع الغطاء النباتي الذي يأوي بعض أنواع الحيوانات البرية النادرة و المحمية عادة ضد أي نشاط سلبي ممارس من قبل الإنسان الذي، بتدمير الغابات، رمي مياه الصرف الصحي و النفاي والمبيدات الحشرية ومياه البحيرات والمياه الجوفية أنه يخل، يلوث ويحط نوعية المياه شأنها حياة هذه البيئة الطبيعية. الهدف هذا هو نوعية الفيزيوكيميائية و العضوية مياه الطبيعية حاضرة وتحديد لهذه المياه

العديد من الطرق و التطبيقات من أجل التفسير الجيد لـ
المياه الجوفية و قياسات الفيزيوكيميائية () تحاليل كيميائية عضوي ()
أجريت للعديد عينات المياه السطحية و العميقة. تقارير شخصية استظهارها انطلاقا من الميدانية العديد بحاضرة .

المتحصل عليها تظهر أن المياه الجوفية التضاريس،
ينتج عنها تغذية المياه الجوفية المسطحات المائية. التحاليل الفيزيوكيميائية تظهر بأن المياه قليلة الحموضة و معدنية. ملوحة المياه تنحصر بين 0.1 0.5 / حين ي تراكيز عالية بحيرة .
الكيميائية الرئيسية لمياه الطبيعية (الأغلبية) تظهر تركيزات العالمية. الكيمائية بيانية لبابير ستيف هي الكلورو صوديوم. تراكيز العالية النيتروجينية . تحديد لمياه الطبيعية () / يزيك / معهد ا (تظهر ها العضوية

- رسم بياني لببير -

- الكلمات المفتاحية:

Abstract :

The environment of the El Kala National Park is distinguished by the perenniality of its surface and deep waters allowing a growth and diversity of the vegetation cover which shelters some very rare faunistic species and which are normally protected against any negative activity practiced by the man who, by the destruction of forests, the discharge of sewage and solid waste, The use of fertilizers and pesticides and the over-pumping of lakes and ground waters, Disrupts, pollutes and degrades the quality of the water and which will influence on the lifestyle of the natural environment.

The objective of this work is to study the physico-chemical and organic quality of natural waters in El Kala Park and to determine anthropogenic pollution of these waters and also to identify these various sources.

Several methods and applications have been adopted to better interpret the theme of study. A mapping of groundwater flow was performed; physico-chemical parameters measurements (on land) and chemical and organic analysis (in laboratory) were performed for many samples of surface and deep waters. Specific findings were notified from field observations in several places in the El Kala Park.

The results obtained show that the ground waters, influenced by the topography, flow from the south and east of the study area towards the interior, resulting in the supply of ground waters and the water ponds. The physico-chemical analyzes show that the waters are sparsely acidic and mineralized. The salinity of waters ranges from 0.1 to 0.5 g / l, while high levels are recorded east of the Tonga Lake watershed. The major chemical components of natural water (majority) indicate concentrations below the World Health Organization standards. The dominant chemical facies, by graphical representations of Piper and Stiff, is chlorinated sodium. The high levels of phosphates and the presence of nitrogen elements favor eutrophication. The organic pollution degree of natural waters determinates by various methods (IPO / Lisec-Index / IHE) indicates a pollution by organic substances of human origin.

Keywords: *El Kala - OPI - Piper Diagram – Piezometry - Eutrophication – Tonga.*



INTRODUCTION GÉNÉRALE

CONCEPTS ET TYPOLOGIE



i-1/ INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau doit être considérée comme élément liquide avec ses caractéristiques physico-chimiques particulières et ses multiples usages, mais également comme élément constitutif d'un milieu naturel, d'un écosystème. Sans eau l'homme ne peut survivre. Il en est de même pour tous les êtres vivants. Les aliments (ou toute substance nutritive) déshydratés ne peuvent permettre, sans apport complémentaire d'eau, ni le développement ni la reproduction des êtres vivants.

L'eau est la substance nécessaire de la nature, mais changeante car elle est dynamique. Elle charpente de façon étonnante cette nature : les paysages que nous regardons, les sols que nous appuyons, ont la sculpture de l'eau.

Les propriétés de l'eau ont une portée biologique capitale. Les structures des molécules sur lesquelles la vie est fondée (protéines, acides nucléiques, lipides, glucides complexes) dépendent directement des interactions qu'elles établissent avec le milieu aqueux. L'ensemble des propriétés de solvant de l'eau le permettent d'assurer de telles associations intra et intermoléculaires, ce qu'aucun autre solvant ne peut le faire.

En lessivant les terrains encaissants, l'eau s'enrichit en nutriments (azote, carbone, phosphore, calcium, potassium ...) qui détermine celle des chaînes trophiques et donc les potentialités d'alimentation pour l'ensemble des producteurs, consommateurs et décomposeurs aussi. L'eau est le facteur essentiel et l'élément marquant du fonctionnement périodique de la biodiversité. Sous l'impact anthropique, l'eau s'accumule en apports de substances toxiques (pesticides, métaux lourds) ou organiques (matière en suspension en grande quantité, nitrates, ammonium, orthophosphate ...), causant des déséquilibres et des perturbations dans le fonctionnement du milieu physique avec l'apparition des phénomènes d'anoxie, de toxicité ammoniacale, d'asphyxie, d'eutrophisation ...etc.

Les rapports de l'homme à l'eau ont été de tout temps multiples et complexes. Dès sa naissance, l'être humain est étroitement tributaire de l'eau. L'eau étant indispensable au développement de toutes les formes de vie, faunes ou flores ; il faut veiller à la préservation de cette ressource vitale du point de vue qualitatif et quantitatif. Donc, il faut garantir une gestion durable de cette ressource et préserver l'environnement dans lequel l'eau se situe en interaction continue: la biosphère.

l'environnement en 1972, le sommet de Rio en 1992, celui de Kyoto en 1997 puis celui de La dégradation de l'environnement par les activités anthropiques est un thème de plus en plus souvent abordé au niveau politique mondial avec la conférence de Stockholm sur Johannesburg en 2002. La qualité des eaux fait partie des sujets d'inquiétude, mais elle se situe de plus en plus loin derrière la qualité de l'air pour l'opinion publique. Pour les décideurs locaux, la protection de la qualité des eaux devient un enjeu d'importance pour les années à venir, même si cet enjeu est souvent occulté par des pollutions importantes et spectaculaires. Les activités humaines sont signalées aujourd'hui comme responsables d'importants changements de l'environnement. C'est depuis la seconde moitié du XX^e siècle que les préoccupations relatives à la dégradation de l'environnement et à la disparition des espèces végétales et animales ont connu une nouvelle dimension qui a contribué à l'essor de la création d'aires protégées dans le monde. L'augmentation continue du nombre et de la superficie des aires protégées traduit la volonté de la communauté internationale de préserver l'environnement en limitant et en contrôlant les activités anthropiques dans des espaces encore considérés comme « naturels » ou d'importance environnementale en terme de biodiversité, et d'espèces menacées ou en voie de disparition. Les parcs et autres réserves naturelles se sont avérés être « des moyens incomparables de la conservation de la nature », au moins lorsqu'ils ont été bien conçus et appropriés par les populations humaines des régions concernées.

Un parc national est un territoire limité par le gouvernement afin d'assurer une protection et une préservation de son patrimoine culturel et surtout de ses zones humides remarquables caractérisées par la biodiversité et la richesse naturelle exceptionnelle.

Notre biodiversité a été longtemps préservée, mais les principaux constituants de notre environnement ont été particulièrement modifiés par la libération de diverses molécules dont certaines se révèlent toxiques non seulement pour la flore et la faune mais également pour la santé humaine.

En Algérie, l'emprise croissante de l'homme sur ces zones humides et leurs bassins versants, introduit des risques qui suscitent des craintes à l'échelle de seulement quelques années pour ce pays afro-méditerranéen, dont les ressources en eau sont limitées et très dépendantes de l'influence du climat. L'exemple du Parc National d'El Kala est illustratif, car il s'agit d'une zone classée depuis 1983 comme Parc National, qui comprend un complexe de zones humides lui-même classé site Ramsar et réserve de la biosphère, vu sa grande richesse faunistique et floristique. En 1990, le site est classé par l'UNESCO comme réserve mondiale

de la biosphère. En parallèle, ce territoire continue à subir une dégradation intense, causée par l'action humaine surtout mais aussi par des facteurs naturels.

Le Parc National d'El Kala (PNEK) a subi, pendant ces dernières années, une croissance démographique étendue suivie d'une expansion économique et particulièrement agricole au détriment de la biodiversité de la région d'étude. Par conséquent, une augmentation de la demande en eau et une exposition de la ressource à différentes pollutions résultantes de l'inconscience humaine ce qui a influencé sur le mauvais fonctionnement de l'environnement aux alentours.

L'objectif principal de la thèse est d'étudier l'aspect qualitatif des eaux, les risques d'une pollution et les facteurs provoquant une détérioration possible de l'environnement et de la qualité des eaux dans la région d'étude. A travers cette thèse, nous allons tenter surtout de visualiser l'impact anthropique sur la dégradation de l'environnement et sur la qualité des eaux dans le PNEK et d'évaluer, par nos propres moyens, les caractéristiques physico-chimiques et organiques et en s'appuyant sur des données bibliographiques disponibles afin de bien comprendre ce qui se passe dans ces milieux de vie. Mais avant tout, il sera utile de traiter biographiquement le concept du «parc national » afin de mieux soutirer une idée visible et rentable et donc cerner la problématique aux alentours de nos préoccupations indiquées ci-dessous.

La réalisation de ce travail nous incite en priorité de répondre aux préoccupations véridiques :

- * Quelle est la qualité physico- chimique actuelle des eaux superficielles et souterraines dans le PNEK ?
- * Quels sont les facteurs primordiaux qui contribuent à une dégradation éventuelle de la qualité des eaux et de l'environnement ?
- * Quels sont les procédés de prévention adéquats permettant d'encercler toute pollution nuisible à la qualité des eaux et à l'environnement ?

Des données obtenues et des résultats développés à partir d'un suivi hydrogéologique et hydrochimique des eaux depuis 2011 (s'appuyant sur des outils relatifs à la géologie, l'hydrogéologie, la chimie ...etc.) ont permis d'adopter un plan de travail pour répondre à ces préoccupations. Ce plan de travail comporte cinq chapitres :

Chapitre I - APERÇU SOCIO- ÉCONOMIQUE : A englobé tous les intrusions humaines exercées sur le parc d'El Kala ; on parle de l'accroissement humain et les principales bâtisses et activités socio- économiques qui l'accompagnent.

Chapitre II - ANALYSE DU MILIEU PHYSIQUE : Est consacré à la description de la plate-forme du Parc National d'El Kala en identifiant sa situation géographique, ses caractéristiques géomorphologiques, géologiques et les richesses naturelles et culturelles qu'il renferme.

Chapitre III - HYDROCLIMATOLOGIE : Où on s'est intéressé à l'analyse climatologique en traitant les paramètres climatiques essentiels pour étudier le bilan hydrique et déterminer le climat dominant, à l'identification hydrologique et permettre de ressortir les potentiels hydriques, en surface que dispose la région d'étude. Nous avons abordé les concepts liés à l'écoulement des eaux superficielles en déterminant les bassins versants qui constituent le parc d'El Kala.

Chapitre IV - HYDROGEOLOGIE : Qui nous a permis d'identifier les systèmes aquifères existants, l'hydrodynamique et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain par l'interprétation de la piézométrie et l'établissement des coupes hydrogéologiques.

Chapitre V - CHIMIE ET POLLUTION DES EAUX : On en s'est concentré sur l'interprétation des données analytiques physico- chimiques des eaux pour déterminer ses faciès chimiques imposés, ainsi que sur l'analyse des paramètres organiques indispensables afin de montrer le degré de la pollution des eaux par la détermination des indices de pollution organique.

Chapitre VI - IMPACT ANTHROPIQUE : Dans ce dernier chapitre, On s'est appuyé sur l'interprétation (synthèses) des études et des travaux scientifiques réalisés sur la région d'étude et qui vont surement nous aider à identifier l'impact négatif de l'homme dans son milieu physique et les causes probables d'une pollution sur l'environnement en général et les eaux en particulier.

i-2/ AIRES PROTÉGÉES EN ALGERIE

Une aire protégée est « un espace géographique classé » [HAMOUDA, 2012]. L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) définit une aire protégée comme étant « un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services éco- systémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associés. » [FERCHICHI, 2010]. L'article 2 de la loi n°11-02 du 17 Février 2011 (Fiche n°1-annexe) définit une aire protégée comme « le territoire de tout ou partie d'une ou de plusieurs communes ainsi que les zones relevant du domaine public maritime soumis à des régimes particuliers fixés pour la protection de la faune, de la flore et d'écosystèmes terrestre, lacustre, côtier et/ou marin concernés. ».

L'Algérie, vue la richesse de sa diversité biologique, s'est trouvée dans le souci de protéger et de préserver ses milieux naturels fragiles et rarissimes qui peuvent servir de support vital aux populations humaines. Et avec la mise en place d'un véritable réseau d'espaces surveillés et protégés par le gouvernement, la superficie des aires protégées s'est augmentée depuis la création du concept de réserve de biosphère par l'UNESCO en 1971.

Ces dernières décennies, l'Algérie a mis en œuvre une politique de protection de ces aires protégées, menant à leur classement dans le cadre de conventions internationales (Ramsar et Biodiversité). Elle utilise sa technologie satellitaire pour mieux surveiller les espaces protégés. On compte des dizaines d'aires protégées dans le territoire algérien et qui se distribuent entre des parcs nationaux, des réserves naturelles et des zones humides :

i-2-1/ Parcs nationaux

Le parc national est « un territoire relativement étendu qui présente un ou plusieurs écosystèmes généralement peu ou pas transformés par l'exploitation et l'occupation humaine où les espèces végétales et animales, les sites géomorphologiques et les habitats offrent un intérêt spécial du point de vue scientifique, éducatif et récréatif, ou dans lesquels existent des paysages naturels de grande valeur esthétique. » [FERCHICHI, 2010].

L'article 5 de la loi n°11-02 du 17 Février 2011 définit un parc national comme étant « un espace naturel d'intérêt national institué dans le but de protéger l'intégrité d'un ou de plusieurs écosystèmes, il a pour objectif d'assurer la conservation et la protection de régions naturelles uniques, en raison de leur diversité biologique, tout en les rendant accessibles au public à des fins d'éducation et de récréation ».

Donc, les parcs nationaux algériens sont actuellement créés et protégés par décrets. On compte, à présent, 14 parcs nationaux dont 11 parcs sont classés patrimoines mondiaux par l'UNESCO. Le parc culturel du Tassili à Illizi (ex- parc national) est le premier parc national algérien, du grand sud, créé en 1972 et classé patrimoine mondial en 1982 et réserve de biosphère depuis 1986 par l'UNESCO. Les onze parcs nationaux, d'une superficie de 184897,62 km², sont répartis comme suit (Fig.01) (Tab.01-annexe) :

✚ (08) huit parcs nationaux situés au Nord du pays : de Belezma, de Chréa, de Djurdjura, d'El Kala, de Gouraya, de Taza, de Theniet El Had et de Tlemcen.

✚ Un parc national localisé dans la zone steppique à Naâma correspond au parc national de Djebel Aissa.

✚ (02) deux parcs nationaux répartis dans le grand sud algérien, il s'agit du parc national du Tassilli et celui de l'Ahaggar et qui sont devenus parcs culturels (Décrets n°11-87/11-88) vue la richesse archéologique que renferment ces deux sites (Fiche n°2-annexe).

i-2-1-1/ Convention sur la diversité biologique

La convention a pour objectif, dont la réalisation sera conforme à ses dispositions pertinentes, la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques et à un transfert approprié des techniques pertinentes, compte tenu de tous les droits sur ces ressources et aux techniques, et grâce à un financement adéquat (articles de la convention, nations unies 1992).

i-2-2/ Réserves naturelles

Une réserve naturelle est un espace géographiquement limité dans le but de contrôler et protéger une espèce animale ou végétale en voie de disparition (exile) ou présentant des qualités exceptionnelles.

L'article 10 de la loi n°11-02 du 17 Février 2011 définit une réserve naturelle comme étant « un espace institué à des fins de conservation, de protection et/ou de restauration des espèces de faune, de flore, des Ecosystèmes et des habitats. Sur le territoire de la réserve naturelle, toutes les activités humaines sont réglementées. »

Selon le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement algérien, on compte 05 réserves naturelles et qui sont représentées dans la figure n°01 (Tab.03-annexe).

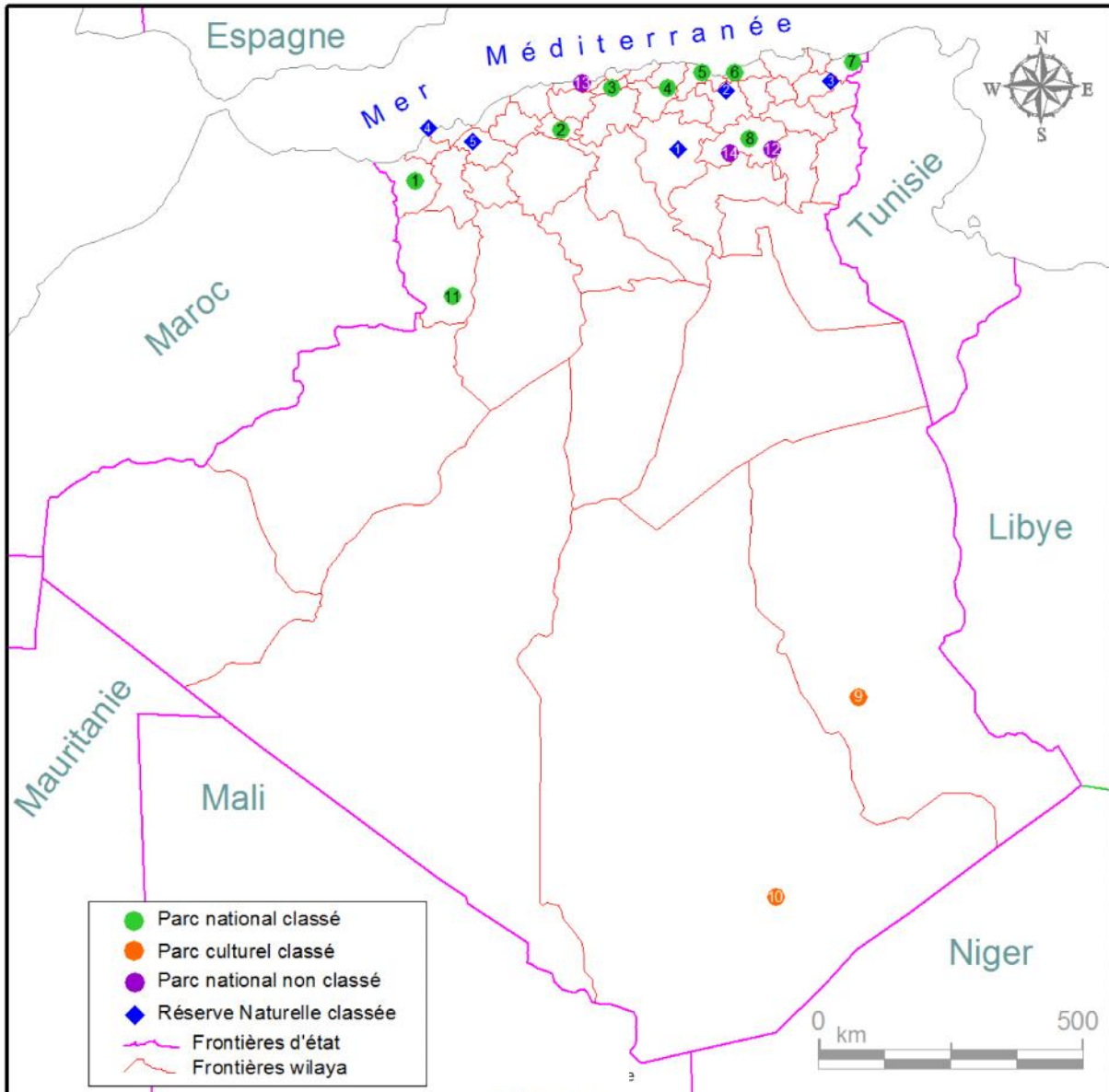


Figure n°01 : Répartition des parcs nationaux et des réserves naturelles en Algérie.

i-2-3/ Zones humides

D'après la Convention de Ramsar « les zones humides sont des étendues de marais, de fagne, de tourbière ou d'eau naturelle ou artificielle, permanente ou temporaire où l'eau est

stagnante ou courante, d'eau saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur ne dépasse pas 6m » [GHERZOULI, 2013].

L'article 3 de la loi n°11-02 du 17 Février 2011 définit une zone humide comme étant « toute zone se caractérisant par la présence d'eau douce, saumâtre ou salée, permanente ou temporaire, en surface ou à faible profondeur dans le sol, stagnante ou courante, naturelle ou artificielle, en position d'interface et/ou de transition, entre milieux terrestres et milieux aquatiques, ces zones abritent de façon continue ou momentanée des espèces végétales et/ou animales ».

L'Algérie, vue la divergence de son climat et de sa géomorphologie, est riche en zones humides donnant un panorama merveilleux et typique. Par exemple, le côté nord oriental comporte de nombreux lacs d'eau douce, de marais et des plaines d'inondation. Le côté nord occidental possède des sebkhas et les chotts des plans d'eau salée des hautes plaines steppiques. Vers le Sud où le Sahara renferme les fameuses oasis et les dayates. A présent, on compte 50 sites répartis dans le territoire algérien et qui sont classés sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale (Tab.02-annexe). La figure n°02 représente la répartition des zones humides classées sur la liste Ramsar dans la wilaya d'El Tarf.

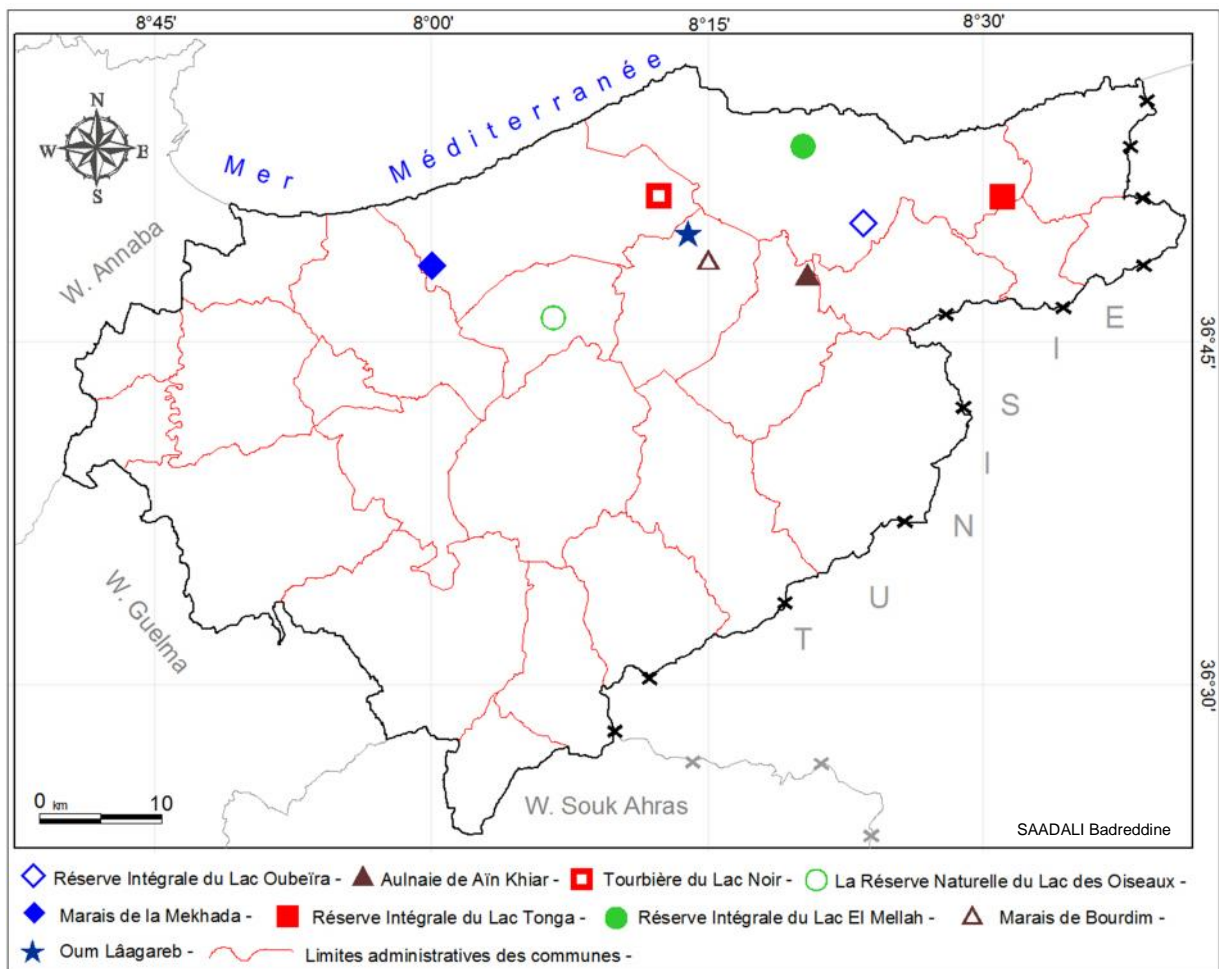


Figure n°02 : Répartition des zones humides dans la wilaya d'El Tarf.

i-2-3-1/ Réserves intégrales

La réserve naturelle intégrale est instituée par une loi. Cette dernière définit les prescriptions de protection y relative. La réserve naturelle intégrale est un espace institué pour assurer la protection intégrale d'écosystèmes, ou de spécimens de faune ou de flore rares méritant une protection intégrale (Article 7).

Dans ces réserves, les activités humaines sont quasiment interdites seulement des activités ponctuelles à des fins de recherche scientifique ou ayant un caractère d'urgence et d'importance nationale.

i-2-3-2/ Convention Ramsar

Elle a pour objectif de créer un cadre large pour permettre une identification rapide des principaux habitats de zones humides représentés dans chaque site désigné Ramsar. Ainsi, la convention Ramsar répertorie 26 types codés de A à Z, et des zones artificielles codées de 1 à 8 qu'il est possible de regrouper en 5 catégories générales : Lacustre; Alluviales; Palustre; Marine; Estuarienne [CHEKCHAKI, 2012].

La première définition légale est apparue lors de la signature de la convention de Ramsar le 2 février 1971. Il s'agit d'un traité intergouvernemental servant de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources. La Convention de Ramsar a retenu dans sa définition les zones littorales «où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres.» [LEVEQUE, 2009]. La Convention Ramsar (région Ramsar, Iran, 1971) a pour mission « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier » [Ramsar-org].

i-3/ Bref historique sur le PNEK

Le Parc National d'El Kala (PNEK) représente l'un des plus grands parcs nationaux de l'Algérie et de l'Ouest méditerranéen. Des études réalisées par J.P Thomas (1975) et N.C Morgan (1982) ont démontré la richesse et la nécessité de protéger les zones humides d'El

Kala. En 1982, les deux premiers sites lacustres qui représentaient le lac Tonga et Oubeira s'étaient inscrits sur la liste Ramsar comme habitat pour la sauvagine. Mais ce n'est qu'à la date du 23 juillet 1983 que le territoire d'El Kala est désigné comme parc national sous un décret présidentiel n°83 - 462 relatif à la protection de l'environnement fixant le statut type des parcs nationaux (Fiche n°3-annexe) et l'arrêté n°005 CAR.M/129 BCCR/87 fixant le zonage du parc, émanant du ministère de l'agriculture et de la pêche.

Le Nord-Est algérien ou Numidie recèle en son sein un important et vaste éco-complexe de zones humides. On estime l'étendue de cet ensemble de territoire humide à plus de 2000 hectares. L'intérêt biologique majeur de ces régions a suscité la création du Parc National d'El Kala [BELOUAHEM-ABED, 2012].

Le 17 décembre 1990, le PNEK a été classé sur la liste du patrimoine national et culturel et réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO pour l'étude et le suivi des modifications qui affectent la planète. L'an 2002, deux autres sites ont été érigés sur la liste Ramsar concernant la réserve intégrale de la tourbière du lac Noir et les Aulnaies de Ain- Khia. Après, le lac Mellah et le lac Bleu ont été classés sur la même liste en 2004.

CHAPITRE I



APERÇU SOCIO- ÉCONOMIQUE



I-1/ LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

Le parc national d'El Kala se situe à l'extrême Nord- Est du tell algérien ; aux confins algéro-tunisiens. Il est entièrement inclus dans la wilaya d'El Tarf avec une superficie de 78628 hectares, soit environ 27 % de la superficie totale de la wilaya (Tab.01). Sa bordure littorale s'étend sur environ 45 km et longe la frontière avec la Tunisie sur presque 80 km.

Le PNEK est approximativement enserrée entre 36°35'- 36°57' de latitude Nord et 08°11'- 08°41' de longitude Est (Fig.03). Il est réparti entre neuf communes qui sont : El Kala (ex- la Calle), Bougous (Bougos), Aïn El Assel (Yusuf), Souarekh (Oum Teboul), Raml Souk (Roum El Souk), El Aïoun (Lacroix), El Tarf (Le Tarf), Berrihane (El Moïssiah) et Bouteldja (Blandan). Le Parc d'El Kala est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par les frontières algéro- tunisiennes et au Sud par les monts de la Medjerda (Monts d'El Kala). Sa limite ouest est dessinée par un trait parcourant la ligne de crête d'une partie du bassin versant de l'oued Bougous jusqu'au pont de la RN°44 sur l'oued el Kebir- Est, puis continue, conjointement avec cette route vers la commune d'Aïn El Assel qui est attachée au village de Aïn Khiar par une route et qui correspond à la limite nord de la plaine d'El Tarf. Ensuite, elle continue parallèlement avec la route RN°44 vers l'Est de Bouteldja traversant la ligne de crête du Dj- Bourdim vers l'altitude 325 m (Koudiat Fegaïa) et en continuant vers Bordj Ali Bey. Cette limite s'achève dans le littoral à l'ouest de cap Rosa en poursuivant la ligne de crête du Dj Koursi.

Cette situation présente un intérêt écologique remarquable pour trois raisons principales : sa grande diversité de milieux naturels, sa position originale en Méditerranée centrale (à la croisée des grands biomes tempérés, tropicaux, atlantiques et orientaux) et sa situation au sein d'un Maghreb isolée entre mer et désert [YOUBI, 2008].

L'évolution socio- économique de la région, depuis la fixation des modalités d'intervention dans le territoire du PNEK par le Ministère de l'Hydraulique en 1987, est marquée par la multiplication et/ ou l'extension d'un grand nombre d'agglomérations sous l'effet de la croissance démographique, l'accroissement de la pression anthropique en milieu rural, le développement du réseau routier, la multiplication des réseaux de transport d'énergie, d'eau ou d'assainissement, la création de barrages réservoirs, l'augmentation des flux touristiques, les incendies de forêts, les défrichements, le surpâturage..., entre autres, a profondément modifié le contexte initial qui a présidé à la définition du territoire et à son zonage [DJEFEL. M B]^[CENEAP-PNEK. 2011].

Zone d'étude

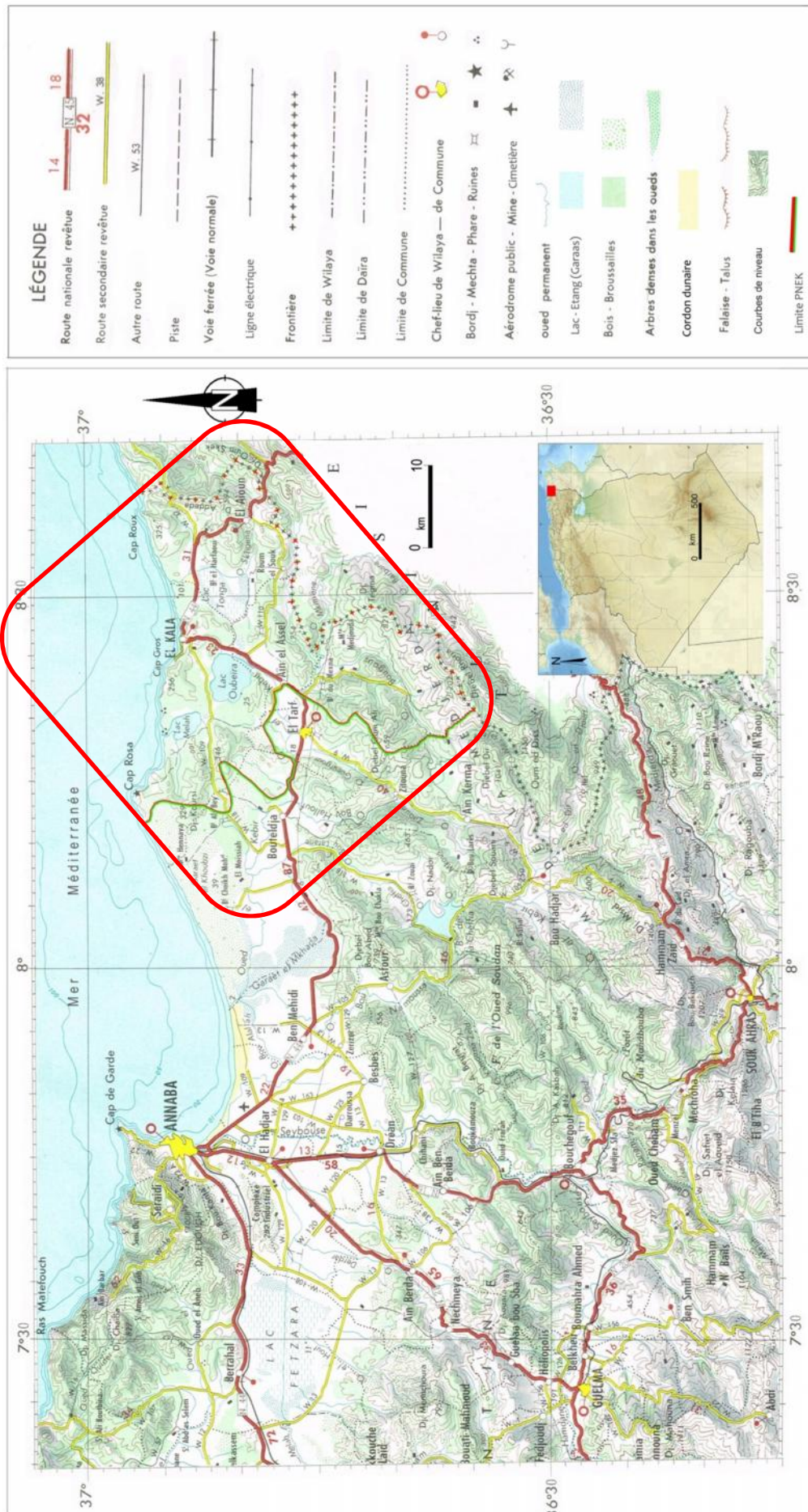


Figure n°03 : Localisation géographique du parc national d'El Kala (Extrait la carte topographique d'Algérie 1/500 000 : Constantine + traitement)

I-2/ DÉCOUPAGE ADMINISTRATIF

Issue du découpage administratif de 1984, la Wilaya d'El Tarf s'étend sur une superficie de 2880 km² et elle est constituée de sept Daïras rassemblant vingt- quatre communes (Tab.04-annexe). Les terrains du parc national d'El Kala, d'une superficie de 786,28 km², sont entièrement inclus dans la wilaya d'El Tarf (Fig.4). Administrativement, le parc d'El Kala couvre quatre Daïrates et il s'étend sur neuf communes dont trois d'entre- elles sont totalement incluses dans le parc d'El Kala et qui sont : Souarekh - El Aïoun - Raml Souk (Tab.01).




Tableau n° 01 : La répartition de la surface des communes dans le PNEK.

Daïrates	Communes	Surface dans la wilaya (km²)	Surface dans PNEK (%)	Surface dans PNEK (km²)
El Tarf	Aïn El Assel	96	93	89,28
	Bougous	217	96	208,32
	El Tarf	112	16	17,92
El Kala	El Aïoun	46	100	46
	El Kala	292	88	256,96
	Raml Souk	50	100	50
	Souarekh	87	100	87
Bouteldja	Bouteldja	115	18	20,7
Ben M'hidi	Berrihane	202	5	10,1
Total	09	1217	64,61	786,28

Source CENEAP

I-2-1/ Statut du parc d'El Kala

Le PNEK est protégé par un siège public à caractère administratif (Fig.5) et une autonomie financière et rattaché au ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche et doté de directions et de personnels dans plusieurs domaines. Ainsi, le PNEK est administré sur le terrain à travers trois secteurs de gestion (Fig. 4) :

-  Secteur de Bougous : qui couvre une superficie de 265,88 km² ;
-  Secteur de Brabtia : qui couvre une superficie de 259 km² ;
-  Secteur d'Oum Teboul : qui couvre une superficie de 261,4 km² de la superficie du parc.

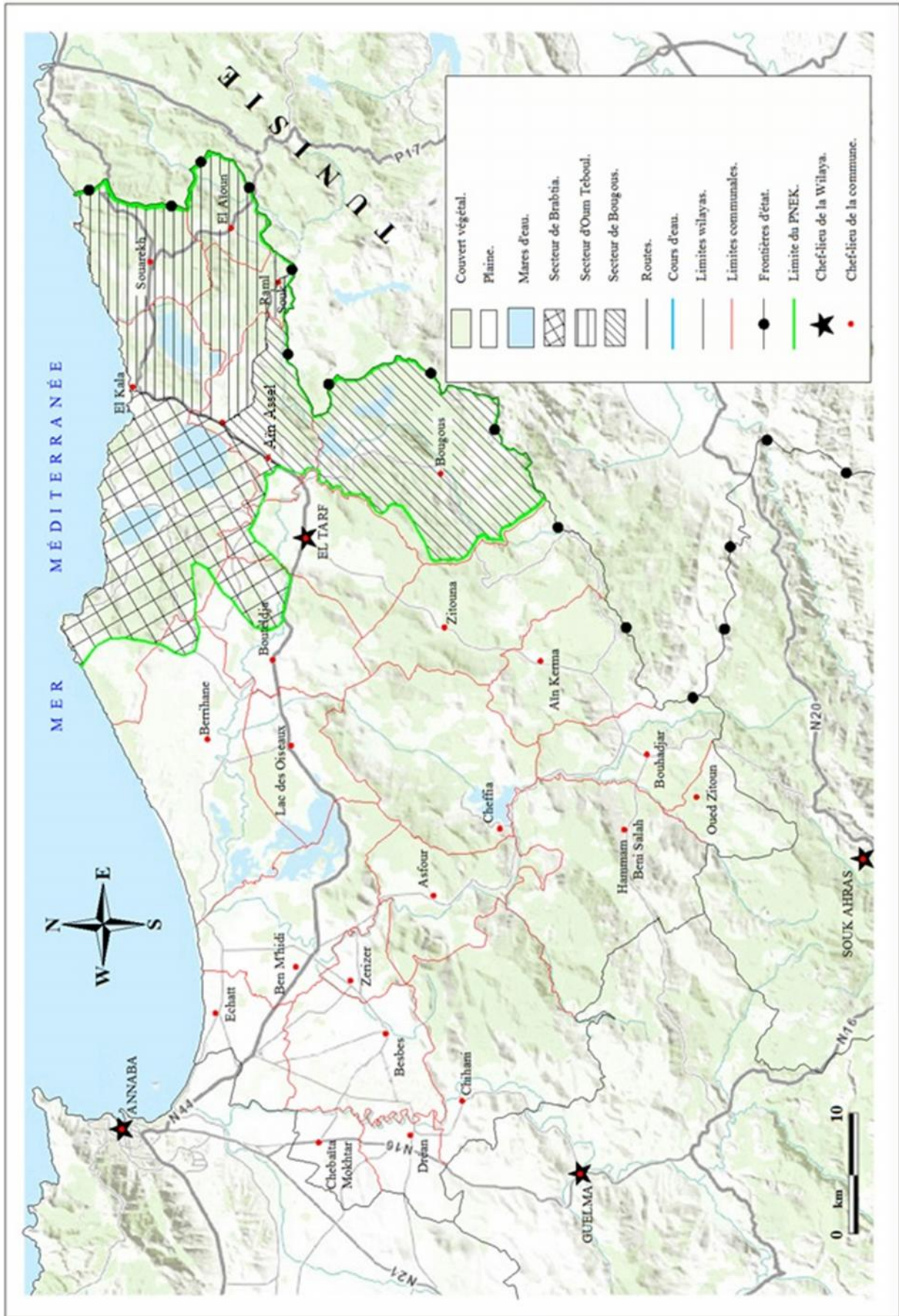


Figure n°04 : L'emplacement administratif du PNEK dans la Wilaya d'El Tarf + la répartition de ses secteurs de gestion.

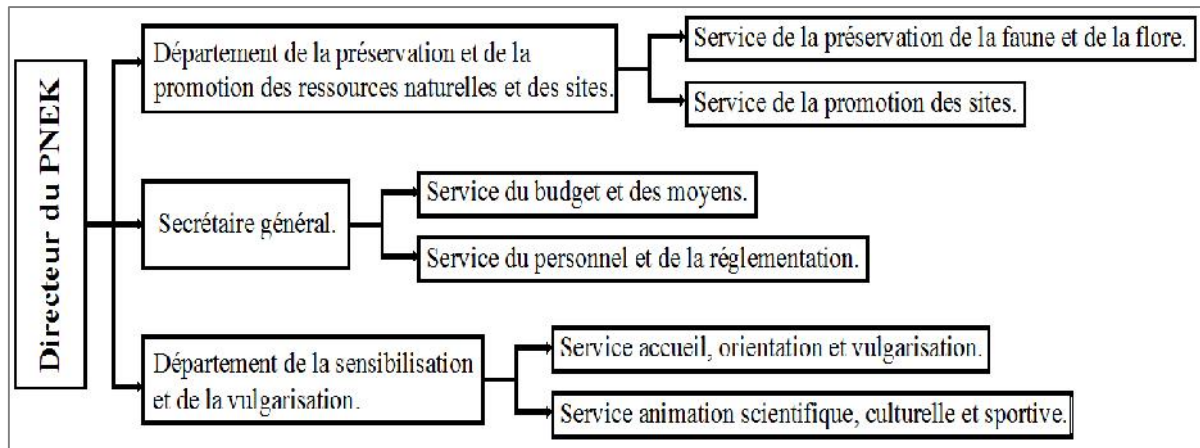


Figure n°05 : L'organisation administrative du PNEK.

Comme tous les Parcs Nationaux, le PNEK est géré par plusieurs textes législatifs principalement:

- 1/ La loi n°83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement (supprimé par la Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable) [YOUBI, 2008] ;
- 2/ Décret n°83- 458 du 23 juillet 1983, fixant le statut- type des parcs nationaux (création du PNEK) ;
- 3/ Décret n° 87-143 du 16 juin 1987, fixant les règles et modalités de classement des parcs nationaux et des réserves naturelles ;
- 4/ Arrêté n°5.CAB.M/129 BCCR/87 du 25 avril 1987, fixant les modalités d'intervention dans le territoire du parc national d'El Kala par le ministère de l'hydraulique, de l'environnement et des forêts ;
- 5/ La loi n°84-12 du 23 juin 1984, portant régime général des forêts (modifiée et complétée par la Loi n°91-20 du 02 décembre 1991) et précisée par le décret n°01-87 du 05 avril 2001 fixant les conditions et les modalités d'autorisation d'usage dans le cadre des dispositions de l'article 5 de la loi n°84-12 ;
- 6/ Loi n° 04-03 du 23 juin 2004 relative à la protection des zones de montagnes dans le cadre du développement durable.
- 7/ La loi n°04-07 du 14 août 2004, relative à la chasse.

I-2-2/ Objectifs du Parc d'El Kala

L'objectif primordial de n'importe quel parc national est la conservation et la protection de ses ressources naturelles. Dans le cas du parc national d'El Kala, les objectifs sont multiples et clairement explicités par De Belair [in OUELMOUHOUB, 2005] :

- Protéger et conserver toutes les richesses du milieu naturel ;
- Maintenir l'aspect naturel de tous les paysages : sites, monuments historiques et préhistoriques et les préserver de toute intervention artificielle incompatible avec le milieu ;
- Assurer la reproduction et le développement des espèces forestières et animales ;
- Veiller à ce que les exigences touristiques ne portent pas préjudice aux objectifs de conservation du parc ;
- Initier et développer toute activité de loisir et sportive en rapport avec la nature de l'implantation d'une infrastructure touristique dans la zone périphérique du parc ;
- Promouvoir les activités traditionnelles des habitants de la région conformément à l'équilibre écologique ;
- Associer l'université aux activités de recherches scientifiques dans le parc.

I-2-3/ Zonage du Parc d'El Kala

Conformément à la réglementation des parcs Nationaux, et suite à l'arrêté du 25 Avril 1987 fixant le zonage et les modalités d'intervention dans le Parc National d'El-Kala. Le territoire du PNEK a été divisé en 10 zones et 31 sous-zones appartenant à 05 classes différentes de protection [YOUBI, 2008].

C'est d'après la nature du terrain et la distribution des milieux selon les différentes espèces vivaient aux alentours, une classe de protection des zones du parc est admise [GRIMES, 2005] (Fig. 6) :

■ **La classe I- Réserve intégrale** : Les aires renferment des ressources à caractère unique ou particulier. Les zones et sous-zones de cette classe sont intégralement soustraites à toute intervention à l'exception des investigations à caractère scientifique. Les interventions éventuelles sont soumises à l'autorisation du Ministre chargé de l'environnement ;

■ **La classe II- Primitive ou sauvage** : Les aires sont constituées de milieux naturels spécifiques qui doivent être maintenus dans leur état au titre d'échantillon témoin pour être comparés aux milieux naturels dégradés ou en voie de l'être. Les interventions dans cette classe ne doivent pas modifier l'ambiance naturelle. Elles sont soumises à autorisation du Ministre chargé de l'environnement ;

■ **La classe III- À faible croissance**: Les aires renferment des milieux naturels en développement ou ayant une esthétique particulière à conserver. Elles peuvent être des lieux pour des activités culturelles, scientifiques, sportives, touristiques, de loisirs et de détente en rapport avec la nature ainsi que des zones de développement des ressources agricoles et artisanales ;

Source : HAMOUDA

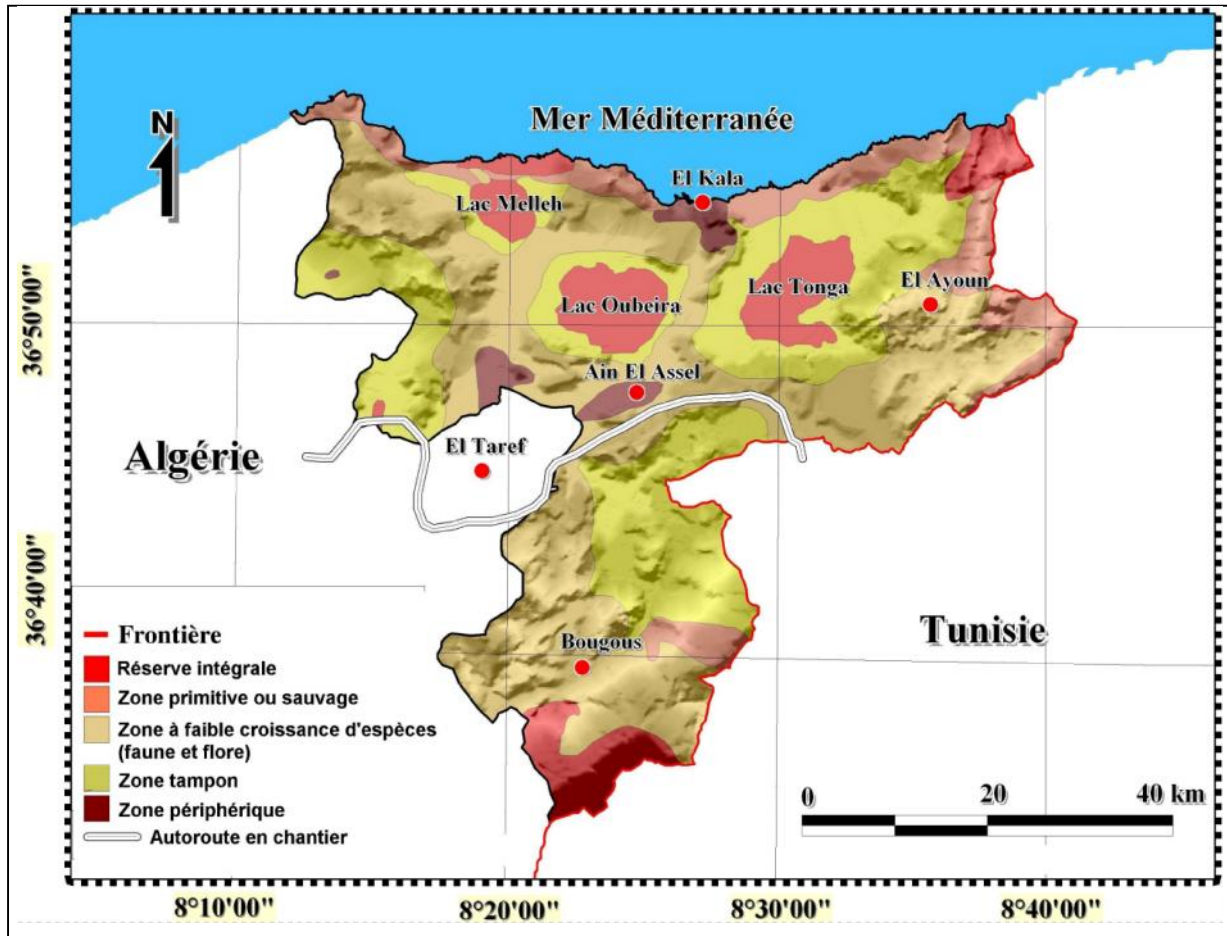


Figure n°06 : Les différentes zones du parc d'El Kala.

■ **La classe IV- Tampon** : Les aires séparent les aires rigoureusement protégées des zones ouvertes à la fréquentation en rapport avec la nature comme l'agriculture et la sylviculture. Dans cette classe toute intervention est soumise à l'autorisation du Wali après avis du Directeur du Parc National ; Cette classe sépare les trois premières classes de la dernière classe.

■ **La classe V- Forte croissance ou périphérique** : Cette catégorie renferme les agglomérations incluses dans le Parc National où sont concentrées les structures et infrastructures socio-économiques. Celles-ci doivent être conformes aux dispositions de la loi de l'environnement en matière de nuisance. Toute intervention en dehors du plan d'urbanisme directeur des chefs-lieux de communes doit être soumise à l'autorisation du Wali.

La classe V est la classe qui sert de lieu à toutes formes de construction (article 4- du décret 83-458 : qui divise les secteurs du parc en cinq classes selon le degré de sensibilité de chacun).

Or, le tracé de l'autoroute Est-Ouest traversant des zones de la classe III, ce qui correspond donc à une transgression de la loi présidentielle [HAMOUDA, 2012].

I-3/ POPULATION HUMAINE

La population humaine (Fig. 7), répartie dans les neuf communes du parc national d'El Kala, s'est développée selon quatre époques distinctes (Tab.05-annexe):

✚ L'époque coloniale où la population rurale est majoritaire, alors que la population urbaine se concentre surtout sur le littoral (la Calle, Oum Teboul) où Les infrastructures de communication, de commerce et les unités industrielles se sont réunies. Selon Homewood (1993), la population du parc d'El Kala a triplé entre 1856 et 1955, elle est passée, respectivement, de 11299 à 37351 habitants [GRIMES, 2005] [CENEAP-PNEK, 2011].

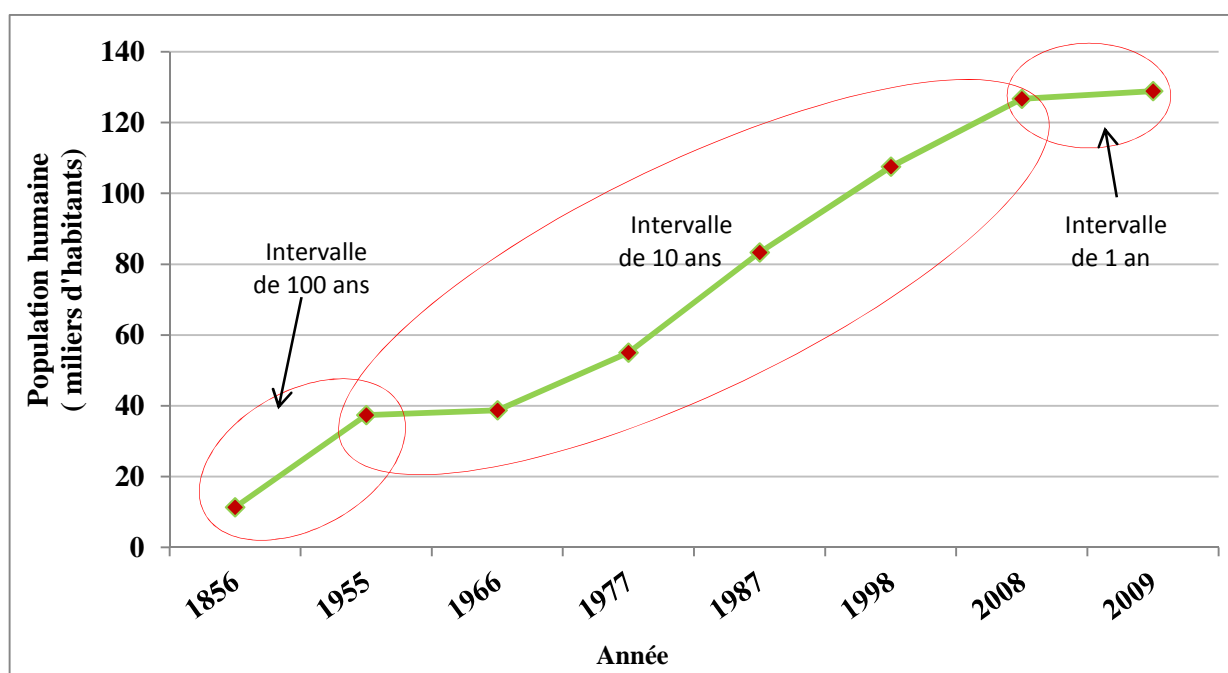


Figure n°07 : L'accroissement de la population humaine dans la région d'étude (1856/2009).

✚ Les trois premières décennies de l'Algérie indépendante, la région d'étude a connu un exode rural et un flux migratoires sérieux qui ont entraîné une expansion étendue de la population urbaine et en parallèle la population rurale a commencé à prendre sa place surtout avec la structuration de la révolution agraire (construction des villages agricoles socialistes à Oum Teboul, à Aïn El Assel, à Bougous...).

La population du PNEK est passée de 38727 habitants en 1966 à 55056 habitants en 1977 et a augmenté de 83306 habitants en 1987 [HAMOUDA, 2012].

✚ Durant la décennie 1990, amplifié par l'insécurité qui a connu l'Algérie, la population rurale s'est ruisselée vers des terrains plus sécurisés aux alentours des points urbains

entraînant une sur-expansion au détriment de la biodiversité, causant ainsi la dégradation du paysage urbain. La population humaine a atteint 107577 habitants en 1998.

✚ Ces dernières décennies, et avec la stabilité sociale que connaît notre pays, la population a atteint 126743 habitants en 2008.

En 2009, le nombre des habitants dans les neuf communes constituant le parc national d'El Kala est arrivé à 128887 [AKROUM, 2013].

D'après le CENEAP, le nombre de la population en 2008 correspond à la totalité de la population des communes dans l'intégralité de leur superficie (les neuf communes), mais seulement 77000 habitants vivaient sur le territoire du parc d'El Kala, soit environ 61% de la totalité de la population des neuf communes.

Afin de mieux éclaircir les choses, la population est totalement résidente dans les communes d'El Kala, de Souarekh, d'El Aïoun, de Raml Souk, de Bougous et d'Aïn El Assel.

Source DPAT-Tarf, 2010

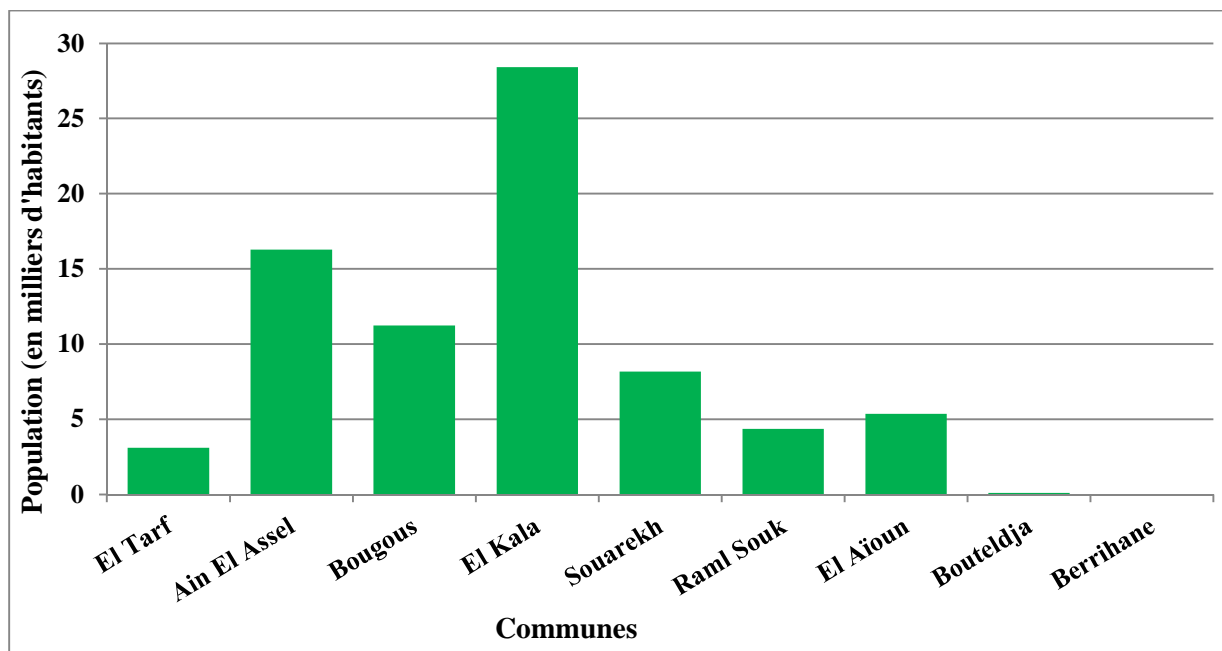


Figure n°08 : La répartition de la population humaine à l'intérieur du PNEK en 2008.

Seulement 12% de la population d'El Tarf, et qui correspond à Aïn Khia, est résidente dans le PNEK. Concernant la commune de Bouteldja, seulement des centaines d'habitants se situent à l'intérieur du PNEK. La population de la commune de Berrihane, à l'intérieur du parc, est quasiment nulle (Fig. 8).

D'après la figure n°8, la commune d'El Kala constitue la plus grande part d'habitants dans le PNEK. Par contre, la population répartie dans la commune de Bouteldja représente la plus faible du fait de la nature des terrains qu'occupe cette commune.

L'occupation des terrains, répartis dans le parc (Tab.02), par les populations humaines nous donne une idée envisageable sur la pression et la concentration exercée par un nombre d'habitants sur une surface de 1 km² : la densité. D'après la surface totale du parc d'El Kala et le nombre d'habitants résidants, on a normalement 98 habitants qui occupent 1 km² de superficie. La plus grande densité est observée au niveau de la commune d'Aïn El Assel et d'Aïn Khiair, où on enregistre respectivement les valeurs de l'ordre de 182 et de 172 hab/km².

Tableau n° 02 : La répartition de la densité des habitants dans le PNEK en 2008.

Communes	Superficie (km ²)	Population (habitant)	Densité (Habitant/km ²)
El Tarf	17,92	3091	172,5
Aïn El Assel	89,28	16285	182,4
Bougous	208,32	11234	53,9
El Kala	256,96	28411	110,6
Souarekh	87	8173	93,9
Raml Souk	50	4356	87,1
El Aïoun	46	5347	116,2
Bouteldja	20,7	93	4,5
Berrihane	10,1	10	1,0
PNEK	786,28	77000	97,9

En réalité, 98 hab/ km² ne correspond pas à la densité réelle dans tout le parc (Fig. 9). Plusieurs paramètres interviennent dans la répartition et la concentration des populations dans le PNEK. La particularité montagnaise, forestière et l'intensité hydrographique de la région ont freiné l'invasion humaine. Les conditions socio- économiques se développent au sein des chefs- lieux que dans le reste des terrains. L'accessibilité aux chemins routiers permet les échanges de marchandises par exemple.

La population du parc d'El Kala est répartie entre trois principaux types de résidences ; les chefs- lieux; les agglomérations secondaires et les zones éparses (Tab.06-annexe) (Fig. 10). Ce déséquilibre dans la répartition des habitants est dû probablement au développement des infrastructures et des services décisifs (sanitaire, transport), l'abondance d'emploi et la sûreté. La différenciation classique entre les agglomérations urbaines et rurales dans une région donnée est basée sur le concept que les agglomérations urbaines fournissent un mode de vie généralement un niveau de vie différent de celui que l'on retrouve dans les agglomérations rurales.

Nous pouvons constater, d'après le tableau n°03, que la population dans la pluralité des communes du parc d'El Kala est majoritairement urbaine. Le taux d'urbanisation, qui correspond à la proportion de citadins dans la population totale, est nul dans les communes de Bougous, d'El Aïoun, de Berrihane et de Raml Souk.

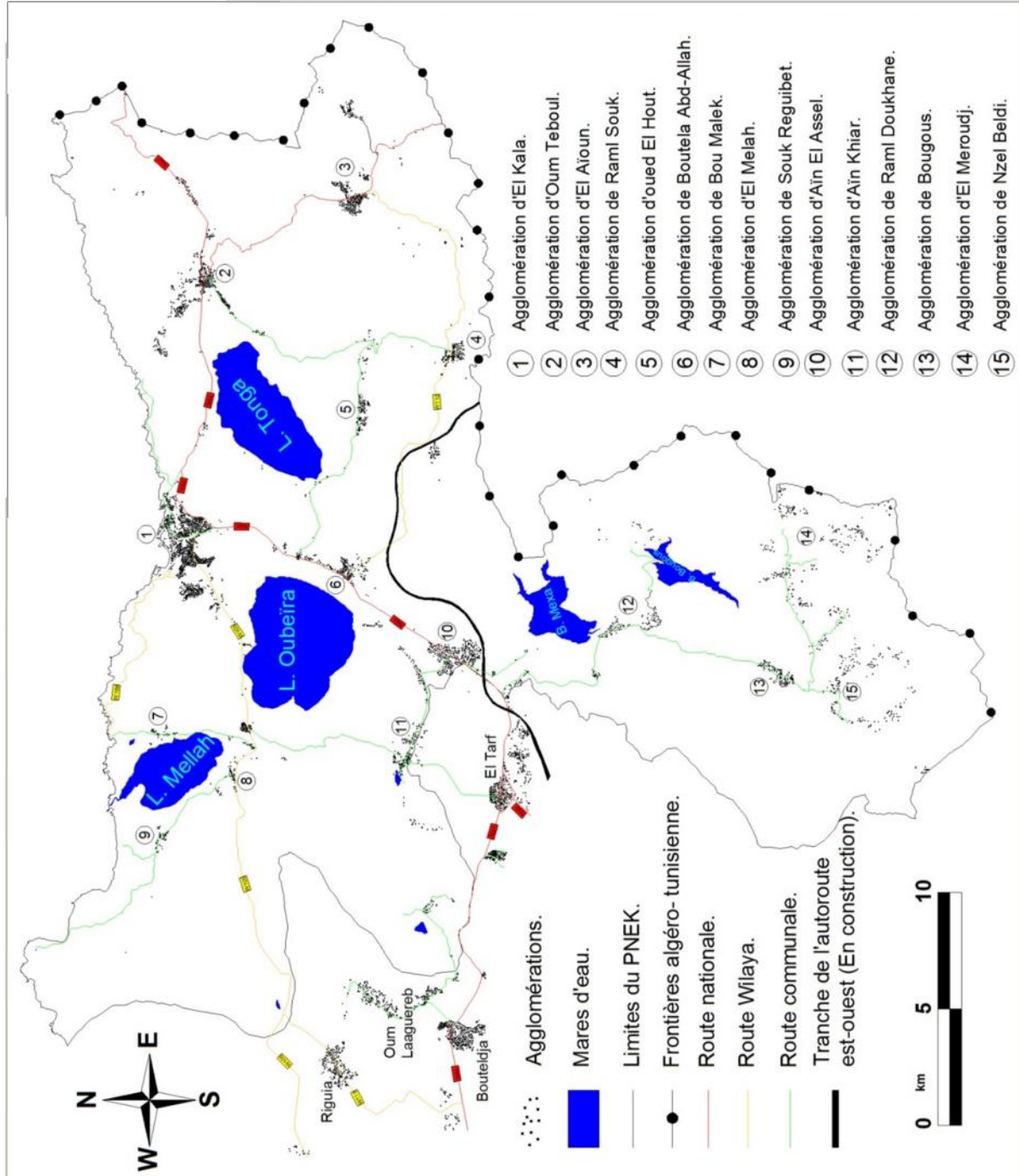


Figure n°09 : Répartition des agglomérations sédentaires dans la région du PNEK + les principales routes existantes. (Support : google- earth / juillet 2013).

Traitée source :Youbi

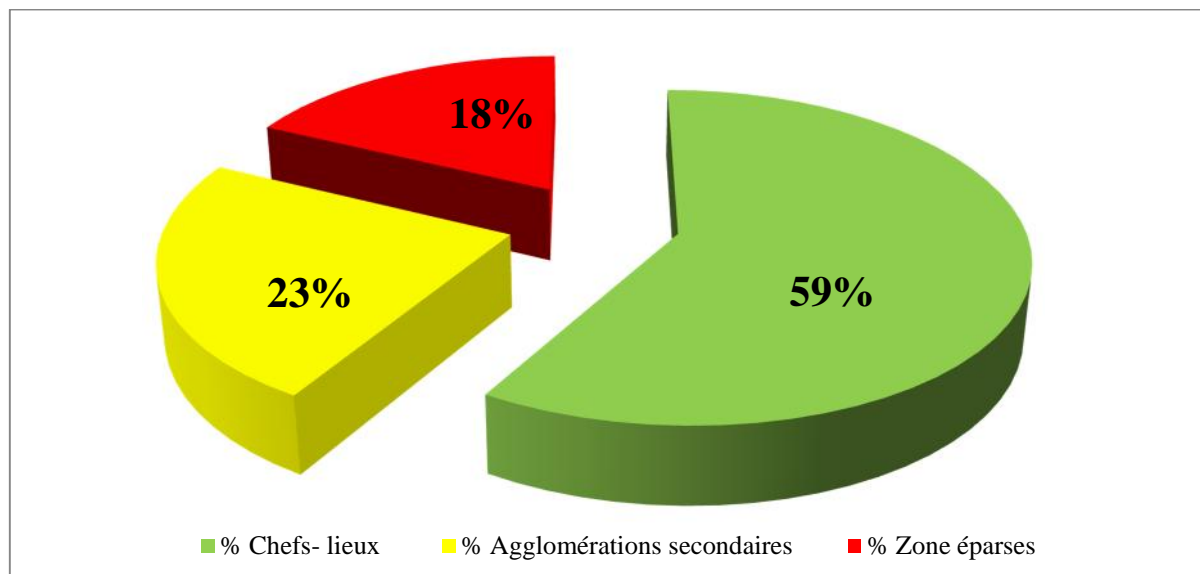


Figure n°10 : Principaux types de résidences de la population du PNEK en 2007.

Ces communes sont rurales et sont classées totalement rurales (TR). La commune d'El Kala correspond à une commune de prédominance urbaine (PU) avec un taux d'urbanisation dépassant les 85%. Les communes d'El Tarf, d'Aïn El Assel, de Bouteldja et de Souarekh correspondent à la classe des communes mixtes (MI) à population urbaine. Le taux d'accroissement annuel moyen de la population humaine des communes constituant le parc national d'El Kala est de 1,58% durant la période 1998/2008.

Tableau n° 03 : Evolution des taux d'urbanisation par commune.

Code	Commune	Taux d'urbanisation (%)		Taux d'accroissement annuel moyen (98/08)			Classification
		1998	2008	Population rurale	Population urbaine	Population totale	
3601	El Tarf	38,72	52,14	-0,19	5,48	2,35	MI
3604	Bougous	0	0	0,61	/	0,61	TR
3605	El Kala	85,73	85,14	1,81	1,32	1,39	PU
3606	Aïn El Assel	60,73	67,17	0,88	3,79	2,73	MI
3607	El Aïoun	0	0	1,56	/	1,56	TR
3608	Bouteldja	72,46	74,71	0,65	1,84	1,53	MI
3609	Souarekh	75,59	68,95	3,43	0,00	0,93	MI
3610	Berrihane	0	0	1,46	/	1,46	TR
3624	Raml Souk	0	0	1,63	/	1,63	TR

Source : ONS

MI : Communes mixtes, si la part de la population vivant dans les zones urbaines se situe entre 45% et 75%.

PU : Prédominance urbaine, si la part de la population vivant dans les zones urbaines est supérieure à 75%.

TR : Totalemment rurale.

I-3-1/ Agglomérations dans le PNEK

Le parc national d'El Kala est une mosaïque d'écosystèmes avec ces caractéristiques naturelles uniques, c'est un milieu fragile. L'urbanisation dans le parc est liée à un réseau de neuf communes de petite dimension dont six sont totalement ou presque incluses et répondent à la logique du PDAU qui régleme la croissance spatiale de ses villes à partir du principe de zonage. Mais, l'absence d'un dispositif juridique qui fait un arrangement entre les outils juridiques de préservation du PNEK et ceux de la planification urbaine conduit à une urbanisation en péril sur ce milieu qui est mal protégé.

Certes, le parc national d'El Kala porte le nom de la ville d'El Kala, car celle-ci est la commune la plus vaste et la plus agglomérée du parc, et auparavant elle était régentée dans la région. Et pour mieux visualiser la croissance urbaine et ses effets néfastes sur le parc d'El Kala, l'exemple de la ville d'El Kala est illustratif, car, d'après Hana Salah- Salah (2009), l'espace urbain de cette ville a évolué d'une manière inquiétante sans prendre en compte les diversités environnementales du milieu naturel protégé (Fig.11). En l'absence d'un véritable outil de cohérence entre la ville et le PNEK, on trouve que l'urbanisation à El Kala suit le modèle standard qui se répète partout en Algérie que soit la spécificité du milieu dans laquelle il s'inscrit et qui répond uniquement à la logique d'extension continue édicté par le PDAU. Les différentes formes urbaines observées sur les terrains étant protégés par décret et qui continuent à subir des destructions environnementales, on a [SALAH- SALAH, 2009]:

■ Un lotissement de maisons individuelles implanté sur la forêt du Boulif (un espace sauvegardé par le zonage comme zone classe II) causant déforestation de la couche végétale sur une zone sauvegardée plus le risque de glissement de terrain ;

■ Deux ensembles de lotissements pour maisons individuelles construites sur le bassin versant du lac Oubeïra (une partie de l'un des deux se trouve sur la zone tampon du lac Tonga) causant l'imperméabilité de la surface du bassin versant du lac Oubeïra, la déforestation de la couche végétale importante pour le bon ruissellement des eaux et la contamination des eaux de ruissellement qui alimentent les lacs ;

Source : SALAH-SALAH + modification

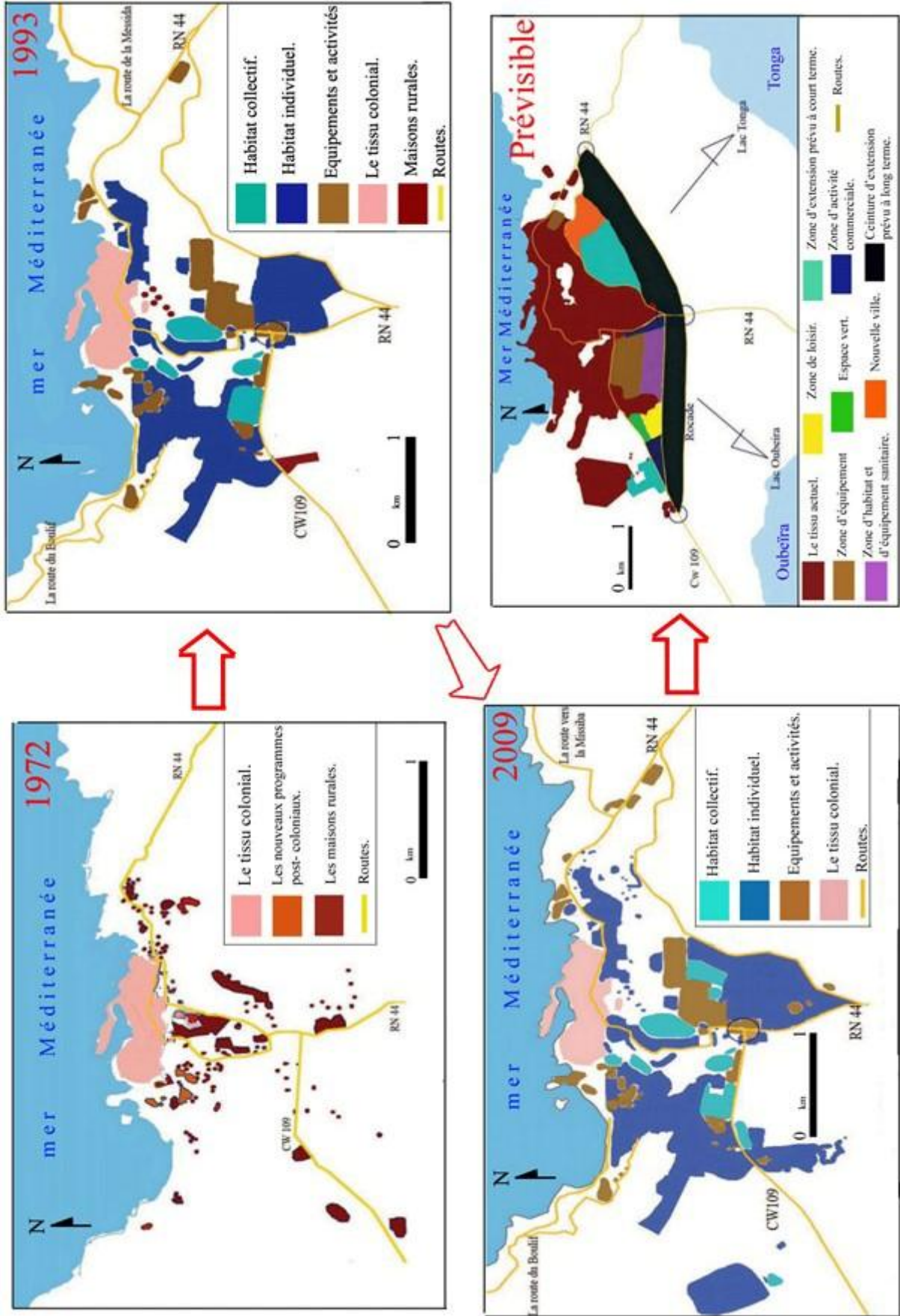


Figure n°11: Amplification urbaine de la ville d'El Kala + modification.

■ Des immeuble Collectif modèle post-ZHUN et des maisons individuelles (programme évolutif) bâties sur le bassin versant du lac Oubeïra faisant les mêmes effets d'imperméabilité, de déforestation et de contamination ;

■ Des maisons individuelles relevant de l'auto-construction implantées sur le maquis faisant partie de la zone sauvage à sauvegarder causant la déforestation de la couche végétale sur une zone sauvegardée ;

■ Un complexe touristique de bungalows bâti sur le versant de la forêt du Boulif faisant partie de la zone sauvage à sauvegarder et le risque de glissement de terrain ;

■ Plusieurs espaces moyennement urbanisés sur le maquis protégé classé dans la zone sauvage.

I-3-1-1/ Pression urbaine

Cette pression, qu'entraîne l'urbanisation sur un terrain fragile comme celle du parc d'El Kala, s'aperçoit par rapport à l'absorption et la projection surtout de déchets humains de/dans ces ressources naturelles. La commune d'El est constituée de trois zones distinctes : le chef-lieu (ville d'El Kala), el Gantra el Hamra et la zone épars (Fig.12) et la plus touchée par l'urbanisation intense est celle de la ville d'El Kala. Cette ville a connu une croissance démographique continue où la population humaine s'est évoluée de 8252 en 1966 à 28760 habitants en 2009. Cette évolution a permis l'apparition de réseaux de petites agglomérations où le nombre d'habitat s'est augmenté de 1179 en 1966 à 5347 unités en 2008 (Tab.04) au détriment des surfaces naturelles normalement protégées.

Traitée source : SALAH-SALAH

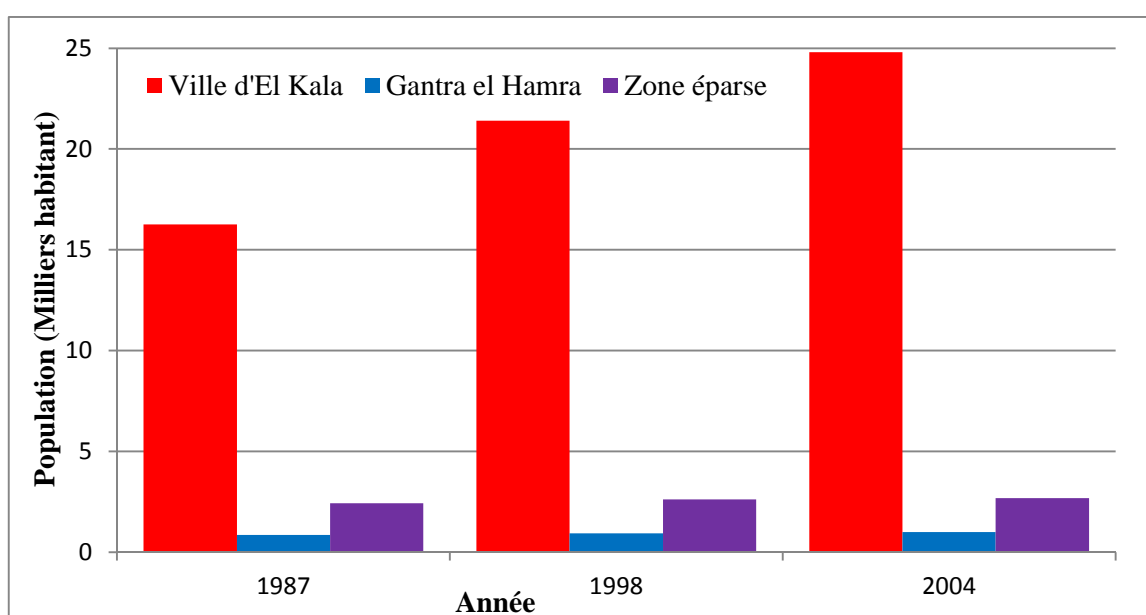


Figure n°12 : La croissance démographique dans la commune d'El Kala.

Tableaux n° 04 : Progression des habitats et des surfaces bâties dans la ville d'El Kala.

Année	1966	1977	1987	1998	2004	2008	2009
Population	8252	10179	16253	21402	24810	-	28760
Habitat (unité)	1179	1454	2913	3748	5100	5347	

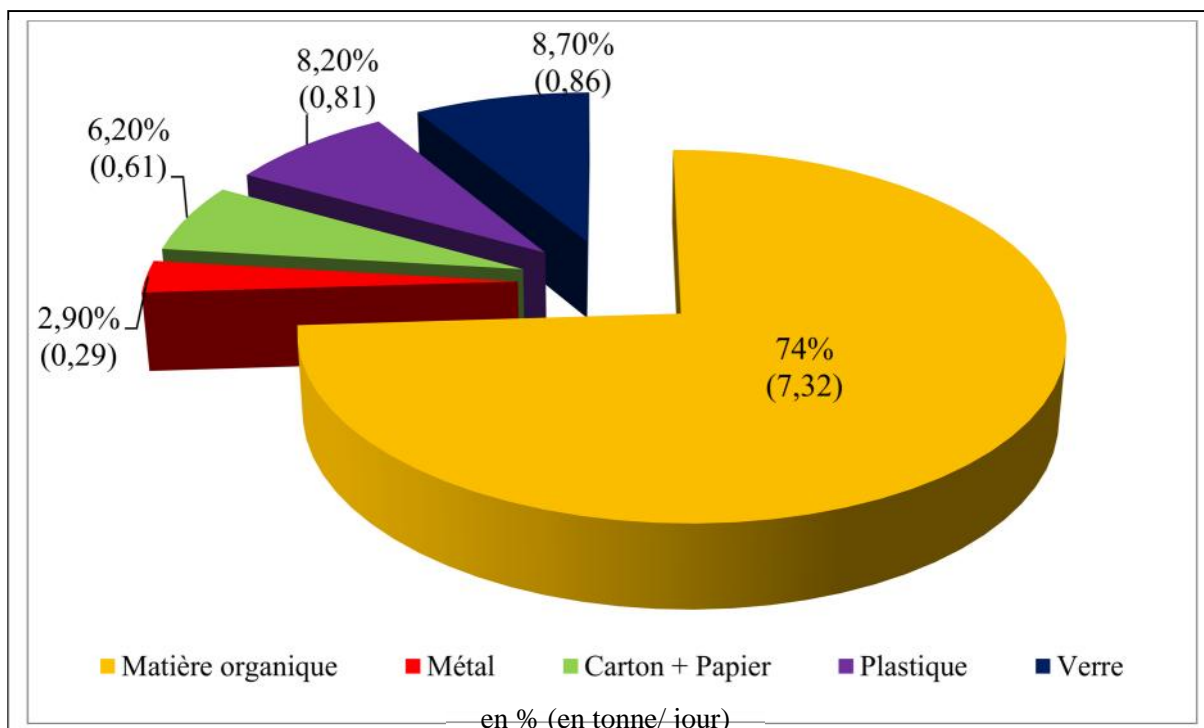
Année	1972	1993	2003	2009
Surface bâtie (Hectares)	73,43	206,73	380	395,31

Source : SALAH-SALAH

La progression démographique sur les terrains entourant la ville d'El Kala est accompagnée d'une croissance socio- économique exceptionnelle engendrant d'énormes quantités de déchets solides et liquides non traités dispersés dans le sol ou le sous- sol et même dans l'eau. Ces déchets varient qualitativement et quantitativement en fonction du nombre d'habitant et les diverses activités disponibles. Pour les déchets solides des communes du parc d'El Kala en générale et de la commune d'El Kala en particulier ramassent ces ordures domestiques vers des décharges sauvages situées généralement dans des zones forestières.

Par exemple, la ville d'El Kala jette les détritrus ménagers solides, estimés de 9,9 tonnes par jour en 2008 [SALAH- SALAH, 2009] (Fig.13), dans une décharge sauvage située sur les crêtes qui séparent le bassin versant du lac Tonga du bassin versant du lac Oubeïra et par conséquence la pollution de la nappe d'eau souterraine et la nappe d'eau superficielle des lacs.

Traitée source : SALAH-SALAH

**Figure n°13: Les proportions des déchets solides dans la ville d'El Kala en 2008.**

I-3-2/ Réseau routier

La route représente le facteur efficace dans le développement socio- économique. Une voie terrestre, la route est un outil de communication précieux car elle facilite le déplacement des personnes et des marchandises et permet la connexion et l'accessibilité entre les agglomérations à courte durée.

Le parc d'El Kala possède actuellement un réseau routier varié (Fig. 9); on parle de routes nationales, des routes wilayas, communales des pistes non revêtues et un tronçon de l'autoroute Est- Ouest qui est en cours de construction. Le trafic routier s'amplifie avec le temps. Vue sa situation géographique comme une région frontalière avec la Tunisie, le parc est une région touristique et ses villes se dispersaient dans plusieurs endroits et qui nécessite de créer des routes :

I-3-2-1/ Routes nationales

On parle de la RN°44 qui parcourt le territoire du parc sur presque 55 km reliant, depuis la ville d'El Tarf jusqu'à les frontières algéro- tunisienne, les agglomérations d'Aïn El Assel, de Boutella Abd-Allah (El Frine), d'El Kala, de Souarekh vers le poste- frontière d'Oum Teboul et l'agglomération de l'Aïoun vers le poste- frontière d'El Aïoun.

I-3-2-2/ Routes wilayas

L'itinéraire joignant la ville d'El Kala à la ville de Berrihane correspond à la route wilaya n°109 et qui traverse, sur 33 km de longueur, les agglomérations de Mridima, de Guentra El Hamra, d'El Melah, passant à côté du lac Noir à droite. Le deuxième itinéraire, reliant l'agglomération d'El Frine à celle de l'Aïoun en passant par la ville de Raml Souk, traversant une distance de 23 km et correspond à la route wilaya n°110. Un troisième itinéraire traversant le côtier d'El Kala depuis la nouvelle ville d'El Kala jusqu'à la vieille Calle sur un trajet de 11 km.

I-3-2-3/ Routes communales

Plusieurs routes communales parcourent les terrains du parc et on peut citer par exemple : la route communale traversant Douar Mexa, Raml Doukhane, la localité de Bougous et continue jusqu'à El Meroudj sur 21 km de longueur. La route communale passant par l'agglomération d'Oued El Hout depuis El Frine jusqu'à Souarekh sur 20 km. La route communale reliant la RN44 à la RW109 depuis la localité d'Aïn El Assel en passant par l'agglomération d'Aïn Khiar sur une distance de 14 km.

I-3-2-4/ Autoroute Est- Ouest

La gigantesque autoroute Est- Ouest (Pht.02), qui relie l'ouest algérien à son est, traverse les terrains du parc d'El Kala sur une distance de 17,8 km. Ce projet a connu des difficultés liées à la fragilité du sol saturé en eau et qui a ralenti l'avancement de sa construction. Il est important de dire que son tracé superpose la zone III qui correspond à une zone à faible croissance d'espèces animales et végétales, et donc il est strictement interdit toute construction humaine. De plus, les quantités de substances toxiques dégagées des engins et de véhicules qui circuleront cette route pollueront l'environnement et l'eau.

I-4/ ACTIVITE AGRICOLE

La région d'étude est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur le plus pourvoyeur d'emplois permanents et saisonniers [OUELMOUHOUB, 2005]. Les terrains constituant le parc d'El Kala, du fait de sa diversité bio-pédo-climatique, sont fertiles et contiennent un sol de bonne qualité à cultiver (Pht.01).

Les populations du PNEK ont toujours été majoritairement composées d'éleveurs et d'agriculteurs. D'abord nomades ou semi- nomades, ils se sont progressivement sédentarisés à partir du 20^{ème} siècle, surtout après l'indépendance de l'Algérie. La modernisation des agricultures traditionnelles est l'un des principaux facteurs de transformations des espaces dans le PNEK. Le fort accroissement de la population rurale est un facteur explicatif des besoins de faire évoluer les techniques de l'agriculture de la région. Durant les années 1990, les individus, en chômage, se sont orientés vers l'agropastoralisme [HAMOUDA, 2012].

Photos personnelles prises en 2013



Photos n°01 : La culture des terres par la population du parc national d'El Kala.

Remarque :

En rouge : c'est le tronçon de l'autoroute Est- Ouest.

(1) représente un pont construit sur l'oued El Kebir

(2) représente un pont construit sur la route nationale n°44.

En vert : ce sont des routes nationales.

(1) représente une route construite récemment (déviation).

(2) représente la route nationale n°44 traversant Aïn El Assel.

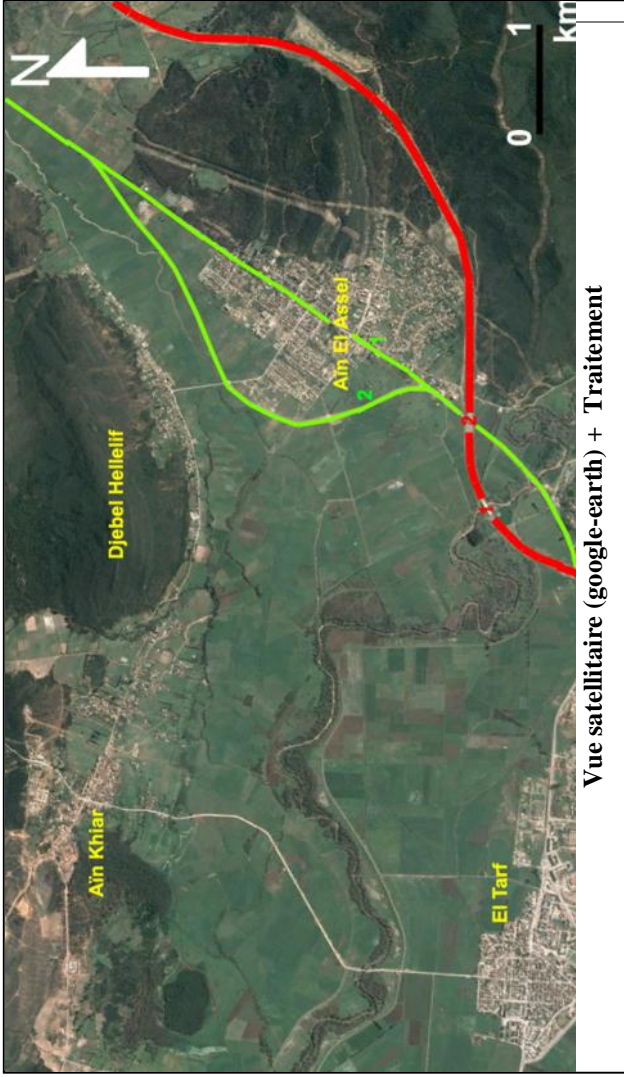


Photo personnelle prise en 2014

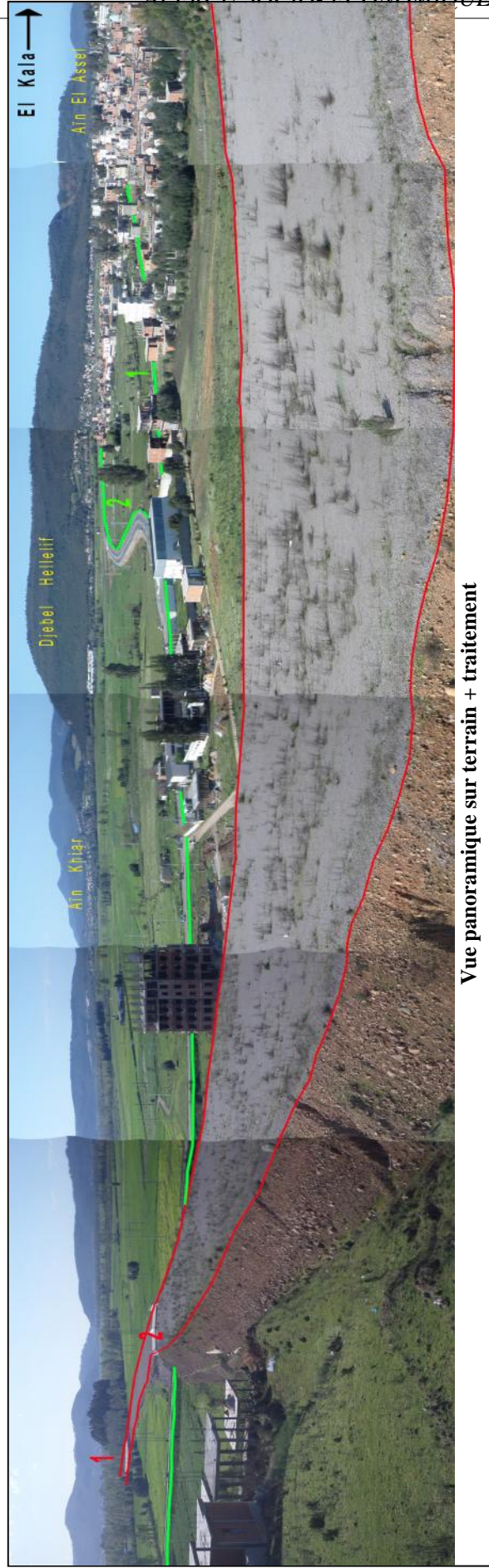


Photo n°02 : Tronçon de l'Autoroute Est-Ouest traversant le parc national d'El Kala à Aïn El Assel.

L'agriculture est le principal secteur que les populations du parc d'El Kala pratiquent avec une superficie agricole totale (SAT) de 19 4,14 km². La superficie agricole utile (SAU), qui comprend des terres arables cultivées par les agriculteurs, représente 82% de la SAT en 2003 (Tab.07-annexe). La région possède des potentialités hydriques, permettant aux agriculteurs d'exploiter les terrains à sec alors que seulement 5,7% de la SAU représente des terres irriguées.

Entre 2003 et 2010, l'exploitation de la SAU dans les neuf communes (Fig.14) s'est augmentée ; on parle des communes d'El Tarf, d'Aïn El Assel, d'El Aïoun et de Berrihane. Cette augmentation correspond à un taux de 2,8%, et qui est faible par rapport à une durée de sept ans. La SAU, pour le reste des communes, est demeurée constant. L'étendue des terrains forestiers protégés par les autorités a cerné la propagation des surfaces agricoles dans le parc.

La SAT dans les communes de Berrihane, de Bouteldja, d'El Tarf et d'Aïn El Assel est importante et la SAU reste la mieux exploitée. Tandis que le reste des communes, la SAU est moins exploitée par rapport à la SAT. La figure n°15 visualise la progression des surfaces agricoles utiles dans le parc d'El Kala alors que le taux de la progression reste toujours faible.

Traitée sources : BOUAZOUNI & AKROUM

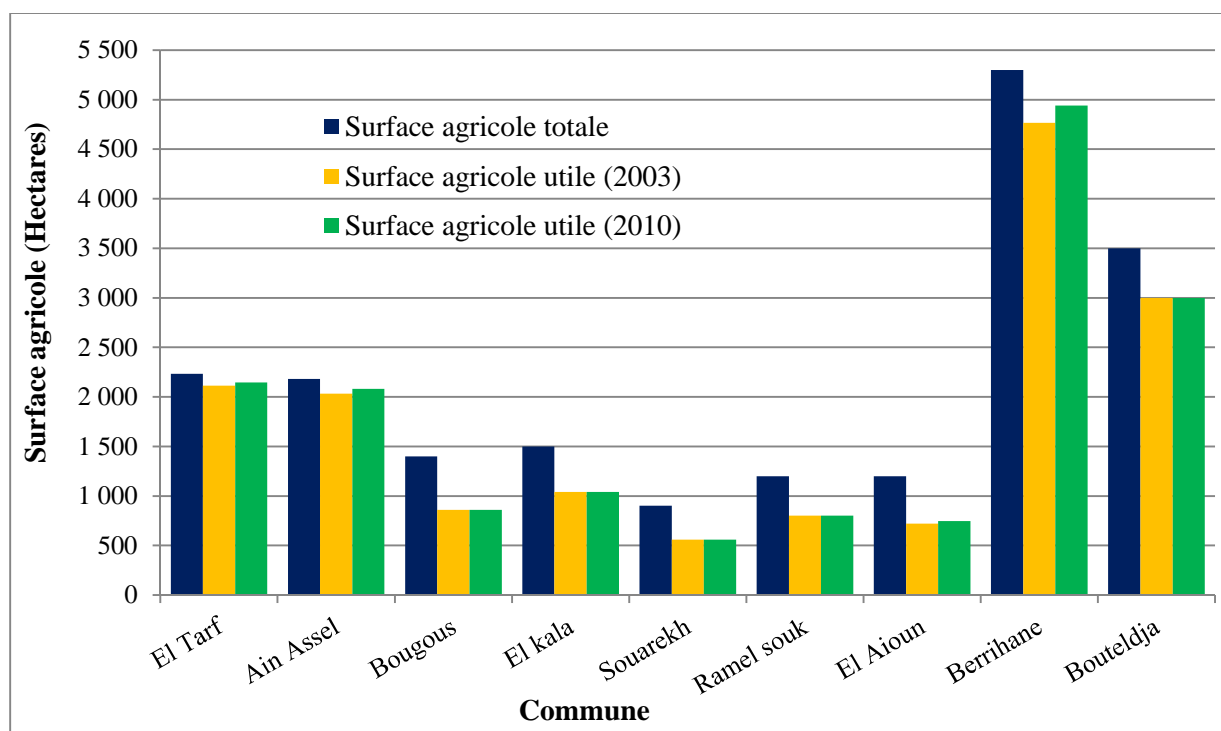


Figure n°14 : L'exploitation des superficies agricoles utiles dans les communes du PNEK (2003 et 2010).

Traité sources : BOUAZOUNI & AKROUM

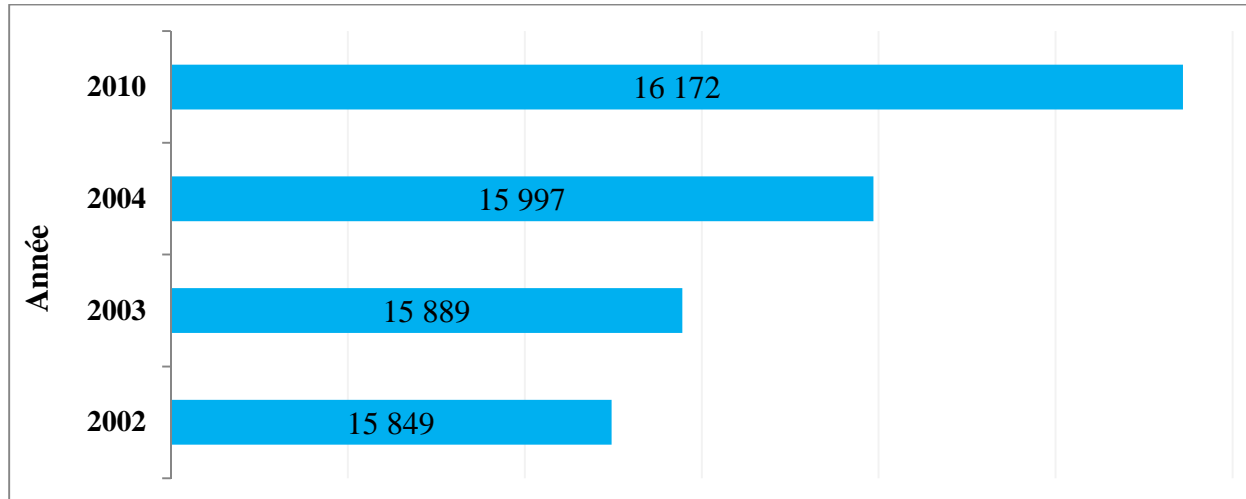


Figure n°15 : La croissance des terres agricoles dans le PNEK en hectares.

I-4-1/ Extension de l'agriculture

Le parc d'El Kala est privilégié de terres fertiles affichant des superficies forestières exceptionnelles, des pelouses productives et des potentialités hydriques uniques. Mais la croissance du nombre de la population humaine a fait que ces ressources commençaient à se diminuer et à se dégrader. Certains auteurs mentionnaient le problème de l'augmentation des terres agricoles. Hamouda. S (2012) a montré, à travers les images satellitaires SPOT, deux phénomènes principaux et interdépendants qui sont la contraction considérable des forêts et des pelouses avec pour corollaire l'extension de l'agriculture (Tab.05) et qui sont constatées dans quatre zones- test entre 1993 et 2007 (Fig.16) :

- Zone 01, représente les terres aux alentours du lac Oubeïra ;
- Zone 02, représente les terres aux alentours de la ville d'El Tarf ;
- Zone 03, représente les terres aux alentours du barrage Mexa ;
- Zone 04, représente les terres aux alentours du lac Mellah.

Bref, l'auteur remarquait un ensemble de résultats :

✚ Dans la zone 01

La culture s'est développée dans une grande partie, en raison de la facilité d'accès au lac Oubeïra pour l'irrigation des cultures à l'aide de simples motopompes. La contraction de la pelouse s'est effectuée essentiellement dans la moitié sud et à l'extrême nord ; il apparaît que les surfaces d'extension de l'agriculture correspondent principalement à la contraction de la pelouse. La contraction des surfaces de la forêt claire s'est opérée sur une majeure partie de

cette zone, au profit de l'extension de l'agriculture ; par contre l'extension de la forêt claire apparaît principalement dans des zones de contraction de la forêt dense.

La forêt dense s'est étendue principalement dans la partie est où il apparaît que les forêts denses se sont développées en remplaçant la forêt claire ; la forêt dense sur certains secteurs de la zone s'est contractée aux abords des zones où l'extension de l'agriculture apparaît et les forêts denses sont devenues des forêts claires.

Dans la zone 02

L'agriculture s'est développée de manière éparse, et on observe également une contraction de cette activité au centre de la zone. Une forte contraction de forêts claires s'observe, ces zones de contraction correspondent aux zones d'extension de l'agriculture. Le développement des activités agricoles a fait qu'il y a une extension de l'agriculture de 18% au détriment de la formation forestière qui s'est contractée de 23% de la superficie de cette zone.

Dans la zone 03

L'agriculture s'est développée assez fortement sur l'ensemble de cette zone aux dépens des forêts essentiellement claires. La forêt claire s'est contractée fortement sur une majorité de la surface et il apparaît qu'une partie de la zone contractée de la forêt claire fait place à l'agriculture.

Tableau n° 05 : Extension des terres agricoles au détriment des terres forestières (en hectares).

Zones	Eléments de l'occupation du sol	Superficie - 1993	Superficie - 2007	Transformation
01	Agriculture	1103,6	1771,28	Extension
	Pelouse	1101,72	659,92	Contraction
	Formation arbustive	926,44	810,76	Contraction
	Forêt claire	1155,52	821,76	Contraction
	Forêt dense	1213,08	1436,64	Extension
02	Agriculture	1845,20	2172,36	Extension
	Forêt claire	1417,48	1090,24	Contraction
03	Agriculture	1454,24	1952,92	Extension
	Forêt claire	1573,60	1195,64	Contraction
	Forêt dense	1258,88	1138,08	Contraction
04	Agriculture	560,20	483,44	Contraction
	Forêt claire	497,88	430,52	Contraction
	Forêt dense	290,04	434,2	Extension

Source : Hamouda

Source : Hamouda

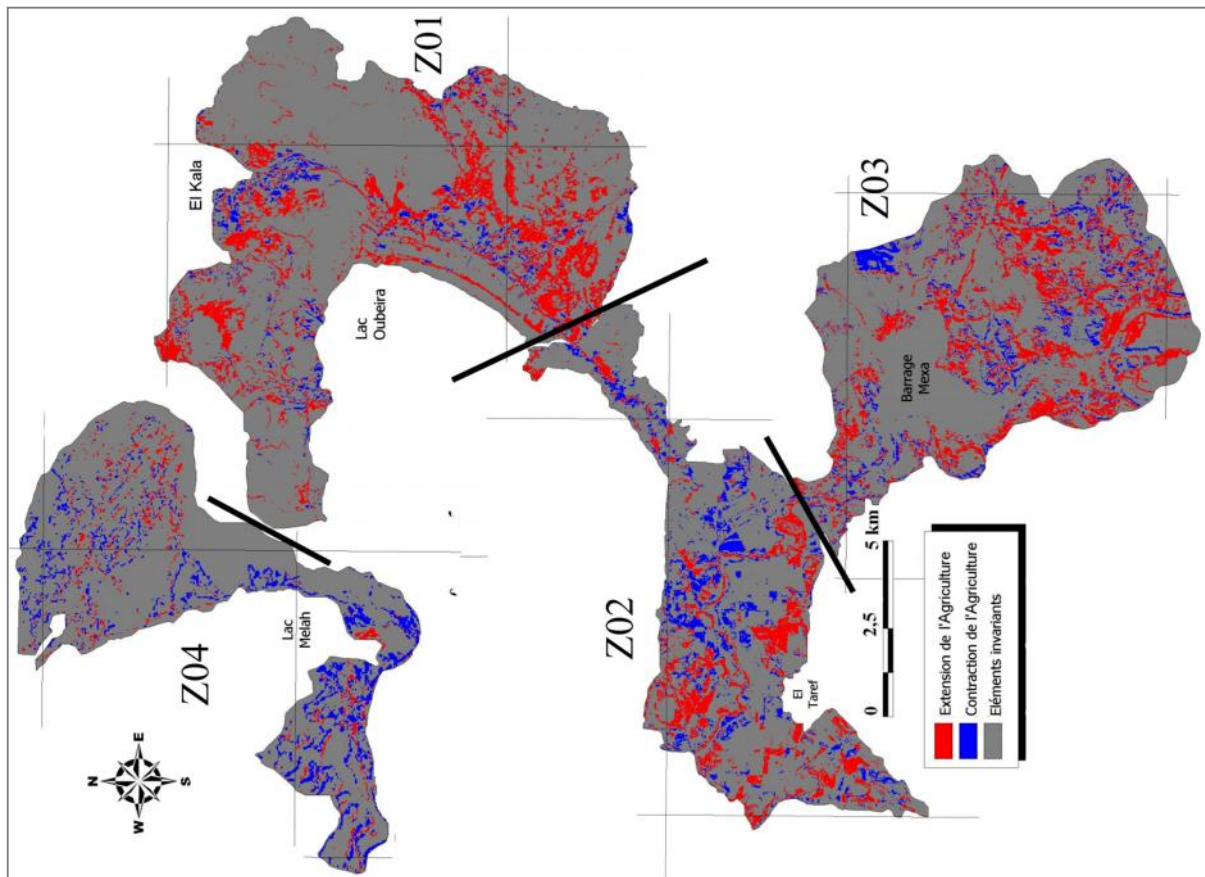
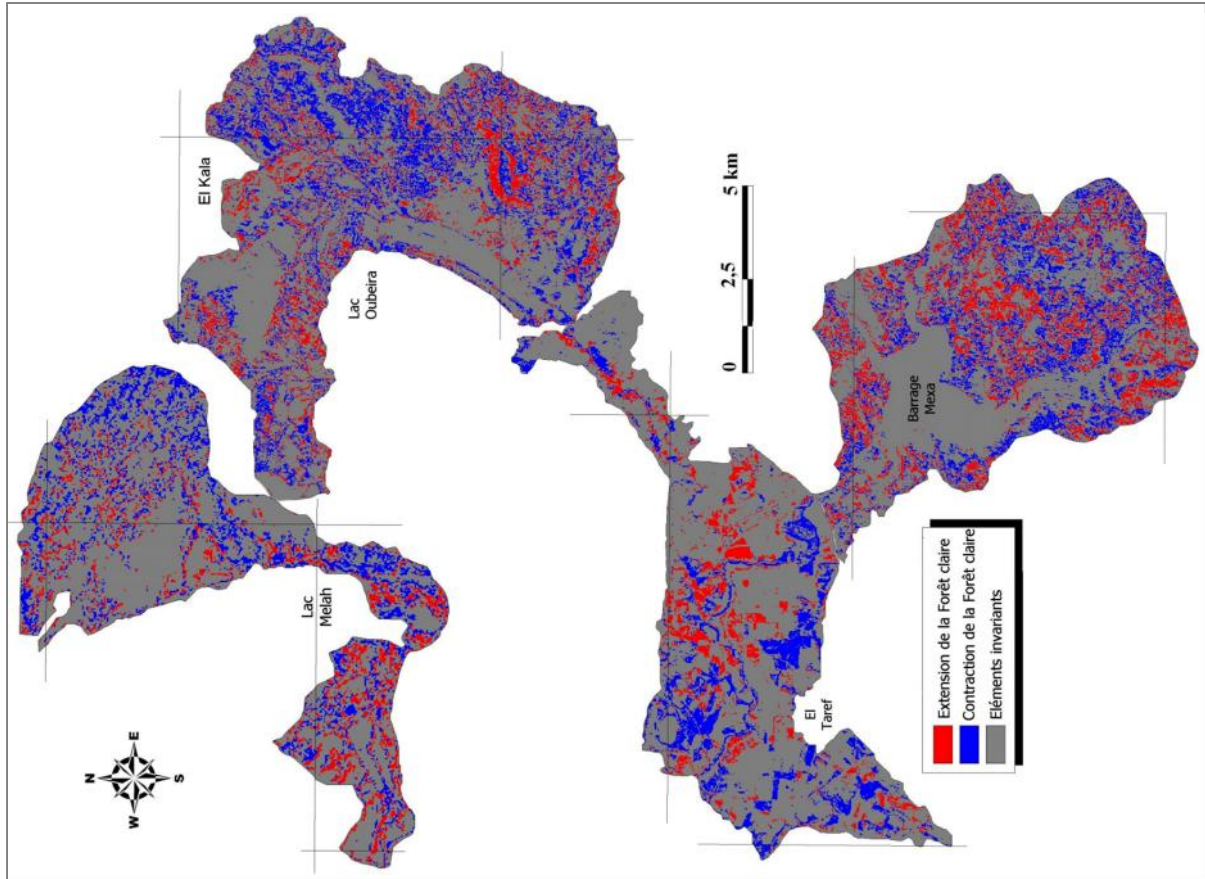


Figure n°16 : Extension des terres agricoles au détriment des terres fertiles (1993-2007).

La forêt dense s'est principalement contractée laissant place d'une part à l'agriculture et d'autre part à la forêt claire ; une extension de forêt dense est observée au nord- est qui a pris place de l'agriculture. Pour cette zone, la multiplication des installations humaines et surtout la mise en service du barrage Mexa au début des années 1999 a été un atout pour l'extension des surfaces agricoles.

Dans la zone 04

Contrairement aux trois zones, seule cette zone présente une contraction majoritaire de l'agriculture essentiellement au sud du lac Mellah, ce phénomène peut s'expliquer d'une part par la nature du sol où l'avancée des sables marins change la texture du sol la rendant plus difficile pour pratiquer la culture et d'autre part par la proximité du lac Mellah qui est un lac salé rendant impossible l'irrigation des proches cultures ; même les puits creusés dans cette zone sont salés.

I-4-1-1/ Feux des forêts

Le parc national d'El Kala est réputé pour ses importants sites forestiers mais ils restent vulnérables. Au cours du temps, ces surfaces diminuent et ses arbres sont victimes de déforestation et de flambées. Les incendies des forêts sont les plus répandus et sont en grande majorité d'origine humaine. Les causes naturelles possible prouvent être attachées aux foudres.

Les causes humaines des incendies de forêt sont multiples ; les agriculteurs brûlent les forêts pour cultiver les terres ou exploiter les bois carbonés, les habitants de la région parfois provoquent des étincelles en brûlant des herbes dans leurs jardins ou les déchets solides, les balades des touristes, les pique-niques et les mégots qui laissent derrière et sont parfois volontaires et involontaires. Il est légitime de signaler que les lignes électriques peuvent mettre le feu aux arbres surtout en périodes orageuses.

Des hectares de forêts ont été brûlés durant 24 ans (Fig.17) où l'année la plus incendiée correspond à 1994 avec une superficie de 23807 hectares. Les superficies cumulées durant toutes ces années sont estimées à 60939,22 hectares (Tab.08-annexe).

Les feux de forêts constituent une menace majeure pour le parc. Environ 5% à 10 % de l'espace de la forêt du parc est brûlé chaque année. La subéraie est alors envahie d'un sous-bois riche en espèces épineuses et thermophiles tels que les genêts. La réduction de la superficie forestière est surtout imputable aux incendies [AKROUM, 2013].

Sources traitées : PAW : YOUBI & AKROUM

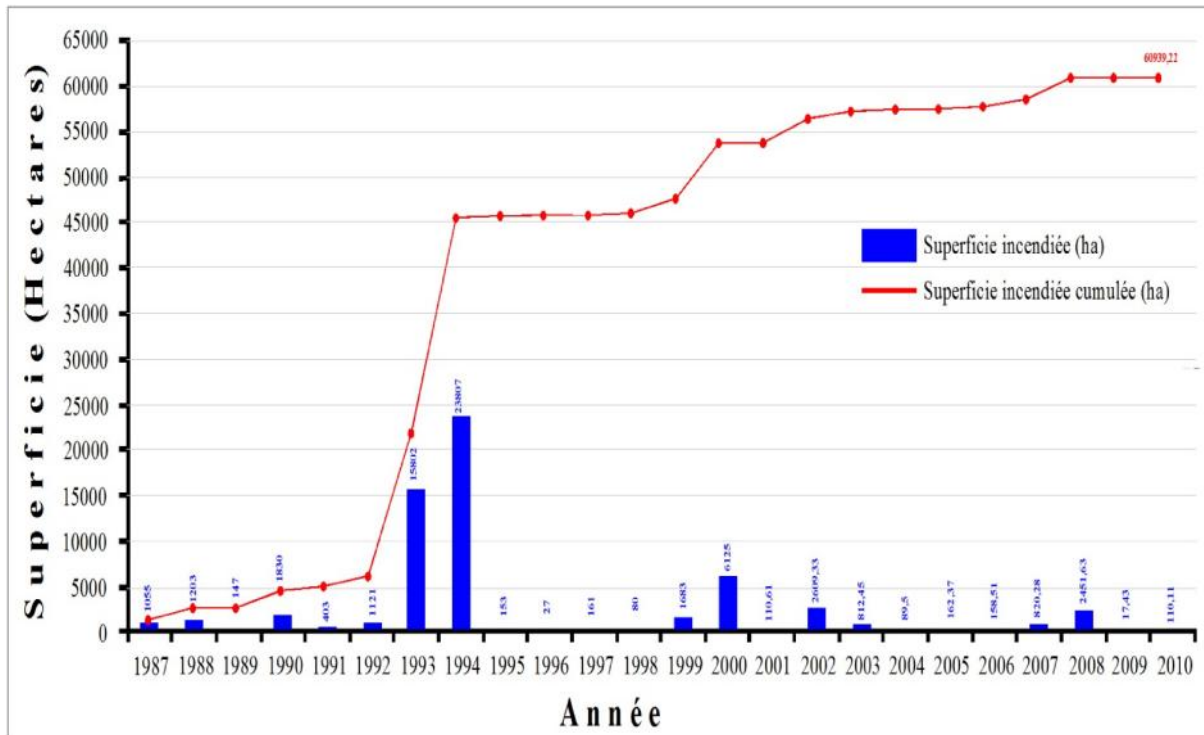


Figure n°17 : les superficies forestières incendiées dans la région du parc d’El Kala.

I-4-2/ Occupation du sol

Les principales cultures adoptées dans les communes du parc sont illustrées dans le tableau n°06 :

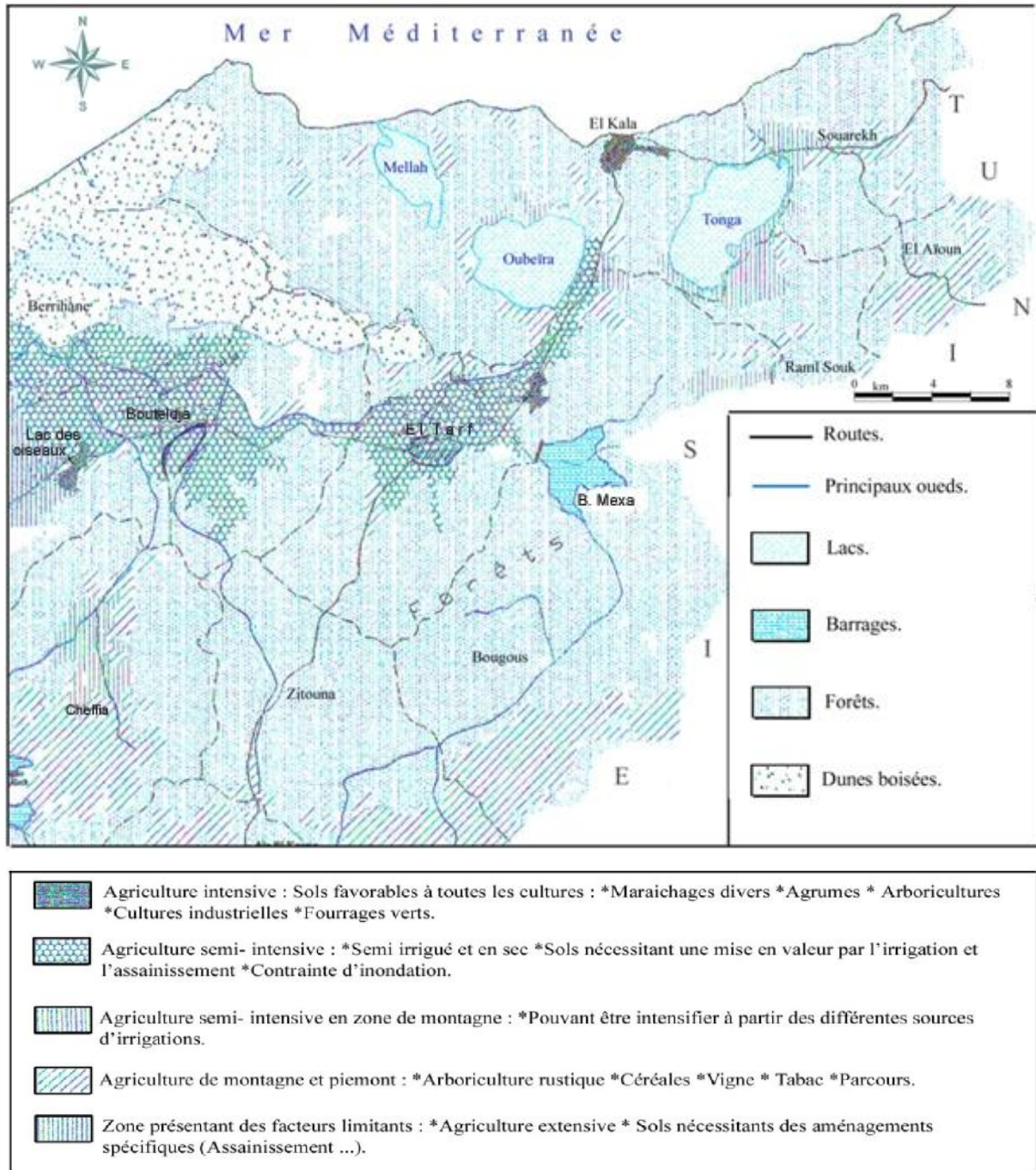
Tableau n° 06 : Occupation du sol dans le PNEK pour deux périodes différentes (en hectares).

Période	Céréales	Légumes secs	Fourrage	Agrume	Cultures. industri	Maraichères	Vignes	Olivier
2003	1367	118	2895	15,5	2739	2170	543,8	415,73
2010	1155	56,5	4830	35	1622	3565	569	947

Sources traitées : BOUAZOUNI & AKROUM

Généralement, la répartition des cultures tient en compte la qualité du sol et la disponibilité des eaux (Fig.18). Les résultats qui correspondent aux recensements du 2003 et de 2010 (Tab.11-annexe), nous permettent de dire que les agriculteurs du PNEK cultivent beaucoup plus les maraichères et les fourrage alors que les quantités de ces terres augmentaient en 2010. Par contre, les agrumes et les légumes secs représentent les cultures les moins produites par les agriculteurs.

Source : DSA



**Figure n°18 : L'occupation des sols dans le PNEK
(Extrait de la carte agricole de la wilaya d'El Tarf).**

Les céréalicultures et les cultures industrielles sont pratiquées mais leurs quantités diminuaient en 2010. Ces cultures sont connues comme des consommateurs des grandes quantités d'eau, ce qui poussent les agriculteurs à utiliser les eaux des lacs et en fortes volumes les eaux des forages (sur- pompage).

La culture de l'arachide prend de l'extension dans les zones dunaires, cette culture étant adaptée à ce type de milieu [HAMOUDA, 2012].

I-4-3/ Population animale

Selon l'article 26 du 23 juin 1984 portant sur régime générale des forêts : « Le pâturage dans le domaine forestier national est organisé par voie réglementaire. Il est cependant interdit : dans les zones incendiées, dans les aires protégées ...». La région du parc a connu une hausse remarquable dans le nombre des bétails (Fig.19). L'existence des pelouses a permis aux campagnards de se concentrer sur l'élevage de nombreuses espèces domestiques (Pht.03) (Tab.09-annexe).

Photos personnelles prises en 2013



Photos n°03 : L'élevage dans le parc national d'El Kala.

En 2003, la densité d'animaux par rapport à la SAT de la région du parc montre une pression importante de la part du cheptel. Celle-ci est estimée à 4 animaux par hectare. Par rapport à l'espace forestier cette densité est évaluée à 1 animal par hectare. Il faut rappeler au passage que l'espace du parc est convoité par tous les éleveurs de la wilaya pour le pâturage, car il arrive fréquemment que des éleveurs hors parc lâchent leur cheptel durant une longue période dans les terrains boisés du parc. Bougous et Souarekh sont deux communes où la densité d'animaux par hectare de SAT est élevée de 18 et 10 respectivement. Le nombre

d'éleveurs sans terre est indicateur clé du degré de convoitise des terrains du parc, forestiers essentiellement pour le pâturage [BOUAZOUNI, 2004]. En 2012, vue la pression importante du cheptel, les densités d'animaux par rapport à la SAT du PNEK est de l'ordre de 6 animaux par hectare [AKROUM, 2013].

La population bovine est la plus dressée dans la pluralité des communes. On voit que, dans la commune de Bougous, la population ovine constitue la plus grande part de cheptel dressée par les éleveurs.

Sources traitées : BOUAZOUNI & AKROUM

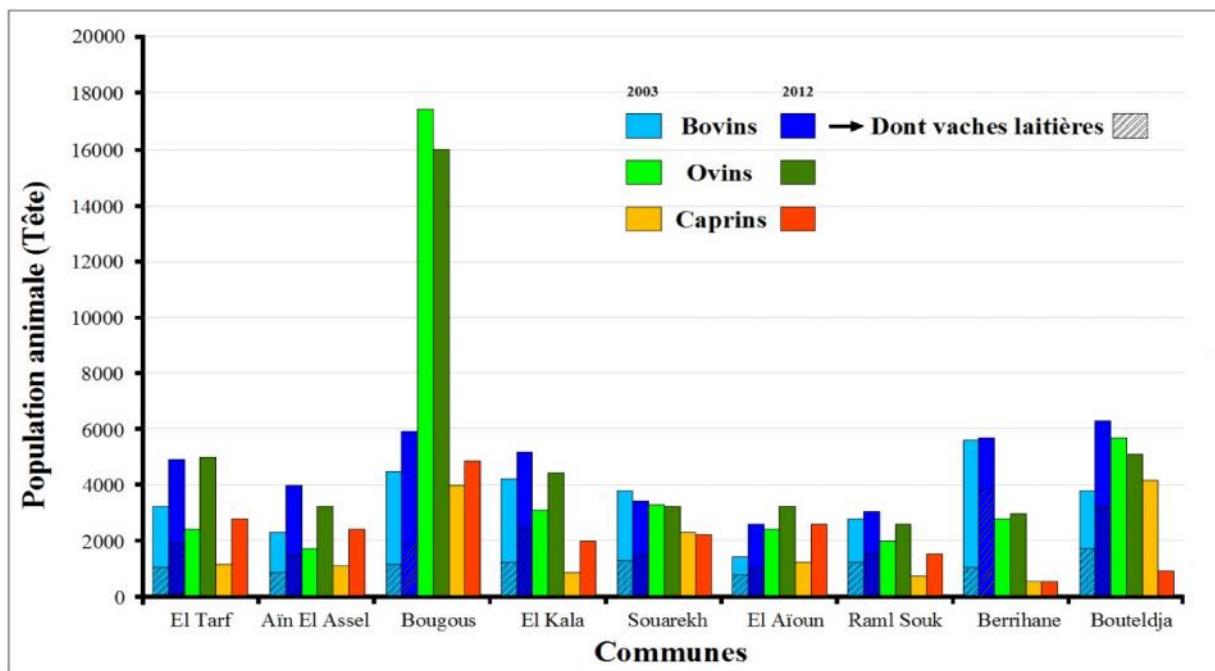


Figure n°19 : L'élevage du bétail dans les communes du PNEK.

I-5/ INDUSTRIE

L'industrie au sens propre du terme est pratiquement inexistante dans le parc national et par extension dans toute la wilaya. La protection apportée par la création du parc national au début des années 80 et l'opposition apparue localement contre une industrie de pâte à papier sur les bords du lac Oubeïra ont découragé les promoteurs de ces secteurs d'activité. Ce qui est considéré localement comme industrie se résume à quelques activités qui relèvent de la petite et moyenne entreprise [OUELMOUHOUB, 2005].

Il existe dix unités de production industrielles dans le PNEK (Tab.07) avec une grande concentration dans les communes d'El Kala et de Bouteldja [GRIMES, 2005].

Tableau n° 07: Principales unités industrielles au niveau du PNEK.

Nature juridique	Dénomination de l'entreprise	Commune	Nature du produit	Unité de mesure	Production (Année)	Effectif (Personne)
Entreprises nationales EPE/ SPA	Mini centre enfuteur Matroha MCE (Naftal)	El Tarf	Gas (GPL)	Bouteilles	1500000	97
	(GME)	El Tarf	Porte et fenêtre	M ²	395760	222
	Unité Sonelgaz	Aïn El Assel	Energie électrique	KWH	90/30	15
Entreprises privées	Salsabil Bouglez SARL	Bouteldja	Eau minérale	Bouteille	1200 B ^l /h	180
	Pipes El Mordjana	El Kala	Pipes- Fume cigarettes	Unité	45000	15
	Briqueterie	Bouteldja	Briques creuses 12.8.4	Tonne	1500	10
	Unité de menuiserie UMP	El Tarf	Portes-fenêtres		57870	80
	ONAPH	El Kala	Fauteuil roulant-voiturettes		F=884/an VMP=626/an	43
	Techno lux EURL	El Kala	Electro-ménagers	Unité	300 frigos 452 cuisinières 300 climatiseurs	50
	Limonaderie Iman	Aïn El Assel	Boisson gazeuse- Jus	caisses	350 caisses/Jus	06

Source : DPAT : BOUAZOUNI

Le nombre d'emplois, dans le secteur industriel, a augmenté de 892 postes en 2003 à 1330 postes en 2007 et ça au niveau du parc d'El Kala. La commune d'El Tarf abrite le plus nombre d'emploi, avec 35,6% de la totalité du parc en 2007. Ensuite vient la commune d'El Kala, avec 28% de la totalité du parc dans la même période (Fig.20).

D'après la direction de l'emploi (Tab.10-annexe), le secteur de l'administration vient en première position pour le nombre des travailleurs recrutés, alors que la concentration des administrations est observée au niveau des communes d'El Tarf, d'Aïn Assel, d'El Kala et de Bouteldja.

Sources traitées : D. Emploi : BOUAZOUNI & YOUBI

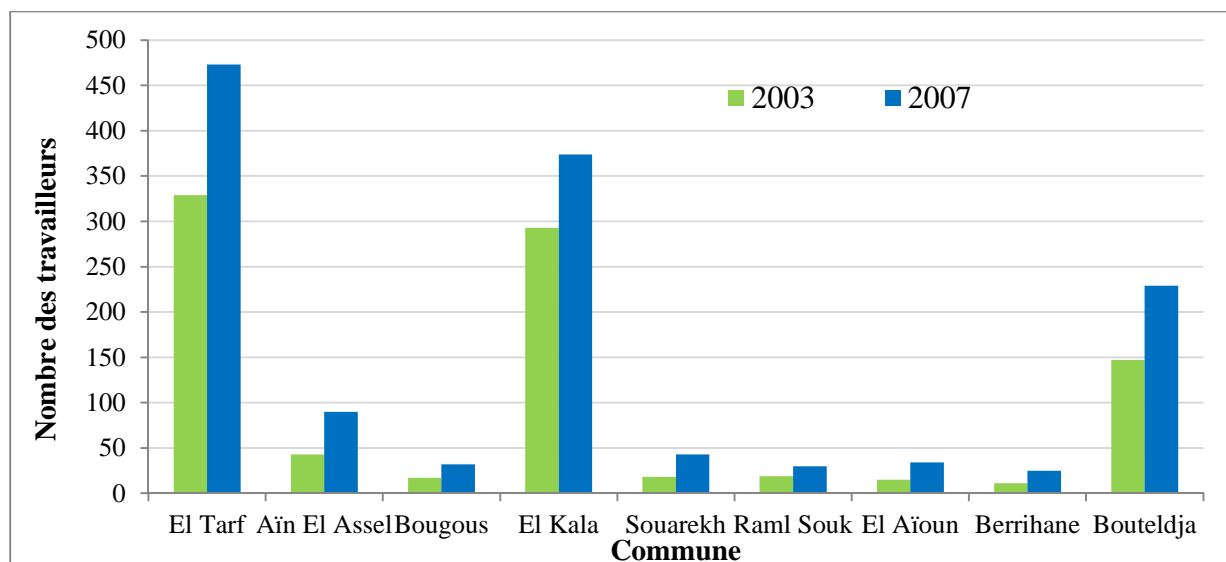


Figure n°20 : Nombre de travailleurs dans l'industrie pour les communes du PNEK (2003 et 2007).

I-6/ TOURISME

Le parc national d'El Kala se place donc parmi les territoires aux plus fortes potentialités touristiques en Algérie [AKROUM, 2013]. Par la richesse de son patrimoine naturel et historique, la zone d'El Kala offre un cadre unique et agréable au développement du tourisme. Les programmes de développement locaux et nationaux accordent une place prépondérante à ce secteur à l'égard des énormes avantages qu'offrent les atouts naturels de la région [OUELMOUHOUB, 2005]. Le parc d'El Kala possède des potentialités touristiques adéquates qui permettent le développement de ce secteur. D'une part, des sites naturels et des paysages mythiques dans son genre ; on parle de nombreuses plages, des îlots, un littoral qui s'étend sur environ 45 km. La diversité naturelle, lacustre et forestière surtout, qui permette l'attraction des pique-niqueurs des excursions sauvages. Il ne faut pas oublier l'abondance de sites et monuments historiques et culturels dans la région (Tab.13-annexe).

CHAPITRE II



ANALYSE DU MILIEU PHYSIQUE



II-1/ GÉOMORPHOLOGIE DE LA RÉGION

Les reliefs actuels portent dans leur morphologie des témoins de processus qui les ont construits. Leur étude fait l'objet d'une discipline : la géomorphologie, description et explication des formes de reliefs continentaux et sous-marins dans le temps et leurs relations dans l'espace [DELCAILLAU, 2004]. La géomorphologie étudie les formes du relief terrestre [VIERS, 1970].

II-1-1/ Relief

Le pays de la Calle offre, au point de vue botanique, un intérêt tout particulier pour l'Algérie. Là, en effet, on trouve réunis, sur un étroit espace nettement délimité, des montagnes forestières (Pht.04), des plaines basses occupées par des lacs (Pht.05) et par des prairies coupées de marécages (Pht.06), de bois et de broussailles, de sables, de roches maritimes et de dunes (Pht.07) ; or, ces éléments topographiques constituent autant de stations botaniques à caractère tranché, dont l'ensemble est très propre à prêter à une flore locale une physionomie distincte et variée d'aspects [LEFRANC, 1867].

Le relief du Parc National d'El Kala (Fig.21) se compose d'une juxtaposition de dépressions, dont le fond est occupé par des formations lacustres ou palustres, et de hautes collines aux formes variées : dômes, escarpements, alignements de crêtes généralement couverts par une végétation dense [DE BELAIR, 1990].

Le parc national d'El Kala est connu par un relief très diversifié qui évolue depuis le littoral (Pht.08) au Nord jusqu'à la côte la plus élevée qui est indiquée par le Djebel Ghorra (1202m) (Pht.09) qui représente les hautes montagnes au Sud (Fig.22).

Le littoral s'étend sur environ 45Km de largeur, borné à l'Ouest par les éminences de Bou Fhal (Bou Lif) et à l'Est par la Haddeda fréquemment connues par leurs promontoires du cap Rosa à l'Ouest et du cap Segleb (cap Roux) à l'Est. Un littoral constitue de dunes et des rochers récifaux insérés de baies, de plages et d'anses où abonde une vie aquatique typique de la région d'El Kala.

E. Lefranc (1867) a cité qu'un golf large et profond existait mais il était fermé à son ouverture par une barrière de collines qui s'élevaient brusquement à des altitudes de 60, 100 et 200 mètres. Le massif de Bou Lif, à l'Ouest, formait le relief principal de ces collines ; vers l'Est, ces hauteurs allaient se dégrader, en décrivant une anse au fond de laquelle des dépôts argileux crétacés recouverts de sables argileux avaient constitué la terre-pleine en talus où la ville d'El Kala était bâtie. Il a mentionné aussi qu'une force soulevante éleva cette barrière des collines d'El Kala, comme pour réunir par une formidable jetée le cap Rosa et le

Photos personnelles prises en 2013



Photo n°04: Kef el Fedda-Bougous.



Photo n°05: Vue du lac Bleu (de près) et Mélah (de loin).



Photo n°06: Marécages de Bou Redim.



Photo n°07: Plage de la veille Calle.



Photo n°08: Plage du Cap Rosa.



Photo n°09: Djebel Ghorra.

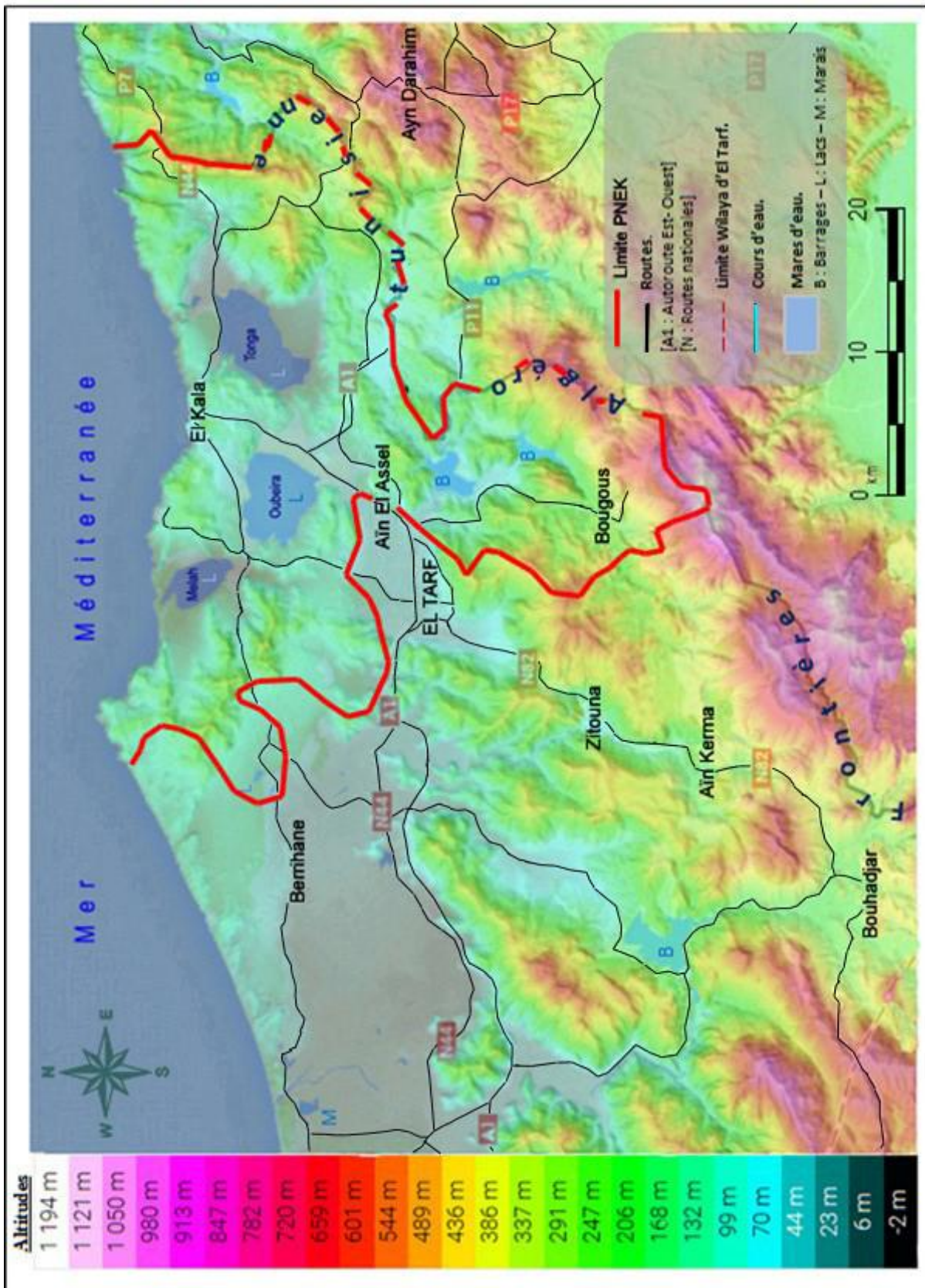
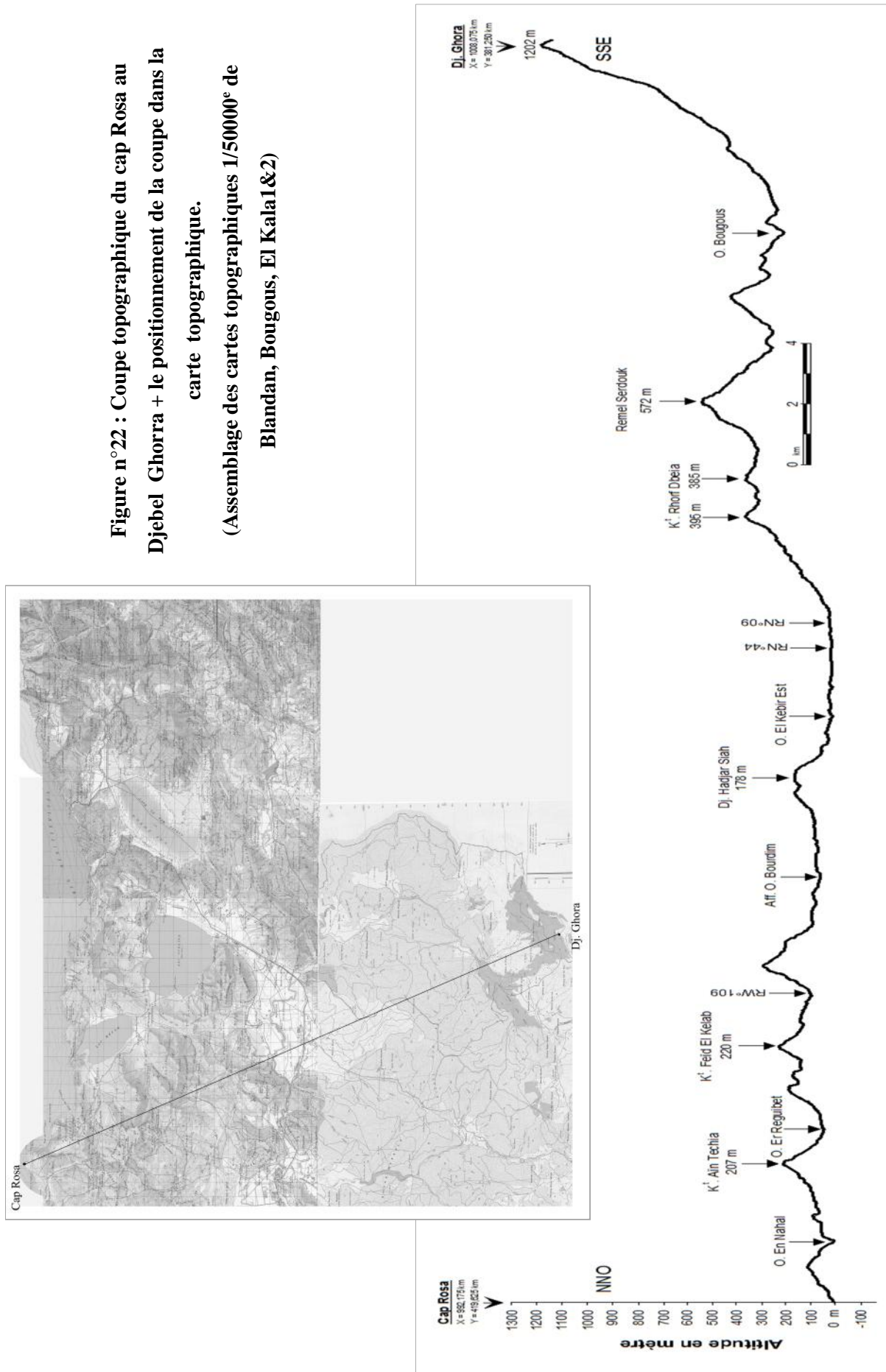


Figure n°21 : La diversité géomorphologique de la région d'étude. (Support: topographic-map.com + traitement)

Figure n°22 : Coupe topographique du cap Rosa au Djebel Ghorra + le positionnement de la coupe dans la carte topographique.
(Assemblage des cartes topographiques 1/50000° de Blandan, Bougous, El Kala1&2)



cap Roux. Le golf dépossédé de la mer avait gardé des témoins de son existence éphémère. A l'Est, les bassins de la Messida et du Tonga ; à l'Ouest, le bassin du Mellah. Ce dernier et celui du Tonga, les contre-forts du massif des collines d'El Kala et du Bou Lif allaient s'étaler et se fondre sur une surface en cuvette où avait pris place le lac Oubeïra. Son plan se continuait au loin, dans la direction Sud-Ouest, vers les coteaux du Tarf et les basses terres du Bou Fhal.

Les formations dunaires dans le territoire étudié s'étalent largement dans la région du cap Rosa vers le sud ; aux pieds ouest et sud du Djebel Koursi où elles occupent des terrains de Ouled Dieb, sur une largeur méridienne de 15km, atteignant la hauteur de la plaine d'El Tarf et qui prennent une orientation Nord- Ouest/ Sud- Est. Les dunes se développent à l'Ouest de la ville d'El Kala, entre la mer et les deux lacs ; Mellah et Oubeïra. Des bas-fonds occupent les masses sableuses sous forme de Garaets et de mares d'eau : le lac Noir (Pht.10), au voisinage de Bordj Ali Bey, le lac Bleu (Gareat Ez Zerga) (Pht.11) à l'Est du lac Mellah et les marées de Bou Redim dans la région de Bouteldja.

La région lacustre de la Calle, incluse dans le domaine forestier des confins algéro-tunisiens septentrionaux, comprend, dans sa zone occidentale, les lacs Oubeïra et Mellah, puis dans sa zone orientale, l'ancien lac Tonga (garaa M^{ta} El Hout) : à sa bordure nord se dessine la petite plaine de la Calle. Entre cette plaine et la cuvette du Tonga s'élèvent les coteaux boisés des Brabtia, formés, vers le Nord, de dunes couvertes de chênes kermès et, vers le Sud, de grès, dont les affleurements sont masqués par la forêt de chênes-lièges de la Calle. Le lac Mellah (Pht.11) est une lagune marine, séparée par un seuil de 44 mètres de hauteur du lac Oubeïra situé à la cote 25 : ce seuil présente une pente raide vers le lac Mellah (42 mètres de hauteur sur 200 mètres de largeur) et une pente douce vers le lac Oubeïra (24 mètres sur 1000 mètres). Le lac Oubeïra (Pht.12) correspond à une nappe d'eau douce, entourée de coteaux argilo-gréseux également couverts de forêts. Le seuil séparant l'Oubeïra du Tonga atteint la cote 37 : il présente une inclinaison douce vers le lac Oubeïra (13 mètres sur 2500 mètres) et une pente raide vers le lac Tonga (35 mètres sur 1500 mètres) [JOLEAUD, 1936].

Les plaines sublittorales présentent un relief plat à ondulé et occupent environ 40% du territoire de la région d'El Kala [BENTOUILI, 2007].

Au Nord- Est du Tonga s'étend la plaine d'Oum Teboul entourée de collines abritées de broussailles (Kef Mechtob, Kef Reboua et Kef Oum Teboul et kef Medjoub 164m), constituées de roches gréseuses, auxquels sont juxtaposés des massifs de dunes (Argoub Erched et Koudiat El Hercha). A l'Est du lac Mellah se trouve la plaine sablo- argileuse de Boumalek (ou Souk Reguibet-El Mellah), entourée de collines grésio-argileuses de la Numidie

Photos personnelles prises en 2013



Photo n°10: Vue panoramique du lac Noir.



Photo n°11: Vue panoramique du lac Mellah et du lac Bleu.



Photo n°12: Vue panoramique du lac Oubeïra.

(K^t Aïn Techia – K^t Er Reguibet et Kef Lahrech 259m). A l'intérieur du PNEK, les plaines d'Aïn Khiair (El Tarf) et d'Aïn Assel présentent un intérêt hydrologique et hydrogéologique considérable par la présence de cours d'eau intense de l'oued El Kébir- Est et de quantités d'eaux présentes en profondeur. Les deux plaines sont constituées d'alluvions limoneuses du fond et des moyennes terrasses des vallées, auxquels sont accolés des massifs gréso-argileux (Dj Hellelif 188, kef Deheb, Kef Lechheb 288).

Les monts d'El Kala (la Calle), avec les monts de la Cheffia, font partie intégrante des monts de la haute Medjerda. Au Sud du parc d'El Kala, la chaîne des montagnes, formant la frontière entre l'Algérie et la Tunisie, compte la plus haute altitude. Le point supérieur est celui de Djebel Ghorra, dont le niveau s'élève à 1202 m. La contrée des monts d'El Kala est moins peuplée par rapport aux autres régions du parc du fait de la présence des forêts denses de chênes-lièges et la nature rocheuse de ces monts. A l'Est de Bougous, à Ouled Ali Achicha et au Fedden, la ligne de crête de Djebel Gramia à Dj Tegma, atteignant les 700 mètres, indique la frontière d'état algéro-tunisienne qui traverse les basses terrasses d'oued El Kébir- Est. A l'Est d'El Aioun, la ligne de crête redessine la limite d'état depuis Djebel Oum Skek (583m) jusqu'à Dj Addeda (532m) à l'Est de Oum Teboul et se termine vers le nord à un point en contact de la mer, nommé : oued Souani Es Sbâa.

Des dépressions telles que celles d'Oum Teboul, de Roum Es Souk et de Lacroix (El Aïoun), se creusent dans la partie des monts de la Calle, qui est en continuité avec les monts de Kroumirie (Tunisie), découpés eux-mêmes par de profondes vallées descendant de Babouch et d'Aïn Draham vers Tabarca. La cuvette du Tonga est séparée de la dépression de Lacroix par les reliefs gréseux des Nehed (Kef Dahira El Guelat, 513 m). Entre l'ancien lac et la dépression de Roum El Souk se dresse la ligne des coteaux des Ouled Arid (237 m au Kef Tat Ydioum), qui couvrent les forêts de Khanguet Aoun et d'El Feid. La dépression de Roum Es Souk correspond à la partie haute de l'oued El Kébir de la région de la Calle. La dépression de Lacroix peut en effet être envisagée comme la continuation de celle de Roum Es Souk, le raccordement de ces deux zones se fait suivant le tracé de la route qui relie ces villages l'un à l'autre. A l'Est des dépressions de Roum Es Souk, de Lacroix et d'Oum Teboul se dresse la ligne orographique subméridienne du Djebel Addeda, qui comporte notamment les Koudiats El Hammam et El Fras (511 m), les Kefs El Hammam (561 m), Bab Abrik (573m) et Radjela (550m). Puis vient la vallée de l'oued Djenane- Sidi- Salem, qui descend du Fedj El Kala (426m) vers le Nord, comme la vallée de l'oued Delina se dirige vers le sud. C'est tantôt suivant la crête du Djebel Addeda, tantôt suivant le thalweg de l'oued Delina qu'a été établi le tracé de la frontière algéro-tunisienne [JOLEAUD, 1936].

II-1-2/ Hydrographie

La disparité de la topographie et du climat que connaît le parc d'El Kala l'a permis de procurer d'énormes quantités d'eaux en surface et ses variétés sont distinguées par ses rivières, ses lacs et ses marais (Fig.23). Le PNEK renferme un complexe lacustre d'importance internationale ; on parle des lacs Noir, Mellah, Bleu, Oubeïra et Tonga (Pht.14) qui se caractérisent par la perpétuité de leurs mares d'eau même dans les saisons sèches.

Le réseau hydrographique est bien développé ; des ruisseaux qui s'écoulent depuis les territoires tunisiens et qui s'associent pour donner naissance à des oueds comme celui de Bougous, El-Aroug, Ballouta ... et qui sont drainés par le cours d'eau principal appelé oued El Kebir- Est (Pht.13) qui traverse la plaine de Bouteldja et se déverse dans la mer par son exutoire la Mafragh. Les marais et les gueraas fournissent quant à eux un endroit pour la croissance de la flore ; le marais de Bou Redim (Pht.15), de gueraa El Ouze abritent des espèces faunistiques et floristiques rares dans les régions méditerranéennes.

Photo personnelle prise en 2013



Photo n°13: Oued El Kébir- Est (Ain El Assel).

Photos personnelles prises en 2013



Photo n°14: Etang de Tonga.



Photo n°15: Marais de Bou Redim.

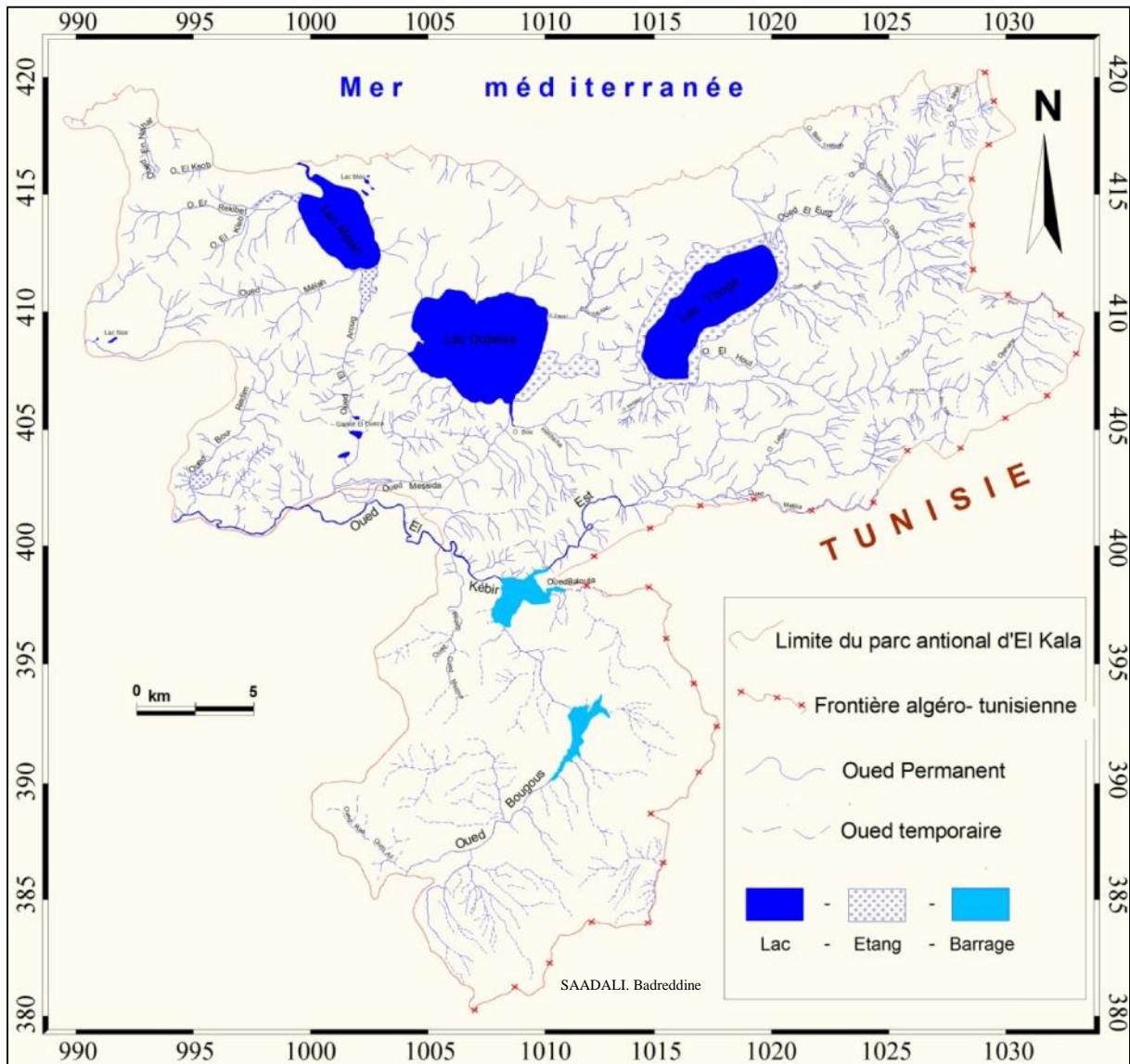


Figure n°23 : Le réseau hydrographique du parc d'El Kala
(Assemblage des cartes topographiques 1/50000° : El Kala1&2-Bouteldja-Bougous + traitement)

II-2/ CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES

La région d'étude appartient au domaine géologique du Tell algérien nord-oriental et qui s'étale depuis le constantinois jusqu'à la frontière algéro-tunisienne. Des travaux réalisés par L. Joleaud (1936) et J.M. Vila (1980) ont permis de visualiser une chrono-stratigraphie qui révèle des terrains géologiques sédimentaires d'âges différents allant du Secondaire au Quaternaire récent à actuel :

II-2-1/ Litho- stratigraphie

Les formations géologiques rencontrées (Fig. 24 et 25) et étudiées allaient de l'âge le plus ancien vers l'âge le plus récent, et on constate : le Crétacé (le Secondaire), le Paléogène et le Néogène (le Tertiaire) et le Quaternaire :

II-2-1-1/ Secondaire

II-2-1-1-1/ Crétacé inférieur à moyen

La série crétacée paraît à peu près complète dans le secteur sud de la partie des monts d'El Kala qui confine immédiatement à la Tunisie. Elle est très peu fossilifère, comme elle se montre généralement dans l'Atlas littoral algérien, elle affecte le faciès bathyal bien connu du sillon tellien.

-Le Crétacé inférieur de Sidi Trad, dans les monts d'El Kala, est formé par des marnes grisâtres du type classique du Barrémien et de l'Aptien du Tell algérien.

-Le Crétacé moyen de la même région comprend de bas en haut [JOLEAUD, 1936]:

1* Des marnes de teinte foncée, avec intercalations de grès quartziteux rougeâtres lustrés, dont les caractères rappellent ceux de l'Albien fossilifère de la région tunisienne située à proximité ;

2* Des marnes noires montrant le faciès connu du Cénomaniens- Turonien de l'Atlas tellien.

Une étude litho-stratigraphique faite par Tchoulanov (1980), dans l'affleurement du Miocène des monts d'El Kala, a permis de distinguer du bas en haut [HANDOUZI, 2011]:

Des dépôts de L'Hauterivien, d'une épaisseur de 230 m, représentés (bas en haut) par une inter-stratification fréquente d'argile finement litées (3 à 30 cm) et calcaires grés verts (0.5 à 2.5 cm). Des argiles foncées, finement litées (10 à 30 cm) se transforment en marnes au toit de la couche. Elles sont intercalées de calcaires clairs faiblement dolomités (10 à 30 cm). Alternance de calcaires (5 à 20 cm) et de marnes foncées en plaquettes fines (0.5 à 1 cm), l'épaisseur totale est de (10 à 40 cm). Cette formation se transforme en argiles au mur de la couche.

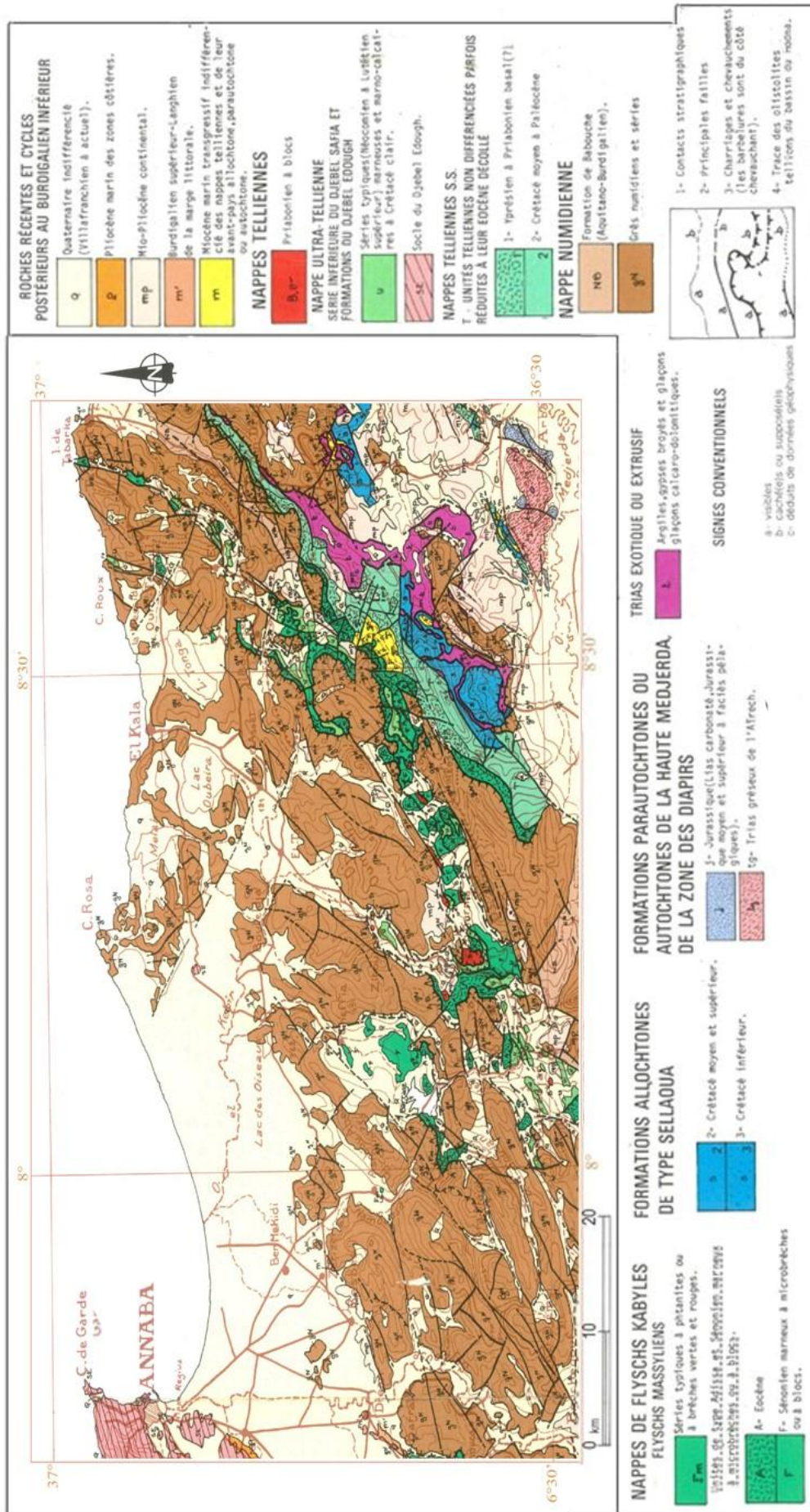


Figure n° 24 : Esquisse structurale de la région d'étude (Extrait de la carte structurale au 1/500.000° de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens – J.M Vila, 1978 + traitement)

Les dépôts du Barrémien sont répandus dans les bassins de l'oued Mellah et El Kébir-Est. Ils constituent des fenêtres tectoniques dans la nappe numidienne. Cet étage est divisé en deux parties ; la partie inférieure est composée d'argiles grises-verdâtres finement litées à intercalations de calcaires gris-verdâtres (10 à 50cm). L'épaisseur total est de 69 m. Interstratifications de calcaires tachetés de teinte gris-verdâtre et d'argiles finement litées, l'épaisseur est de 29 m. Du calcaire gris clair finement lité (5 à 20 cm) à intercalation d'argiles (1 à 7 cm). L'épaisseur est de 3,5 m. Une zone de froissement et calcification d'épaisseur de 16 m. Des intercalations fréquente de calcaires tachetés (3 à 10 cm) d'une teinte gris-verdâtre et d'argiles finement litées (5 à 20 cm). L'épaisseur est de 4,40 m. Une argile finement litées se transformant en marnes de plaquettes fines (5 à 25 cm). L'épaisseur est de 25 m. L'épaisseur apparente des dépôts du barrémien dépasse 280 m.

L'horizon repéré en question est recouvert d'une assise dont l'épaisseur apparente atteint 150m. Cette assise est constituée d'argiles foncées à gris-verdâtres et de marnes argileuses à intercalations de calcaires tachetés peu dolomités gris-verdâtres et gris [HANDOUZI, 2011].

L'Aptien est très mal représenté dans la région. Il repose sur des dépôts du Barrémien en discordance. A la base, il est composé de grés calcaireux clastique à lentilles et intercalations (jusqu'à 0,4 m). Plus haut, il consiste en des conglomérats à petits blocs et rarement des grés jaunâtre et rose. Son épaisseur est de 150 m.

Les dépôts de l'Albien forment une assise originale de grés calcaireux bigarrés (grés verdâtres) stratifiés (5 à 20 m) à intercalation fine d'aleurolites calcaireuses et d'argiles foncées finement litées. L'épaisseur des roches composante de l'Albien est de 200 m [HANDOUZI, 2011].

II-2-1-1-2/ Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur ou Sénonien de Sidi Trad se compose, au-dessus de la série antérieure, de calcaires à Inocérames et de marnes.

Tchoulanov (1980) explique (Fig.26) qu'au début du Crétacé supérieur, les dépôts du Cénomaniens sont représentés par une assise bien monotone de marnes argileuses silicifiées et finement litées d'une teinte gris-foncée et grise verdâtre à intercalations rare (5 à 30 cm) de calcaires, il y a aussi de mince intercalations (1 à 30 cm) et lentilles (0.5 à 3 cm) de sidérite, l'épaisseur apparente de la coupe est 200 m. Le Campanien comporte quatre assises :

- Assise C_F^{5a} : Constituée d'argiles calcaireuses, l'épaisseur est supérieure à 150 m.
- Assise C_F^{5b} : Composée de marnes gris-verdâtres à des intercalations des lentilles de calcaires à sidérite, l'épaisseur est supérieure à 300 m.

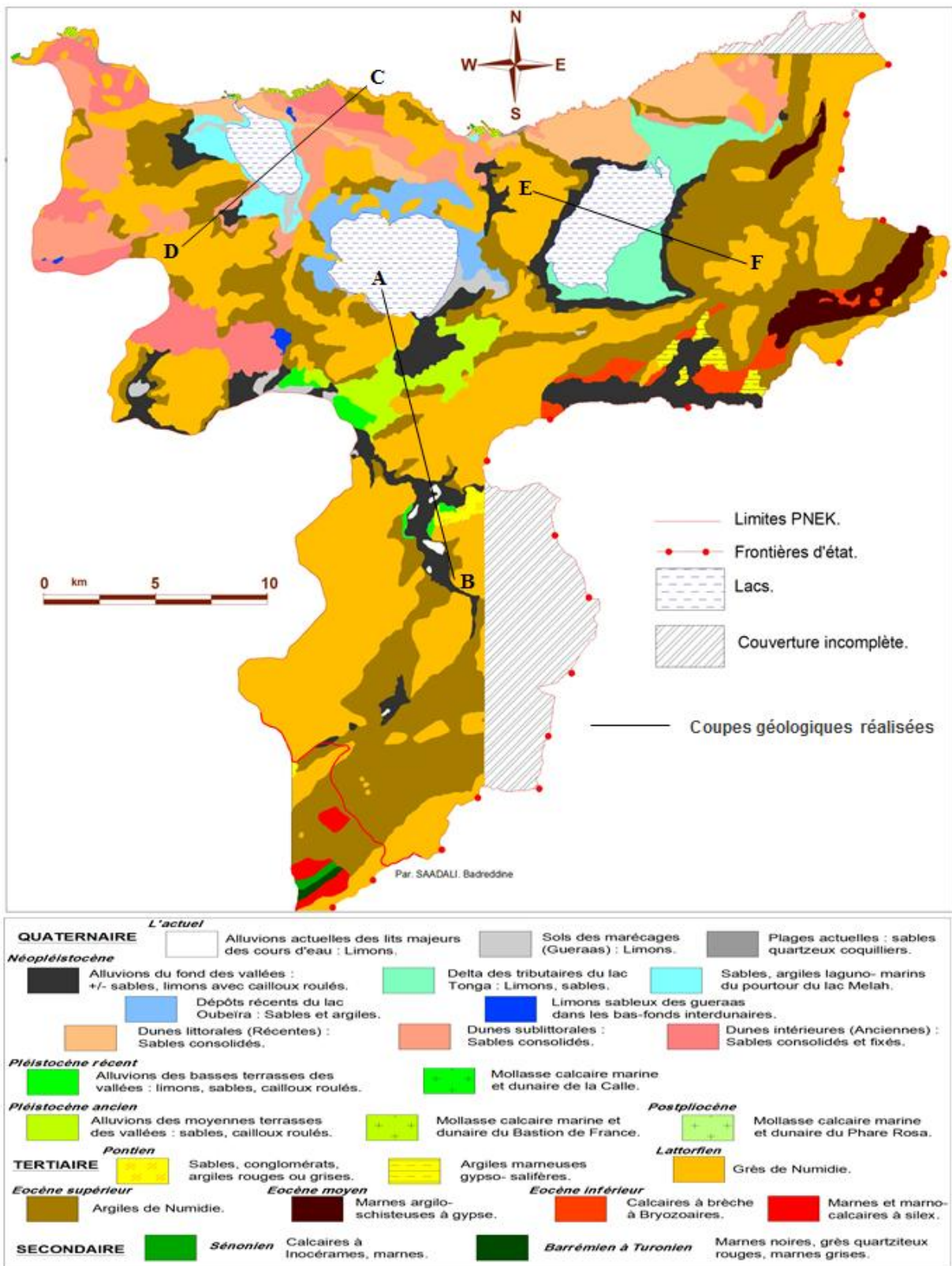


Figure n°25 : Aperçu lithologique des terrains dans le parc national d'El Kala.

(D'après les travaux réalisés par L. Joleaud, 1936 + Traitement)

■ Assise C_F^{5c} : Formée d'une assise à alternance de couches de marnes, calcaires, grès et aleurolites, l'épaisseur est supérieure à 360 m.

■ Assise C_F^{5d} : Cette assise est constituée de marnes argileuses, l'épaisseur est supérieure à 80 m. L'épaisseur du Campanien dépasse 890 m.

Le Maestrichtien est composé de calcaires argileux, d'une teinte gris- foncée à marnes et calcareuses (200 à 400 cm), son épaisseur est supérieur à 300 m [BOUKHOUNA, 2008].

II-2-1-2/ Tertiaire

Il est caractérisé par des formations argileuses du Numidien et sur ces argiles reposent les grès numidiens quartzeux qui couvrent les monts d'El Kala et les environs des lacs (Mellah, Oubeïra, Tonga) vers l'Ouest avec les frontières algéro- tunisiennes.

II-2-1-2-1/ Paléogène

Cette période se distingue par l'achèvement total de l'étape géosynclinale (fin du remplissage du bassin sédimentaire) du développement orogénique (système montagneux à plis) [HAMZAOUI, 2011]. Les dépôts de l'Eocène inférieur, situés au-dessus du Sénonien, dans les monts d'El Kala, à Sidi Trad, et également dans la localité voisine d'Es Sirdj, se présentent un ensemble comprenant, à la base des marnes grises et au sommet des calcaires marneux à silex qui correspondent peut- être au Suessonien (Montien, Thanétien) [JOLEAUD, 1936]. Ces formations affleurent aussi sur la route reliant l'Aïoun à Babouch.

Les terrains de l'Eocène moyen, attribués aux étages Londinien et Lutétien, jalonnent l'anticlinal de Sidi Trad-Sidi Salah et comprennent des alternances de marnes argileuses quelquefois jaunâtres, avec minces bancs de calcaires de même nuance et petites brèches et le tout se développant sur plus de 100 mètres d'épaisseur. Des calcaires gris ou noirâtres à polypiers et Fucoïdes situés à 2 km à l'Ouest du Fedj El Kala (point frontière algéro-tunisien sur la route de l'Aïoun à Babouch). Ce Londinien- Lutétien, visible sur 50 à 100 mètres de hauteur, forme des collines arrondies, blanchâtres, bien réglées, généralement dépourvues de végétation, dessinant des bandes parallèles à Kef Segleb à Oum Teboul et au lieu- dit Aouaoucha à Raml Souk. L'Eocène supérieur et l'Oligocène inférieur présentent un important système argilo-gréseux du Numidien et qui correspond, d'une façon précise, au Priabonien et au Lattorfien du Nummulitique d'Europe [JOLEAUD, 1936]. Ces argiles sont en réalité des marnes argileuses noirâtres, brunâtres ou verdâtres, quelquefois bariolées plus ou moins schisteuses, avec interstratifications de petits bancs de grès quartziteux et parfois aussi de

Source traitée : Boukhouna

Période	Système	Epoque	Etage	Symbole	Lithologie	Epaisseur (m)	Description				
Tertiaire	Paléogène	Néogène	Miocène	m		10	Conglomerats gravelo- blocageux à ciment sablo- argileux.				
				Oligocène	Eocène	Priabonien	gN		430	Série numidienne Assise supérieure: Grés quartzo- feldspathiques à intercalations de gravelites, de conglomérats, des aleurolites et des argiles.	
		Lutétien	e ⁵ _{AN}					100	Assise Inférieure: Argile gris foncée à intercalation de grés et des aleurolites.		
			e ⁴ _F				150	Marnes argileuses et calcaires d'une teinte foncée à rares intercalations de calcaires. A la base de l'assise : horizon des calcaires.			
			e ³ _F				200	Argiles, marnes argileuses gris foncées à intercalations des aleurolites et des silex. A la base: horizon de tufs et silex.			
		Paléocène	e ¹ _F				162	Argiles à intercalations d'aleurolites (5-10cm), des grés (15-20cm), calcaires (15-20cm) et des marnes (15-20cm)			
			Crétacé Supérieur			Campanien	Maastrichtien	C ⁶ _F		200	Calcaires argileux d'une teinte gris foncée à marnes argileuses et calcaireuses (20-40cm).
								C ^{5d} _F		80	Quatrième assise : Marnes argileuses.
		C ^{5c} _F							360	Troisième assise : Alternance répétée de couches de marnes, calcaires, grés, gravelites et aleurolites.	
		C ^{5b} _F			300			Deuxième assise : Marnes gris verdâtres à des intercalations des lentilles de calcaires sidéritisés.			
C ^{5a} _F		150		Première assise : Argiles calcaireuses.							

Figure n°26 : Colonne litho- stratigraphique de la région d'El- Tarf.
(D'après Tchoulanov, 1980 + modification)

marno-calcaires gris bleuâtres [DJIDEL, 2008]. Les argiles de Numidie, qui sont l'équivalent du Priabonien, constituent l'un des faciès types du flysch à Fucoïdes et elles occupent toutes les parties déprimées des régions montagneuses aux monts de la Calle ; elles sont souvent masquées par les dépôts pontiens ou quaternaires. Dans la région de Sidi Trad- Sidi Salah, cette formation est en régression par rapport au Londinien-Lutétien [JOLEAUD, 1936].

Les grès de Numidie, quartziteux, souvent blanchâtres, plus ou moins fortement consolidés, forment les principaux reliefs des monts de la Calle, où ces grès sont généralement couverts de forêts de chêne-lièges. Epais de 100 à 150 mètres, ces grès comportent surtout à leur partie inférieure, des argiles, par l'intermédiaire desquelles s'effectue un passage insensible à la formation subordonnée. Ces grès de Numidie, d'âge Lattorfien, passent insensiblement aux grès de Kroumirie qui forment la masse principale des reliefs aux confins de la région de la Calle et de la Tunisie nord-occidentale ; ils couronnent notamment les synclinaux perchés : des Brabtia (forêts de la Calle) ; des Ouled Arid (forêt de Khanguet Aoun et d'El Feid), des Nehed (kef Djzair et de kef Dahira el Guelat), du Djebel Addeda ; des Djebels el Doughrek (Djedaidia), Oum Skek, el Adeb, Daraoui (Bechainia), m^{ta} Bou Mayed (Mleikia) ; des Djebels Fersig, Bonouela, Aïn Fellous, Chaada, kef Zira ; des Djebels Bir et Sra [JOLEAUD, 1936].

II-2-1-2-2/ Néogène

La série néogène dans la région est représentée par le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur. Le Pontien, indiquant le Miocène supérieur, est constitué par des sables, des conglomérats et de argiles rouges ou grises et observé en aval d'oued Bougous ainsi qu'aux environs de Raml Souk.

La molasse du Pontien est constituée à sa base de conglomérats bien cimentés par une matière sablo-carbonatée sur une épaisseur de 300 m. Vers le sommet, on rencontre une alternance lenticulaire de conglomérats ainsi que des grés stratifiés obliquement et faiblement cimentés par du sable et d'argiles rouges. L'épaisseur totale de la molasse du Pontien atteint 70 m [HAMZAOU, 2011]. Un deuxième faciès, du Pontien, situé dans le bassin du lac Tonga (faciès dominant) est représenté par des argiles marneuses, salifères et argiles rouges gypseuses [RAACHI., 2007].

Le Pliocène ancien est en flanc du coteau de Miocène supérieur de Raml Souk où se développent des travertins qui offrent le même faciès que les calcaires d'eau douce fossilifères du Pliocène inférieur de Constantine [JOLEAUD, 1936].

II-2-1-3/ Quaternaire

Le Quaternaire comprend trois termes principaux, l'un, ancien ou Postpliocène, le second, moyen ou Pléistocène, le troisième, récent ou Néopléistocène. Un autre terme apparaît, celui de l'actuel.

Les alluvions du Quaternaire affleurent en éboulis de pentes qui sont le résultat des phénomènes successifs d'érosion, d'altération, de transport et de dépôts ; ce sont des éboulis blocs des grés numidiens où des limons, sables, cailloux, qui viennent de se déposer sur les rives des oueds, les estuaires et les lacs [BAHROUN, 2006]. La région comporte toute une série de sédiments marins et dépôts continentaux. Ce sont plusieurs terrasses à la cote 100 à 150 m (post pliocène), 30 à 50 m (pléistocène ancien et récent) et de la formation mollassique [HANDOUZI., 2011].

II-2-1-3-1/ Quaternaire ancien

Les formations littorales du Sicilien récent (Postpliocènes) correspondent aux mollasses calcaires marines (plage soulevée) et dunaires de 100 mètres du cap Rosa et de la Calle, formées d'amas de sables très irrégulièrement consolidés par des carbonates de calcium de couleur jaunâtre, quelquefois rougeâtre dont le ciment provient de la dissolution par les eaux pluviales des débris de coquilles inclus dans les sédiments.

Sous les dunes du cap Rosa, à l'embouchure de la Messida et à l'ouest et à l'est de la Calle, on trouve des mollasses fossilifères de Panchina du Sicilien ancien. La formation postpliocène semble se prolonger sous la Méditerranée jusque vers la cote -10m [JOLEAUD, 1936].

II-2-1-3-2/ Quaternaire moyen

◆ Les premiers dépôts correspondent au Pléistocène ancien ou Milazzien avec des mollasses calcaires marines (plages soulevée) et dunaires de 50 mètres, à Panchina, du cap Rosa, de la vieille Calle (Bastion de France), du Belvédère et de la nouvelle ville d'El Kala et possèdent le même faciès que celui de la précédente.

◆ Les formations éoliennes et marines du Pléistocène moyen (Tyrrhénien) correspondent aux mollasses calcaires marines (plage soulevée) et dunaires de 30 mètres, à Panchinas, localisées au déversoir du lac Mellah et du poste marin de l'El Kala et son faciès est identique à celui des mollasses calcaires et dunaires plus anciennes.

Les alluvions des moyennes terrasses des vallées d'oued el Kébir-Est, du Tyrrhénien, sont constituées de sables et de cailloux roulés et sont localisées dans le cimetière de

Mechtat Sidi Mohamed Bouzid, à Aïn El Assel, à Mechtats Fedj Nakla, Abd el Kader et Sidi Derbi.

◆ Les formations du Pléistocène récent correspondent aux mollasses calcaires marines (plage soulevée) et dunaires de 20 mètres, à Panchina, des îles et presque îles du déversoir du lac Mellah et d'El Kala. Ces formations, d'âge Monastrien, consistent en un falun irrégulièrement consolidé, composé de sables quartzeux et de débris de coquilles marines recristallisés passant à son sommet et à sa base à des limons rougeâtres et à des calcaires travertineux [JOLEAUD, 1936].

Les alluvions des basses terrasses des vallées d'oued el Kébir-Est, qui remontent au Pléistocène récent, sont sous forme de limons, sables et de cailloux roulés dominant de 15- 20 mètres sur le thalweg actuel et sont développées à Mechtat Rmel Dokhane en aval de l'oued Bougous, à Aïn Khiair et à Mechtat Sidi Arous aux alentours de la plaine d'El Tarf.

II-2-1-3-3/ Quaternaire récent

Les dépôts Néopléistocène au pourtour du lac Mellah, de l'Oubeïra et de la petite plaine au Sud- Ouest d'El Kala, sont constitués de sables et d'argiles grises. Des coquilles de mollusques marins se trouvent à l'est d'El Kala. Des sables, plus ou moins concrétionnés, de dunes récentes, consolidées et fixées, se développent de part et d'autre du lac Mellah, depuis le cap Rosa jusqu'à El Kala. Elles se retrouvent enfin entre El Kala et Oum Teboul. Ces dunes, quand elles sont proches du littoral, peuvent être considérées comme relativement jeunes ; les autres, situées dans une zone intérieure sublittorale, sont plus anciennes. Des travertins modernes se sont formés au voisinage des Aïouns el Hammam de Sidi Bou Chaïa, au Sud- Ouest de Rmel Souk [JOLEAUD, 1936].

Les alluvions récentes constituent de limons avec cailloux roulés du fond des vallées de Bougous, oueds el Kébir-Est de la Calle, enfin des tributaires des lacs (Mellah, Oubeïra, Tonga). Le pourtour du lac Oubeïra est formé de sables et de limons récents du milieu lacustre néopléistocène.

II-2-1-3-4/ Quaternaire actuel

Les dépôts du Quaternaire actuel peuvent être expliqués comme suit :

◆ Les plages actuelles du pied des dunes sont composées de sables quartzeux coquilliers, aux environs du cap Rosa (la Calle prisonnière à l'Ouest et la baie du Canier à l'Est) et en abords d'El Kala.

- Les sols des marécages ou Garaets, sont formés de limons noirâtres, dans les fosses, où l'imperméabilité du sous-sol est due à l'extension des argiles de Numidie. Ces sols sont développés dans les marées de Bou Redim, dans la plaine d'El-Tarf ainsi qu'au pourtour des lacs Mellah, Oubeïra et Tonga.
- Les alluvions actuelles du lit majeur des cours d'eau, sont rarement répandues sauf dans les élargissements du lit de débordement des oueds Bougous. Le sol limoneux superpose les formations argileuses numidiennes imperméables.

II-2-2/ Tectonique

Les déformations structurales plicatives et cassantes qui ont touchées la région d'étude correspondent à la phase de néotectonique poste-tortonienne (Fig.27) [VILA, 1980].

Vila (1980) estimait que le bilan néotectonique est essentiellement créateur de relief avec un raccourcissement méridien assez faible étant donnée la rareté des accidents cassantes à composante distensive.

La région de la Calle est cependant avant tout un pays de plis Cénozoïque. Vers la fin du Crétacé, des mouvements du sol se manifestaient et qui se traduisaient par la lacune stratigraphique de l'Eocène inférieur dans la chaîne numidique. On parle de diastrophisme alpin qui s'est traduit, en Algérie orientale et en Tunisie, par des bossellements formants les barres littorales. D'importants évènements orogéniques se sont déroulés pendant le Lutétien, l'Eocène supérieur et l'Oligocène inférieur et poursuivis à se manifester dans la région de la Calle pendant le Néogène permettant la naissance, dans les chaînes sublittorales, aux plis numidiens, orientés généralement Ouest- Est, ces dislocations se différencient par leur direction, des formes structurales : plis eurasiens, alignés Sud- Ouest/ Nord- Est, dans le Tell algérien. Les plis numidiens portent l'empreinte de poussées tangentielles bien plus énergiques que les plis eurasiens [JOLEAUD, 1936].

Les montagnes de la Calle, qui se prolongent vers l'Est de la chaîne numidique avec une direction WSW- ENE, représentent des anticlinaux couverts de grès de Numidie et à noyau constitué par des argiles de Numidie (Fig.28). Vers le nord, dans les collines du cap Rosa, le Nummulitique (Grès et argiles de Numidie) constitue le substratum et souvent caché par des dépôts quaternaires. L'orientation WSW- ENE, de nombreux chabets, correspond à des lignes tectoniques : le cas des thalwegs suivis par le sentier du lac Mellah à la Mechta Bou Fhal, par l'ancienne route du pont de la république au Bordj Ali Bey, par la piste de douar Demen Driess, enfin par la nouvelle route entre le lac Oubeïra et l'oued el Kebir-Est.

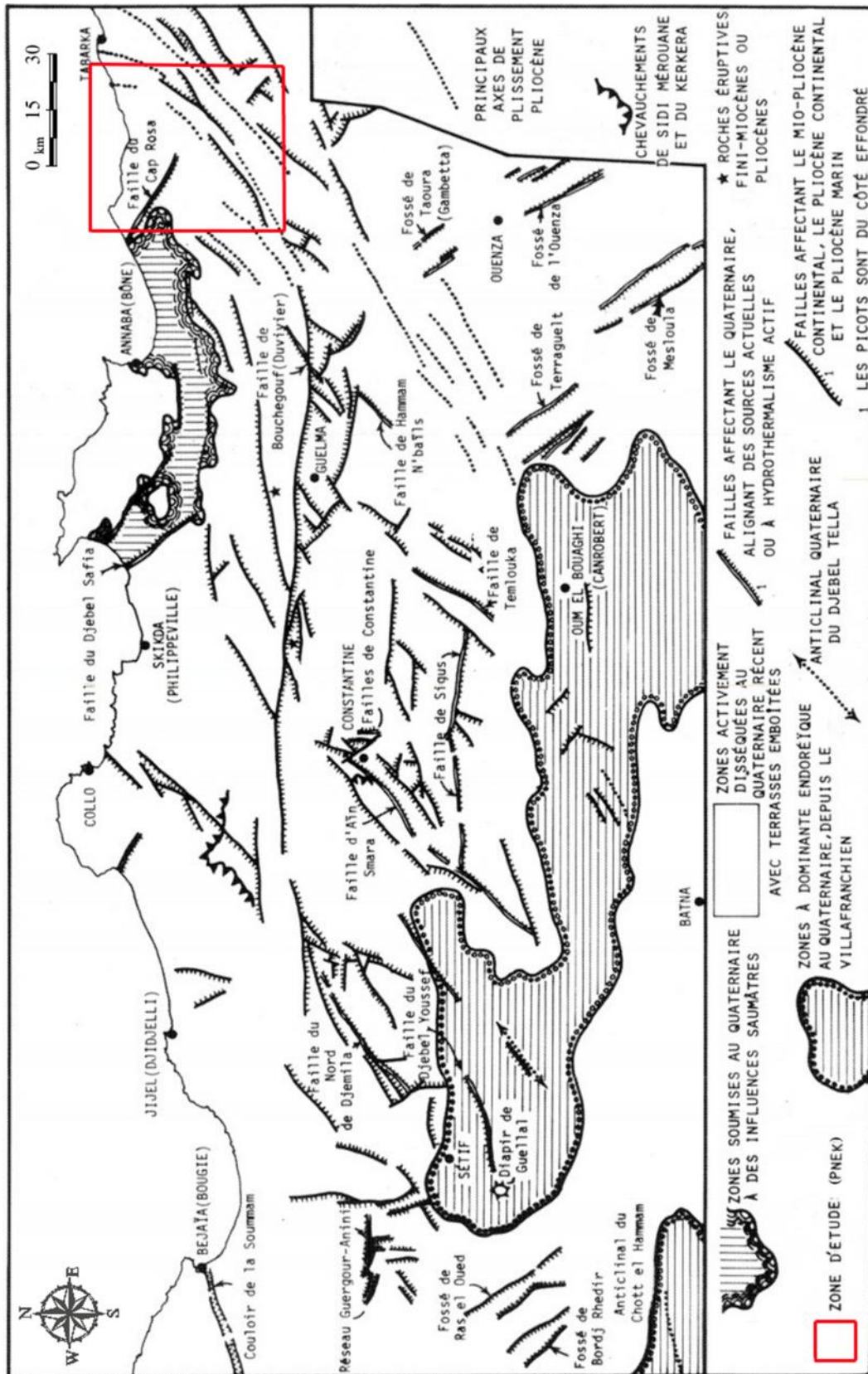
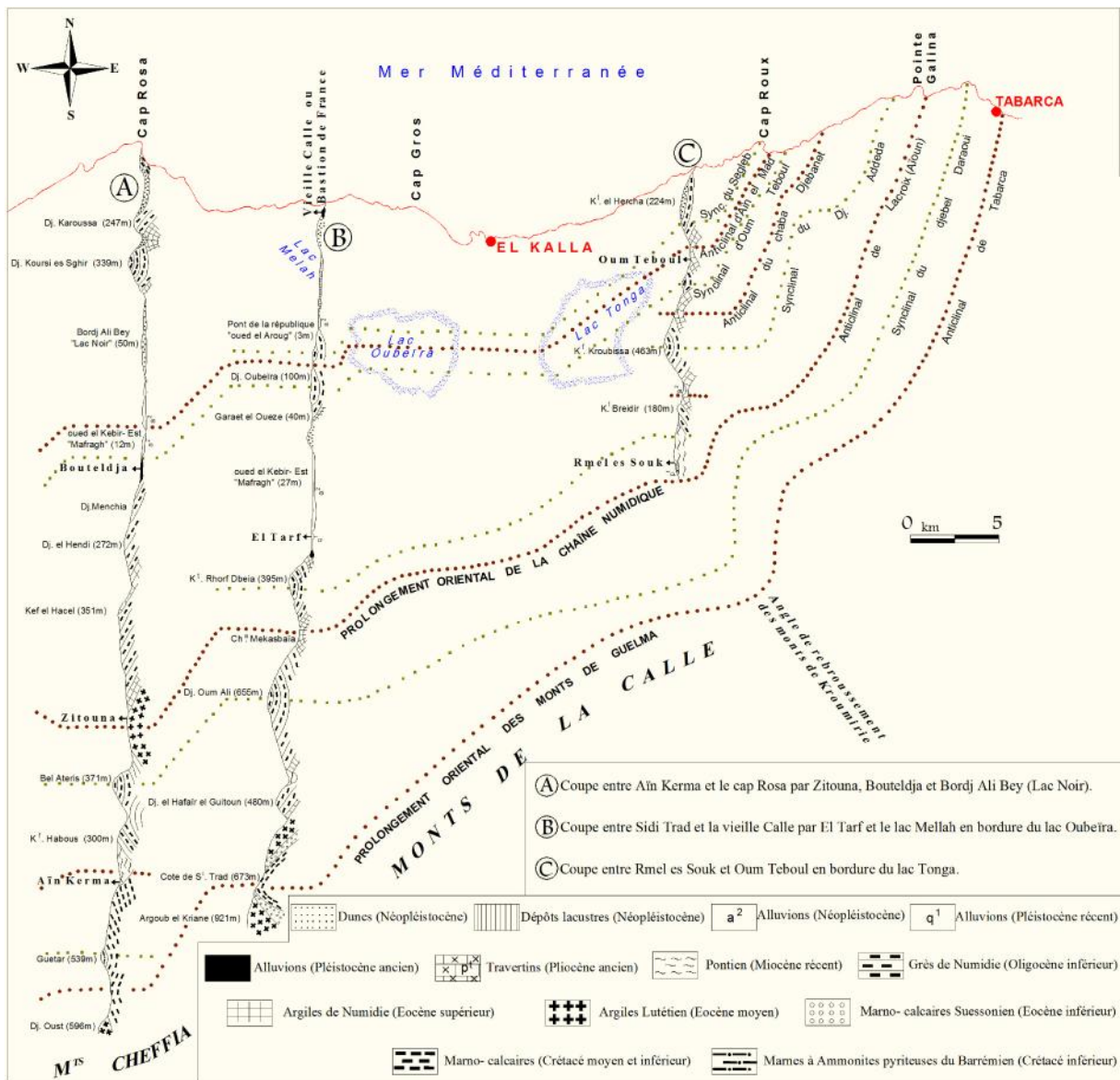


Figure n°27 : Représentation schématique des principaux effets de la néotectonique _ Vila JM.



**Figure n°28 : Coupes géologiques représentatives dans la région d'étude
(Extrait des coupes réparties entre Bône te la Calle _ Joleaud.L + Traitement)**

Le rebroussement des plis numidiens vers le NNE, caractéristiques des monts de la Calle, s'observe dans le Bou- Liff et le Bou- Merchen à l'ouest de la ville d'El Kala.

La région côtière était toutefois alors d'une centaine de mètres moins élevée qu'aujourd'hui [JOLEAUD, 1936]. Le rivage s'est ensuite trouvé reporté à une cinquantaine, puis à une trentaine de mètres plus bas (Milazzien et Tyrrhénien), enfin à une quinzaine de mètres (Monastrien), des plates-formes d'abrasion entaillées dans les mollasses calcaires

témoignent d'un soulèvement par saccades, entraînant l'affaissement du niveau de base des cours d'eau à une altitude très inférieure. Les basses vallées étaient activement creusées ; leurs larges thalwegs étaient envahis par les eaux salées lors du retour offensif subséquent de la mer. Par exemple, le lac Mellah et Oubeïra correspondaient à de simples élargissements d'un même vallum : le haut oued el Kebir- Est (oued Bougous actuellement) ; les cuvettes existantes plus ou moins inondées (lac Bleu, garaet el Oueze, lac Bourdim) nous donnent une idée de la topographie primitive de ces deux lacs. .

Les failles sont largement réparties et mettent en évidence une succession de compressions et de distensions modérées. Ce réseau de failles sont visibles sur les séries numidiennes et parfois cachées sous les dépôts du Quaternaire et il est dessiné selon deux directions :

🚩 Réseau de failles d'une direction Nord- Ouest/ Sud- Est, affectant le Quaternaire donc sont invisibles comme celle de la faille de cap Rosa ;

🚩 Réseau de failles d'une direction Nord- Est/ Sud- Ouest, et sont visibles sur les formations numidiennes.

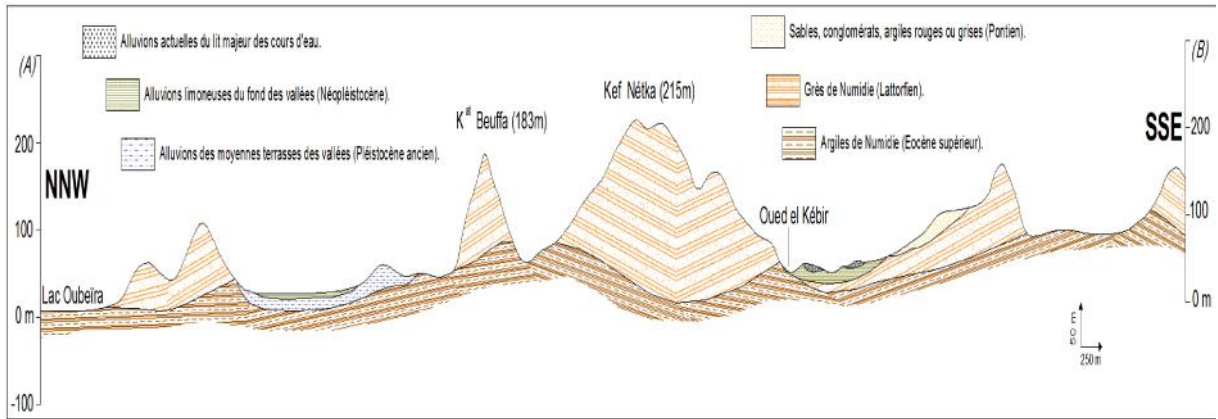
Des coupes géologiques (Fig.29) ont été établies et effectuées pour permettre de visualiser l'ampleur des déformations structurales géologiques dans la région du fait de la tectonique.

Nous pouvons constater que les formations gréseuses numidiennes du Lattorfien plongent dans un pendage incliné du fait de la remonté et la poussée des couches sous-jacentes.

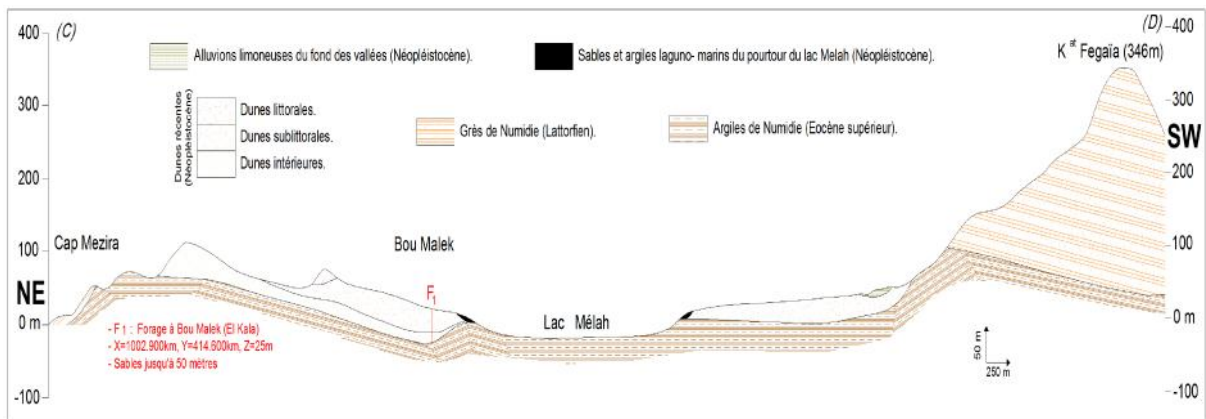
II-2-2-1/ Évènements sismiques

Le rapprochement des deux plaques tectoniques, eurasienne et africaine, engendre la circonstance d'activités sismiques. Selon le CRAAG, la région tellienne est la plus active, dans cette région se produit la plus grande activité et les séismes les plus sérieux ; la région des hauts plateaux est beaucoup moins active que la région tellienne ; Au niveau de l'Atlas Saharien, seuls quelques événements se sont produits.

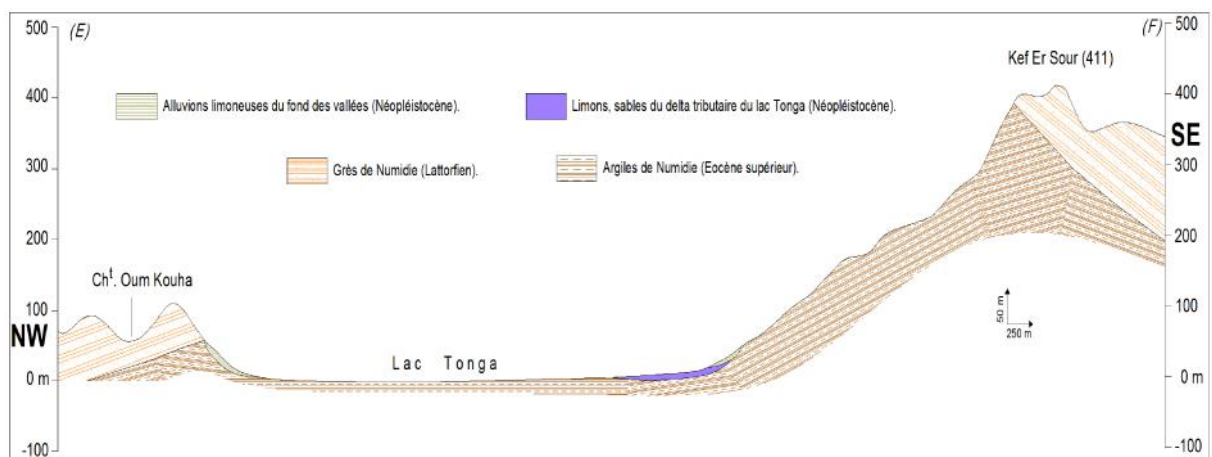
La région d'étude fait partie de la chaîne des Maghrébides. D'après sa sismotectonique, le relief se caractérise par une déformation principalement décrochante. Son trait structural majeur correspond au système de décrochement senestre Nord- Est/ Sud- Ouest. Le 27 octobre 1947, un séisme d'intensité estimée à VI s'est produit en mer près de la Calle [HARBI & MAUCHE, 2009 in DJEDDI, 2015]. Auparavant, un tremblement de terre a frappé la région d'El Kala, le 29 novembre 1887, d'une magnitude estimée entre 6.5-7.5 causant 20 morts [CRAAG].



1- Coupe (AB) : traversant oued El Kébir (Retenue du Mexa) jusqu'au lac Oubeira.



2- Coupe (CD) : traversant le lac Mélah.



3- Coupe (EF) : traversant le lac Tonga.

Figures n°29 : Coupes géologiques réalisées dans le parc d'El Kala.

II-3/ RICHESSSE NATURELLE

Le parc national d'El Kala est conçu d'importants écosystèmes qui lui offrent cette sublime richesse en interférence entre la faune et la flore. Plusieurs espèces faunistiques (Tab.08) et floristiques (Tab.09) ont été recensés dans le territoire du PNEK. La distinction des habits observés dans le PNEK a pour conséquence l'existence d'une faune particulièrement riche et variée. En effet, les principaux groupes systématiques y sont rencontrés, à savoir les mammifères et les oiseaux. Les espèces qui y hivernent ou qui y nichent sont rares et protégées.

Les principales espèces animales que regroupe le P.N.E.K sont : le cerf de barbarie, l'hyène rayée, le porc qui pique, le renard doux, la loutre, le chacal dore, la cigogne blanche et l'oie cendrée [BOUZIANI, 2000]. La particularité du parc national d'El Kala est la population d'oiseaux d'eau hivernante et nicheuse, une bonne partie des espèces est protégée et même en voie de disparition. Les zones humides de la Calle constituent le dernier sanctuaire pour la survie de ces espèces. La diversité aviaire du parc est de 195 espèces dont 71 protégées par décret [YOUBI, 2008].

Tableau n° 08 : Le patrimoine faunistique du PNEK (Par espèces).

Classification	Patrimoine PNEK	Patrimoine national	Taux (%)
Oiseaux	195	336	58
Mammifères	39	107	36,4
Reptiles et amphibiens	17	82	20,7
Poissons	74	300	24,7

Source traitée : AKROUM

Tableau n° 09 : Le patrimoine floristique du PNEK (Par espèces).

Classification	Patrimoine PNEK	Patrimoine national	Taux (%)
Cryptogames (plantes sans fleurs)			
Lichens	114	680	16,76
Champignons	110	128	85,94
Algues	70	528	13,26
Fougères	30	59	50,85
Mousses	Non identifiée	--	--
Bactéries	--	--	--
Phanérogames (plantes avec fleurs)			
Plantes vertes	930	3145	29,57

Source traitée: AKROUM

Le patrimoine végétal de la région d'El-Kala est constitué de 850 espèces dont 65 algues, 110 champignons, 50 lichens, 40 mousses, 25 fougères et 545 spermaphytes. Cette richesse

est due à la situation de la région qui constitue un Carrefour biogéographique où se côtoient des espèces à affinité européenne, méditerranéenne, africaine et tropicale, Dans la région, 239 espèces végétales sont des espèces rares, représentant ainsi 15 % des 1611 espèces rares en Algérie. La végétation arborée (Fig.30) est représentée essentiellement par le Chêne liège, qui est installé sur le grès de Numidie et sa dégradation donne naissance à un maquis dense, constitué de Filaires, de Bruyères, de Cistes et de Myrte. Les dunes sont recouvertes soit par des essences naturelles telles que le Genévrier et le Chêne Kermès, soit par des reboisements de Pin maritime ou de Pin d'Alep. Il existe également des reboisements d'Eucalyptus et d'Acacia au niveau des collines basses ainsi que certaines dunes [AOUADI, 2009]. La forêt de chêne zeen (Zenaie) occupe généralement les expositions Nord à Nord- Ouest, vers 800 jusqu'à 1200m d'altitude.

Source : Djeloul

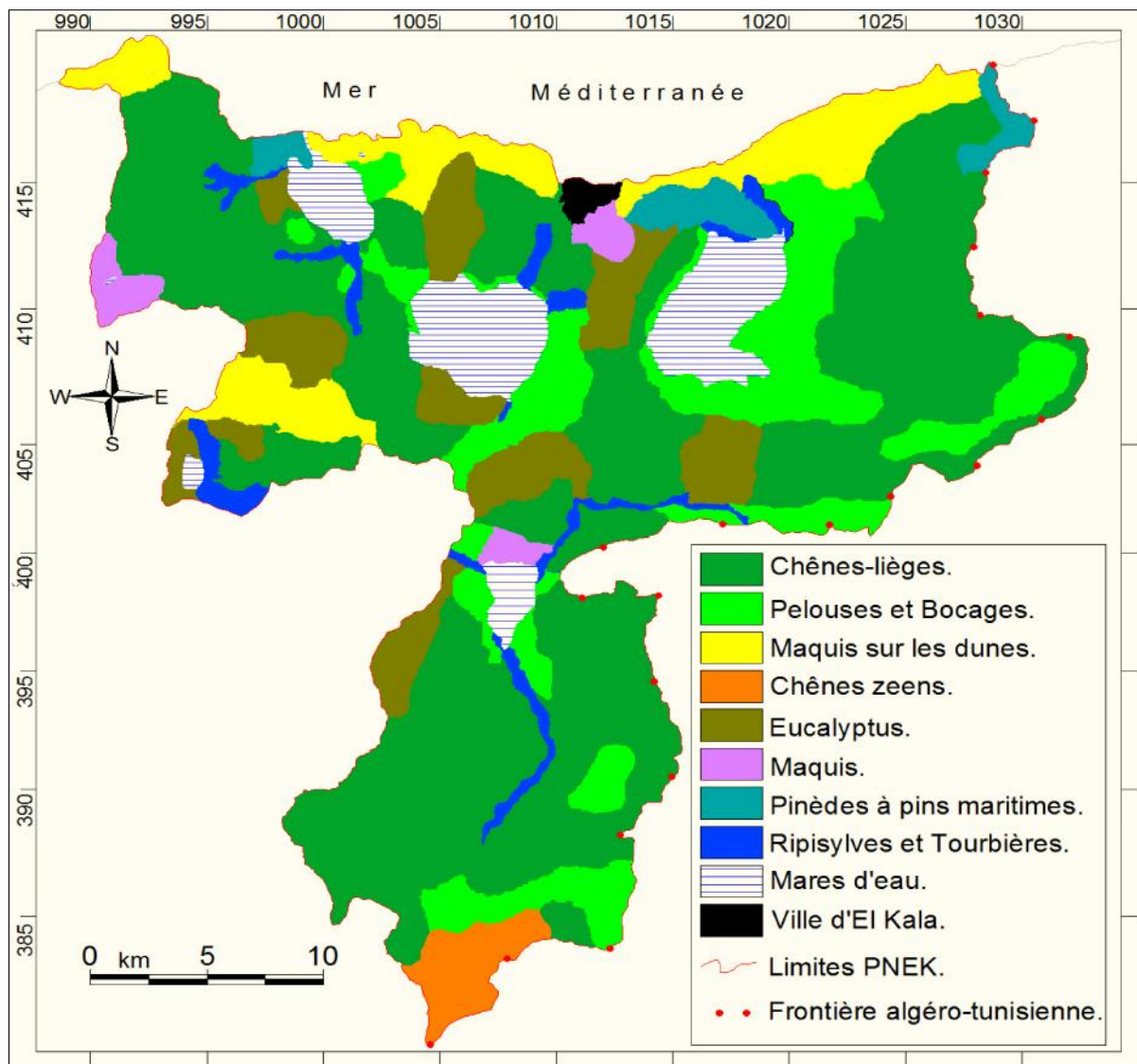


Figure n°30 : Le patrimoine forestier réparti dans le parc d'El Kala + Traitement.

Elle se présente sous forme de futaie haute sans sous-bois, âgée, rarement jeune, accessible, et dans un état sanitaire bon à moyen. Le chêne zen (*Quercus faginea*) est la seule essence caducifoliée qui est constituée en peuplement homogène sur une superficie relativement importante dans le parc national [DJELLOUL, 2013].

Les aulnaies à Aulne glutineux représentent les seules stations d'envergure de cette formation en Algérie. Leur importance réside dans le fait que ces milieux sont actuellement en forte régression à cause des défrichements et des assèchements qu'ils subissent.

Ils constituent malgré tous des reliques les mieux conservées de la végétation euro-sibérienne qui sont rares en Afrique du Nord. Ces milieux occupent une place remarquable et suivent les oueds qui sont nombreux dans la région, constituées principalement d'Aulne, de Frênes, de Peupliers, de Saules et d'Orme. La plus importante ripisylve est celle de l'oued El Kebir (Tab.12-annexe). La flore lacustre est caractérisée par près de 100 espèces dont les principales sont des héliophytes qui sont représentées par des Roseaux, des Massettes, des Rubaniers et des Iris [AOUADI, 2009].

II-4/ RICHESSE CULTURELLE

A l'intérieur du PNEK, on compte 164 sites historiques visualisant l'importance culturelle de cette région. Les plus connus se situent sur le littoral qui s'étend de cap Rosa au cap Roux. On parle de monuments historiques archéologiques. Nous citons quelques exemples [AKROUM, 2013] (Tab.13-annexe):

■ Bastion du Cap Roux, destiné à la pêche et la commercialisation du corail, il date du seizième siècle et se situe dans la commune de Souarekh ;

■ Medjez nechaa, Bastion datant du seizième siècle était destiné, également, à la pêche et la commercialisation du corail, Il est situé dans la commune d'el Kala ;

■ Bastion de France (Pht.16), date du dix-septième siècle, était destiné à la pêche et à la commercialisation du corail et se situe dans la communes d'El Kala, il a été classé comme site historique à protéger ;

■ Fort Moulin, destiné à l'exploitation et l'exportation du corail ainsi que certains produits alimentaires, il se situe dans la ville d'El Kala ;

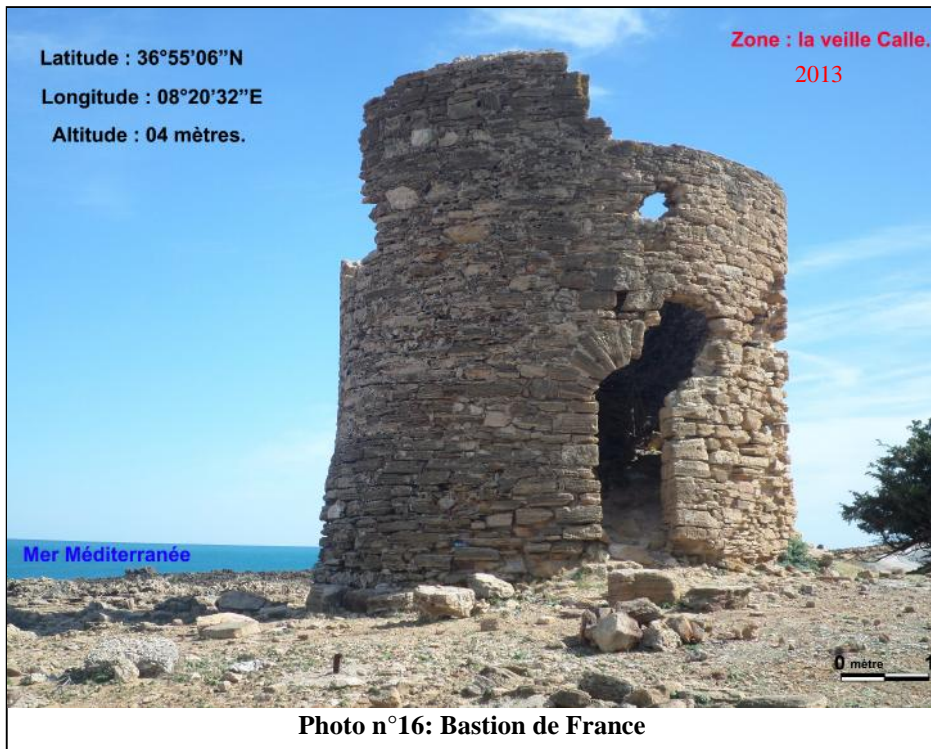
■ Palais de Lala Fatma, datant de l'époque Romaine, il était utilisé comme bain maure ainsi que pour les rencontres culturelles et politiques, il est situé dans la commune d'El Aïoun en plein massif montagneux ;

■ Palais K'ser el Djadj (ou également Bordj el Roumaine), ce palais est situé à proximité de la commune d'El Tarf et en pleine Forêt, il date de la période romaine et était utilisé de la même manière que le palais de Lala Fatma ;

■ Palais Bir El Kerma, date de la période romaine et se trouve dans la commune de Ramel Souk près de la frontière tunisienne ;

■ Palais Ali Bey, situé dans la commune de Berrihane, date de la période turque il était utilisé comme résidence secondaire du Bey ;

■ Monuments archéologiques, comme les menhirs et les dolmens de Seghleb, les grottes abritant des peintures rupestres néolithiques à Raml Souk, les pressoirs d'olives qui remontent à l'époque numide et dont on attribue l'introduction à maghor le phénicien.



CHAPITRE III



HYDROCLIMATOLOGIE



III-1/ CLIMATOLOGIE

L'eau dans le sous-sol est très dépendante du climat, son influence peut être immédiate sur les réserves d'eau. Afin de démontrer le régime climatique qui règne dans notre région d'étude, il est impératif de connaître ses évolutions dans le temps et dans l'espace. Aujourd'hui de nombreuses questions se posent concernant l'avenir de la planète terre vis-à-vis des changements des caractéristiques climatiques. Le continent Africain reste le plus exposé aux soubresauts du climat [ZERROUKI, 2013].

L'Algérie donc, du fait de sa situation géographique, se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes ; la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde semi-aride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara [ROUABHIA, 2006].

Le parc national d'El Kala fait partie de la première zone, marquée par les fortes quantités d'eaux des pluies donnant naissance à un écosystème prospère et bien diversifié. Il est indispensable de commenter les données climatiques disponibles pour cette étude afin de permettre la compréhension et la connaissance du comportement hydrologiques (eaux superficielles) et la variation des réserves des eaux souterraines (approches hydrogéologiques).

Afin d'étudier les caractéristiques climatiques de la région d'étude, nous avons utilisé les données climatiques de la station d'El Kala dont les coordonnées géographiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous (Tab.10). Sur un cycle de trente-neuf ans (1971/1972 – 2009/2010), nous examinons la variation des précipitations et des températures observées à la station concernée.

Tableau n°10 : Coordonnées géographiques de la station météorologique choisie.

Station	Indicatif	Coordonnées UTM (Degré)		Altitude (en mètre)	Période d'observation
El Kala	367	Longitude	Latitude	11	1971/1972-2009/2010
		8°27'E	36°54'N		

Source : ONM

L'année pluviométrique correspond à l'année hydrologique allant de Septembre en Août. Ce découpage convient mieux aux recherches hydrologiques, et permet d'analyser les totaux de précipitations cumulées au cours d'un cycle hydrologique climatique [NOUAR, 2007].

III-1-1/ Facteurs climatiques

III-1-1-1/ Humidité relative de l'air

L'air contient de l'eau sous forme de vapeur. Cette humidité est limitée et dépend essentiellement de la température de l'air. On appelle humidité relative de l'air le pourcentage de vapeur d'eau qui existe réellement dans l'air par rapport à la quantité maximale que pourrait contenir l'atmosphère dans les mêmes conditions de température et de pression [BRAHMIA, 2008]. Les valeurs des moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air à la station d'El Kala, durant vingt-six ans (1984/1985-2009/2010), sont indiquées dans le tableau n°14 (annexe).

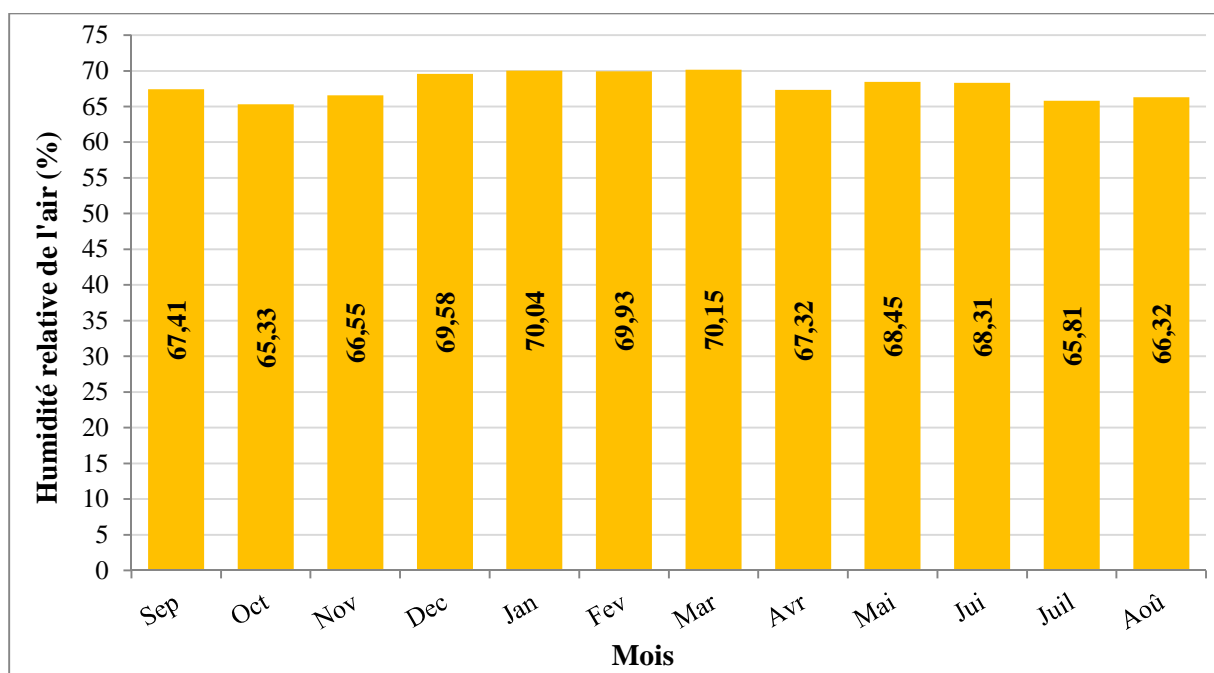


Figure n°31 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en % à la station d'El Kala (1984/85-2009/10).

D'après la figure n°31, nous pouvons constater que l'humidité relative de l'air est élevée et les valeurs sont voisines entre elles, ceci est lié à l'existence des plans d'eau aux alentours de la région d'El Kala (Lacs, Garaets, barrages, etc.), de plus le positionnement proche par rapport au littoral. La moyenne annuelle est d'une valeur de 68,01 %.

III-1-1-2/ Vitesse du vent

Le vent est l'un des éléments le plus caractéristique du climat, il a un effet sur les précipitations et les températures activant ainsi l'évaporation [BAHROUN, 2006]. C'est un élément climatique qui permet le déplacement du sable et d'autres particules fines et joue le

rôle d'agent d'érosion, de transport et d'accumulation. Ce facteur est susceptible d'influencer les processus d'évaporation et d'évapotranspiration [MAOUI, 2006]. Les vents Nord-Ouest sont les plus violents et les plus dominants pendant tous les mois de l'année, ce qui explique le grand développement des dunes de l'Est algérien, ils sont souvent liés aux pluies de quinconces qui apportent les précipitations les plus importantes, venues de l'atlantique. Les vents du Sud-Est parfois Sud-Ouest dus généralement aux siroccos provenant du Sahara, sont plus fréquents pendant le mois d'Août avec une haute température [BAHROUN, 2006].

Les valeurs des moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station d'El Kala, durant dix-huit ans (1984/1985-2001/2002), sont indiquées dans le tableau n°15 (annexe).

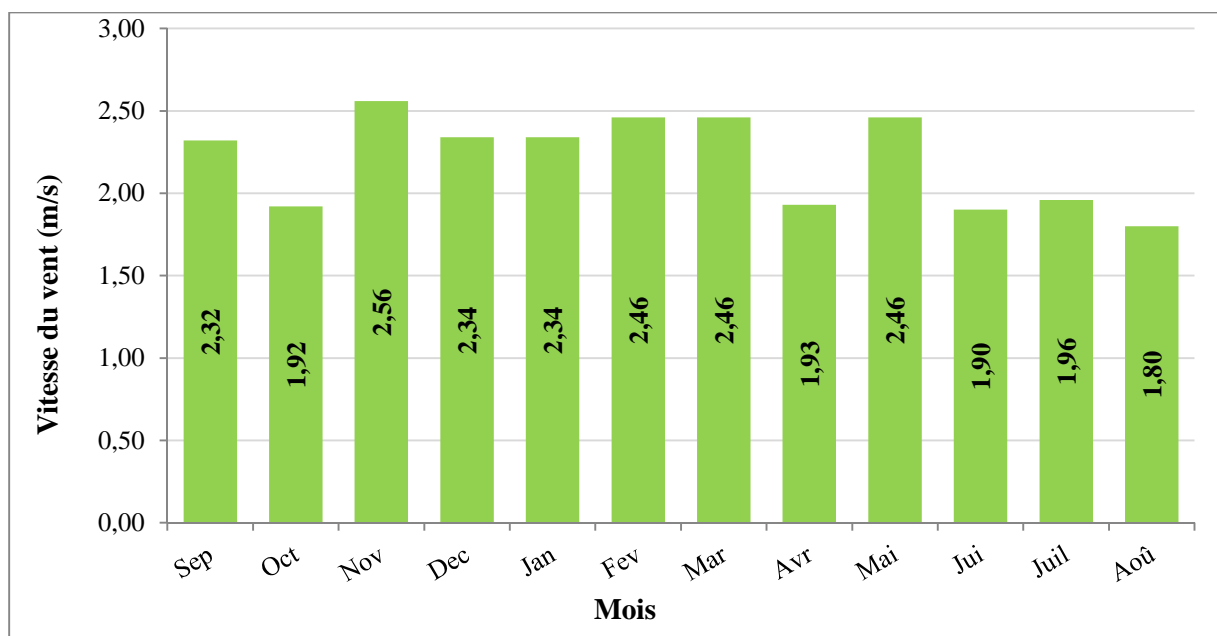


Figure n°32 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/sec) à la station d'El Kala (1984/85-2001/02).

D'après la figure n°32, nous pouvons remarquer que la vitesse du vent est moins importante et les valeurs sont au voisinage de 2 m/sec. les fortes valeurs sont observées dans la période hivernale où les vents sont souvent liés aux pluies saisonnières. La moyenne annuelle de la vitesse est d'une valeur de 2,23 m/sec.

III-1-1-3/ Précipitations

La précipitation demeure un facteur primordial, pour la réalisation d'une étude climatique [SEDRATI, 2011]. La précipitation est la quantité d'eau météorique, totale, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée "section pluviométrique". La pluie est

un facteur climatique très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes [KHELFAOUI, 2014].

Sur un cycle de trente-neuf ans (1971/1972 – 2009/2010), la variation des précipitations observées à la station d'El Kala est donnée dans le tableau n°16 (annexe) :

III- 1-1-3-1/ Précipitations moyennes mensuelles

Suivant les données relatives à notre station météorologique pour une durée d'observation de 39 ans, nous avons pu obtenir la figure n°33 qui représente la variation des précipitations moyennes mensuelles.

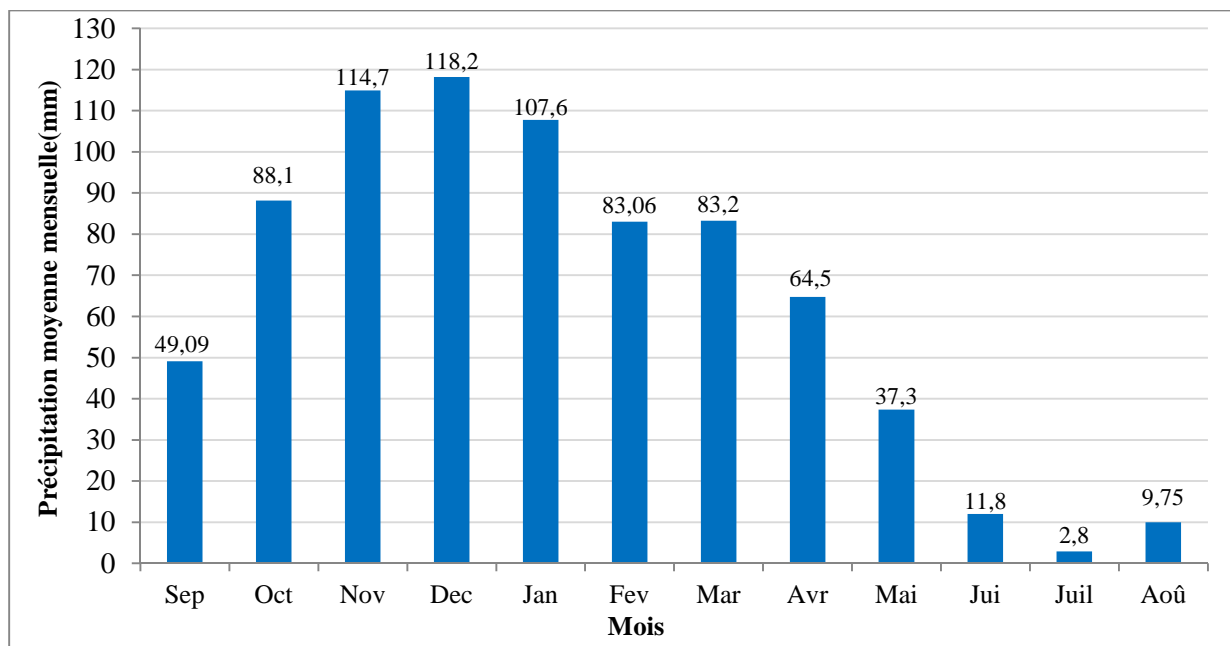


Figure n°33 : Précipitations moyennes mensuelles en mm à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

La distribution des précipitations moyennes mensuelles illustrées dans la figure n°33 révèle que la période pluvieuse s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai dont le mois le plus pluvieux est celui du mois de décembre, avec un maximum pouvant atteindre 118,23 mm ; tandis que les mois secs sont les mois de juin, juillet et août où le mois le plus sec est celui de juillet, avec une valeur minimale pouvant atteindre 2,89 mm.

III- 1-1-3-2/ Précipitations annuelles

L'analyse des données pluviométriques de chaque année sur une période de 39 ans nous permet, en déduisant la moyenne annuelle qui est de 770,10 mm, de visualiser les années

pluvieuse et les années sèches. La figure n°34 représente la courbe des variations annuelles des précipitations.

D'après la figure n°34, nous constatons que l'année 2008/2009 est l'année la plus arrosée avec la valeur de 1063,90 mm/an. Par contre, l'année 1990/1991 est la plus sèche avec une valeur de 412,70 mm/an.

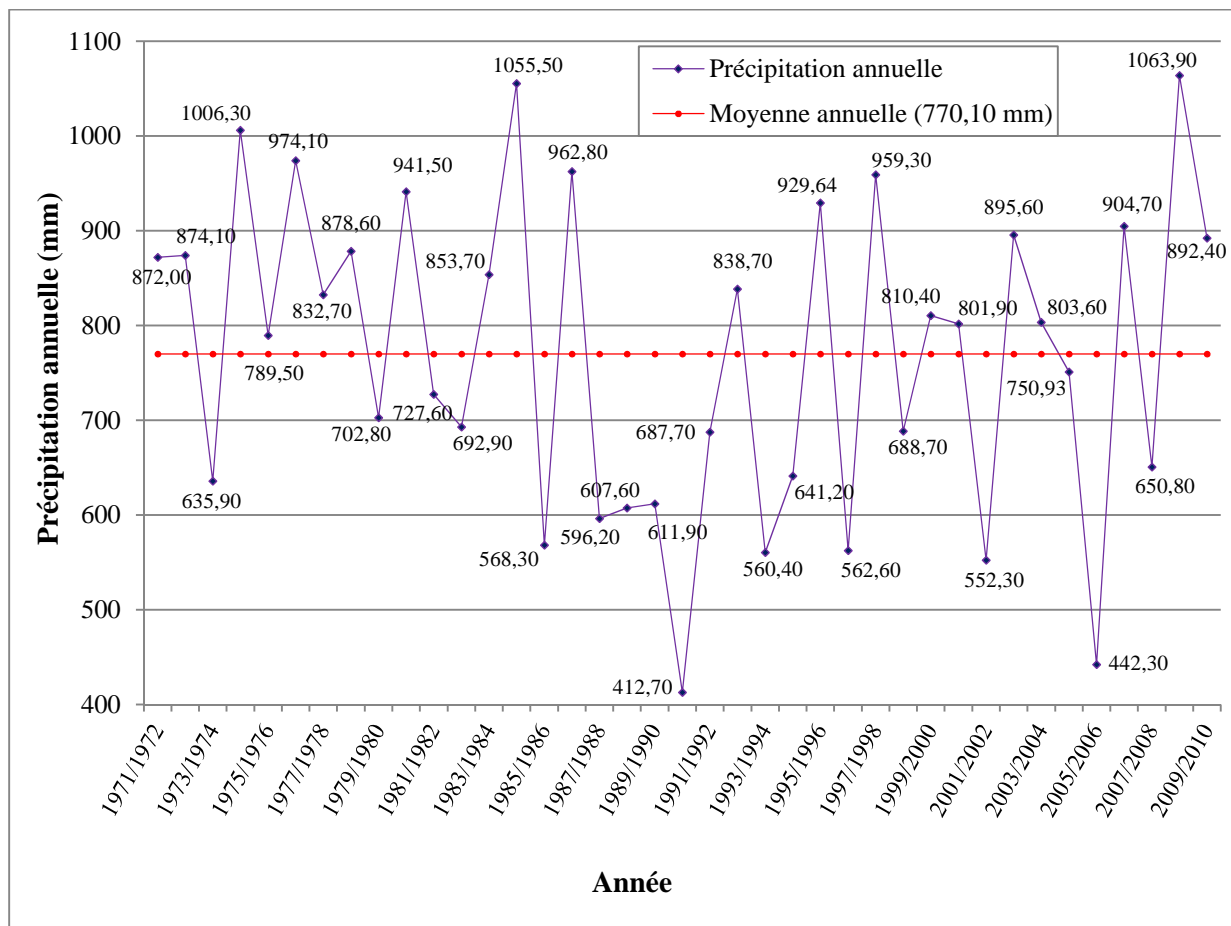


Figure n°34 : Précipitations annuelles et la moyenne annuelle en mm à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

III- 1-1-3-3/ Précipitations saisonnières

L'interprétation des données pluviométriques selon une répartition saisonnière est faite suivant la subdivision de la saison agricole. Quatre saisons sont retenues :

- L'automne qui est représenté par les mois de septembre, octobre et novembre ;
- L'hiver qui est indiqué par les mois de décembre, janvier et février ;
- Le printemps, convient avec les mois de mars, avril et mai ;
- L'été qui coïncide avec les mois de juin, juillet et août.

Le tableau n°11 englobe les valeurs des mois correspondants à chaque saison dont nos trois exemples sont représentés en quantité et en pourcentage. La répartition saisonnière est indiquée selon les fortes proportions des quatre saisons mentionnées :

Tableau n°11 : Répartition saisonnière des précipitations à la station d'El Kala.

	Automne (A)	Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	Répartition saisonnière
Précipitation moyenne saisonnière	252,17mm Soit = 32,7%	309,04 mm Soit =40,1%	185,35 mm Soit =24%	24,80mm Soit =3,2%	H-A-P-E
Précipitation saisonnière - 1990/1991	136,2 mm Soit =33%	202,1 mm Soit =49%	72,3 mm Soit =17,5%	2,1 mm Soit =0,5%	H-A-P-E
Précipitation saisonnière - 2008/2009	266,1 mm Soit =25%	512 mm Soit =48,1%	282,9 mm Soit =26,6%	2,9 mm Soit =0,3%	H-P-A-E

La figure n°35 schématise l'interprétation saisonnière des précipitations moyenne mensuelles durant les 39 ans. L'interprétation des précipitations saisonnières correspond aussi à l'année la plus arrosée (2008/2009) et la plus sèche (1990/1991) (Fig.36).

Le tableau précédent (Tab.11) et les figures suivantes (Fig.35 et 36) nous permettent de remarquer que, pour les précipitations moyennes mensuelles, la saison hivernale est la plus pluvieuse où il tombe 309,04mm soit 40,1% des pluies moyennes annuelles. En automne, les quantités de la précipitation est de l'ordre de 252,17mm soit 32,7% des pluies moyennes annuelles. Le printemps correspond à 24% de la totalité des précipitations (185,35mm). La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie déduite est la plus faible de l'ordre de 24,80mm soit seulement 3,2% de la totalité des précipitations moyennes annuelles.

L'analyse des résultats obtenus des précipitations saisonnières des deux années choisies montre que, en commun, la saison hivernale est la plus pluvieuse où au cours de cette saison la forte précipitation enregistrée est de 512mm (2008/2009) et 202,1mm (1990/1991). L'été correspond à la saison sèche où la pluviométrie est faible et elle est de l'ordre de 2,9mm pour l'année arrosée et de 2,1mm pour l'année sèche.

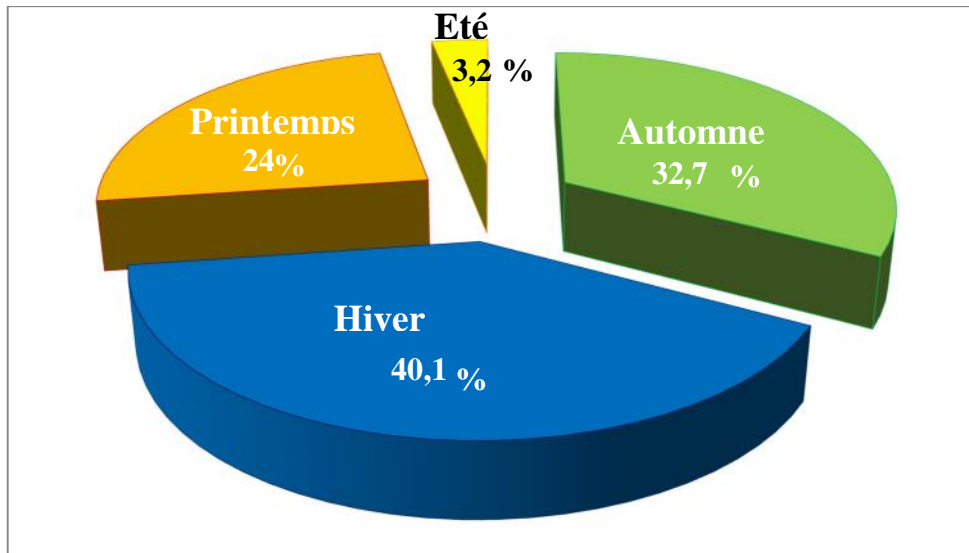


Figure n°35 : Répartition des précipitations moyennes saisonnières en % à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

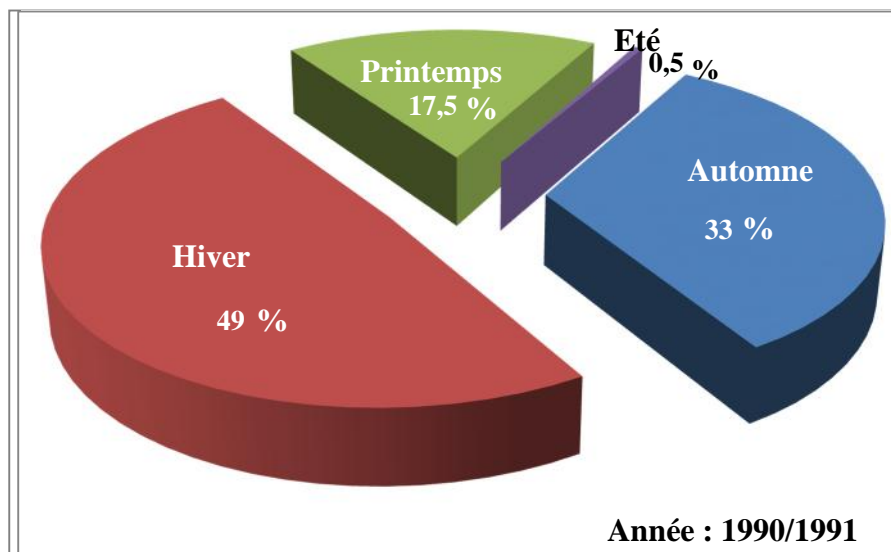
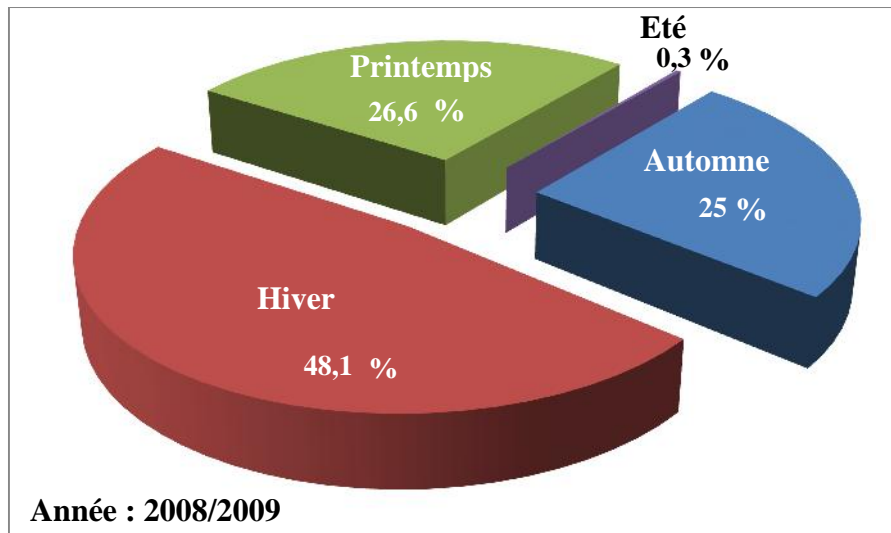


Figure n°36 : Répartition saisonnière des précipitations en % pour les périodes 1990/1991 et 2008/2009 à la station d'El Kala.

III- 1-1-3-4/ Coefficient pluviométrique

A/ Coefficient pluviométrique annuel

Le coefficient pluviométrique annuel, noté **C_{pa}**, exprime la variabilité interannuelle des précipitations. Le **C_{pa}** est un paramètre indispensable dans le but de déduire les années excédentaires et les années déficitaires. Il correspond au rapport de la précipitation d'une année à la précipitation moyenne de l'ensemble des années d'une station donnée. Mathématiquement, il est calculé par la formule suivante :

$$C_{Pa} = \frac{P_i}{\bar{P}} \dots\dots\dots(1)$$

Où : **P_i** = Précipitations annuelles (mm) ;

P̄ = Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

C_{pa} : Coefficient pluviométrique annuel. Si **C_{pa}** > 1, l'année correspondante est dite excédentaire. Si **C_{pa}** < 1, l'année correspondante est dite déficitaire. Les résultats de calcul de coefficient pluviométrique **C_{pa}** de la station d'El Kala sont récapitulés dans le tableau n°17 (annexe).

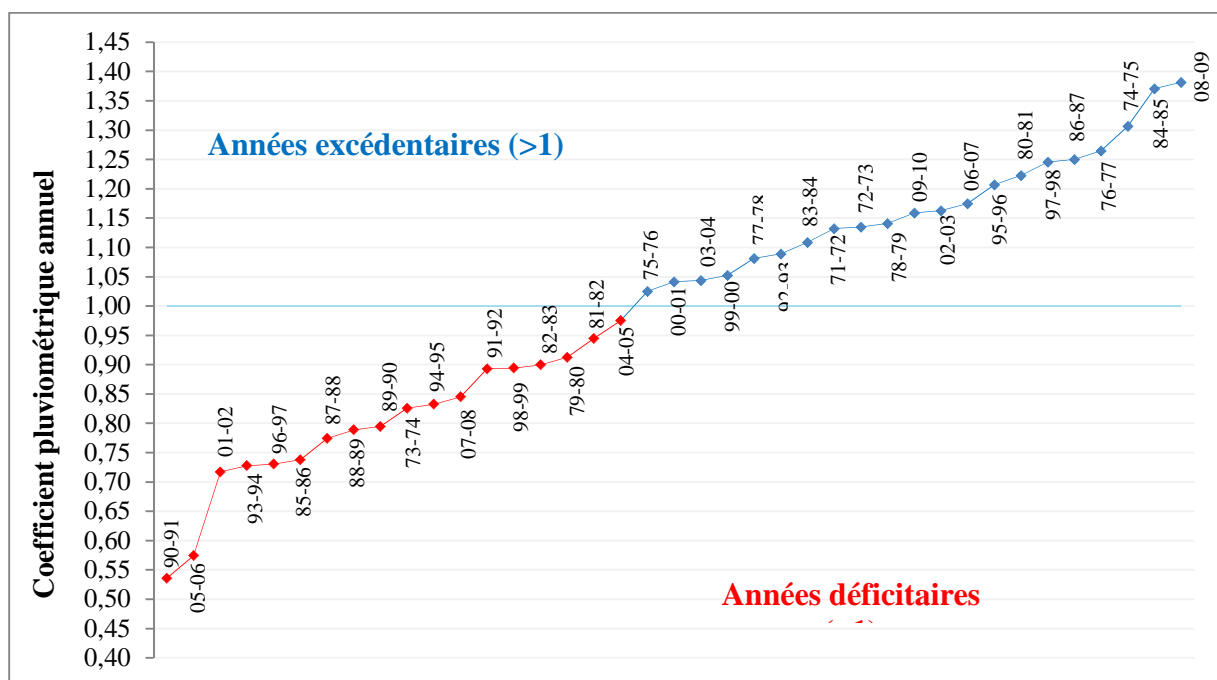


Figure n°37 : Variations des coefficients pluviométriques annuels à la station d'El Kala (1971-72/2009-10).

D'après la figure n°37, on remarque que les années excédentaires sont plus nombreuses (21 années) que les années déficitaires (18 années). Nous pouvons observer une alternance de

séquences pluvieuses et sèches non périodiques, qui s'écartent de deux à trois ans en moyenne (Fig.34).

B/ Coefficient pluviométrique mensuel

Le coefficient pluviométrique mensuel (C_{pm}) correspond au rapport de la précipitation mensuelle à la précipitation moyenne mensuelle.

Le coefficient est représenté par la formule :

$$C_{pm} = 365 \times P_i / P_n \dots\dots\dots (2)$$

La formule (2) peut être écrite sous la forme :

$$C_{pm} = \left(\frac{365}{n_i}\right) \times (P_i/P) = K \times (P_i/P) \dots\dots\dots (3)$$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

P_i = Précipitation mensuelle (mm) ;

n_i = Nombre de jours par mois ;

K = Coefficient dépendant du nombre de jours du mois considéré :

Si : $n=31$ jours $k= 365/31=11.77$.

Si : $n=30$ jours $k=365/30=12.16$.

Le mois de Février compte 28 jours chaque trois ans et une fois 29 jours, donc :

$$k= 365/(28 \text{ jours} * 3 \text{ ans} + 29)/4\text{ans} = 12.92.$$

Tableau n°12 : Coefficients pluviométriques mensuels à la station d'El Kala (1971-72/2009-10).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Aoû
P_i	49,09	88,10	114,70	118,20	107,60	83,06	83,20	64,50	37,30	11,80	2,80	9,75
K	12,16	11,77	12,16	11,77	11,77	12,92	11,77	12,16	11,77	12,16	11,77	11,77
C_{pm}	0,77	1,34	1,81	1,80	1,64	1,39	1,27	1,01	0,57	0,18	0,04	0,14

Le coefficient pluviométrique mensuel correspond aux précipitations moyennes mensuelles durant 39 ans allant de 1971-1972 au 2009-2010 par rapport à la valeur de la précipitation moyenne annuelle calculé qui est de 770,1mm. Les valeurs du C_{pm} sont représentées dans le tableau n°12.

III-1-1-4/ Températures

La température est le deuxième élément important dans l'étude du climat, elle joue un rôle important dans la détermination des paramètres climatiques particulièrement la détermination du bilan hydrologique [GHRIEB, 2011]. La température est un facteur très important, régissant le phénomène d'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier [SEGHIR, 2008]. Les températures moyennes annuelles et mensuelles par leurs variations influencent les phénomènes biologiques, tel que l'évaporation et la transpiration. Elles conditionnent le déficit ou l'excédent, qu'il soit annuel ou saisonnier [SEDRATI, 2011].

Les données correspondantes aux températures que nous possédons sont des valeurs moyennes mensuelles et annuelles mesurées à la station météorologique d'El Kala durant trente-neuf ans (1971/1972 - 2009/2010) et qui sont représentées dans le tableau n°18 (annexe).

III- 1-1-4-1/ Températures moyennes mensuelles

Les données utilisées qui se rapportent à la station d'El Kala durant 39 années d'observation, nous ont permis d'obtenir la figure n°38 qui représente la variation des températures moyennes mensuelles.

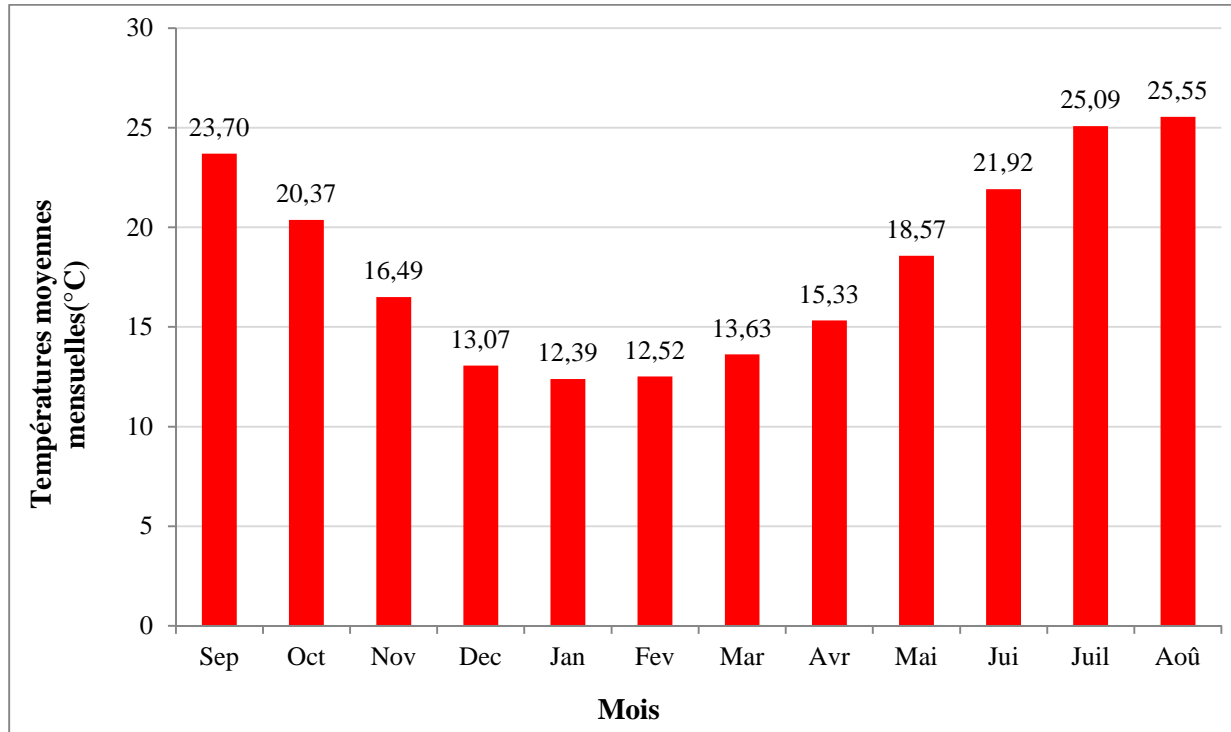


Figure n°38 : Températures moyennes mensuelles en °C à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

Nous remarquons, d'après la figure n°38, que les faibles températures (période froide) correspondent aux mois de novembre, décembre, janvier, février, mars, avril et mai dont le mois le plus froid est celui du mois de Janvier (12,39°C).

Les fortes températures (période chaude), et qui ne dépassent pas les 26°C, caractérisent les mois de juin, juillet, août, septembre et octobre où le mois de juillet est le mois le plus chaud avec une température de 25,55°C.

III- 1-1-4-2/ Températures annuelles

L'analyse du régime thermique annuel durant une période de 39 ans nous permet, en déterminant la moyenne annuelle qui est de 18,22°C, d'afficher les années chaudes et les années froides. La figure n°39 représente la courbe des variations annuelles des températures.

D'après la figure n°39, nous pouvons constater des températures annuelles adéquates qui ne dépassent pas les 20°C. Nous observons aussi que l'année 2006/2007 est l'année relativement chaude avec où on enregistre la valeur de 19,60 °C/an. Par contre, l'année 1973/1974 est la plus froide avec une valeur de 15,97 °C/an.

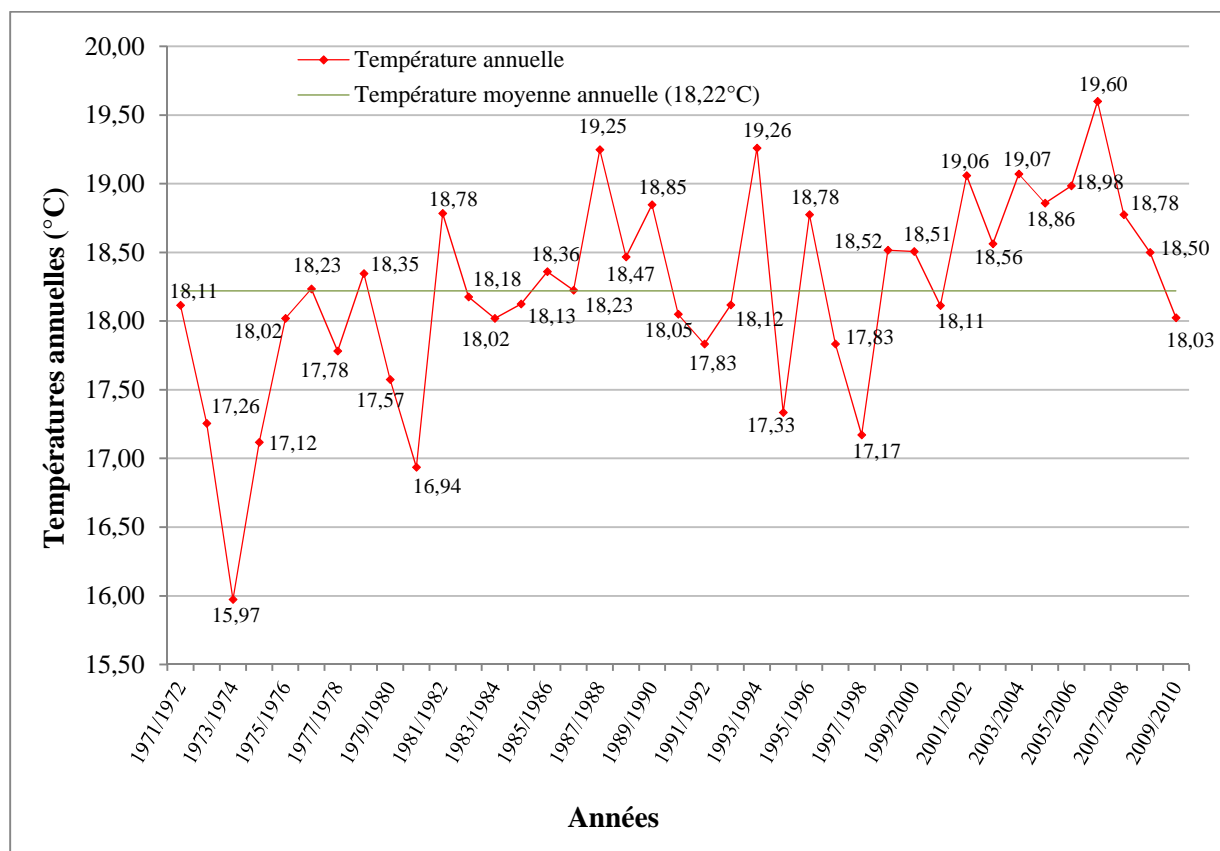


Figure n°39 : Températures annuelles et la moyenne annuelle en °C à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

III-1-2/ Type du climat

III-1-2-1/ Diagramme pluvio -thermique

Appelé aussi le diagramme ombro -thermique. Il a été mis au point par F.BAGNOULS et GAUSSEN (1953). Pour eux un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à deux fois les températures moyennes ($P < 2T$).

Le diagramme pluvio-thermique est le mieux placé pour visualiser les mois secs et les mois humides. La courbe des précipitations se positionne au-dessus de celle des températures durant les mois humides.

Ce diagramme nous révèle deux saisons consécutives, l'une humide qui s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai et l'autre sèche coïncide avec les mois de mai, juin, juillet et août (Fig.40).

D'après WALTER (1955), on peut représenter les mois à tendance sèche comme étant ceux dont les précipitations moyennes mensuelles sont comprises entre deux fois ($P-2T$) et trois fois ($P-3T$) les températures moyennes mensuelles et donc cerner les mois des saisons humides et sèches (Fig.41).

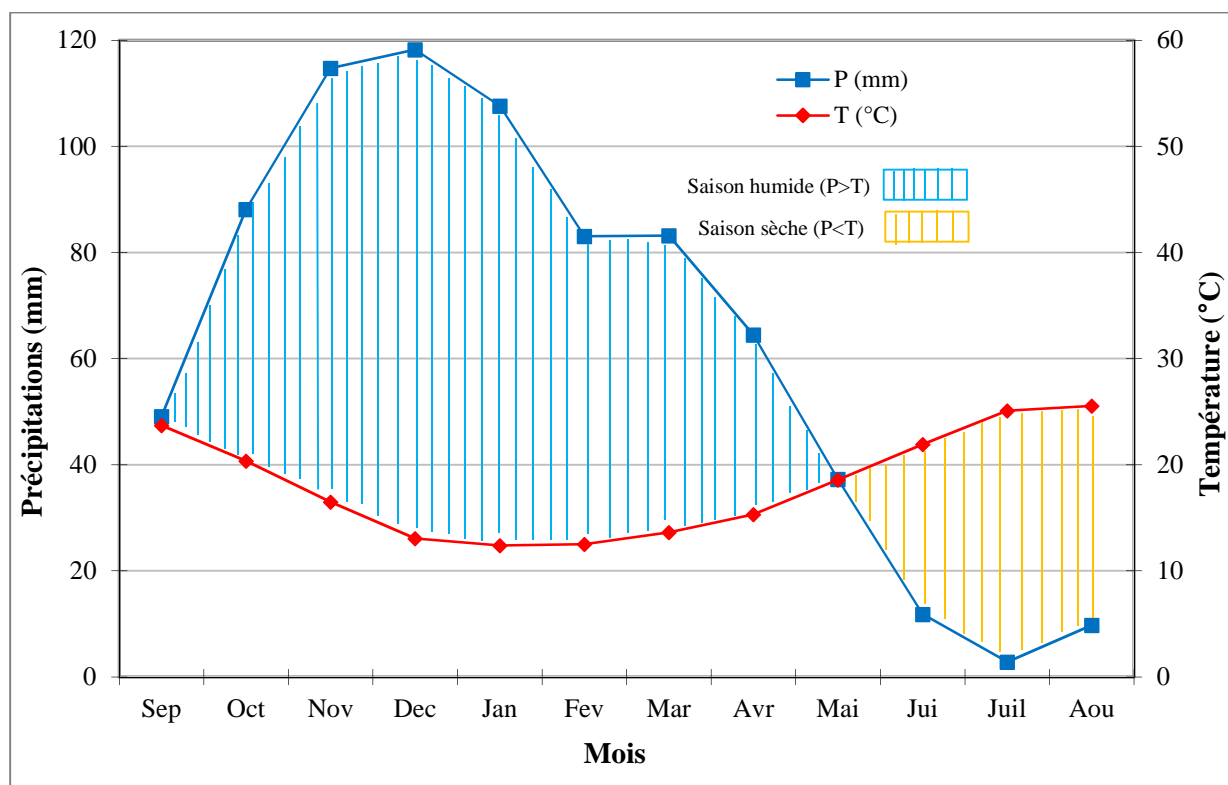


Figure n°40 : Diagramme pluvio-thermique (Gausson-Bagnouls) de la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

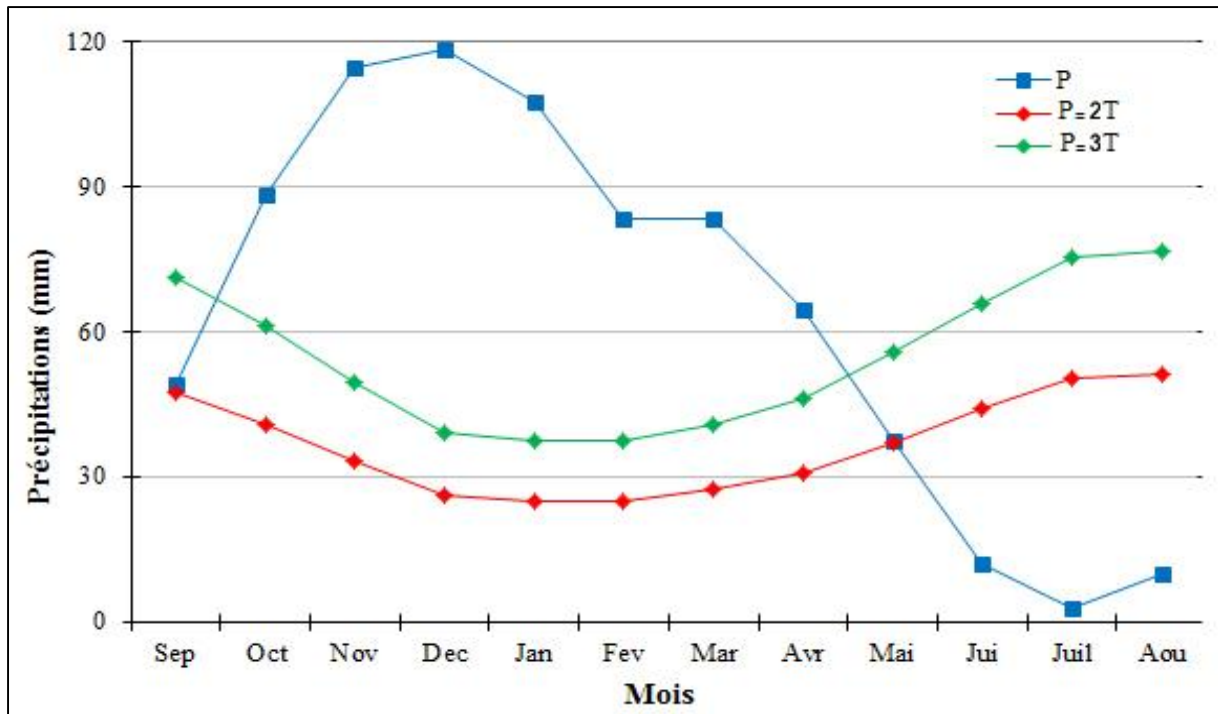


Figure n°41 : Diagramme pluvio-thermique (Walter, 1955) de la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

D'après la figure n°41, la saison humide se débute de la deuxième moitié du mois de septembre et s'achève au début de la deuxième moitié du mois d'avril. Tandis que la saison sèche commence au début de la deuxième moitié du mois d'avril et se termine à la fin de la première moitié du mois de septembre.

III-1-2-2/ Indice d'aridité de Emmanuel de MARTONNE

III-1-2-2-1/ Indice d'aridité annuel

En 1926 E. de Martonne avait établi un indice en fonction des températures et des précipitations annuelles. L'indice d'aridité, noté I_A , est calculé selon la formule suivante [LAMBERT, 1996]:

$$I_A = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots(4)$$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
 T = Températures moyenne annuelle (°C).

Selon les valeurs de l' I_A obtenues, nous pouvons déduire le climat à partir de cinq classes :

- $I_A < 5$: Climat hyper aride - écoulement spasmodique, voire inexistant ;
- $5 < I_A < 10$: Climat aride - écoulement périodique ;

- 10 < I_A < 20 : Climat semi-aride - écoulement saisonnier ;
- 20 < I_A < 30 : Climat tempéré (semi- humide) - écoulement pérenne ;
- 30 < I_A < 40 : Climat humide - écoulement pérenne et abondant ;
- I_A > 40 : Climat hyper humide - écoulement abondant et de linéaire devenant aréolaire

Pour une précipitation moyenne annuelle de 770,10 mm et une température moyenne annuelle de 18,22°C, la valeur de l'indice d'aridité est de 27,29. Par conséquent, le climat de notre région d'étude est un climat tempéré (Fig.42).

III-1-2-2-2/ Indice d'aridité mensuel

L'indice d'aridité mensuel, noté *i_A*, est donné par la formule suivante [ROUABHIA, 2006] :

$$i_A = \frac{12 \times p}{t + 10} \dots \dots \dots (5)$$

Avec : *p* = Précipitation moyenne mensuelle (mm) ;
t = Température moyennes mensuelle (°C).

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année, donne les résultats des stations de mesures qui sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°13 : Valeurs de l'indice d'aridité mensuel à la station d'El Kala.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Août
I _A	17,48	34,81	51,96	61,48	57,67	44,26	42,25	30,56	15,67	4,44	0,96	3,29

D'après le tableau n°13 et la figure °43, nous pouvons constater que les mois de juin, juillet et d'août présentent un climat hyper aride. Les mois de septembre et de mai déterminent un climat semi- aride. Le climat tempéré à humide caractérise les mois d'octobre et d'avril alors que le climat hyper humide marque le reste des mois de l'année.

III-1-2-3/ Indice de Paul Moral

L'indice pluviométrique de Moral, noté *I_M*, utilise aussi la hauteur annuelle des précipitations (en mm) et les températures moyennes annuelles en °C.

Il est calculé à partir la formule suivante [GOUAIDIA, 2008] :

$$I_M = \frac{P}{(T^2 - 10T + 200)} \dots \dots \dots (6)$$

Où : *P* = Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
T = Températures moyenne annuelle (°C).

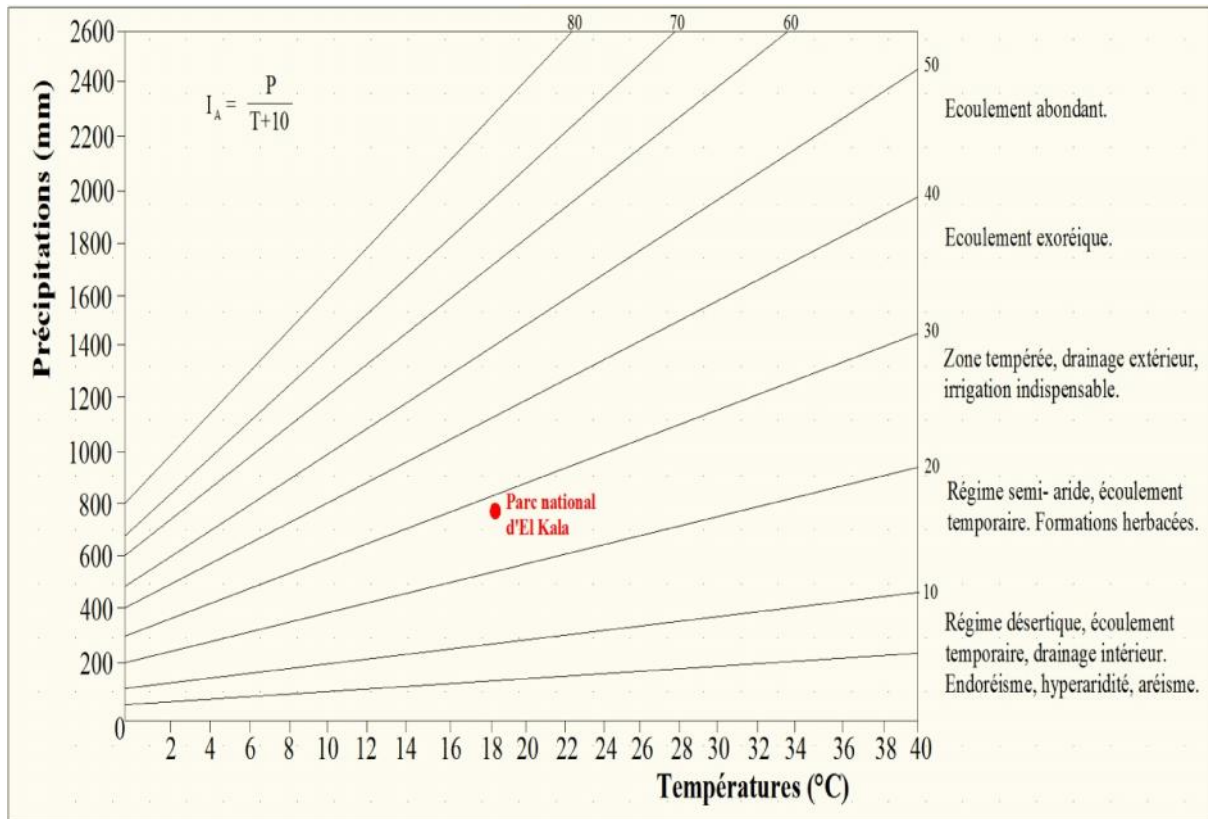


Figure n°42 : Abaque de l'indice d'aridité Annuel d'après de Martonne.

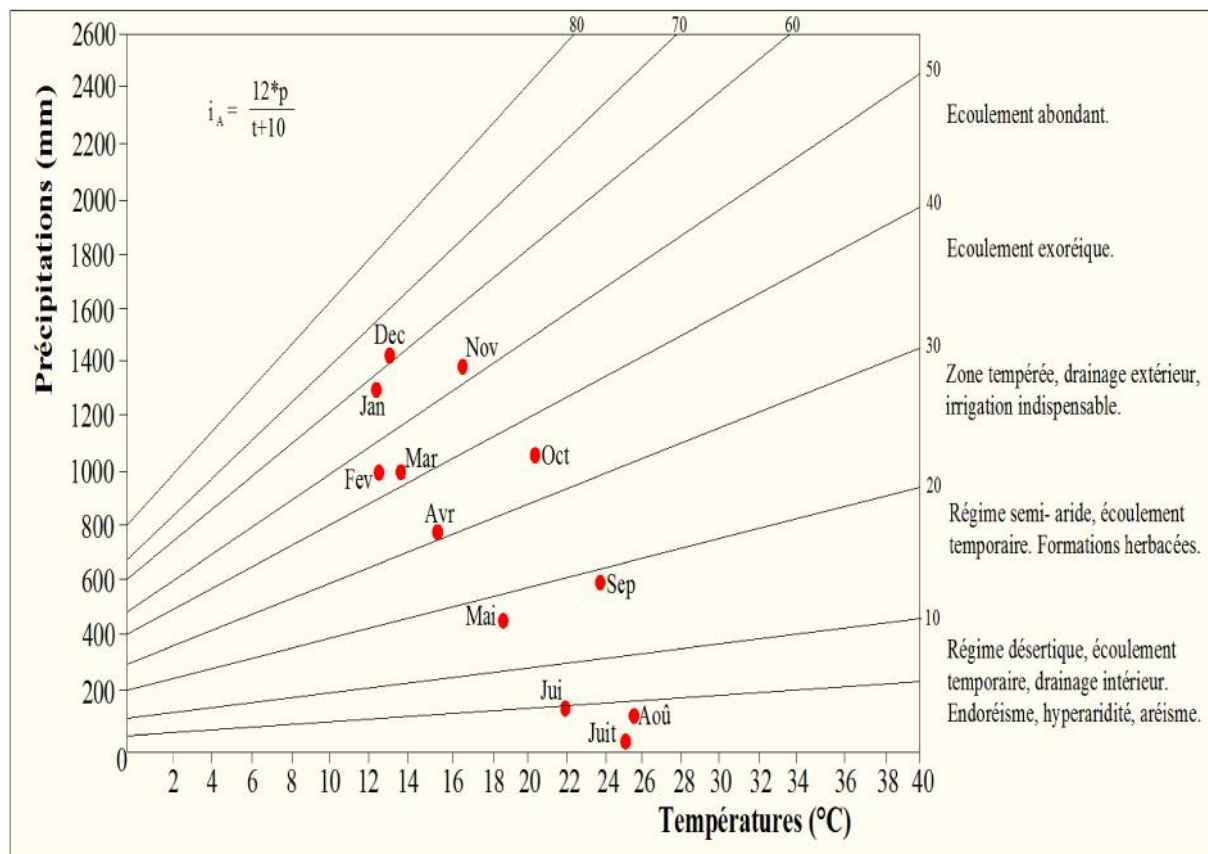


Figure n°43 : Abaque de l'indice d'aridité mensuel d'après de Martonne.

Si $I_M < 1$, on a un climat sec et si $I_M > 1$, on a un climat humide. Nous pouvons dire que, pour une précipitation moyenne annuelle de 770,10mm et une température moyenne annuelle de 18,22 °C, l'indice pluviométrique de Moral est égal à 2,2. Le climat de la région d'étude est un climat humide.

III-1-3/ Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique signifie l'évaluation des quantités d'eaux tombantes sous forme de pluies depuis l'atmosphère jusqu'à la surface du sol avec les divers formes de transfert des eaux (Evapotranspiration, ruissellement et infiltration), dans un cycle, qui finissent par regagner l'atmosphère.

Le bilan hydrologique est exprimé par la relation :

$$P = ET + R + I \dots \dots \dots (7)$$

Avec : P = Précipitation moyenne annuelle (mm)- déduite ;

ET = Evapotranspiration moyenne annuelle (mm) ;

R = Ruissellement de surface annuel (mm) ;

I = infiltration annuelle (mm).

III-1-3-1/ Évapotranspiration

L'évapotranspiration est le passage de la phase liquide à la phase vapeur et qui correspond à la somme des quantités d'eau évaporées depuis la surface du sol et secrétées par les plantes. Elle est l'assemblage de deux termes qui sont la transpiration des végétaux (aspect biologique) et l'évaporation du sol (aspect physique). Elle est fonction de l'humidité, de la température, du rayonnement solaire, du vent et du couvert végétal. Nous distinguons l'évapotranspiration potentielle et réelle.

III-1-3-1-1/ Évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (**ETP**) convient à l'évapotranspiration du sol qui serait suffisamment pourvue en eau pour s'évaporer (en considérant les apports d'eau suffisants). L'estimation de l'ETP est faite suivant la formule de Thornthwaite :

A/ ETP- formule de Thornthwaite

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, on a pris en considération la formule de C.W.Thornthwaite (Tab.14), et qui est donnée par l'expression suivante :

* L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule [ROUABHIA, 2006] :

$$ETP = 16 \times (10^T / I)^a \times F(\lambda) \dots \dots \dots (8)$$

*L'évapotranspiration potentielle corrigée est obtenue en multipliant la formule (8) par le coefficient k, donc :

$$ETP = 16(10^T / I)^a \times K \dots \dots \dots (9)$$

Avec :
$$a = \left(\frac{1,6}{100}\right) \times I + 0,5 \dots \dots \dots (10)$$

On a : ETP = Evapotranspiration potentielle d'un mois (mm) ;

T = Température moyenne mensuelle d'une période donnée (°C) ;

I = Indice thermique annuel, où : $I = \sum_{i=1}^{12} i \dots \dots \dots (11)$

i = Indice thermique mensuel, où : $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \dots \dots \dots (12)$

$F ()$ = Facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

K = Coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

Tableau n°14 : Evapotranspiration potentielle (D'après C. W. Thornthwaite).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Total
ETP (mm)	109,55	77,44	45,49	28,57	26,75	26,64	38,38	51,21	81,77	112,87	148,13	143,56	890,36

III-1-3-1-2/ Évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle (**ETR**) correspond à la somme des quantités d'eau évaporées par le sol (humide) et par les végétaux (développement physiologique). L'estimation de l'ETR est faite selon les formules de Turc, de Coutagne, de Wundt et de Thornthwaite :

A/ ETR – Selon Turc

L. Turc a proposé la formule suivante (13) permettant de calculer l'évapotranspiration réelle :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \dots \dots \dots (13)$$

Avec : $L = 300 + 25T + 0,05T^3 \dots \dots \dots (14)$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T = Température moyenne annuelle (°C) ;

L = Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

La valeur de l'évapotranspiration réelle, d'après la formule de Turc, est donnée dans le tableau n°15.

B/ ETR – Selon Coutagne

L'estimation de l'ETR, selon Coutagne, est donnée par la formule ci- dessous (15) :

$$ETR = P - \lambda P^2 \dots\dots\dots(15)$$

Avec : $\lambda = \frac{1}{(0,8 + 0,14T)} \dots\dots\dots(16)$

La formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre $\frac{1}{8}\lambda$ et $\frac{1}{2}\lambda$.

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (m) ;
 T = Température moyenne annuelle (°C).

La valeur de l'évapotranspiration réelle, calculée suivant la formule de Coutagne, est donnée dans le tableau n°15.

C/ ETR – Selon Wundt

W. Wundt (1937) montra que le déficit d'écoulement ou l'ETR est la donnée la plus stable du bilan hydrologique annuel, alors que la précipitation P et le débit Q d'un cours d'eau changent d'une année à l'autre. Wundt établa ses abaques qui déterminent l'ETR moyenne annuelle en fonction des précipitations et des températures annuelles moyennes [LAMBERT. R, 1996].

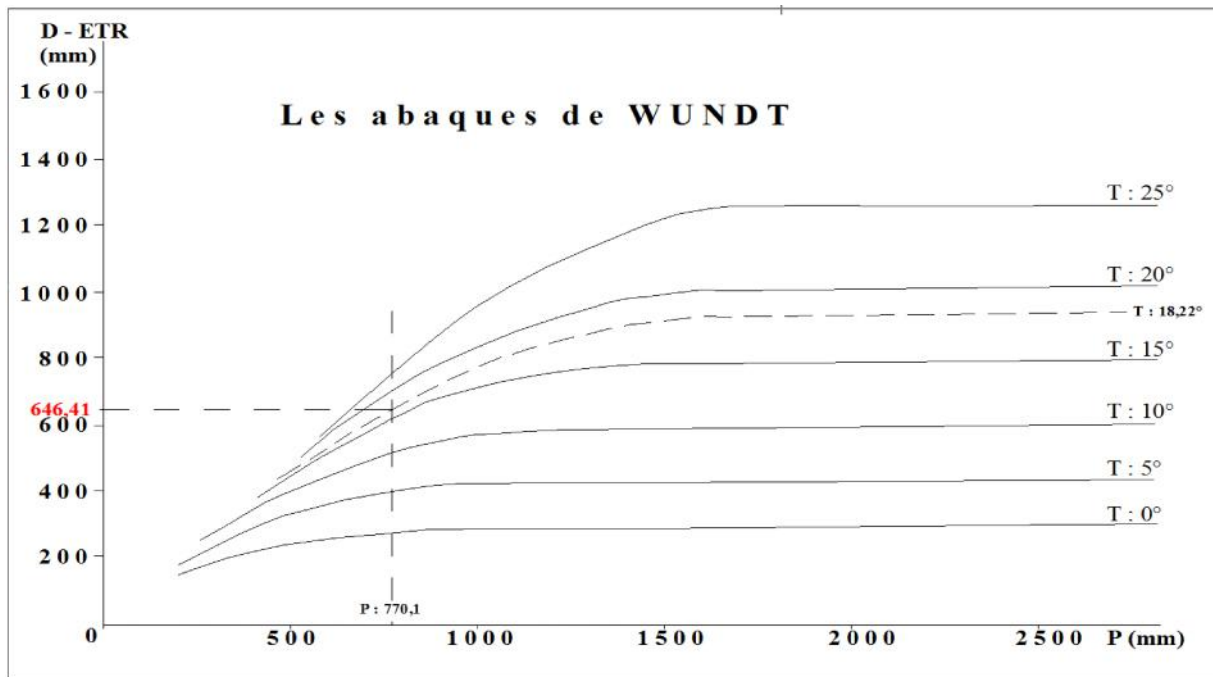


Figure n°44 : Estimation de l'ETR suivant les abaques de Wundt à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

Donc, pour une température moyenne annuelle de à 18,22°C et une précipitation moyenne annuelle de 770,1 mm, le déficit d'écoulement moyen annuel est égal à 646,41mm (Fig.44).

D/ ETR – Selon Thornthwaite

L'évapotranspiration réelle (Ou le déficit d'écoulement) est déduite à partir des calculs de l'évapotranspiration potentielle qui est liée aux précipitations. On prend en considération la réserve facilement utilisable (RFU) :

$$1/ P < ETP \text{ et } RFU = 0, ETR = P$$

$$2/ \text{ Si } P \geq ETP, ETR = ETP$$

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle sont données dans le tableau n°16, l'ETR annuelle est mentionnée dans le tableau n°15.

Tableau n°15 : Valeurs estimées de l'évapotranspiration réelle.

	Par Turc	Par Coutagne	Par Wundt	Par Thornthwaite
ETR (mm)	643,9	593,4	646,41	505,22

III-1-3-1-3/ Réserve facilement utilisable

L'étude du bilan hydrique selon C.W. Thornthwaite (1955) est basée sur l'estimation de la RFU. On examine aussi ce bilan à l'échelle mensuelle à partir des précipitations mensuelles sur 39 ans et de l'ETP calculée dont les résultats sont montrés dans le tableau n°16.

C'est la quantité d'eau du réservoir d'un sol pouvant être plus ou moins facilement utilisée par les racines d'une plante, variant au cours du temps en fonction des apports, et des pertes dues à l'ETR du couvert végétal. Selon les terrains, cette valeur peut être comprise entre 0 (RFU vide) et 300 mm (RFU max). Dans le bassin Méditerranéen la RFU moyenne est de l'ordre de 100mm [SEDRATI, 2011].

La RFU dépend de plusieurs facteurs [KACHI, 2007] :

- *la nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche parcourue par les racines ;
- *La profondeur du niveau piézométrique de la nappe ;
- *Le climat de la région ;
- *Le type de la couverture végétale.

L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule de Hallaire (1960) cité J.Richard (1979) [GUEFAIFIA, 2007] :

$$RFU = \frac{1}{3} * (D_a \times H_e \times P) \dots \dots \dots (17)$$

Où : D_a = Densité apparente du sol ;

H_e = L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention- %) ;

$H_e = 5\%$ pour un sol sablo-limoneux, $H_e = 10\%$ pour un sol limoneux; $H_e = 20\%$ pour un sol argilo-limoneux [SEDRATI, 2011] ;

P = Profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en (mm) ;

$R.F.U$ = Réserve facilement utilisable (mm).

Hallaire propose de prendre D_a égal à 1,5. La région d'étude possède un sol argilo-limoneux. La couverture végétale dans le parc d'El Kala est dense où Les racines des cultures peuvent aller jusqu'à 1mètre de profondeur.

Donc, $RFU = \frac{1}{3} * (1,5 \times 0,2 \times 1000) = 100mm$. On adopte alors une RFU de 100mm et sur cette base nous allons établir le bilan hydrique pour notre station étudiée.

III-1-3-1-4/ Déficit agricole

Le déficit agricole (**DA**) représente la quantité d'eau qu'il faudrait épargner aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression :

$$DA = ETP - ETR \dots \dots \dots (18)$$

III-1-3-1-5/ Excédent

L'excédent (**Exc**) est la quantité d'eau qui s'écoule quand l'ETP et la RFU sont satisfaites. Il correspond à l'excès d'eau destinée à l'approvisionnement de l'infiltration et le ruissellement de surface.

III-1-3-1-6/ Établissement du bilan hydrique

La méthode de Thornthwaite est utilisée (disponibilité des données climatiques) pour interpréter le bilan hydrique. L'établissement du bilan nous a permis de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, Exc) qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologiques.

Les résultats des calculs des différents paramètres constituant le bilan hydrique annuel à la station d'El Kala sont récapitulés dans le tableau n°16.

La figure n°45, qui schématise les résultats du tableau n°16, correspond au bilan hydrique établie selon la méthode de C.W.Thornthwaite (sur une période de 39 ans allant de 1971/72-2009/10), nous a permis de tirer les remarques suivantes :

✚ Le bilan est excédentaire au niveau de la région d'étude à cause des fortes précipitations et la faible influence des températures enregistrées à la station météorologique où la précipitation annuelle est de l'ordre de 770,10mm/an. Nous pouvons constater que dans

Tableau n°16 : Le bilan hydrique (D'après C. W. Thornthwaite) pour la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

Mois Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Total
P (mm)	49,09	88,1	114,7	118,2	107,6	83,06	83,20	64,50	37,30	11,80	02,80	09,75	770,10
T(°C)	23,69	20,37	16,49	13,07	12,39	12,52	13,63	15,33	18,57	21,92	25,09	25,55	Moy=18,22
I	10,54	08,39	06,09	04,28	03,95	04,01	04,56	05,45	07,29	09,38	11,49	11,83	I = 87,26
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	/
ETP (mm)	109,55	77,44	45,49	28,57	26,75	26,64	38,38	51,21	81,77	112,87	148,13	143,56	890,36
ETR (mm)	49,09	77,44	45,49	28,57	26,75	26,64	38,38	51,21	81,77	67,33	02,80	09,75	505,22
RFU (mm)	00	10,66	79,87	100	100	100	100	100	55,53	00	00	00	/
Exc (mm)	00	00	00	69,5	80,85	56,42	44,82	13,29	00	00	00	00	264,88
DA (mm)	60,46	00	00	00	00	00	00	00	00	45,54	145,33	133,81	385,14

***Vérification** : $P_{tot} = \sum ETR + \sum Exc = 505,22\text{mm} + 264,88\text{mm} = 770,10\text{mm}$

$$ETP_{tot} = \sum ETR + \sum DA = 505,22\text{mm} + 385,14\text{mm} = 890,36\text{mm}$$

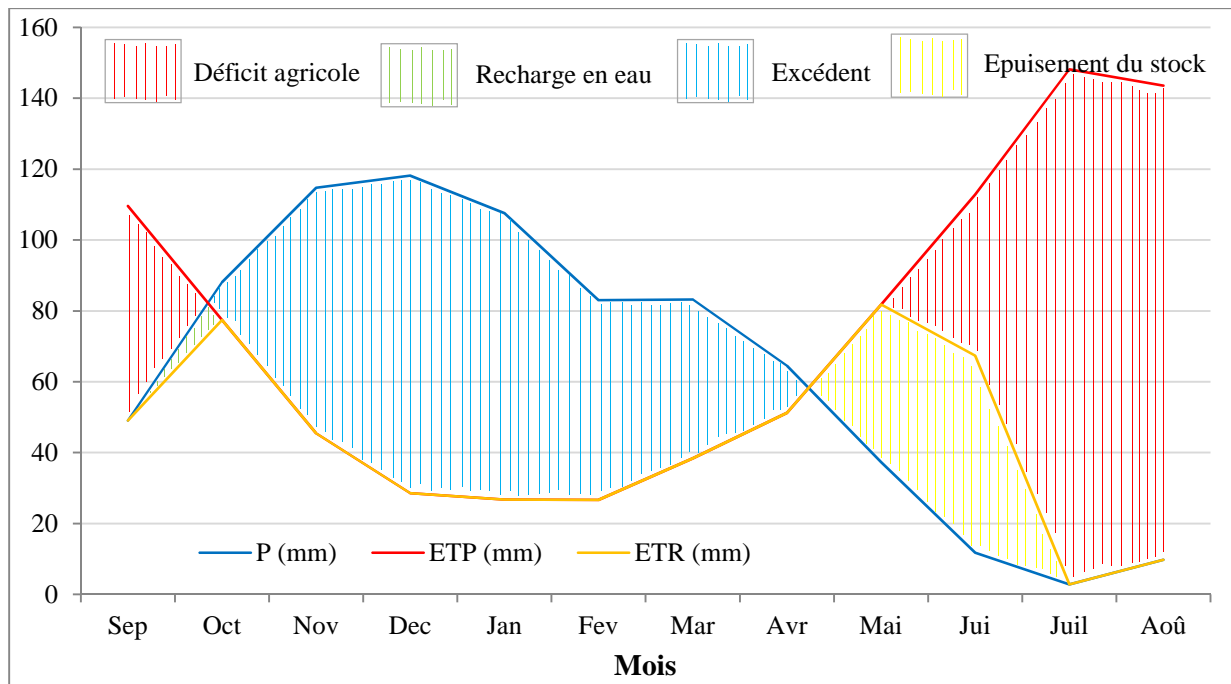


Figure n°45 : Représentation graphique du bilan hydrique (D'après Thornthwaite) à la station d'El Kala (71/72-09/10).

la plupart des mois de l'année hydrologique, les ETPs sont inférieures aux précipitations favorisant donc la saturation du sol par infiltration (RFU=100mm) accompagnée d'un excès d'eau (surplus) enregistré aux mois de décembre, janvier, février, mars et avril où son maximum arrive à la valeur de 80,85mm au mois de janvier.

✚ La reconstitution du stock s'observe au mois d'octobre avec une RFU égale à 10,66mm. L'excédent annuel (Exc) est de l'ordre de 264,88mm/an.

✚ L'épuisement du stock commence au mois de mai avec une RFU égale à 55,53mm. L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 890,36mm/an, et elle atteint son maximum au mois de juillet avec la valeur de 148,13mm, ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation pour les cultures surtout pour les mois de juin, juillet, août et septembre. Le déficit agricole annuel (DA) est de 385,14mm/an.

III-1-3-2/ Ruissellement de surface

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation, échappe à l'infiltration et à l'évapotranspiration [KHELFAOUI, 2014]. Le ruissellement (**R**) peut être calculé par la formule de Tixeront-Berkalof. Le raisonnement tenu par les deux auteurs est le suivant [ROUABHIA, 2006] :

- Lorsque les précipitations augmentent, le ruissellement tend à égaler les précipitations, déduction faite de l'évapotranspiration plafonnée à la valeur de l'évapotranspiration potentielle ;

• Lorsque les précipitations tendent aussi vers zéro, le ruissellement tend aussi vers zéro, et le rapport de ruissellement à la pluviométrie tend vers zéro. Le défaut de la méthode est qu'elle ne tient pas compte de la nature des sols ou des formations traversées.

La lame d'eau ruisselée sera estimée par la formule suivante : $R = \frac{P^3}{3ETP^2} \dots \dots \dots (19)$

Avec : R = Ruissellement de surface (m) ;

P = Précipitation moyenne annuelle (m) ;

ETP = Evapotranspiration potentielle annuelle-par Thornthwaite (m).

Mais la formule (19) de Tixerion-Berkaloff n'est applicable que pour des précipitations inférieures à 600mm, alors que la précipitation annuelle de notre station météorologique est estimée à 770,1mm. Donc, une deuxième formule (20) de Tixerion-Berkaloff modifiée par

Romantchouk est utilisée pour $P > 600$ mm : $R = \frac{P^3}{3} \dots \dots \dots (20)$

La valeur du ruissellement de surface calculée est montrée dans le tableau n°17.

III-1-3-3/ Infiltration

C'est la quantité d'eau qui parvient à la nappe. En effet au cours de son trajet, entre la surface du sol et la surface de la nappe. L'eau d'infiltration subit des pertes par l'évapotranspiration [SEDRATI, 2011]. Vu que nous avons déterminé les différents éléments régissant l'équation du bilan hydrologique (7), l'infiltration (**I**) peut être calculée comme suite:

$$I = P - ET - R \dots \dots \dots (21)$$

ET correspond à l'évapotranspiration réelle calculée suivant la formule de Thornthwaite. La valeur de l'infiltration calculée est donnée dans le tableau n°17.

*Nous pouvons même calculer l'infiltration selon la formule suivante :

$$I = Exc - R \dots \dots \dots (22)$$

Avec, Exc = Excédent (surplus d'eau) d'après Thornthwaite (mm) ;

R = Ruissellement de surface (mm) ;

I = infiltration (mm).

Tableau n°17 : Estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique à la station d'El Kala.

Précipitation		Evapotranspiration réelle		Ruissellement de surface		Infiltration	
mm/an	%	mm/an	%	mm/an	%	mm/an	%
770,10	100	505,22	65,60	152,24	19,77	112,64	14,63

D'après le tableau ci-dessus (Tab.17), nous constatons que le bilan hydrologique de notre région d'étude qui est le parc national d'El Kala est un bilan excédentaire.

III-2/ HYDROLOGIE

Suivre le parcours large de l'eau depuis l'atmosphère jusqu'à son aboutissement en surface sous forme d'écoulements superficiels et même en profondeur est attribué à l'hydrologie qui est une science qui étudie la répartition spatio- temporelle de ces eaux dans un cycle continu mais perturbé.

Le mouvement continu des eaux en surface prend plusieurs figures vulnérables dans l'espace et dans le temps car ce mouvement est ordonné ou justifié par des éléments aussi variés que les averse et le pouvoir évaporant de l'atmosphère, les retenues et les rejets anthropique. L'hydrologie se concentre surtout sur le l'interprétation et le fonctionnement des bassins versants et le comportement indispensable du réseau hydrographique. L'étude de la relation pluies/ débits d'un cours d'eau permet de délimiter les risques liés à l'eau comme les crues extrême, les inondations probables et même des glissements de terrain.

III-2-1/ Bassins versants

L'étude hydrologique d'un bassin versant repose surtout sur l'interprétation des cartes topographiques qui nous permettent de déterminer les lignes de crêtes des bassins où tout écoulement prend naissance à l'intérieur.

Le parc national d'El Kala est constitué de sous bassins versants exoréiques et endoréiques. Les bassins versants exoréiques (ouverts et possédant un exutoire) sont soit inclus dans le bassin versant de l'oued El Kebir algérien (Mafragh) soit inclus dans le bassin versant de l'oued El Kebir tunisien (à Tabarka). Le seul bassin versant endoréique (fermé), correspond au bassin versant du lac Oubeïra, est inclus dans les bassins versants côtiers d'El Kala. Pour la délimitation de ces sous bassins versants, on a utilisé six cartes topographiques à l'échelle 1/50000° :

- Pour le territoire algérien, on a utilisé les cartes de Blandan, de la Calle, de Munier et de Lamy ;
- Pour le territoire tunisien, on a utilisé les cartes de Tabarka et de Fernana.

Après avoir délimité les bassins versants dans la région d'étude, nous avons constaté onze bassins ou sous bassins versants :

◆ Pour le bassin versant de la Mafragh : nous avons distingué le bassin versant de l'oued El Kebir- amont (Fig.46-3), le bassin versant de l'oued Ballouta (Fig.46-4), le bassin versant de l'oued Bougous (Fig.46-1), le bassin versant de l'oued Sebaa (Fig.46-2), le bassin versant de l'oued Bou Redim (Fig.47-8) et le bassin versant du lac Noir (Fig.47-7), et qui représentent des affluents de l'oued El Kebir vers oued Mafragh ;

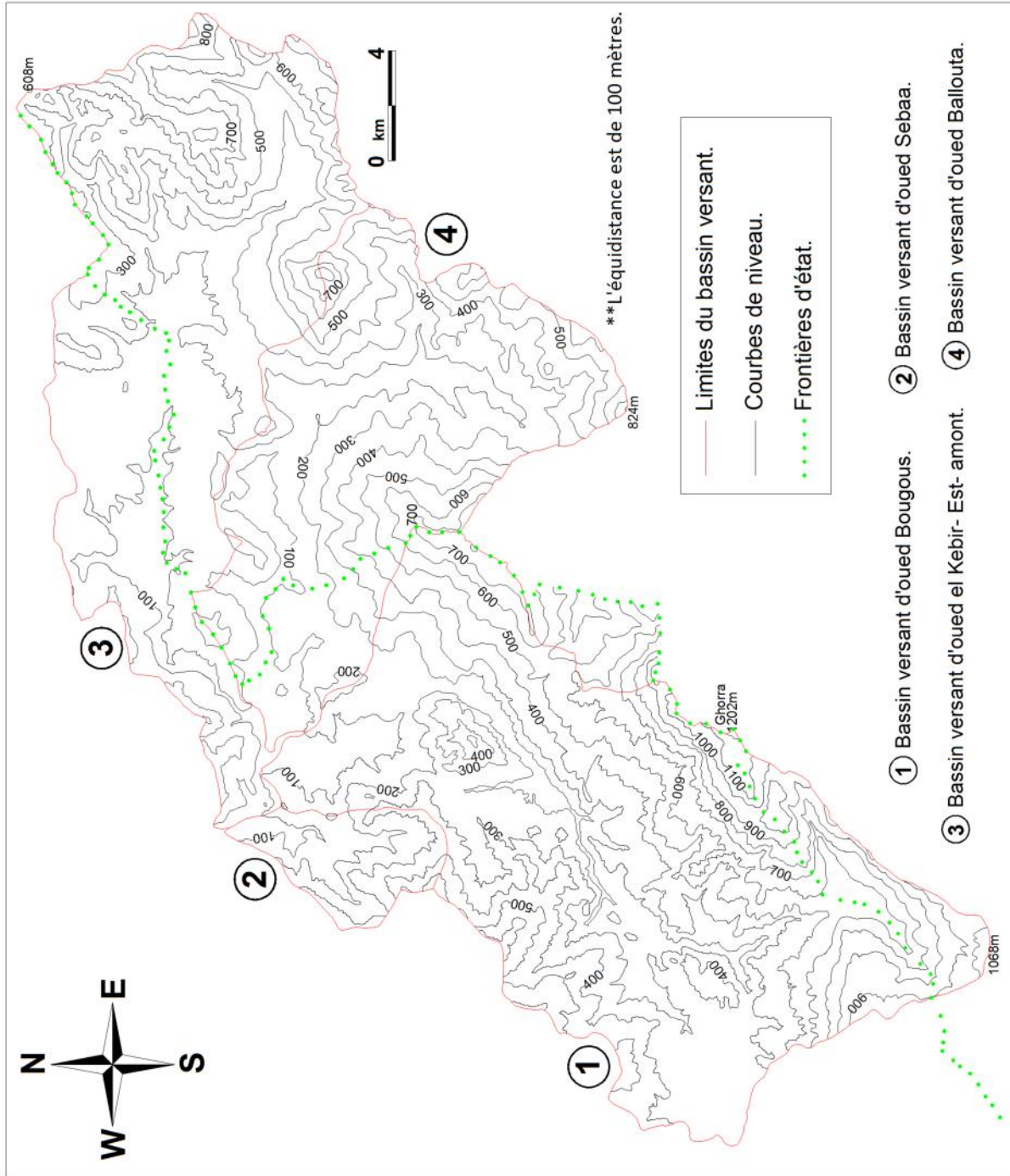


Figure n° 46 : La délimitation + la répartition hypsonométrique des bassins versants répartis dans la région d'étude (1).

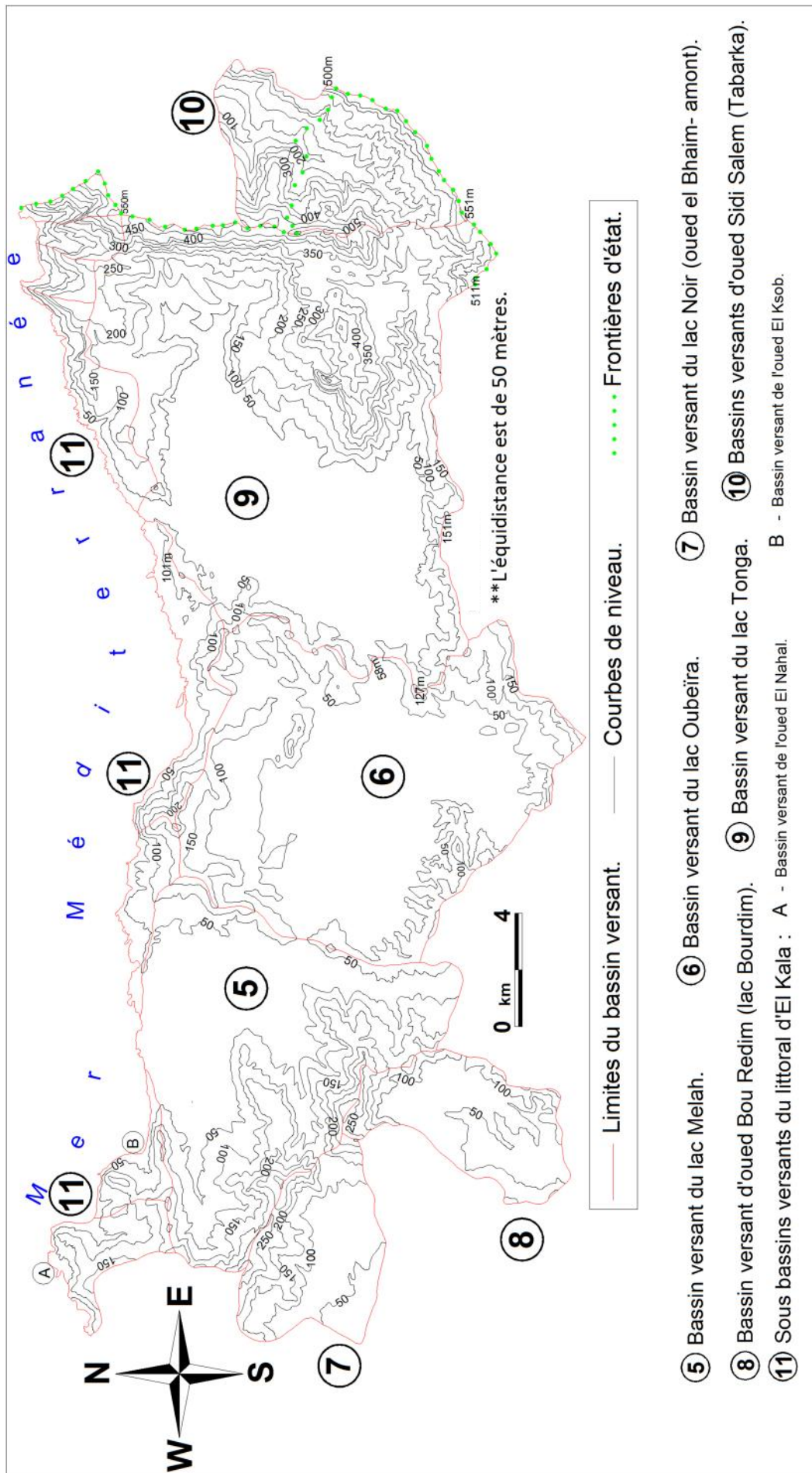


Figure n°47 : La délimitation + la répartition hypsométrique des bassins versants répartis dans la région d'étude (2).

◆ Pour le bassin versant d'El Kebir (En Tunisie) : nous pouvons distinguer le sous bassin versant de l'oued Sidi Salem (Fig.47-10) qui s'écoule depuis les territoires algérien vers la mer méditerranée à Tabarka en Tunisie ;

◆ Pour les bassins versants côtiers d'El Kala : nous avons distingué le bassin versant du lac Mellah (Fig.47-5), le bassin versant du lac Oubeïra (Fig.47-6), le bassin versant du lac Tonga (Fig.47-9) et un ensemble de sous bassins versants du littoral d'El Kala (Fig.47-11) d'ordre 1 et 2 et qui se déversent dans la mer ; nous pouvons citer comme exemple le sous bassin versant de l'oued en Nahal (Fig.47-11-A) et le sous bassin versant de l'oued el Ksob (Fig.47-11-B).

Le comportement hydrologique d'un bassin versant est évalué en déterminant ses caractéristiques géométriques, orographiques et hydrographiques.

III-2-1-1/ Caractéristiques géométriques

L'étude de la forme d'un bassin versant porte sur la détermination de son périmètre (P) qui correspond à la limite et le contour externe du bassin versant en utilisant la simple méthode du fil à tisser et il est exprimé en kilomètre et de sa surface (A), exprimée en kilomètre carré, qui représente l'aire délimitée par les lignes de partage des eaux où les eaux de surface s'écoulent et s'accumulent dans un même et un seul exutoire et elle est déterminée en utilisant un papier millimétré. Les valeurs du périmètre et de la surface des bassins versants répartis dans la région d'étude sont représentées dans le tableau n°18.

III-2-1-1-1/ Indice de compacité : Coefficient de Gravelius

L'indice de compacité Luchischeva (1950), noté K_G , nous informe sur la forme du bassin versant qui a un grand impact sur l'écoulement total d'un cours d'eau résultant d'une pluie donnée.

L'indice est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante [RIAD, 2003] :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(23)$$

Avec :

K_G : Indice de compacité de Gravelius ;

P : Périmètre du bassin versant en km ;

A : Superficie du bassin versant en km².

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé [RIAD, 2003]. A titre indicatif, cet indice est égal à 1 pour un cercle et égal 1,128 pour un carré [BELOULOU, 2011]. Si cet indice est supérieur à 1,128, le bassin versant est de forme rectangle. Les valeurs de l'indice de compacité de Gravelius (K_G) sont représentées dans le tableau n°18.

III-2-1-1-2/ Rapport de circularité de Miller

Le rapport de circularité de Miller (1953), noté R_C , est défini par le rapport de la superficie du bassin versant (A) à la superficie du cercle (A_c) ayant le même périmètre (P) que le bassin versant est donné par [BELOULOU, 2011]:

$$R_C = \frac{4\pi A}{P^2} \dots\dots\dots(24)$$

- Avec : R_C : Rapport de circularité de Miller ;
- P : Périmètre du bassin versant en km ;
- A : Superficie du bassin versant en km^2 .

Le rapport de circularité de Miller est égal à 1 pour un cercle et décroît au fur et à mesure que l'élongation du bassin est importante (étirer). Les valeurs du rapport de circularité de Miller (R_C) sont représentées dans le tableau n°18.

III-2-1-1-3/ Rectangle équivalent

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. Soit L et I représentant respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent [MUSY & HIGY, 2003] :

- On a la longueur L : $L = \frac{1}{2} \cdot K_G \sqrt{\pi \cdot A} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot K_G} \right)^2} \right)$ avec $K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}} \dots\dots\dots(25)$

- La largeur I : $I = \frac{1}{2} \cdot K_G \sqrt{\pi \cdot A} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot K_G} \right)^2} \right)$ avec $K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}} \dots\dots\dots(26)$

- Avec :
- K_G : Indice de compacité de Gravelius ;
- A : Surface du bassin versant en km^2 ;

L : Longueur du rectangle équivalent en km ;

I : Largeur du rectangle équivalent en km.

Le périmètre et la surface du rectangle équivalent vaut : $P = 2 \times (L + I)$ et $A = L \times I$. Les résultats correspondants à la longueur (L) et la largeur (I) sont représentés dans le tableau n°18.

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que les indices de compacité de Gravelius (Tab.18) de la pluralité des bassins versants sont supérieurs à 1,128 et déterminent une forme allongée et rectangle. Le rapport de circularité de Miller décroît de la valeur 1, la forme est donc majoritairement élongée.

III-2-1-2/ Caractéristiques orographiques

De par son influence sur les facteurs météorologiques (précipitations, températures, vents etc.), le relief ou la topographie est un élément essentiel pour mieux comprendre les processus hydrologiques. Plus que la forme, il peut avoir un rôle déterminant dans le conditionnement du comportement hydrologique du bassin [BELOULOU, 2011].

Tableau n°18 : Caractéristiques géométriques des bassins versants répartis dans la région d'étude.

Bassins versants	P (km)	A (km ²)	Indice de compacité		Rapport de circularité		rectangle équivalent		
			K _G	observation	R _C	observation	L (km)	I (km)	
O.Bougous	78,34	258,2	1,37	Rectangle	0,53	élongé	30,78	08,39	
O.Sebaa	20,84	22,1	1,24	Rectangle	0,64	élongé	07,46	02,96	
O.Kebir-amont	82,04	188,1	1,67	Rectangle	0,35	élongé	35,76	05,26	
O.Ballouta	58,24	143,53	1,36	Rectangle	0,53	élongé	22,84	06,28	
Lac Mellah	43,38	90,56	1,28	Rectangle	0,60	élongé	16,04	05,65	
Lac Oubeïra	49,68	114,89	1,30	Rectangle	0,58	élongé	18,70	06,14	
Lac Noir	20,64	25,70	1,14	±Rectangle	0,76	Peu élongé	06,11	04,21	
Lac Bou Redim	23,58	24,53	1,33	Rectangle	0,55	élongé	09,09	02,70	
Lac Tonga	59,08	182,55	1,22	Rectangle	0,66	Peu élongé	20,74	08,80	
O.Sidi Salem	26,1	35,7	1,22	Rectangle	0,66	Peu élongé	09,15	03,90	
BV's Côtiers (P=99,55/A=56,5)	O.en Nahal	15,58	09,39	1,42	Rectangle	0,49	élongé	06,30	01,49
	O.el Ksob	13,68	05,35	1,66	Rectangle	0,36	élongé	05,94	00,90

III-2-1-2-1/ Répartition et courbe hypsométrique

L'étude du relief d'un bassin versant se distingue par une analyse hypsométrique qui signifie l'étude de la répartition des surfaces du bassin versant par tranche d'altitude. Une courbe hypsométrique est dessinée graphiquement où on porte en ordonnée les altitudes exprimées en mètres et en abscisse les surfaces cumulées parfois exprimées en %. Souvent, la courbe hypsométrique peut être jointée par un histogramme des fréquences altimétriques.

Les valeurs des surfaces, en km² et en % par tranche d'altitude, sont présentées dans les tableaux n°19 et 20, montrant les proportions des surfaces topographiques comprises entre deux courbes de niveau successives. Les courbes hypsométriques obtenues sont représentées dans les figures n°48, 49 et 50 ; elles sont jointées par des histogrammes des fréquences altimétriques:

Nous pouvons, à partir des répartitions hypsométriques des superficies partielles des bassins versants, déduire les altitudes caractéristiques. Elles nous permettent de mieux visualiser l'arrangement de la surface d'un bassin versant selon l'altitude :

✚ **L'altitude moyenne** (H_{moy}), qui est le rapport entre la somme des surfaces partielles multipliées par la moyenne des intervalles de chaque tranche d'altitude sur la somme des surfaces partielles. Elle correspond donc au rapport du volume total sur la surface totale d'un bassin versant, on a :

$$H_{moy} = \sum \frac{a_i \times h_i}{A} \dots\dots\dots(27)$$

Avec : H_{moy} : Altitude moyenne d'un bassin versant en m;

a_i : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau successives en km² ;

h_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau successives en m ;

A : Surface totale d'un bassin versant en km². Les résultats des altitudes moyennes calculées des bassins versants répartis dans le parc d'El Kala sont représentés dans le tableau n°22.

✚ **L'altitude médiane** ($H_{50\%}$), correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière [MUSY & HIGY, 2003]. Les valeurs des altitudes médianes sont représentées dans le tableau n°22.

Tableaux n°19 : Répartition des surfaces des bassins versants par tranche d'altitude (1).

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>1200	0,07	0,03	0,03
1200-1100	1,71	0,66	0,69
1100-1000	4,34	1,68	2,37
1000-900	9,09	3,52	5,89
900-800	12,01	4,65	10,54
800-700	13,57	5,26	15,80
700-600	19,85	7,69	23,48
600-500	31,91	12,36	35,84
500-400	40,7	15,76	51,60
400-300	57,02	22,08	73,69
300-200	40,01	15,49	89,18
200-100	20,11	7,79	96,97
<100	7,83	3,03	100,00

B.V-oued Bougous

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>500	0,19	0,86	0,86
500-400	1,05	4,76	5,62
400-300	4,81	21,81	27,44
300-200	6,98	31,66	59,09
200-100	6,91	31,34	90,43
<100	2,11	9,57	100,00

B.V-oued Sebaa

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>900	0,17	0,09	0,09
900-800	1,37	0,73	0,82
800-700	7,22	3,84	4,66
700-600	12,12	6,44	11,10
600-500	20,89	11,10	22,20
500-400	20,13	10,70	32,90
400-300	19,73	10,49	43,38
300-200	28,67	15,24	58,62
200-100	61,96	32,93	91,55
<100	15,9	8,45	100,00

B.V-oued Kebir-amont

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>800	0,18	0,13	0,13
800-700	1,22	0,85	0,98
700-600	5,28	3,68	4,65
600-500	12,37	8,62	13,27
500-400	18,84	13,13	26,40
400-300	25,11	17,49	43,89
300-200	31,3	21,81	65,70
200-100	35,75	24,91	90,61
<100	13,48	9,39	100,00

B.V-oued Ballouta

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>300	0,32	0,35	0,35
300-250	1,44	1,59	1,94
250-200	2,91	3,21	5,16
200-150	8,74	9,65	14,81
150-100	16,2	17,89	32,70
100-50	20,91	23,09	55,79
<50	40,04	44,21	100,00

B.V-lac Mellah

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>250	0,03	0,03	0,03
250-200	0,65	0,57	0,59
200-150	4,49	3,91	4,50
150-100	13,88	12,08	16,58
100-50	33,69	29,32	45,90
<50	62,15	54,10	100,00

B.V-lac Oubeira

Tableaux n°20 : Répartition des surfaces des bassins versants par tranche d'altitude (2).

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>550	0,09	0,05	0,05
550-500	1,04	0,57	0,62
500-450	3,05	1,67	2,29
450-400	4,81	2,63	4,92
400-350	5,86	3,21	8,13
350-300	8,77	4,80	12,94
300-250	15,65	8,57	21,51
250-200	12,57	6,89	28,40
200-150	21,12	11,57	39,97
150-100	19,13	10,48	50,45
100-50	23,28	12,75	63,20
<50	67,18	36,80	100,00

B.V-lac Tonga

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>550	0,07	0,20	0,20
550-500	0,78	2,18	2,38
500-450	2,48	6,94	9,32
450-400	2,66	7,45	16,77
400-350	4,56	12,77	29,54
350-300	6,02	16,85	46,39
300-250	5,35	14,98	61,37
250-200	5,55	15,54	76,90
200-150	5,02	14,05	90,96
150-100	2,31	6,47	97,42
<100	0,92	2,58	100,00

B.V-oued Sidi Salem

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>300	0,13	0,53	0,53
300-250	0,54	2,20	2,73
250-200	0,75	3,06	5,79
200-150	0,58	2,36	8,15
150-100	2,87	11,70	19,85
100-50	12,8	52,18	72,03
<50	6,86	27,97	100,00

B.V-lac Bou Redim

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>300	0,08	0,31	0,31
300-250	1,31	5,10	5,41
250-200	2,15	8,37	13,77
200-150	3,23	12,57	26,34
150-100	5,4	21,01	47,35
100-50	10,18	39,61	86,96
<50	3,35	13,04	100,00

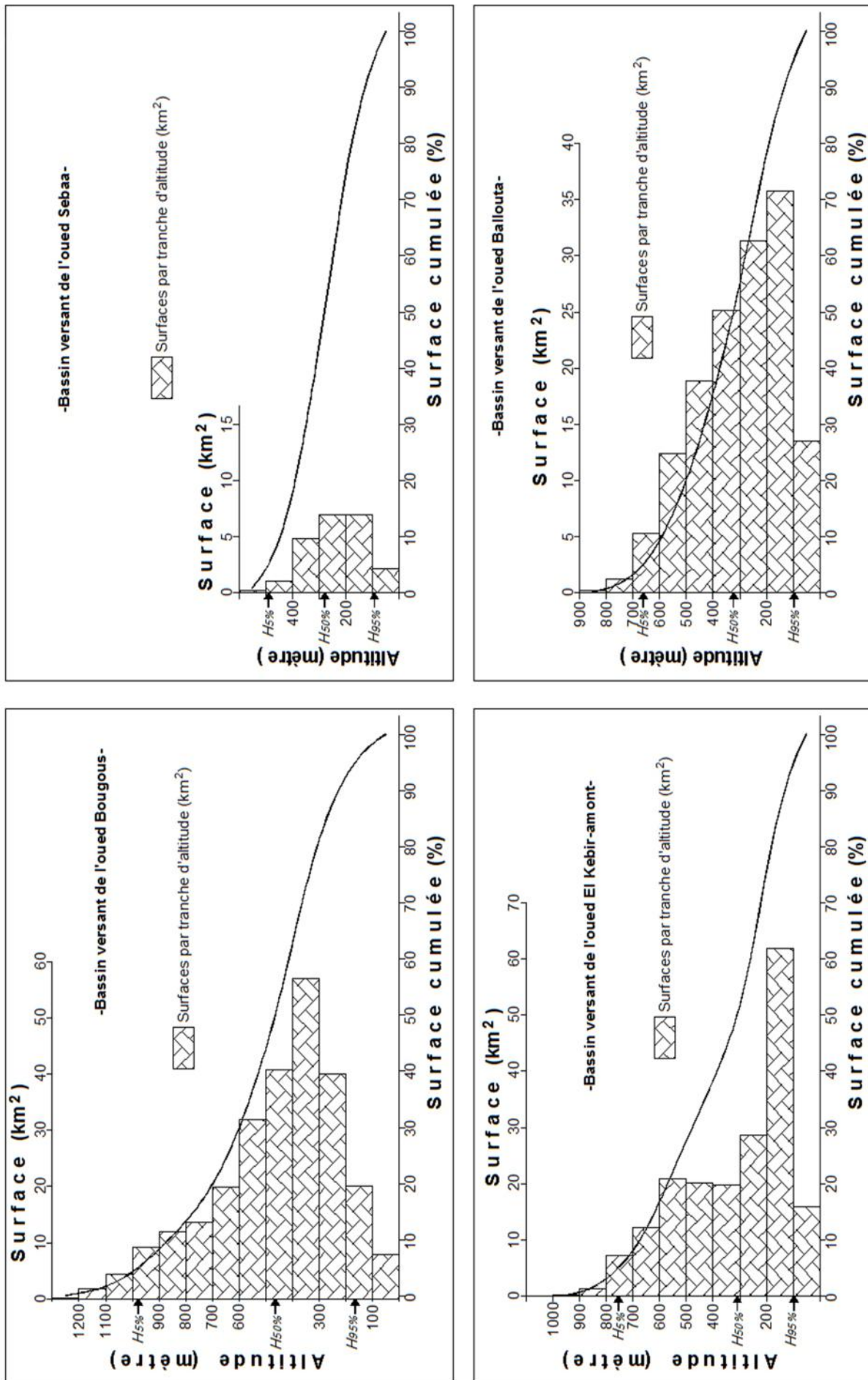
B.V-lac Noir

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>200	0,08	0,85	0,85
200-150	1,1	11,71	12,57
150-100	3,25	34,61	47,18
100-50	3,31	35,25	82,43
<50	1,65	17,57	100,00

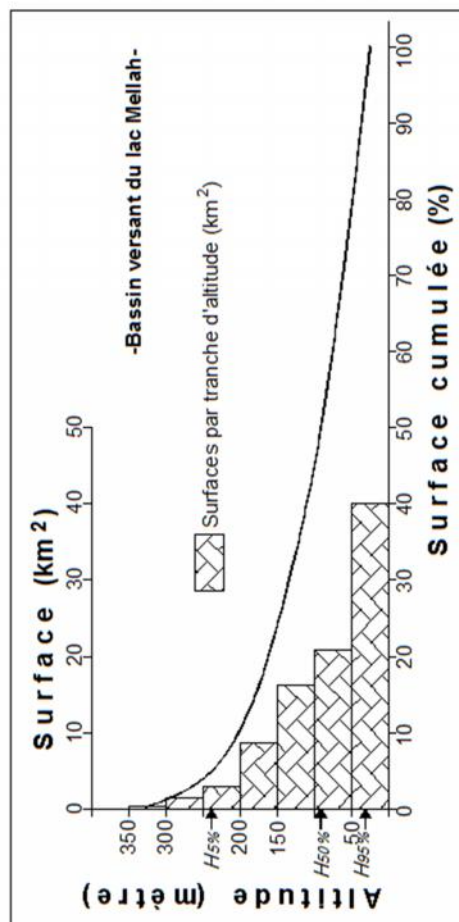
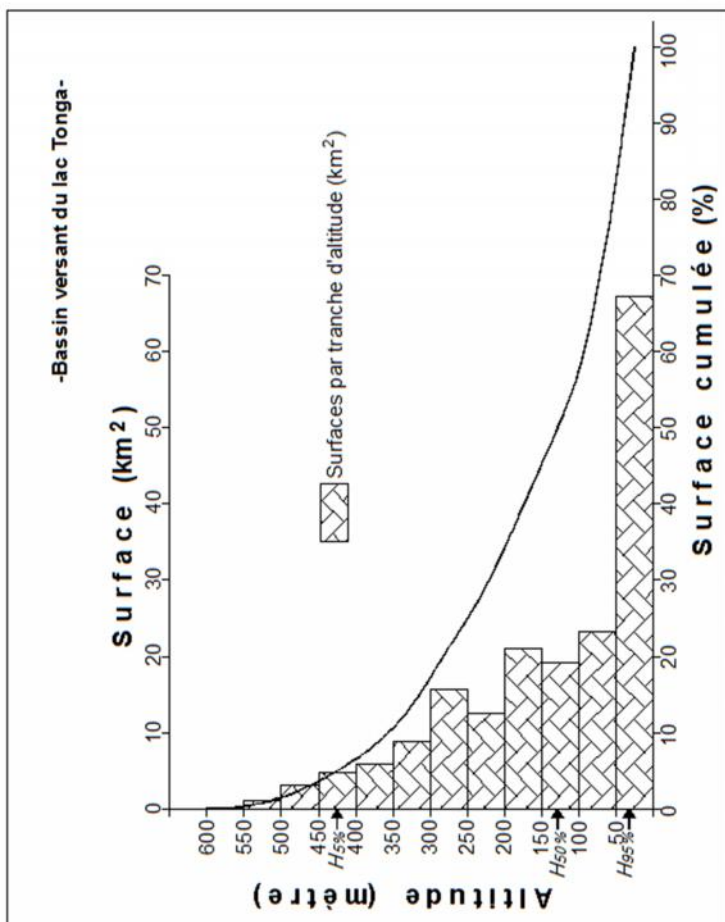
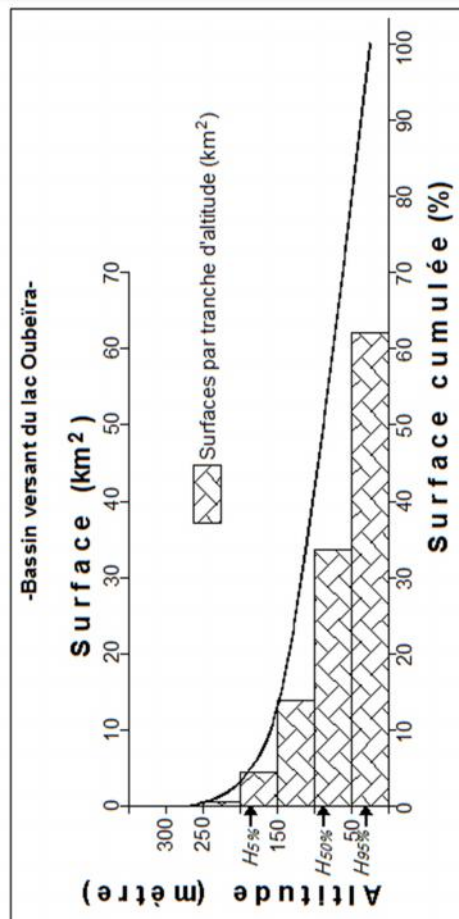
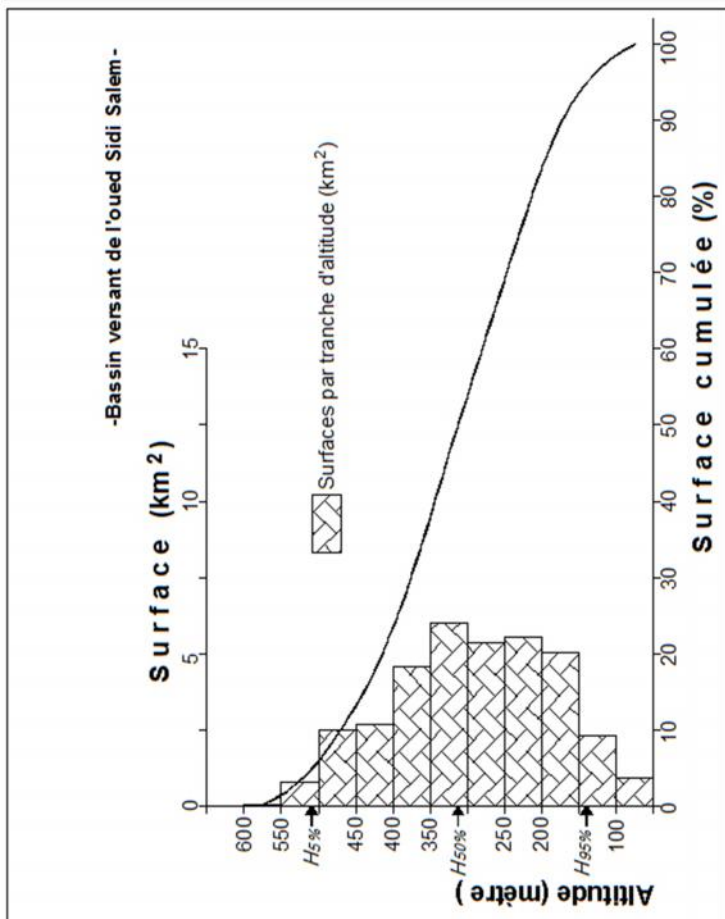
B.V-oued En Nahal

Tranche d'altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée (%)
>200	0,02	0,37	0,37
200-150	0,39	7,29	7,66
150-100	1,52	28,41	36,07
100-50	2,08	38,88	74,95
<50	1,34	25,05	100,00

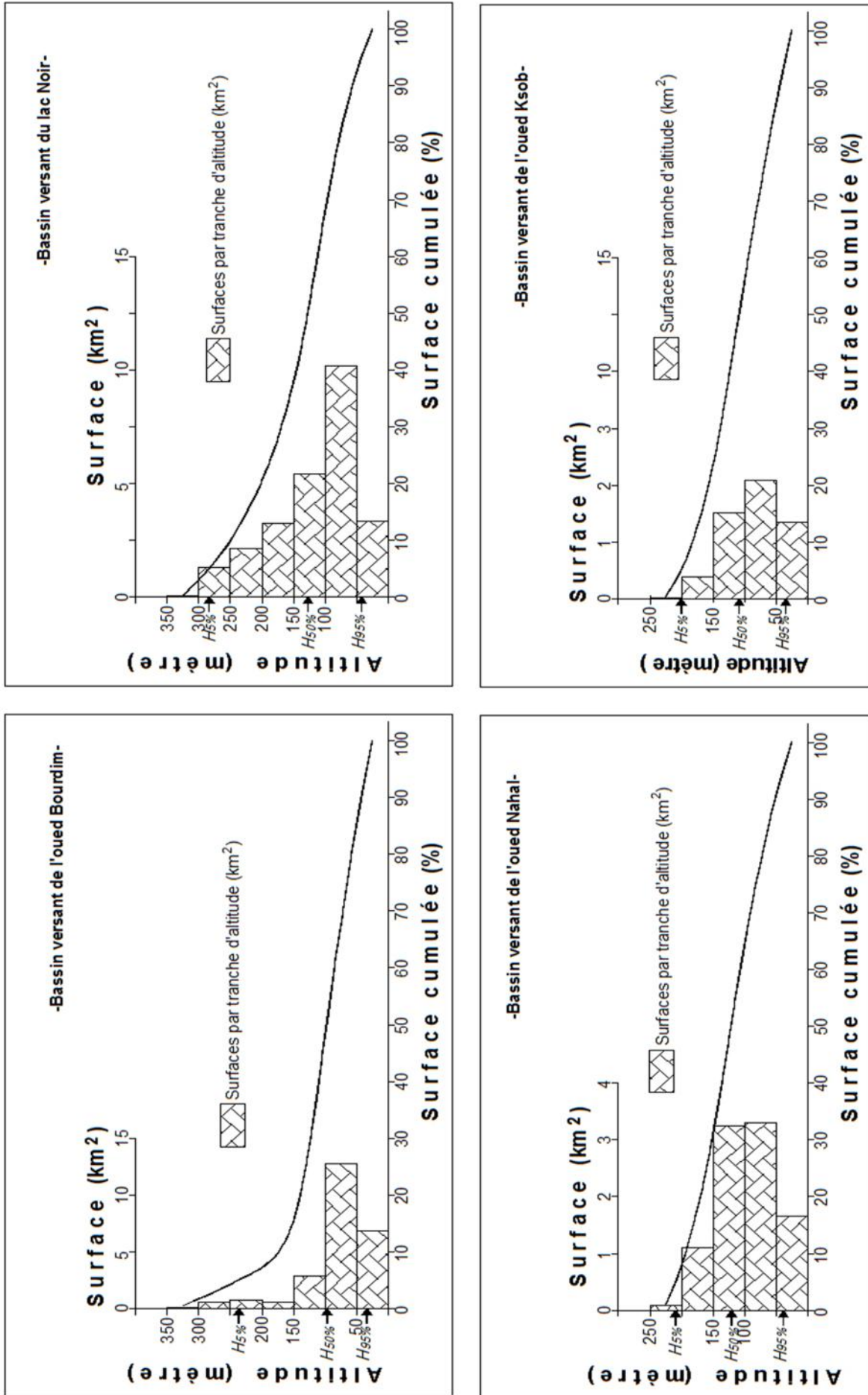
B.V-oued El Ksob



Figures n°48 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (1).



Figures n°49 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (2).



Figures n°50 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (3).

III-2-1-2-2/ Indice de pente globale

L'indice (I_g) est le rapport entre la dénivelée (D) qui correspond aux altitudes comprises entre 5% et 95% (déduites d'après la courbe hypsométrique) et la longueur du rectangle équivalent (L) :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots(28)$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale en m/km ;

D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ en m ;

L : Longueur du rectangle équivalent en km.

Les valeurs de l'indice de pente globale sont représentées dans le tableau n°22. L'indice de pente globale permet de montrer le type de relief selon les classifications de l'O.R.S.T.O.M (Tab.21) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km².

Le relief est dit assez fort si l'indice de pente global est compris entre 20 et 50 m/km [BELOULOU, 2011].

◆ **La dénivelée spécifique (D_s)**, exprimée en mètre, donne la possibilité de comparer entre les valeurs des différents bassins. Exprimée en m, elle s'obtient à partir de l'indice de pente global et la superficie [BELOULOU, 2011]. La formule est donnée comme suite [ELMEDDAHI, 2008]:

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} = \frac{D}{L} \times \sqrt{A} = D \times \sqrt{\frac{I}{L}} \dots\dots\dots(29)$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale en m/km ;

A : Surface totale d'un bassin versant en km² ;

L : Longueur du rectangle équivalent en m ;

I : largeur du rectangle équivalent en m ;

D_s : Dénivelée spécifique en m. ce paramètre intervient dans la classification du relief (Tab.21).

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient, elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à racine A [LABORDE, 2000]. Les valeurs de la dénivelée spécifique des bassins versants sont représentées dans le tableau n°22.

Tableau n°21 : Classification du relief (Selon l'ORSTOM-France)

Classe du relief	Type du relief	I _g (m/km)	D _s (m)
R ₁	Très faible	< 2	< 10
R ₂	Faible	2 - 5	10 - 25
R ₃	Assez faible	5 - 10	25 - 50
R ₄	Modéré	10 - 20	50 - 100
R ₅	Assez fort	20 - 50	100 - 250
R ₆	Fort	50 - 100	250 - 500
R ₇	Très fort	> 100	> 500

Source : Beloulou. L

III-2-1-2-3/ Indice de pente de Roche

L'indice de pente de ROCHE (I_p) est calculé par les deux formules suivantes [MANSOURI, 2009] :

- En corrélation avec l'indice de pente globale, on a :

$$I_g = 0,8 \times I_p^2 \Rightarrow I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0,8}} \dots\dots\dots(30)$$

Avec : I_p : Indice de pente de Roche en m/km. I_g : Indice de pente globale en m/km.

- C'est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurés sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre deux courbes de niveau H_i et H_{i-1}. Il est donné par la formule [HOUBIB, 2012]. La formule est comme suite :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{a_i \times d_i} \dots\dots\dots(31)$$

Avec : L : Longueur du rectangle équivalent en m ;

d_i : dénivelée entre deux courbes de niveau en m ;

a_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau;

I_p : Indice de pente de Roche.

Les valeurs de l'indice de pente de Roche sont représentées dans le tableau n°22.

III-2-1-2-4/ Pente moyenne d'un bassin versant

La pente moyenne du bassin versant (I_m) est donnée par ROCHE (1963) comme étant la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires pour lesquelles on peut considérer que la ligne de plus grande pente est constante. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante [RIAD, 2003] :

$$S = \frac{I \times \sum D_i}{A} \dots\dots\dots(32)$$

Comme $A=I*L$, donc la formule (32) peut être écrite comme suite :

$$I_m = \frac{D}{L} \dots\dots\dots(33)$$

Avec :

D : dénivelée totale du bassin versant en m ;

A : Surface totale d'un bassin versant en km^2 ;

I : largeur du rectangle équivalent en m ;

L : Longueur du rectangle équivalent en m ;

S ou I_m : Pente moyenne d'un bassin versant en %. Les valeurs de la pente moyenne des bassins versants sont représentées dans le tableau n°22.

Nous pouvons constater, d'après le tableau n°22, que la région d'étude est constituée de deux parties ; la partie sud et sud-est est caractérisée par des reliefs à fortes altitudes qui dépassent les 900 mètres. La partie nord et nord-ouest est caractérisée par des reliefs et des dépressions où les altitudes ne dépassent pas les 400 mètres. L'altitude maximale a atteint les 1200 mètres (bassin versant de Bougous) et les altitudes minimales, correspondent à la valeur zéro du niveau de la mer, caractérisent les bassins versant du littoral d'El Kala.

Les indices de pente globale calculés s'insèrent entre 20 et 50 m/km, ce qui représente des reliefs assez forts. Les valeurs de la pente moyenne des bassins versants s'intercalent entre 20 et 80% et sont moyennement fortes ; seulement le bassin versant du lac Oubeïra possède une pente moyennement faible et qui représente 16%.

III-2-1-3/ Caractéristiques hydrographiques

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des canaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou celles venant des nappes phréatiques, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau [ANCTIL & al, 2012]. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due aux quatre facteurs principaux : la structure géologique ; le climat qui règne sur la région; la pente des terrains et l'influence de l'action humaine sur le tracé du réseau [BOUGUERRA, 2014]. Certains paramètres hydrographiques sont indispensables à calculer pour servir à décrire le comportement du chevelu hydrographique sur un bassin versant.

III-2-1-3-1/ Description du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique des bassins versants de la région d'étude se décrit comme étant un réseau dense, ramifié et diversifié ; on parle de rivières, de lacs, d'étangs, de marais...

Tableau n°22 : Caractéristiques orographiques des bassins versants répartis dans la région d'étude.

Bassin versant	H ₅ (m)	H ₅₀ (m)	H ₉₅ (m)	H _{moy} (m)	I _g		D _s		I _p	I _m (%)
					Valeur	Relief	Valeur	Relief		
O.Bougous	977,6	464,4	164,8	456,08	26,4	Assez fort	424,3	Fort	5,8	42,2
O.Sebaa	489,6	279	93,4	233,45	53,1	Fort	249,4	Assez fort	8,1	80,4
O.Kebir-amont	753,8	309,6	96,4	315,31	18,4	Modéré	252,2	Fort	4,8	27,9
O.Ballouta	661,6	323,4	96	295,63	24,8	Assez fort	296,7	Fort	5,6	39,4
Lac Mellah	238,2	91,4	31,3	80,37	12,9	Modéré	122,8	Assez fort	4,1	21,8
Lac Oubeira	185,5	88,2	31,1	58,80	8,3	Assez faible	88,5	Modéré	3,2	16,1
Lac Noir	283,8	126,9	42	115,08	39,6	Assez fort	200,6	Assez fort	7,1	57,3
Lac Bourdim	236,6	97	33,5	79,55	22,3	Assez fort	110,7	Assez fort	5,3	38,5
Lac Tonga	425,3	128,9	32,1	141,24	18,9	Modéré	256,1	Fort	4,9	28,9
O.Sidi Salem	508,8	312,5	139,3	290,62	40,4	Assez fort	241,4	Assez fort	7,1	60,1
O.Nahal	209,3	121,2	38,4	96,51	27,1	Assez fort	83,1	Modéré	5,8	39,7
O.Ksob	200,6	108,5	34,6	84,53	27,9	Assez fort	64,6	Modéré	5,9	42,1

Deux figures sont représentées, l'une caractéristique d'un écoulement de surface où un ensemble de ruisseaux s'affluent vers le même cours d'eau principal celui de l'oued El Kebir et l'autre caractéristique d'un écoulement de surface où tous les ruisseaux se dirigent vers un même point d'une fosse formant les lacs.

A/ Bassin versant d'El Kebir- amont

L'oued El Kebir Est- est un cours d'eau qui s'écoule depuis les territoires tunisiennes, traverse plusieurs régions du PNEK et qui s'associe avec oued Bounamoussa pour donner naissance à l'oued Mafragh d'où son nom correspond au bassin versant de la Mafragh. Notre bassin versant ou sous bassin versant correspond à la partie amont de l'oued El Kebir où il s'est nait. Le sens d'écoulement est presque orienté Est / Ouest.

L'oued El Kebir résulte de la confluence entre deux oueds ; oued Leben vers la gauche et oued Mellila vers la droite. Ce dernier est alimenté par oued M'kaoura plus à gauche et oueds Seloul, oued Melah et oued Sabouna plus à droite (Fig.51-3). Il faut noter que plusieurs Chaâbats sont à l'origine de la formation de ces oueds.

B/ Bassin versant de Ballouta

L'oued Ballouta est un affluent de l'oued El Kebir Est, vers le sud, et qui s'écoule depuis la Tunisie en prenant le sens ajusté Sud- Est / Ouest. Oued Ballouta est alimenté principalement par l'oued Mkimene qui est lui aussi alimenté par oued Berbara. Actuellement, oued Ballouta est l'un des deux oueds qui alimente le barrage de Mexa en Algérie et un autre barrage en Tunisie est construit sur l'oued Berbara (Fig.51-4).

C/ Bassins versants de Bougous et de Sebaa

C'est le plus grand bassin versant et possède la plus haute altitude enregistrée dans la région d'El Kala (Dj. Ghorra, 1202m). L'oued Bougous est lui aussi un affluent de l'oued El Kebir Est, vers le sud. Il se forme par la confluence de l'oued Kerrata qui est alimenté par l'oued Bir Djeddi et l'oued Sidi Trad qui se forme par la confluence, depuis la Tunisie au Sud, de l'oued Berla qui est alimenté par l'oued Berka et l'oued Meruiel qui est alimenté par l'oued Messalene. Quelques oueds alimentent oued Bougous ; on a oued Ras Oum Ali, oued Bellota et oued es Senid.

Le sens d'écoulement de cet oued est plutôt Sud - Est / Nord-Ouest. A présent, oued Bougous est le deuxième oued qui alimente le barrage de Mexa alors qu'un autre barrage plus en haut, celui du barrage de Bougous, est construit sur cette oued (Fig.51-1).

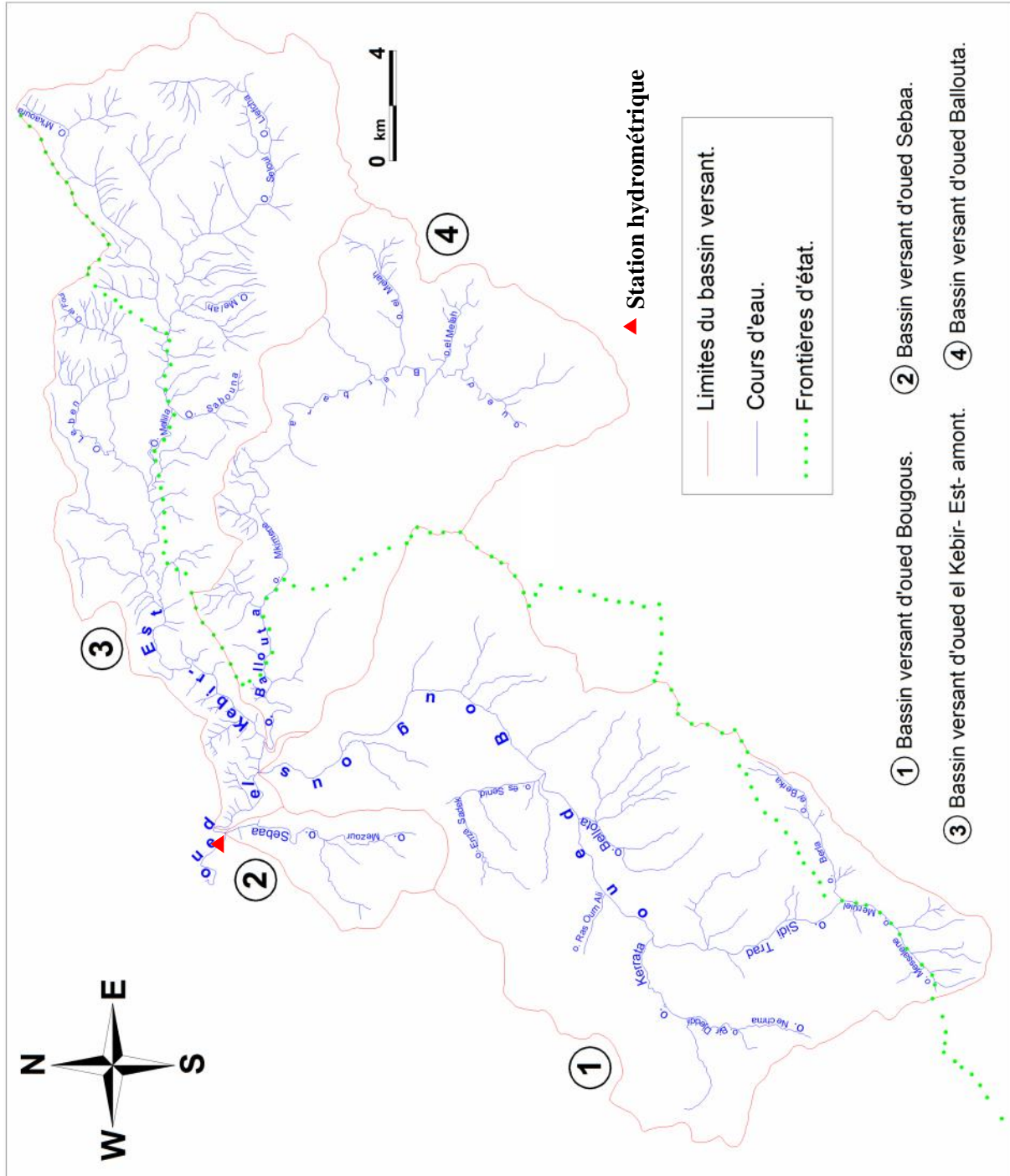


Figure n°51 : Réseau hydrographique des bassins versants répartis dans la région d'étude (1).

Le bassin versant de l'oued Sebaa est positionné au voisinage du bassin versant de l'oued Bougous vers la gauche. L'oued Sebaa est un petit affluent de l'oued El Kebir Est, vers le sud, et il est alimenté par l'oued Mezour. Le sens d'écoulement est normalement Sud / Nord (Fig.51-2).

D/ Bassins versants du Mellah et d'Oubeïra

Deux bassins versants qui possèdent aussi des retenues naturelles ; nous citons le lac Mellah, Oubeïra, Garaet el Oueze et le lac Bleu. On parle de dépressions parfois fermées (endoréiques), comme pour le cas du lac Oubeïra, où tous les écoulements de surface s'achèvent vers le même endroit. Généralement, ce sont les chaâbets qui alimentent le lac et nous pouvons citer deux importants oueds comme pour l'oued Bou Hachicha, et l'oued Degrah qui est alimenté par l'oued Dar Djab Allah (Fig.52-6).

Le lac Mellah correspond à une dépression ouverte (exoréique) vers la mer Méditerranée et qui se forme par l'accumulation des eaux des oueds provenant des hauteurs de Djebel Koursi es Sghir. On a l'oued el Aroug qui s'écoule de puis le sud du lac, l'oued Mélah, et l'oued er Rekibet qui est alimenté par oued el Kleb et oued ben Zeze. Le lac Bleu, à droite du lac Mellah, représente une très petite dépression fermée alimentée par les eaux atmosphériques et la nappe d'eau souterraine (Fig.52-5).

E/ Bassins versants de Bou Redim et du lac Noir

Deux bassins versants qui renferment deux retenues naturelles ; on parle du lac ou marais de Bou Redim et le lac Noir. L'hydrographie de ces deux bassins versants correspond à des Chaâbets qui s'écoulent à de faibles pentes et prennent un sens d'écoulement Nord - Est / Sud-Ouest. L'oued Bou Redim est un affluent de l'oued El Kebir Est, vers le nord, où on identifie une zone humide d'importance internationale appelée : le marais de Bou Redim (Fig.52-8). Le lac noir, lui aussi représente une zone humide protégée par l'état algérienne, se situe en amont de l'oued el Baim qui est lui aussi un affluent de l'oued El Kebir Est, vers le nord, et qui se forme par la confluence de Chaâbet Mabdoua à gauche et Chaâbets de Feid el R'armouk à droite (Fig.52-7).

F/ Bassins versants du Tonga et de Sidi Salem

Le bassin versant du lac Tonga possède une retenue naturelle qui est le lac ou l'étang Tonga (ou Garaet Mta el Hout) et qui est caractérisé par sa diversité faunique et floristique

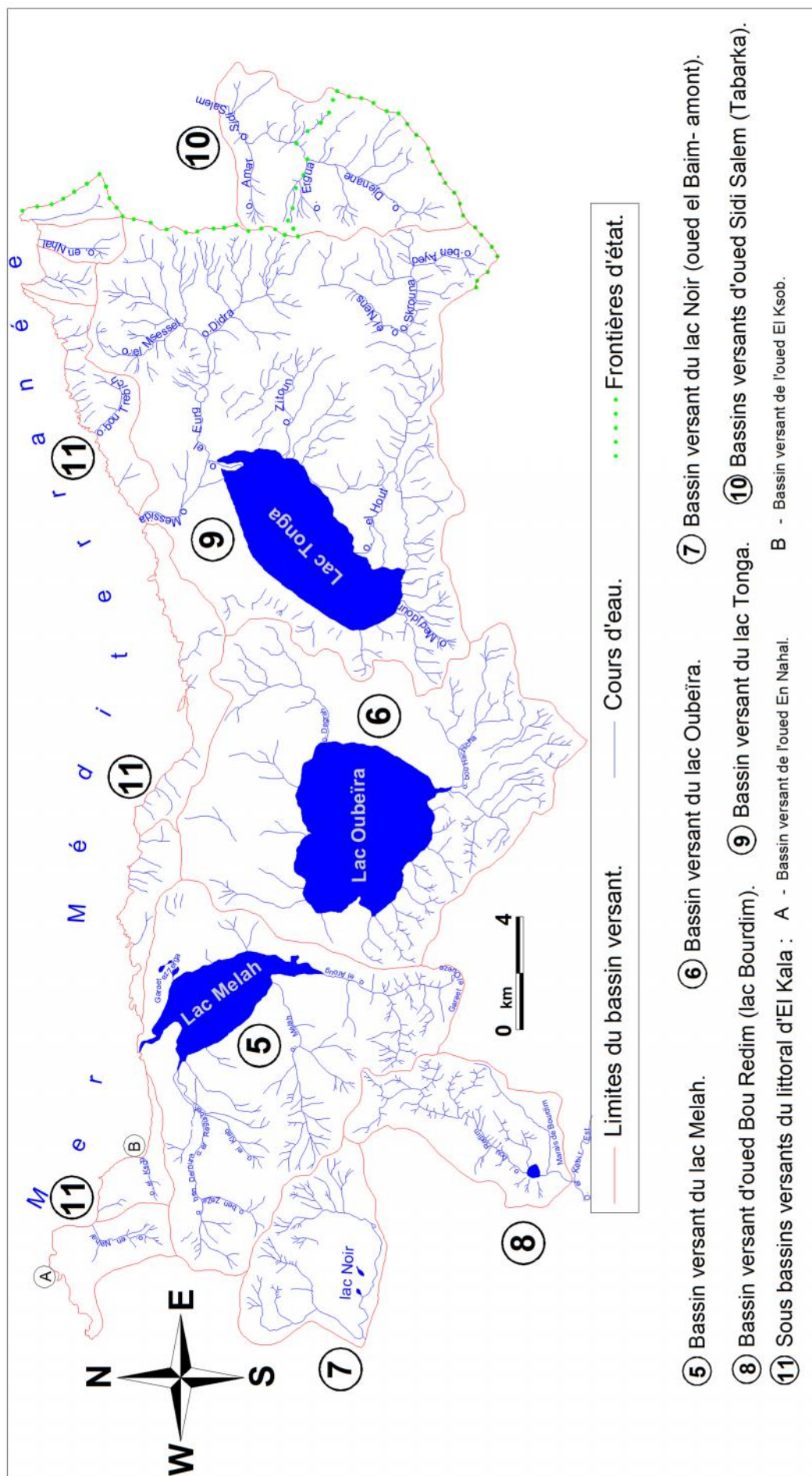


Figure n°52 : Réseau hydrographique des bassins versants répartis dans la région d'étude (2).

rarissime. Le lac correspond à une dépression ouverte vers la mer Méditerranée par l'oued Messida. Les eaux qui s'écoulent des Chaâbets, dans les hauteurs du bassin versant, se joignent pour former des cours d'eau qui se déversent dans le lac ; nous citons, plus au Sud, oued Medjdour, oued el Hout qui provient de la confluence de l'oued el Nens et l'oued Skrouna. Vers l'est et le nord, on a l'oued Zitoun et oued el Eurg qui se forme par la conjonction de l'oued Didra et oued el Msessel (Fig.52-9).

Le bassin versant de l'oued Sidi Salem est le seul bassin versant où ses eaux s'écoulent depuis les territoires algériens vers la Tunisie. L'oued Sidi Salem résulte de la conjonction des oueds Djenane, Eurga et Amar. Il forme, avec oued Kireluara, l'oued Zerga qui est l'un des affluents de l'oued El Kébir qui se verse dans la mer Méditerranée à l'est de Tabarka. Le sens d'écoulement de cet oued est normalement Sud - Ouest / Nord-Est (Fig.52-10).

G/ Bassins versants du littoral d'El Kala

Le littoral du parc national d'El Kala s'étend sur environ 45 km de largeur. Il représente un ensemble de micros bassins versants et qui possèdent un réseau hydrographique moins dense et moins ramifié. Nous pouvons citer par exemple ; les micros bassins versants de l'oued en Nahal (cap Rosa) (Fig.52-11-A), de l'oued el Ksob (Fig.52-11-B), de l'oued Bou Trebiche et de l'oued en Nhal (cap Segleb).

III-2-1-3-2/ Classification des réseaux hydrographiques

Quand on parle de la classification d'un réseau hydrographique, d'une part, on se concentre sur sa structuration et la conjonction de ses ramifications et ses chenaux ; la classification de Howard (1967) est la plus correspondante. D'autre part, l'intensité et l'agencement selon un ordre d'importance où des biefs se joignent pour donner un autre plus grand ; le choix de la classification de Strahler (1957) est le plus distinctif.

A/ Classification selon la forme

Howard (1967) évolue le système hydrographique suivant des classifications figuratives. Les modèles d'agrégation, qui recueillent l'eau provenant de nombreuses sources et de le transporter vers une seule sortie, sont répartis suivant les classifications dendritiques, parallèles, pennées, rectangulaires et treillis (Fig.53). Le réseau dendritique est arborescent avec une ramification équilibrée entre les canaux de différentes tailles, des cours d'eau peu irrégulière, les filières orientées dans plusieurs directions, et les affluents qui combinent à un angle aigu. Le réseau parallèle possède des cours d'eau qui ont tendance à être très droites et

parallèles, et les affluents qui s'arrangent à des angles tendus. Le réseau penné apparaît comme plume avec un canal majeur qui a la tendance à être très simple et orienté dans une seule direction et de nombreux petits affluents rejoignent le cours d'eau à des angles régulières. Dans le réseau rectangulaire, la sinuosité du cours d'eau est introduite par un grand nombre de virages et les affluents qui se confondent parfois à des angles bien droits. Enfin, le réseau en treillis apparaît treillis parce que les petits ruisseaux ont la tendance à être nombreux et courte en comparaison avec les grandes rivières. La sinuosité du cours d'eau est faible. Ces classifications sont également supposées être liées à des conditions dans lesquelles les réseaux sont formés. Les réseaux dendritiques produisent généralement dans les régions avec peu d'activité tectonique, dans des régions à pentes douces et une lithologie relativement uniforme. Les réseaux parallèles se produisent généralement dans les endroits avec des pentes modérées à raides ou lorsque les reliefs sont de formes allongés [MEJI'A & NIEMANN, 2008].

Source : Meji'a & Niemann

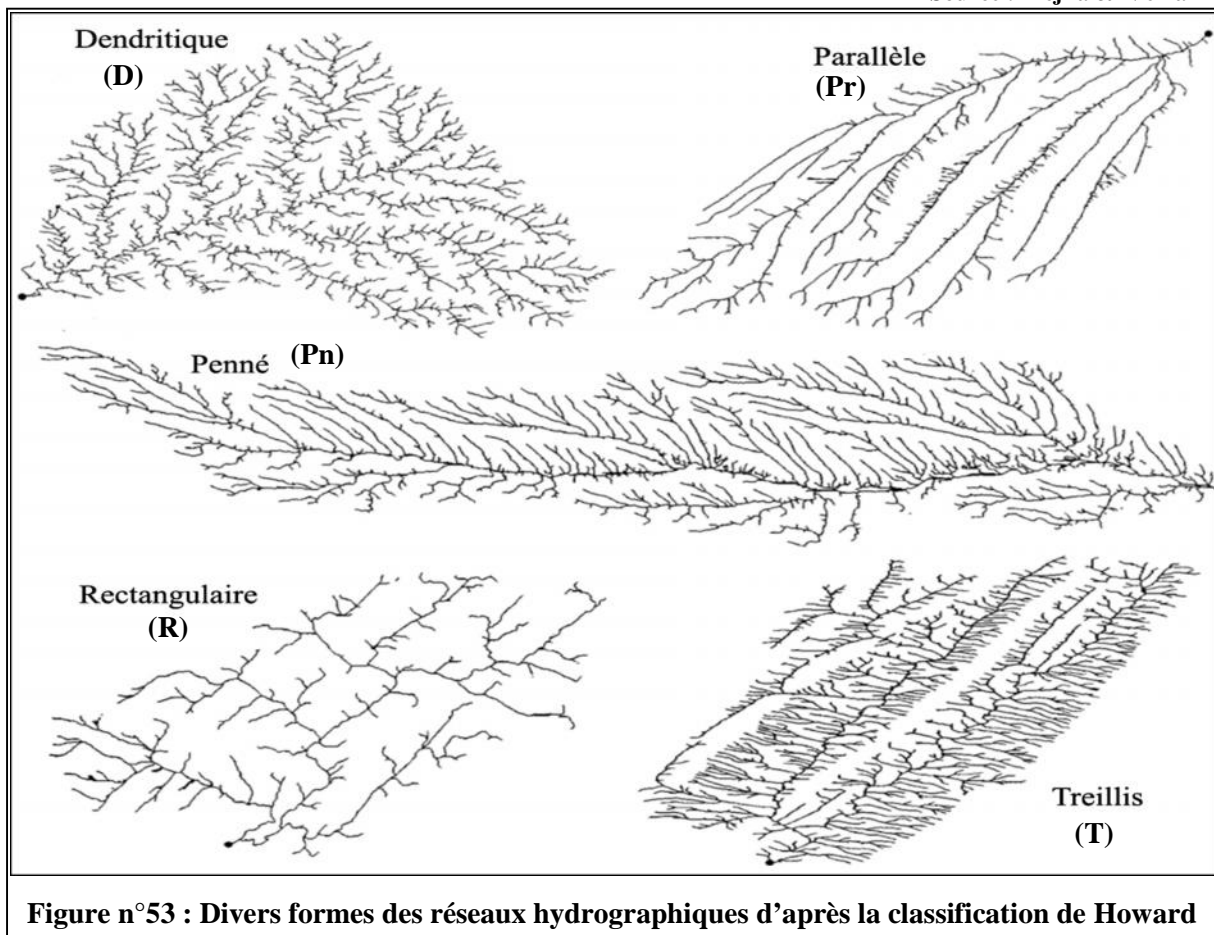


Figure n°53 : Divers formes des réseaux hydrographiques d'après la classification de Howard

La classification des réseaux hydrographiques des bassins versants répartis dans la zone d'étude, d'après Howard, est mentionnée dans le tableau n°24.

B/ Classification selon la grandeur

Un bassin versant est dit d'ordre n , signifie que son grand cours d'eau principal est chiffré par un nombre n qui est obtenu suivant une notation ordonnée ; on parle de l'ordre d'un cours d'eau.

Il existe plusieurs types de classification. Celle de Strahler est parmi les plus répandues : tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1, alors que tous les tronçons de rivière formés par la réunion de deux cours d'eau d'ordre x sont d'ordre $x+1$ (Fig.54). Cette règle n'identifie pas de cours d'eau principal [ANCTIL & al, 2012].

La classification des réseaux hydrographiques des bassins versants répartis dans la région d'étude, d'après Strahler, est indiquée dans le tableau n°24 (Voir Tab.23).

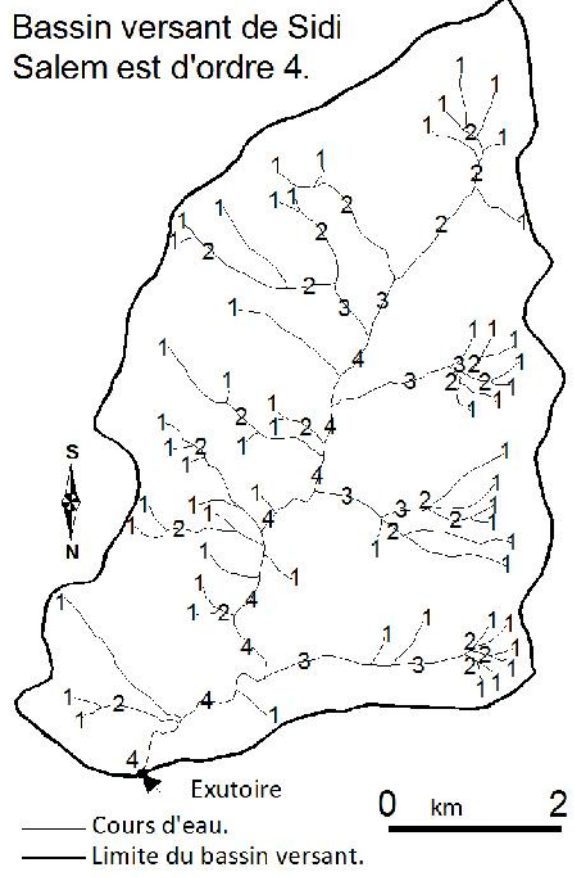


Figure n°54: Ordre d'un bassin hydrographique d'après la classification de Strahler (1957).

III-2-1-3-3/ Densité de drainage

La densité de drainage est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau, de tout ordre, à la surface du bassin [ELMEDDAHI, 2008]:

$$D_d = \frac{\sum l_i}{A} \dots\dots\dots(34)$$

Avec : D_d : Densité de drainage en km/km^2 ou km^{-1} ;

l_i : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km ;

A : Superficie du bassin en km^2 .

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées. Les conditions climatiques jouent également un rôle important : les climats ayant des précipitations réparties également tout au long de l'année auront des densités de

drainage plus faibles que les régions à climat très contrasté comme les zones semi-arides. Les activités humaines ont parfois un rôle important sur l'évolution hydrologique. Cette influence peut avoir un effet régulateur mais aussi un effet accélérateur du ravinement [RIAD, 2003]. Les résultats de calculs des densités de drainage sont reportés dans le tableau n°24.

Les tableaux ci- dessous (Tab.23) correspondent aux longueurs des cours d'eau (l) par ordre de classe (i) selon Strahler et en déduisant, donc, la longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin (l_i).

Tableau n°23 : Longueurs cumulées des thalwegs des bassins versants (en kilomètre).

Ordre du cours d'eau	1	2	3	4	5	Total
Bassin versant : de l'oued El Kebir- amont	87,37	27,07	34,46	15,38	17,43	181,71
Bassin versant : du lac Tonga	72,14	23,19	12,71	9,1	7,04	124,18
Bassin versant : du lac Noir (Baïm)	13,47	7,37	5,89	5,47	0,42	32,62
Bassin versant : de l'oued Bougous	84,59	32,67	5,83	28,33	-	151,42
Bassin versant : de l'oued Ballouta	25,84	11,69	7,38	21,54	-	66,45
Bassin versant : de l'oued Sidi Salem	13,23	9,45	4,12	6,52	-	33,32
Bassin versant : du lac mellah	26,32	20,42	9,68	6,32	-	62,74
Bassin versant : du lac Oubeïra	28,42	18,11	7,79	3,16	-	57,48
Bassin versant : de l'oued Bou Redim	10,95	9,47	4,63	2,53	-	27,58
Bassin versant : de l'oued Sebaa	3,83	5,83	5	-	-	14,66
Bassin versant : du littoral d'El Kala	22,68	13,23	1,47	-	-	37,38
Bassin versant : de l'oued en Nahal	2,63	1,89	1,47	-	-	5,99
Bassin versant : de l'oued El Ksob	1,47	1,68	-	-	-	3,15

III-2-1-3-4/ Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité tient compte de la densité de drainage et de la densité du thalweg élémentaire d'ordre 1. Il est égal au produit de ces derniers [HOUBIB. H, 2012]. Il se calcule à partir de la formule [DJEMAI. M, 1985]:

$$C_T = D_d \times F_1 \dots\dots\dots(35)$$

Avec :

$$F_1 = N_1/A \dots\dots\dots(36)$$

Où : F_1 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1 ;

N_1 : Nombre de thalweg d'ordre 1 ;

A : Superficie du bassin versant en km^2 ;

D_d : Densité de drainage en km/km^2 ;

C_T : Coefficient de torrentialité. Les résultats de calculs des coefficients de torrentialités sont reportés dans le tableau n°24.

III-2-1-3-5/ Temps de concentration

C'est le temps que parcourent les particules d'eau ruisselées au point le plus loin pour arriver à son exutoire. Quand le temps de concentration est important, on a la possibilité d'une crue extrême du cours d'eau. On va utiliser la formule de GIANDOTTI pour déterminer ce paramètre [GAAGAI, 2008] :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \dots\dots\dots(37)$$

Avec :

A : superficie du bassin versant en km² ;

L_p : Longueur du thalweg principal en km ;

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en m ;

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant en m ;

T_c : Temps de concentration en heure. Les résultats de calculs des coefficients de torrentialités sont reportés dans le tableau n°24. Par exemple, dans le bassin versant du lac Tonga, le temps de concentration pour ces deux oueds (El Eurg et El Hout) sont respectivement 4,64 et 4,73 heures. On parle de de 4 heures, 38 minutes et 14 secondes pour l'oued El Eurg et 4 heures, 43minutes et 51 secondes pour El Hout.

III-2-1-3-6/ Vitesse d'écoulement de l'eau

Elle est donnée par l'expression suivante [MANSOURI, 2009] :

$$V = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots\dots(38)$$

Avec :

L_p : Longueur du thalweg principal en m ;

T_c : Temps de concentration en sec ;

V : Vitesse d'écoulement de l'eau en m/sec. Les résultats de calculs des coefficients de torrentialités sont reportés dans le tableau n°24.

D'après le tableau n°24, le réseau hydrographique est majoritairement dendritique et la plupart des bassins versants, répartis dans la région d'étude, sont d'ordre 4. La densité de drainage calculée indique des valeurs faibles (< à 1,5 km⁻¹) où dominent un climat humide et des sols moyennement perméables favorisant donc une forte érosion fluviales.

Le temps de concentration calculé est court (T_c < à 8,5 h) et la vitesse d'écoulement des eaux de surface correspond à des faibles valeurs (V < 1,4 m/sec), ce qui crée un écoulement à faible débit et ne favorise pas des crues extrêmes des cours d'eau.

Tableau n°24 : Caractéristiques hydrographiques des bassins versants répartis dans la région d'étude.

Bassin versant	Principal Cours d'eau	Classification du réseau hydrographique		N _i	D _d (km ⁻¹)	C _T	L _p (km)	T _c (h)	V (m/sec)	
		Howard	Strahler							
O. El Kebir-amont	Oued El Kebir –Est (amont)	Treillis - Dendritique	Ordre 5	211	0,97	1,08	36,51	8,23	1,23	
Lac Tonga	Oued El Eurg	Dendritique	Ordre 5	246	0,68	0,92	11,51	4,64	0,69	
	Oued El Hout	Rectangulaire - Treillis	Ordre 4				14,08	4,73	0,83	
Lac Noir (Baïm)	Oued Baïm (amont)	Dendritique	Ordre 5	61	1,27	3,01	08,84	5,12	0,48	
O. Bougous	Oued Bougous	Rectangulaire	Ordre 4	56	0,59	0,13	35,83	7,33	1,36	
O. Sidi Salem	Oued Sidi Salem	Dendritique	Ordre 4	57	0,93	1,49	10,13	3,34	0,84	
O. Ballouta	Oued Ballouta	Rectangulaire	Ordre 4	62	0,46	0,20	28,30	7,21	1,09	
Lac mellah	Oued El Aroug	Dendritique	Ordre 4	134	0,69	1,03	06,74	3,80	0,49	
	Oued Mélah	Dendritique	Ordre 4				07,37	3,97	0,52	
	Oued er Reguibet	Parallèle	Ordre 4				08,63	5,08	0,47	
Lac Oubeïra	Oued Bou Hachicha	Dendritique	Ordre 4	137	0,50	0,60	06,53	7,10	0,26	
	Oued Degrah	Rectangulaire	Ordre 3				06,11	5,77	0,29	
O. Bou Redim	Oued Bou Redim	Treillis	Ordre 4	100	1,12	4,58	10,53	5,54	0,53	
O. Sebaa	Oued Sebaa	Parallèle	Ordre 3	7	0,66	0,21	08,67	2,84	0,85	
Littoral d'El Kala	Oued en Nahal	Treillis	Ordre 3	71	0,7	0,8	0,75	03,16	2,16	0,41
	Oued El Ksob	Treillis	Ordre 2				03	0,59	0,33	02,11

III-2-2/ Mobilisation des eaux de surface

Il est nécessaire de gérer et de contrôler ces quantités d'eaux superficielles vulnérables d'une manière plus rationnelle et intégrale afin de satisfaire l'accroissement des besoins en eau actuels et futurs et de mieux garder l'équilibre avec l'écosystème aquatique ; on parle d'une gestion intégrée pour un développement durable. La région d'El Kala est caractérisée par son abondance en eaux superficielles, ce qui pousse les autorités concernées à implanter plusieurs types d'ouvrages de mobilisation des eaux de surface ; deux barrages (Mexa et Bougous) et peu de retenues collinaires sont édifiés dans la région :

✚ Le barrage de Mexa (ou Mexanna) est le premier barrage construit dans le parc d'El Kala entre 1994 et 1999 et il est alimenté par l'oued Bougous, l'oued El Kebir- Est et l'oued Ballouta. Il se situe à une altitude de 45 mètres ; c'est un barrage en terre.

Mexa (Pht.17) est destiné à l'alimentation en eau potable pour les wilayas d'El Tarf et d'Annaba. Sa capacité totale est estimée à 47 Hm³/an alors que sa capacité utile (dernier levé en 2004) est de 30,27 Hm³/an. Sa longueur est de 402 mètres environ (Source ANBT).

Photo personnelle prise en 2013



Photo n°17 : Barrage de Mexa.

✚ Le barrage de Bougous (Pht.18) est situé en amont du Mexa et il est réalisé sur l'oued Bougous entre 2005 et 2010. Sa capacité totale est évaluée à 65 Hm³/an. Ce barrage se localise à une altitude de 80 mètres ; c'est un barrage en terre.

La réserve d'eau de ce barrage est destinée aux besoins en eau potable et industrielle de la wilaya et à la compensation partielle du volume d'eau suite au réaménagement du barrage de Mexa (Source ANBT).

Concernant les retenues collinaires, la wilaya d'El Tarf compte plusieurs retenues collinaires. Une retenue collinaire existait dans la région d'El Kala à Mechtat Garouni d'une capacité de $0,04 \text{ Hm}^3$ [BAHROUN, 2006]. Une autre retenue collinaire sur l'Oued Sebaa, dans la région de Bougous, d'une capacité d'environ $0,08 \text{ Hm}^3$ (Pht.19). Elles sont utilisées pour l'irrigation et l'abreuvement du cheptel.

Photos personnelles prises en 2013



Photo n°18 : Barrage de Bougous.



Photo n°19 : Retenue collinaire sur l'oued Sebaa.

III-2-3/ Hydrométrie

Afin d'étudier la relation de la transformation des pluies en débits ruisselés, la station hydrométrique d'Aïn El Assel a été installée sur l'oued El Kebir- Est. Cette station est équipée d'un canal collecteur en béton calibré d'une échelle limnigraphique de neuf mètres permettant de déterminer les hauteurs d'eau (Pht.20).

Le point de jaugeage correspond à un écoulement résultant de l'accumulation des eaux ruisselées de l'oued Bougous, de l'oued Ballouta, de l'oued Sebaa et les affluents de l'oued El Kebir en amont (Fig.51).

III-2-3-1/ Variation des débits en fonction des pluies

Un suivi effectué durant l'année 1996/1997 (avant la construction des deux barrages) a permis de déduire une forte dépendance entre les pluies atmosphériques et les débits de l'oued El Kébir- Est (Tab.25) (Fig.55).

Photos personnelles prises en 2013

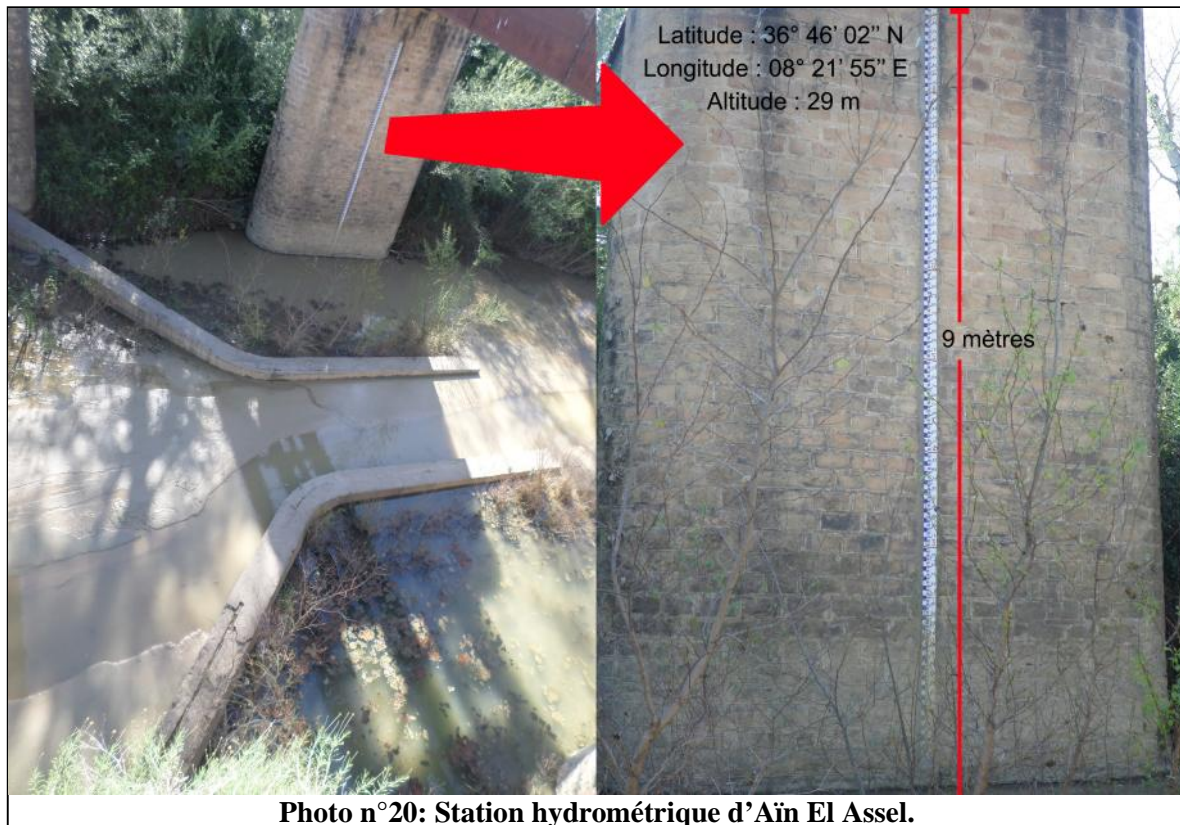


Tableau n°25 : Pluies et débits enregistrés dans la station d'Aïn El Assel (année 1996/97).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jut	Aou
Pluies (mm)	13,1	51,5	60,4	55	115,6	68,2	15	41	06	12,8	00	00
Débit (m3/sec)	00	0,01	0,02	0,02	0,81	13,02	0,76	0,83	1,26	0,06	0,04	0,02

Source : ANRH Constantine

La distribution des débits est variable sur toute l'année. Au cours des mois pluvieux (saison humide) où les fortes pluies tombées sont enregistrées dans les mois de janvier et de février, la réponse est aperçue avec un débit qui atteint son maximum durant le mois de février. Dans les mois moins pluvieux (saison sèche) où les faibles pluies tombées sont observées surtout dans les mois de mai, de juin et septembre, la réponse est quasiment nulle et le débit de l'oued est très faible.

La courbe des débits de l'oued El Kébir-Est se croît au fur et à mesure que les quantités de pluies commencent à tomber. La réponse de l'oued est probablement liée à la saturation du sous-sol, la topographie et le couvert végétal. Au début du mois de septembre, le débit est nul (si on ne parle pas d'erreurs de prélèvement) et les pluies sont enregistrées à des faibles quantités. Après, les pluies tombées augmentent dans les mois d'octobre, novembre et décembre où les débits apparaissent en faibles quantités (recharge de la nappe) et augmentent

quand les pluies atteignent le maximum. Cette courbe s'abaisse considérablement et les apports sont presque inestimables pendant les mois de juin, juillet et août où les pluies s'abaissent aussi.

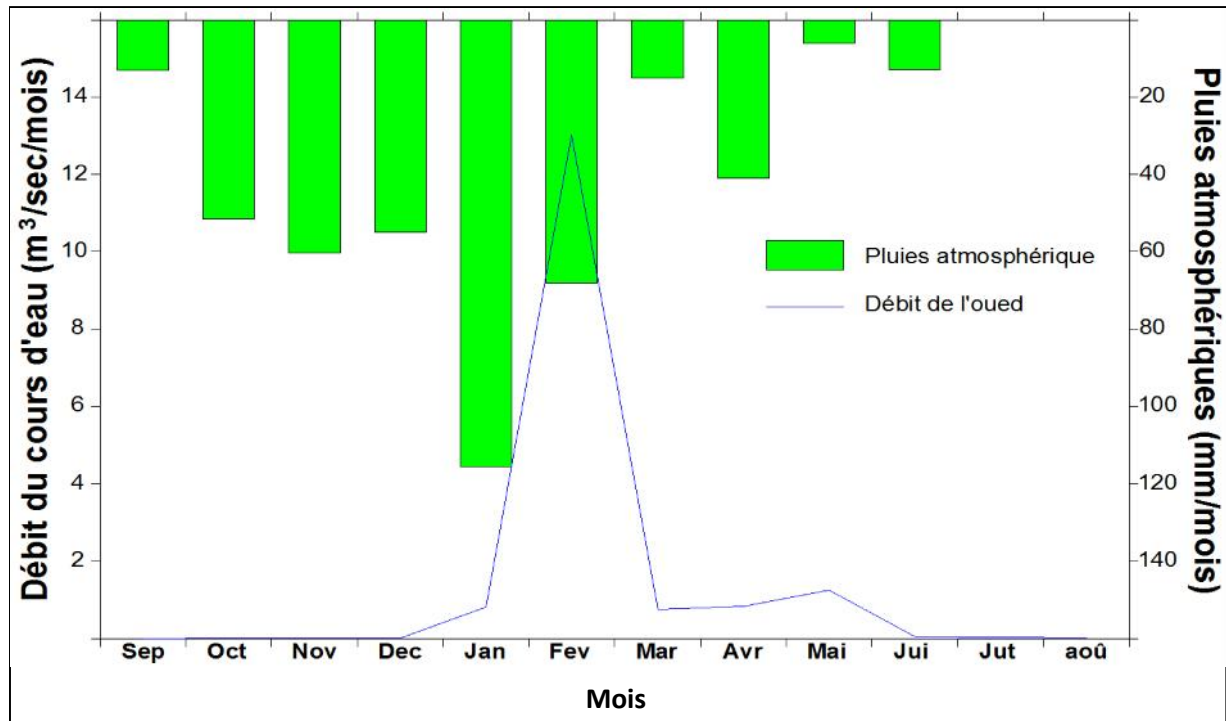


Figure n°55: Relation pluies/ débit (année 1996/97).

III-2-3-2/ Inondations du 2012

Les inondations qui ont touché la wilaya d'El Tarf (Pht.21) les 22 et 23 février 2012 ont fait, selon la presse algérienne, trois morts, près de 7000 sinistrés et des dégâts estimés à deux milliards de dinars algériens. Le secteur agricole est le plus affecté par les inondations avec l'endommagement de 24 000 hectares (soit 550 millions de dinars). Le secteur de l'hydraulique est aussi touché par cette catastrophe naturelle avec des pertes de 467,5 millions de dinars algériens ; le dommage des équipements électriques et hydrauliques des stations et forages, des stations liées à ce secteur. Les forêts ont aussi subi des dégâts sérieux avec la détérioration de 210 km de pistes forestières, le tout est estimé à 404 millions de dinars.

Du point de vue climatique, d'importantes quantités d'eau de pluies sont tombées au cours des quatre mois qui précèdent le mois de février (Fig.56). Plus de 100 mm sont tombées durant le mois d'octobre et continues à s'accroître jusqu'à atteindre les 300 mm au mois de février. On parle d'une saturation du sol et qui a permis à des quantités importantes d'eau de s'écouler en surface vers les dépressions et les deux oueds (El Kebir-Est et Bounamoussa) qui forment le bassin de la Mafragh. Les eaux de surface s'accumulent en masse et causent des

Source : Canal Algérie TV



inondations dans plusieurs endroits en coupant ainsi les routes principales dans la wilaya d'El Tarf. Les trois barrages, surtout les deux barrages de Mexa et de Bougous, ont connu un débordement énorme poussant les dirigeants des barrages à lâcher un volume important de ces eaux.

Source : ANRH Constantine

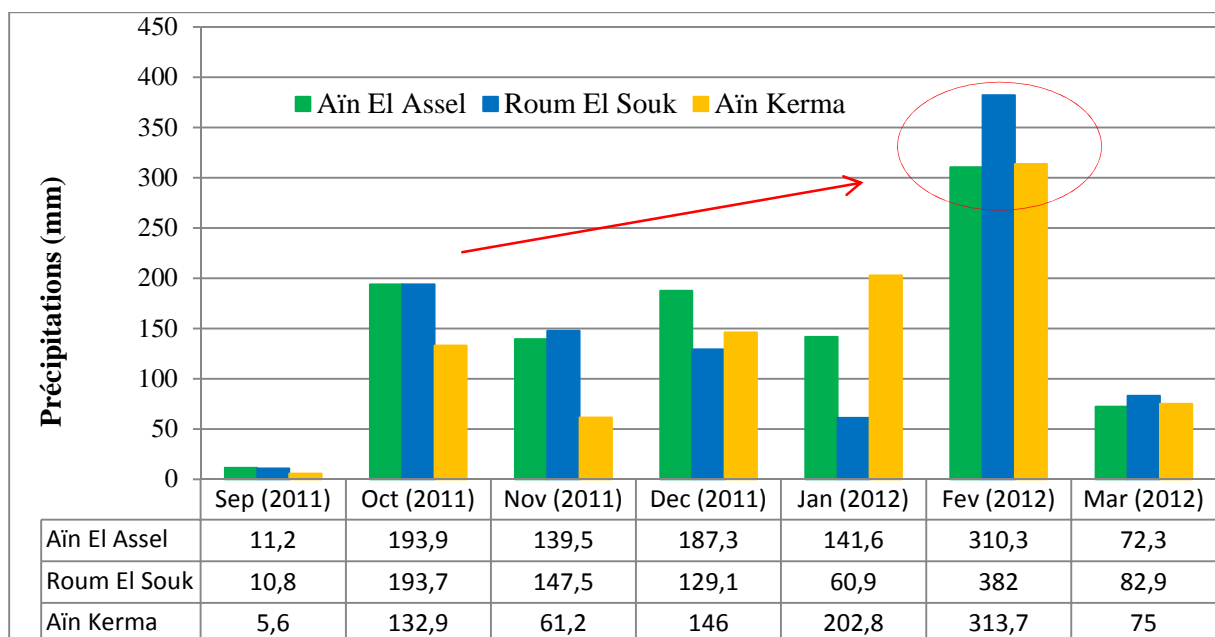
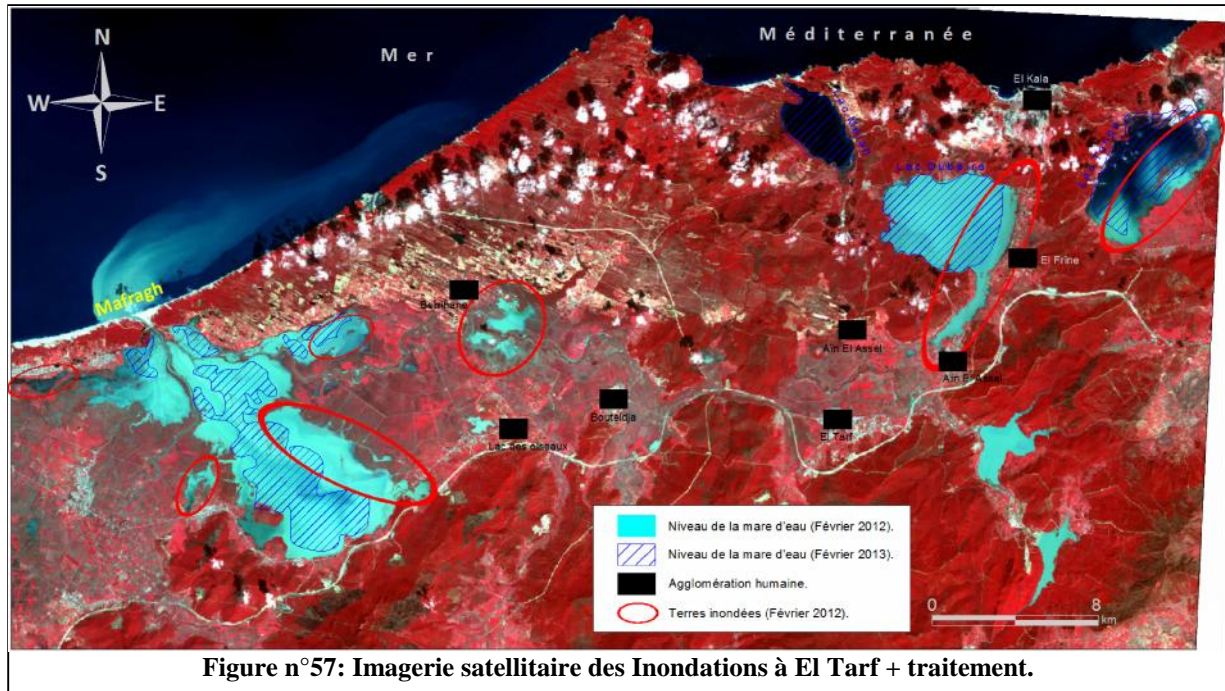


Figure n°56: Fortes pluies enregistrées dans les stations pluviométriques (W. El Tarf).

Le traitement des images satellitaires réalisées par l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) a permis une délimitation cartographique précise des terres touchées par les inondations. L'imagerie satellitaire d'une très haute résolution émise par Alsat 2A (Fig.57) indique l'étendue du sinistre. Nous pouvons distinguer l'extension des eaux des lacs de Tonga et d'Oubeïra, terres inondées au voisinage de Berrihane, de Sebaa et d'El Chatt jusqu'à Sidi Kaci et Ben M'hidi (dépression de Mekhada).

Source : ASAL-Alsat 2A



CHAPITRE IV



HYDROGÉOLOGIE



IV-3/ HYDROGÉOLOGIE

L'hydrogéologie est donc indissociable de l'hydrologie de surface, de la climatologie, de la géologie et de la géographie. L'eau souterraine a une influence très importante sur la majorité des problèmes de construction et de génie civil, sur les conditions d'aménagement du territoire et sur la protection des biens et des personnes [GILLI & al, 2004].

La circulation des eaux souterraines est principalement liée à la géométrie et la lithologie des aquifères ou des nappes d'eau souterraine dont sa reconnaissance et sa délimitation permettent de mieux organiser et de bien gérer l'exploitation de ces ressources à long terme. Le déplacement des eaux souterraines dépend du climat et de la topographie d'une région quelconque et il est parfois perturbé par le sur- pompage opté par l'homme.

IV-3-1/ Systèmes aquifères

L'esquisse hydrogéologique de la région d'étude (Fig.58), qui représente un extrait de la carte hydrogéologique de la wilaya d'El Tarf [BAHROUN, 2006], est réalisée par l'agence de bassin hydrographique Constantinois Seybouse-Mellegue en 2003 et qui nous a permis de distinguer les différents systèmes aquifères existants dans plusieurs secteurs de la région d'étude et qui sont :

IV-3-1-1/ Secteur du Mellah

Correspond à une plaine littorale. Ces dépressions sont occupées par des lacs à fond limoneux (Mellah et le lac Bleu) et qui sont entourées de dunes déposés sur le Numidien grésio-argileux et permettent l'apparition de sources alors que les lacs drainent la nappe d'eau souterraine.

D'après le sondage exécuté dans la localité de Souk Erghibet (Fig.59), nous pouvons dire que la nappe est plutôt libre et formée par la désagrégation des formations préexistantes numidiennes où on observe des dépôts de sables fins à plus de 60 mètres de profondeurs superposés des galets de grès associés à des sables moyens ; le substratum argileux numidiens n'est pas observé et il dépasse les 90 mètres de profondeur. Ces argiles numidiennes garantissent l'imperméabilité et l'accumulation des eaux souterraines sur toute la plaine.

IV-3-1-2/ Secteur d'Oum Teboul

La nappe d'eau souterraine de la plaine d'Oum Teboul est alimentée soit à partir des précipitations atmosphériques en saison hivernale, soit par infiltration des eaux de surface

(Oueds et lac Tonga). Nous pouvons déduire deux types de nappes, l'une superficielle et l'autre plutôt semi-captive.

IV-3-1-2-1/ Nappe superficielle d'Oum Teboul

Cette nappe est limitée au Nord et à l'Ouest par les dunes, au Sud par la nappe semi captive d'Oum Teboul. Elle est constituée de sables, de graviers de grès argileux, d'argiles sableuses ou marneuses et couvre la majeure partie de la plaine et superpose un substratum imperméable marneux. (Fig.60).

Source modifiée : Bahroun

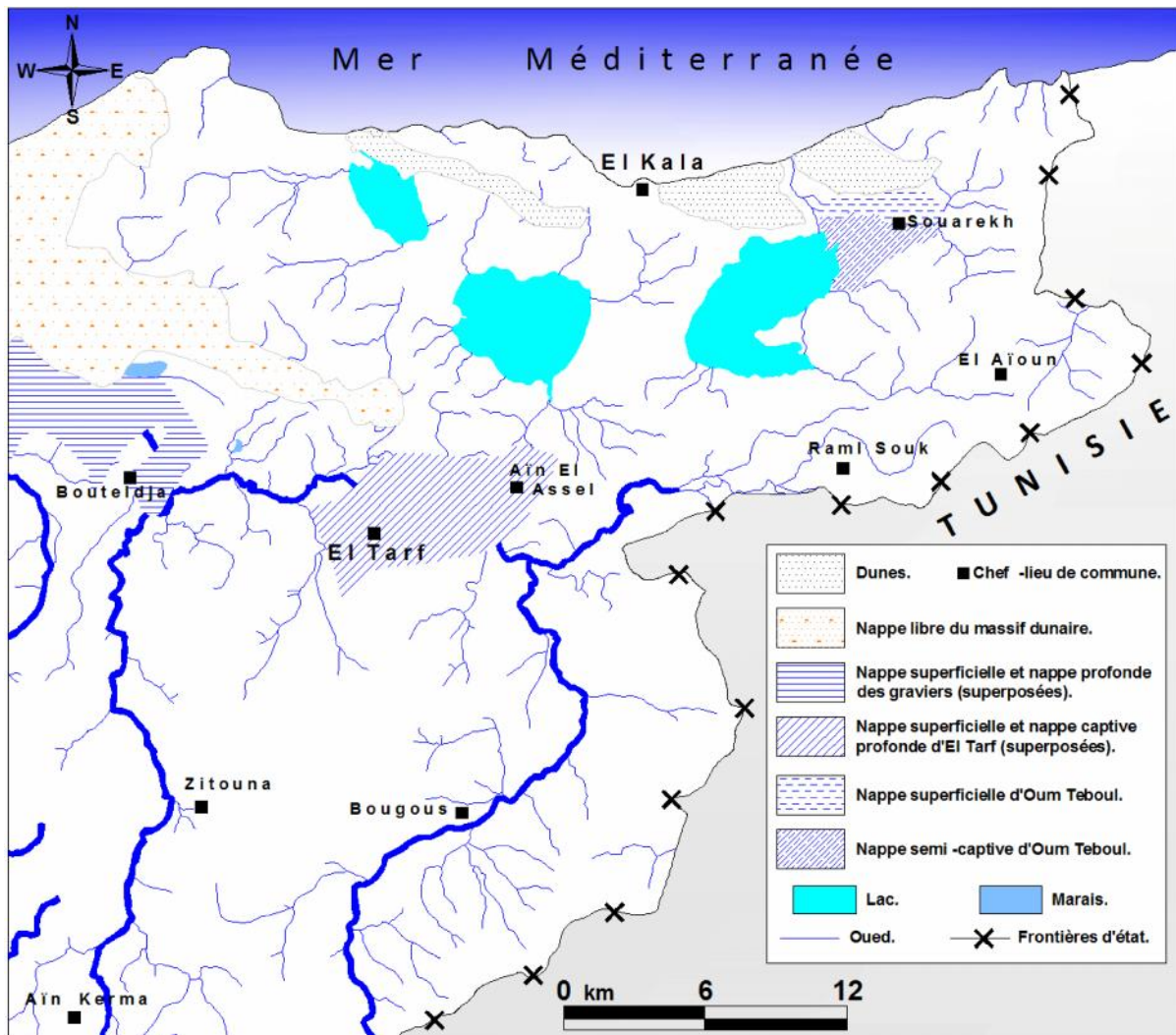


Figure n°58 : Systèmes aquifères existés dans la région d'étude.

IV-3-1-2-2/ Nappe semi- captive d'Oum Teboul

Cette nappe est bornée au Nord par la nappe superficielle à l'ouest par le Lac Tonga. Elle est composée de graviers de grès et de sables reposant sur un fond imperméable marneux formant le substratum (Fig.61).

Dans le secteur Nord, la nappe s'étend du massif dunaire à la rive Sud d'oued El Eurg, elle est libre et puissante correspondant à une zone de surcreusement du substratum, cela est due à l'alimentation de la nappe par l'oued El Eurg [ZAAFOUR, 2012]. La couche des graviers à une épaisseur variant de 06 à 40 m, cet accroissement de la puissance de la nappe correspond à une zone de creusement du substratum.

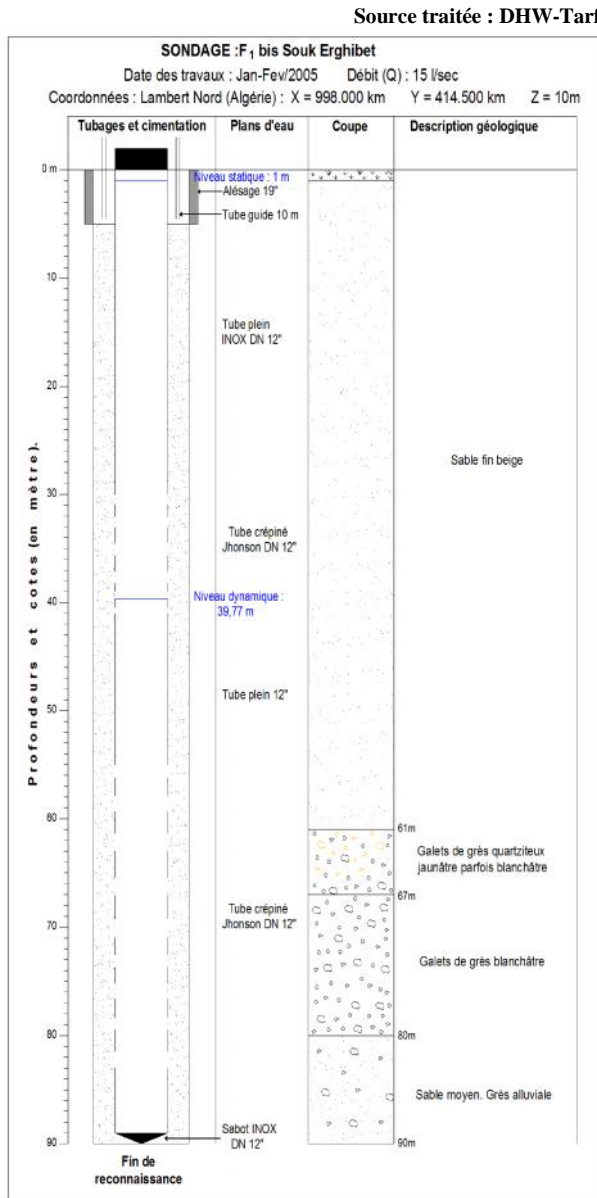


Figure n°59 : Forage d'eau réalisé dans le secteur de Mélah.

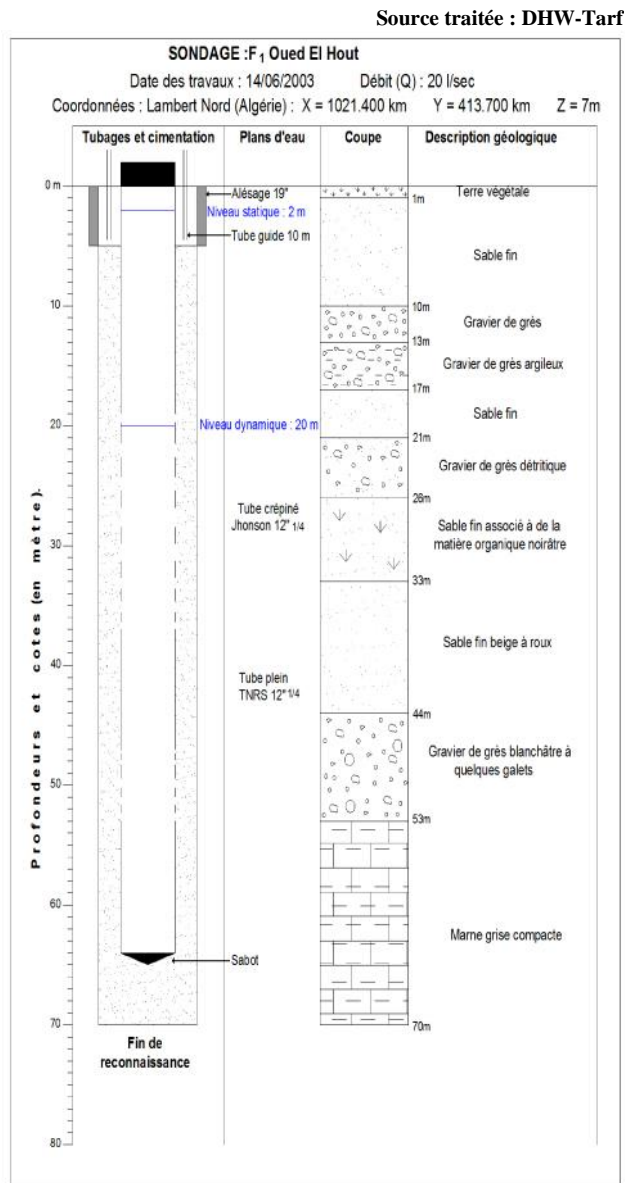


Figure n°60 : Forage d'eau réalisé dans la nappe superficielle d'Oum Teboul.

IV-3-1-3/ Secteur de Bordj Ali Bey – Bou Redim – Aïn Khiair

Correspond à la partie Est du massif dunaire de Bouteldja qui s'étend du lac noir jusqu'à Aïn Khiair traversant la région de Bou Redim. C'est une nappe libre formée de sables éoliens dont l'épaisseur passe de 20 mètres à l'Est jusqu'à 120 m ou 220 m à l'Ouest souvent à

intercalations argileuses sous forme de lentilles avec un substratum argilo gréseux imperméable à semi-perméable [KHERICI, 1985] [RAMDANI, 1996]. Les eaux souterraines de cette nappe sont d'excellente qualité (résidu secs = 20 à 300 mg/l).

D'après le forage réalisé dans la région de Bou Redim (Fig.62), nous envisageons que la nappe est plutôt libre et constituée d'un toit perméable sableux sur plus de 50 mètres de profondeur ; le substratum argileux se trouve à plus de 70 mètres de profondeur.

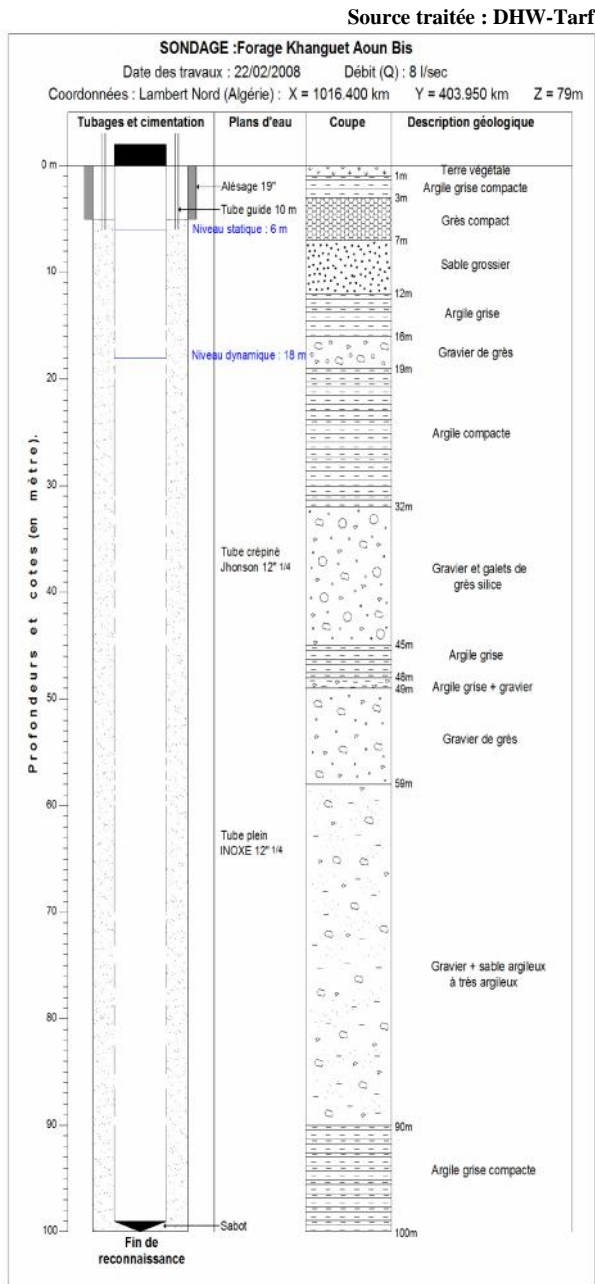


Figure n°61 : Forage d'eau réalisé dans la nappe semi- captive d'Oum Teboul.

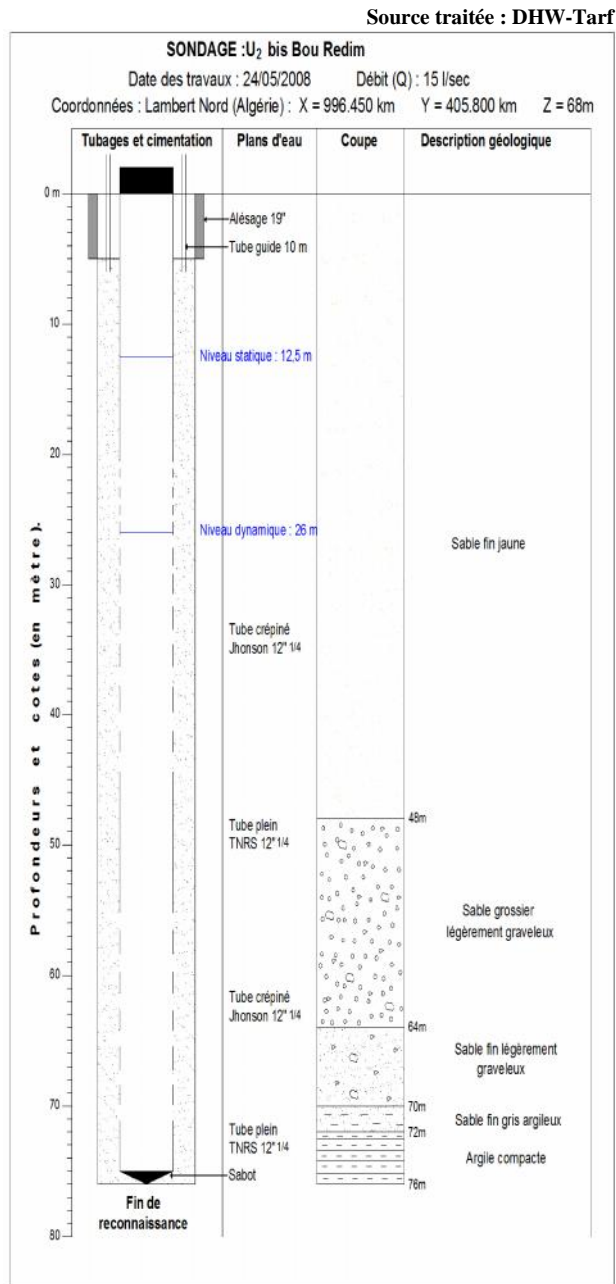


Figure n°62 : Forage d'eau réalisé dans la nappe dunaire de Bouteldja.

IV-3-1-4/ Secteur d'El Tarf – Aïn El Assel

C'est l'étendue d'une plaine qui occupe presque tout le côté nord du territoire d'El Tarf, de Aïn Khiair jusqu'à Aïn El Assel. Cette plaine renferme deux nappes superposées : nappe superficielle et nappe profonde captive.

IV-3-1-4-1/ Nappe superficielle d'El Tarf

La nappe superficielle couvre la totalité de la plaine d'El Tarf. Elle est incluse dans des formations alluvionnaires et des formations argileuses plus au moins sableuses et posée sur un substratum argileux grisâtre qui correspond au toit de la nappe captive. L'alimentation de la nappe se fait à partir des précipitations et par l'oued Kebir Est, les charges latérales avec les sables au Nord et les grès au Sud [BAHROUN, 2006].

IV-3-1-4-2/ Nappe profonde d'El Tarf

La nappe profonde d'El Tarf, qui s'étend de l'Est vers l'Ouest, est une nappe captive formée de galets et de graviers limitée par un toit argileux et un substratum marneux imperméables (Fig.63).

Cette nappe, un toit argileux d'épaisseur de 15 à 20 m en moyenne, s'incline progressivement vers l'Est avec une pente qui devient plus accentuée aux limites de la nappe dunaire de Bouteldja vers le Nord-Est [HAMZAOU, 2011]. La puissance de la nappe varie selon la morphologie du substratum de 4 à 15 m.

IV-3-1-5/ Secteur de Bougous

Correspond à la nappe des grès ou la nappe des graviers caillouteux et elle est peu exploitée du fait de sa surface très limitée et se trouve continue dans les graviers de grès, sables et galets plio-quadernaires. Son épaisseur varie de 15 à 20 mètres [HAMZAOU, 2011].

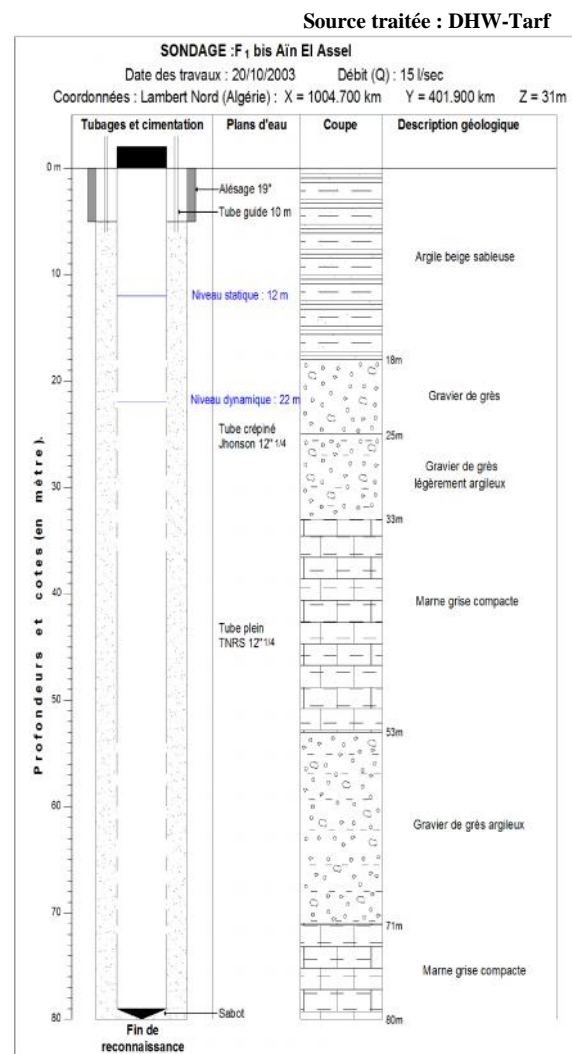


Figure n°63 : Forage d'eau réalisé dans la nappe profonde d'El Tarf.

IV-3-2/ Profils hydrogéologiques

L'établissement des profils hydrogéologiques nous permet de reconstruire l'allure du sous-sol et donc de mieux visualiser l'emplacement, la nature des aquifères et le mouvement des eaux en profondeur en se référant aux renseignements litho- stratigraphiques, topographiques et hydrologiques que renferme un sondage ou un forage hydraulique.

IV-3-2-1/ Secteur de Bordj Ali Bey – Bou Redim – Aïn Khia

Le sous- sol correspond à une nappe libre (massif dunaire de Bouteldja) formée de sables fins d'une épaisseur allant jusqu'à 90 mètres parfois à intercalation de lentilles argileuses. Cette formation perméable repose sur un substratum argileux compact imperméable (Fig.64 - 65). Le niveau piézométrique est quelquefois proche de la surface.

IV-3-2-2/ Secteur d'Oum Teboul

La coupe hydrogéologique (Fig.66) a été réalisée dans la plaine d'Oum Teboul. La nappe superficielle libre, qui se situe au Nord, est composée de sables et de graviers et se positionne entre un toit sablo- argileux et un substratum argileux compact ; l'épaisseur des sables et des graviers se réduit en allant vers le sud et le sud- est où la nappe superficielle devient semi-captive à toit argilo- sableux.

Dans le secteur Sud, le substratum tend à remonter même à affleurer influant ainsi sur la morphologie et l'horizon graveleux qui subit un rétrécissement et tend à disparaître à proximité du forage ZF1 au profit des formations argileuses et marneuses (Fig.66), on peut conclure que la plaine d'Oum Teboul est une zone de subsidence [BAHROUN, 2006].

IV-3-2-3/ Secteur de Bougous

C'est une nappe libre qui est bornée au Nord et à l'Est par une limite perméable de grès numidiens ; au Sud- Est par une limite perméable d'où une relation souterraine avec les eaux du barrage de Mexa et au Sud- Ouest par une limite non perméable avec les formations des argiles numidiennes. Au Nord- Ouest, la nappe libre tend à disparaître en laissant place à une nappe gréseuse profonde captive sous un toit argilo- sableux imperméable (Fig.67) [HAMZAOUI, 2011].

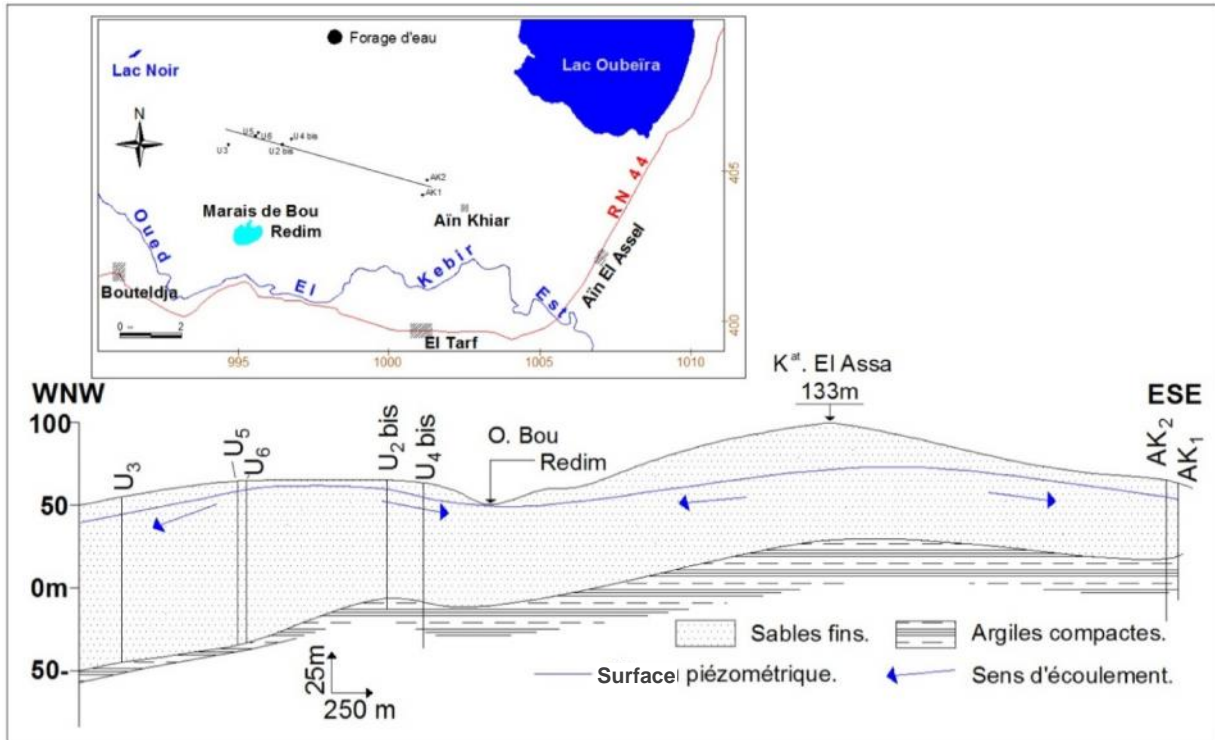


Figure n°64 : Coupe hydrogéologique à travers les dunes de Bou Redim.

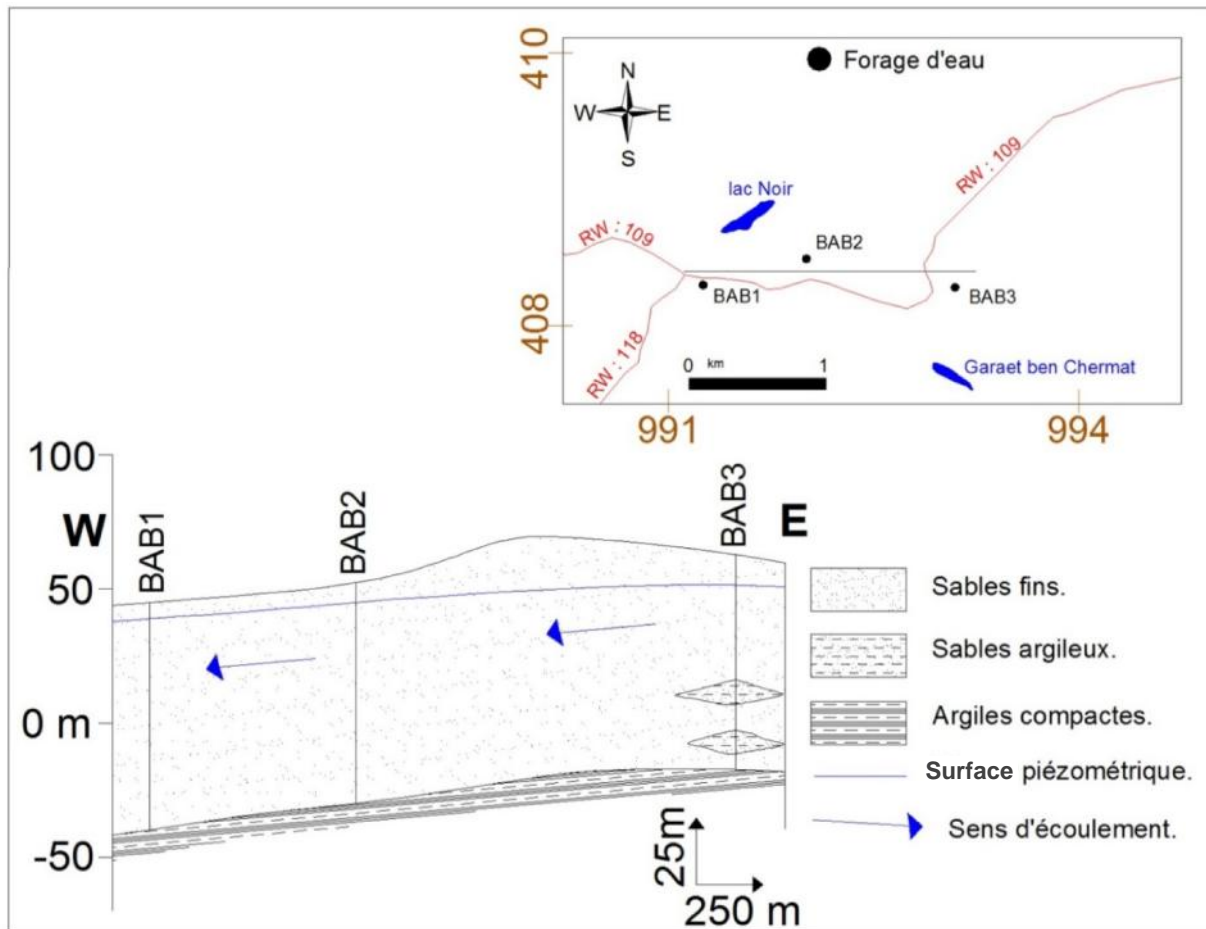


Figure n°65 : Coupe hydrogéologique à travers le secteur du lac Noir.

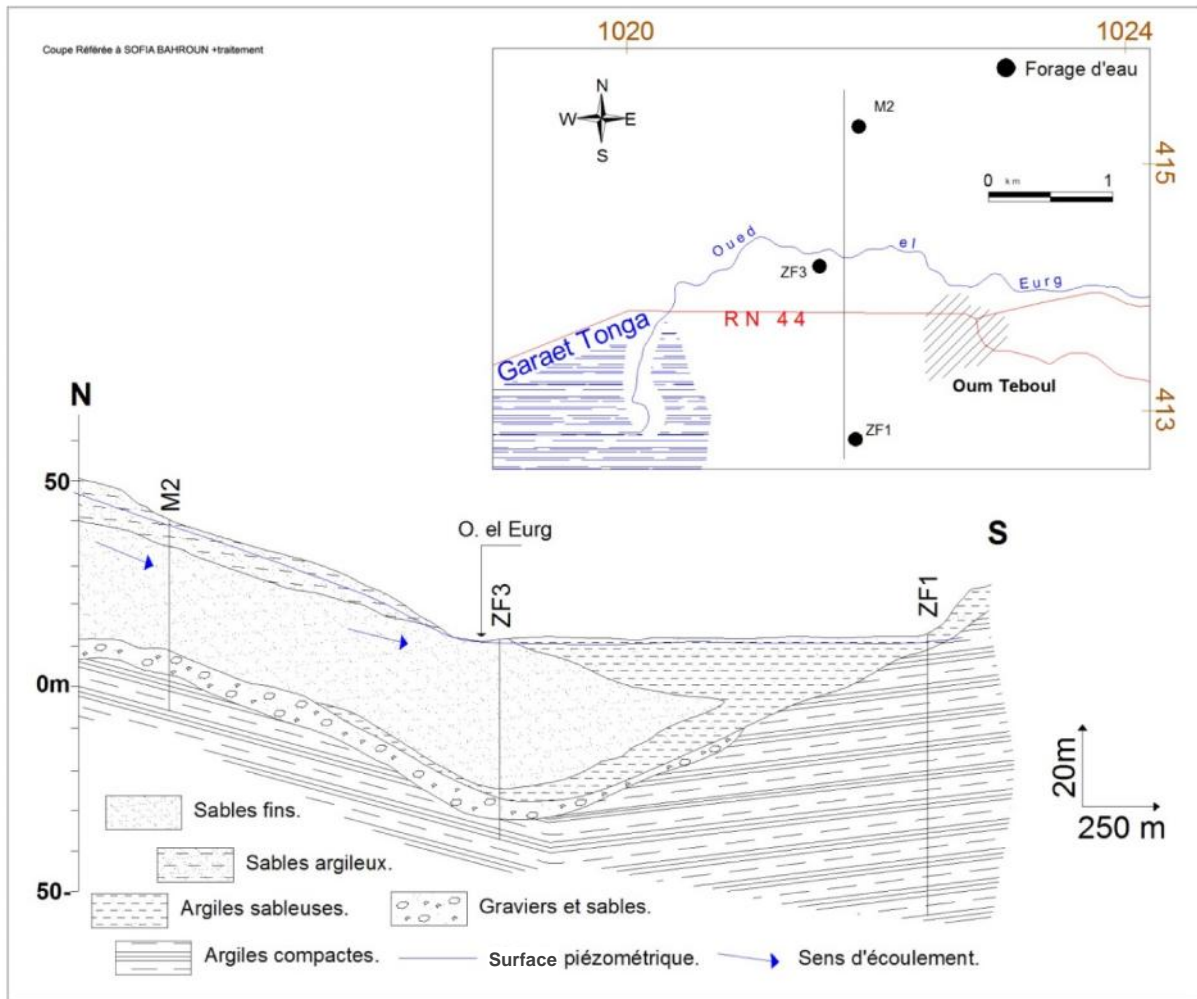


Figure n°66 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine d'Oum Teboul.

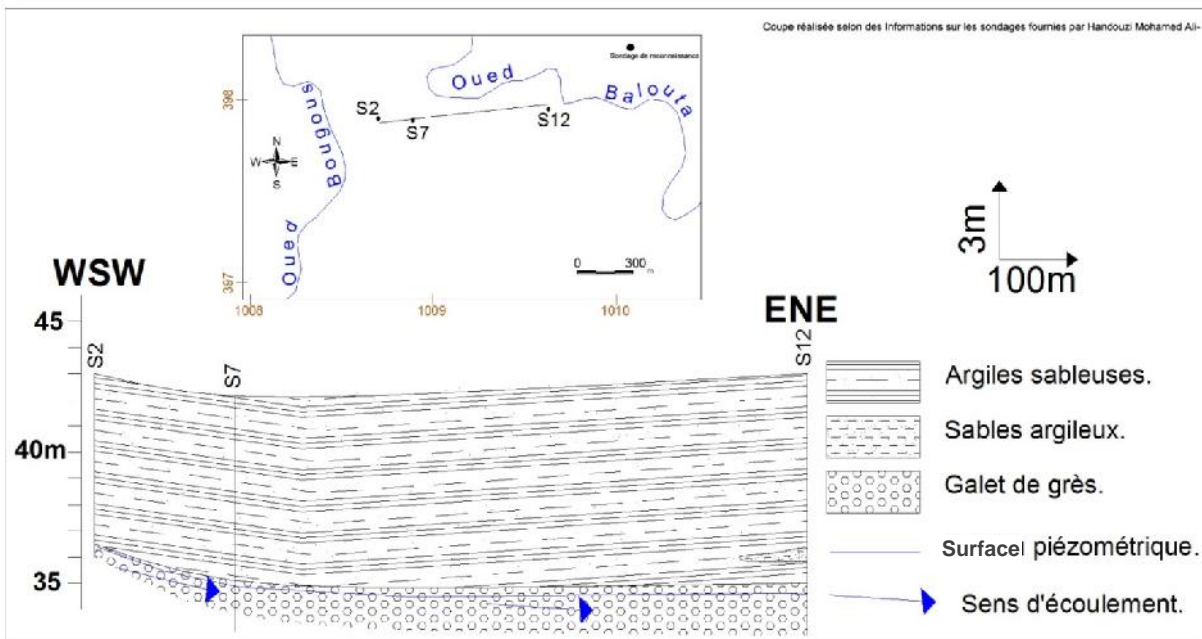


Figure n°67 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine de Mexa.

IV-3-3/ Piézométrie

Dans l'aquifère, la migration des polluants est gouverné par deux manières: l'une est verticale, traversant la couches de la nappe phréatique (zone non saturée) de surface; l'autre est horizontale suivant le sens d'écoulement de la nappe phréatique (zone saturée) [BOUSNOUBRA & al, 2009]. Le parcours que prennent les eaux souterraines est généralement une nécessité à expliquer et à illustrer. D'une part, les eaux en mouvement se chargent en substances minérales et organiques parfois toxiques susceptibles de contaminer toute un aquifère. D'autre part, ces eaux se confluent et s'accumulent dans des endroits signifiant une nappe d'eau souterraine jaillissante mais aussi vulnérable.

Donc, l'étude du mouvement des eaux souterraines s'appuie sur l'interprétation de la carte piézométrique réalisée à partir de la mesure du niveau des eaux dans des puits domestiques ou dans les forages profonds. Une sonde piézométrique à double signal (lumineux et sonore) est utilisée. Plus qu'on a de nombreux points d'eau à interpréter dans une large surface, plus que la carte piézométrique serait crédible. C'est qu'à partir du logiciel *Surfer.8* qu'on a pu réaliser une carte piézométrique.

Sur le parc national d'El Kala, on compte plus de cent puits domestiques qui sont destinés à l'irrigation et au besoin domestique. Vue la dominance des espaces forestiers et l'abondance des eaux en surface, ces puits se trouvent concentrer surtout aux alentours des agglomérations rurales qu'urbaines. L'obstacle géologique s'observe par la présence des grands blocs empêchant l'implantation des puits domestiques (Douar Mexa).

Deux campagnes de mesure piézométriques ont été effectuées, la première campagne est faite en mars 2011 et qui correspond à la période des hautes eaux (phase d'alimentation), la deuxième est réalisée en juillet 2011 et qui correspond à la période des basses eaux (phase de sécheresse). Nous déduisons qu'à l'état ordinaire l'écoulement des eaux souterraines suit la topographie de la région d'étude et nous pouvons l'interpréter comme suite :

IV-3-3-1/ Piézométrie en mars 2011

Nous observons, d'après la carte piézométrique (Fig.68), que l'allure des courbes piézométriques est régulière et indique un écoulement souterrain orienté Sud et Est du parc d'El Kala vers l'intérieur où l'oued El Kebir-Est représente l'axe de drainage des eaux de surface. La morphologie des courbes, au Nord, est irrégulière, et le sens d'écoulement se disperse vers des dépressions piézométriques indiquant des zones de drainage où les principaux lacs présents dans la région d'étude drainent la nappe souterraine. Il faut mentionner que les puits domestiques sont rarement exploités en période des hautes eaux,

alors que les riverains et les agriculteurs utilisent les eaux des pluies, des oueds et des lacs pour satisfaire leurs besoins journaliers.

IV-3-3-2/ Piézométrie en juillet 2011

Nous visualisons, selon la carte piézométrique (Fig.69), que l'allure des courbes piézométriques apparaît identique par rapport à la période des hautes eaux et l'écoulement des eaux souterraines est toujours orienté Sud et Est vers l'intérieur. A vrai dire, dans ces secteurs, les riverains exploitent moins les eaux des puits du fait de la présence de nombreuses sources artésiennes potables et l'approvisionnement à partir des deux barrages pour l'agriculture. Au Nord de la région d'étude, l'allure des courbes piézométriques est désordonnée. Une partie des eaux souterraines s'écoulent vers un sens différent que celui de la période précédente où nous pouvons constater que, dans certains endroits, la nappe draine les oueds et les mares d'eau. Sur terrain, nous avons aperçu l'abaissement du niveau d'eau de certains puits au voisinage des terres cultivés ; on parle d'un sur- pompage des puits domestiques et qui peut désorienter la morphologie des courbes piézométriques.

IV-3-3-3/ Gradient hydraulique

Dans un écoulement uniforme et unidirectionnel, le gradient hydraulique (i) est, par définition, le rapport de la différence de charge (h) à la longueur L du trajet de l'eau dans le sol [MERIAUX & al, 2004]. Le gradient hydraulique est calculé d'après la formule suivante [KHELFAOUI, 2014]:

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \dots\dots\dots(39)$$

Avec , i : Gradient hydraulique ;
 h_1 : La charge en amont (m) ;
 h_2 : La charge en aval (m) ;
 L : distance entre h_1 et h_2 (m).

Pour la détermination du gradient hydraulique, on a choisi trois couloirs sur la carte piézométrique de la période des hautes eaux du mois de mars 2011 (Fig.68). Le gradient hydraulique (gr.1) est de 0,02 et correspond au versant nord de Bougous au Sud. Au Nord au à El Kala, le gradient hydraulique (gr.3) est identique au précédent ($i=0,02$). A l'Est dans la plaine d'Oum Teboul, le gradient hydraulique (gr.2) calculé est de 0,04.

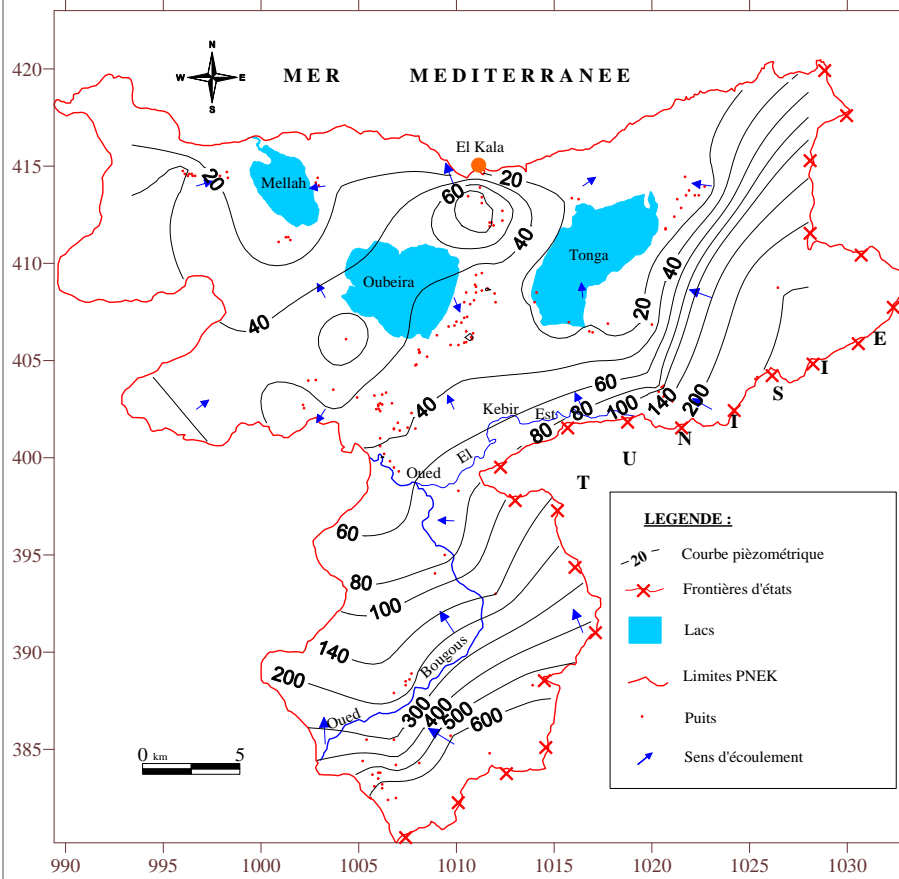


Figure n°69 : Carte piézométrique du PNEK (basses eaux - juillet 2011).

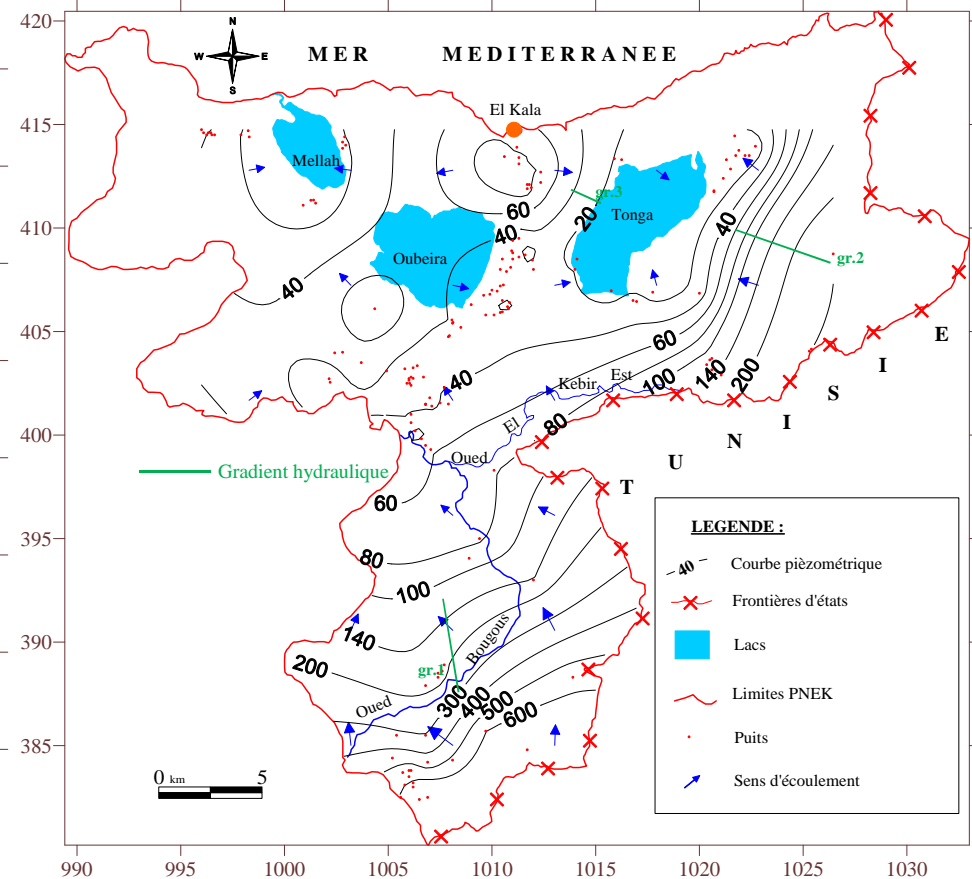


Figure n°68 : Carte piézométrique du PNEK (hautes eaux - mars 2011).

IV-3-4/ Hydrodynamique des aquifères

L'aquifère est un système dynamique. Il subit sur ses limites des impulsions hydrodynamiques par des apports de quantités d'eau (transfert de masse) ou de variations de pression ou de charge (transfert d'énergie). Les valeurs du coefficient de perméabilité sont faibles, de quelques millimètres par seconde pour les réservoirs perméables à 10 000 fois plus faibles pour les formations imperméables. La transmissivité permet de représenter sur des cartes, les zones de productivité [CASTANY, 1982]. La conséquence en terme d'exploitation est la probabilité élevée d'obtenir les mêmes caractéristiques hydrodynamiques à une certaine distance d'un ouvrage [GILLI & al, 2004]. Le tableau ci-dessous (Tab.26) récapitule l'influence des formations lithologiques sur le degré de perméabilité.

Tableau n°26 : Valeurs du Coefficient de perméabilité suivant la nature lithologique.

K (m/sec)		10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Granulométrie	Homogène	Gravier pur			Sable pur		Sable très fin		Silt		Argile			
	Variée	Gravier gros et moyen	Gravier et sable			Sable et argile - limons								
Degrés de perméabilité		Très bonne			Bonne		Mauvaise				Nulle			
Types de formations		Perméables					Semi- perméables				Imperméables			

Source : Gilbert Castany

← Limites conventionnelles →

D'après la carte ci- jointe (Fig.70), qui montre la répartition hydrodynamique des aquifères suivant la composition litho-stratigraphique des terrains, nous pouvons dire que :

✚ Les formations dunaires sont caractérisées par une perméabilité bonne à moyenne. Ces nappes libres sont réparties au Nord de la région d'étude dans le massif dunaire de Bouteldja, dans les dunes el Mélah, au Sud- Est de l'Oubeïra et au Nord de la plaine d'Oum Teboul.

La perméabilité qui peut aller de zéro dans les zones colmatées par les argiles, ou par certains passages de sables rouges, à $6 \cdot 10^{-4}$ m/sec dans les formations de sables blancs purs. La transmissivité peut varier entre $5 \cdot 10^{-4}$ à $1,3 \cdot 10^{-2}$ m²/sec [HAMZAOU, 2011].

✚ Les formations alluvionnaires de sables, graviers et argiles du Quaternaire sont caractérisées par une perméabilité moyenne. Les aquifères continus et continus profonds correspondent à la nappe superficielle et la nappe profonde d'El Tarf- Aïn El Assel.

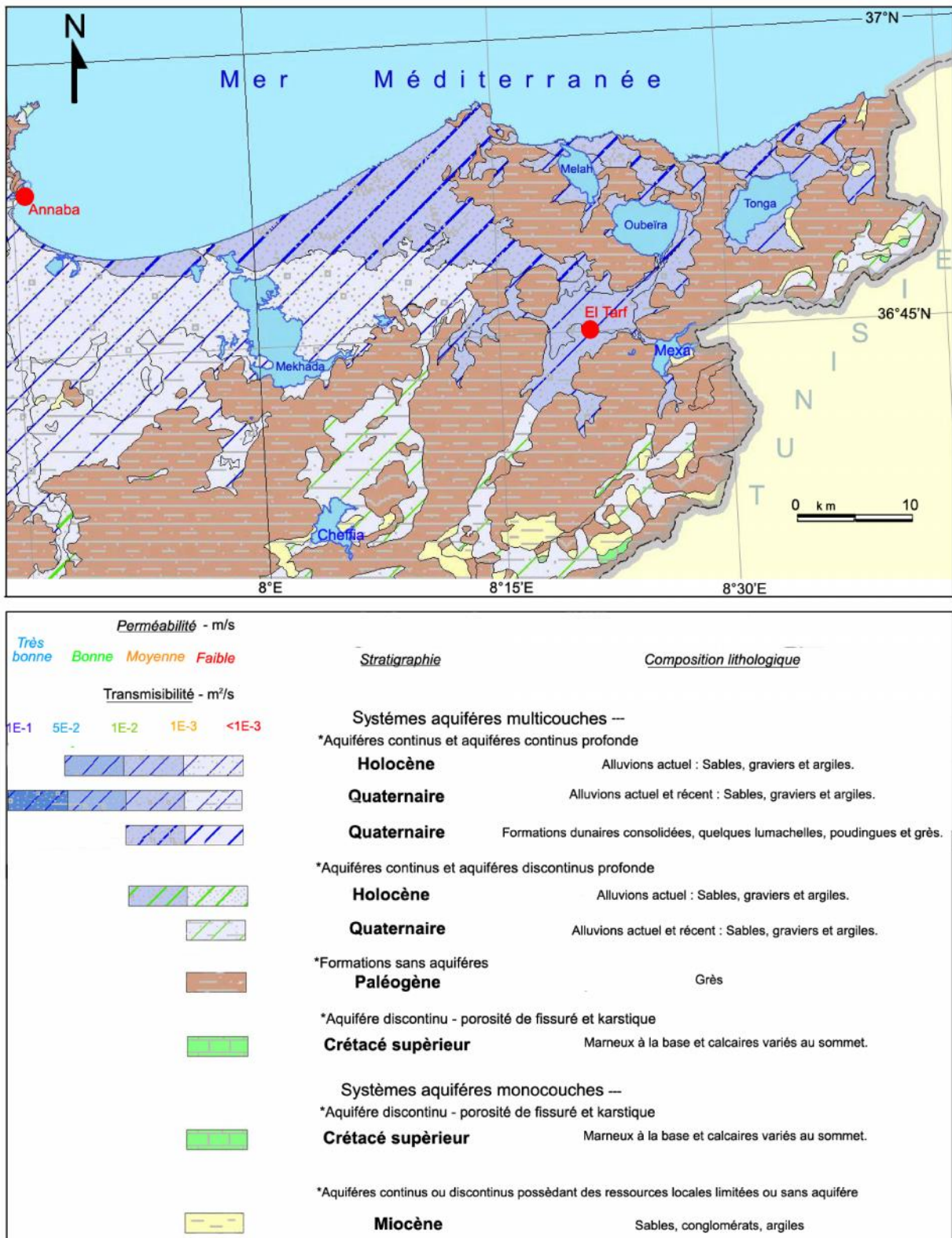


Figure n°70 : Caractéristiques hydrodynamiques suivant la composition lithologique des terrains (Extrait de Carte Hydrogéologique de l'Algérie du Nord).

La perméabilité, dans la nappe profonde, est de $1,5 \cdot 10^{-5}$ à $7 \cdot 10^{-5}$ m/sec. La transmissivité varie de $1,24 \cdot 10^{-3}$ à $3,5 \cdot 10^{-3}$ m²/sec dans l'Ouest de la plaine et de $2,10 \cdot 10^{-3}$ à $8,8 \cdot 10^{-3}$ m²/sec dans l'Est de la plaine avec une transmissivité moyenne de l'ordre de $3 \cdot 10^{-3}$ à $6 \cdot 10^{-3}$ m²/sec [BAHROUN. S, 2006]. La transmissivité, dans la nappe superficielle, variée entre $1,5 \cdot 10^{-3}$ et $5 \cdot 10^{-3}$ m²/sec [HAMZAOUI, 2011].

Les formations alluvionnaires actuelles (sables, graviers et argiles) sont caractérisées par une perméabilité moyenne. Elles sont identifiées aux environs du lac Tonga (la nappe semi- captive d'Oum Teboul au Nord- Est du Tonga).

La perméabilité, de la nappe semi- captive d'Oum Teboul, est entre $0,15 \cdot 10^{-4}$ à $0,15 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Les valeurs de transmissivité varient de $5 \cdot 10^{-5}$ à $7,20 \cdot 10^{-3}$ m²/sec [BAHROUN. S, 2006].

Les formations alluvionnaires de sables, graviers et argiles du Quaternaire sont caractérisées par une perméabilité faible. Les aquifères discontinus profonds sont répartis à l'Est et au Sud de la région d'étude.

La transmissivité de l'aquifère dans le secteur de Bougous peut varier entre $3 \cdot 10^{-3}$ et $3 \cdot 10^{-2}$ m²/sec [HAMZAOUI, 2011].

IV-3-5/ Mobilisation des eaux souterraines

Les réserves des nappes souterraines dans le parc national d'El Kala sont importantes et sont alimentées à partir des précipitations atmosphériques (>à 770 mm/an). Les eaux profondes sont captées à partir des puits domestiques (nappe superficielle), des forages hydrauliques (nappe profonde) et l'aménagement des sources d'eau.

On recense 62 sources dont le débit est variable de quelques litres à des dizaines de litres et sont caractérisées par des écoulements permanents, variables dont la plupart sont issues des formations gréseuses du Numidien, généralement soutenues par des nappes perchées alimentées par les précipitations où alimentée directement par les nappes aquifères présentes dans les différents dépôts dunaires du littoral [BENTOUILI, 2007]. Une seule source thermale, représente Hammam Mexa, d'un débit estimé à 0,5 l/sec, dans le secteur de Bougous, est identifiée à l'intérieur du PNEK et elle est spécialisée en maladies veineuse, neurologique et gynécologique [BAHROUN, 2006].

Plusieurs puits domestiques existaient à l'intérieur du parc d'El Kala et ils captent les eaux des nappes aquifères superficielles. Le tableau n°27 récapitule le nombre de puits domestiques recensé personnellement au cours de mon inspection sur terrain en 2011.

Tableau n°27 : Inventaire des puits domestiques situés dans le PNEK (2011).

Communes	El Tarf	Ain El Assel	Bougous	El Kala	Souarekh	Raml Souk	El Aïoun	Berrihane	Bouteldja
Nombre	15	21	17	36	29	10	08	02	4

■ En ce qui concerne les forages, la zone d'étude compte un nombre assez important surtout dans la partie Est, dans les massif dunaires où les eaux souterraines sont de bonne qualité. Ces forages atteignent les aquifères profonds libres des massifs de dunes ou captives à semi- captive des nappes de graviers. ces forages sont destinés à l'alimentation en eau potable. D'autres forages existaient dans différentes nappes de la région d'étude et sont figurés dans le tableau n°28 :

Tableau n°28 : Forages hydrauliques réalisés dans la région d'étude (DHW-Tarf.2004).

Nappe sollicité	forages	Volume théorique (Hm ³ /an)	Affectation (Hm ³ /an)			Destination
			AEP	IRRI	IND	
Nappe dunaire de Bouteldja	50	33	32,5	0,4	0,1	*02 forages 0,4 Hm ³ /an pour l'irrigation. *01 forage 0,1 Hm ³ /an pour l'industrie. *26 forages 16,7 Hm ³ /an pour l'AEP D'Annaba. *21 forages 15,8 Hm ³ /an pour l'AEP El Kala, Berrihane, El Tarf, Ain Assel, couloir Bouteldja - Ben M'Hidi.
Nappe côtière d'El Kala	02	0,6	0,6	/	/	* 01 forage El Kala, El Melha. *01 Souk R'guibet.
Nappe côtière d'Oum Teboul	07	1,84	1,59	0,25	/	*02 forages AEP Oum Teboul. *01 forage AEP Oued El Hout. *02 forages AEP -El Aioun. *02 - Irrigation.
Nappe alluviale El Tarf- Ain Assel	08	26	26	/	/	*08 forages AEP El Tarf, Ain Assel, Bougous.
Nappe des Grés	03	0,56	0,56	/	/	*03 forages AEP Bougous, Raml Souk, Ain Assel.

Source : Bahroun

CHAPITRE V



CHIMIE ET POLLUTION DES EAUX



V-1/ CHIMIE DES EAUX

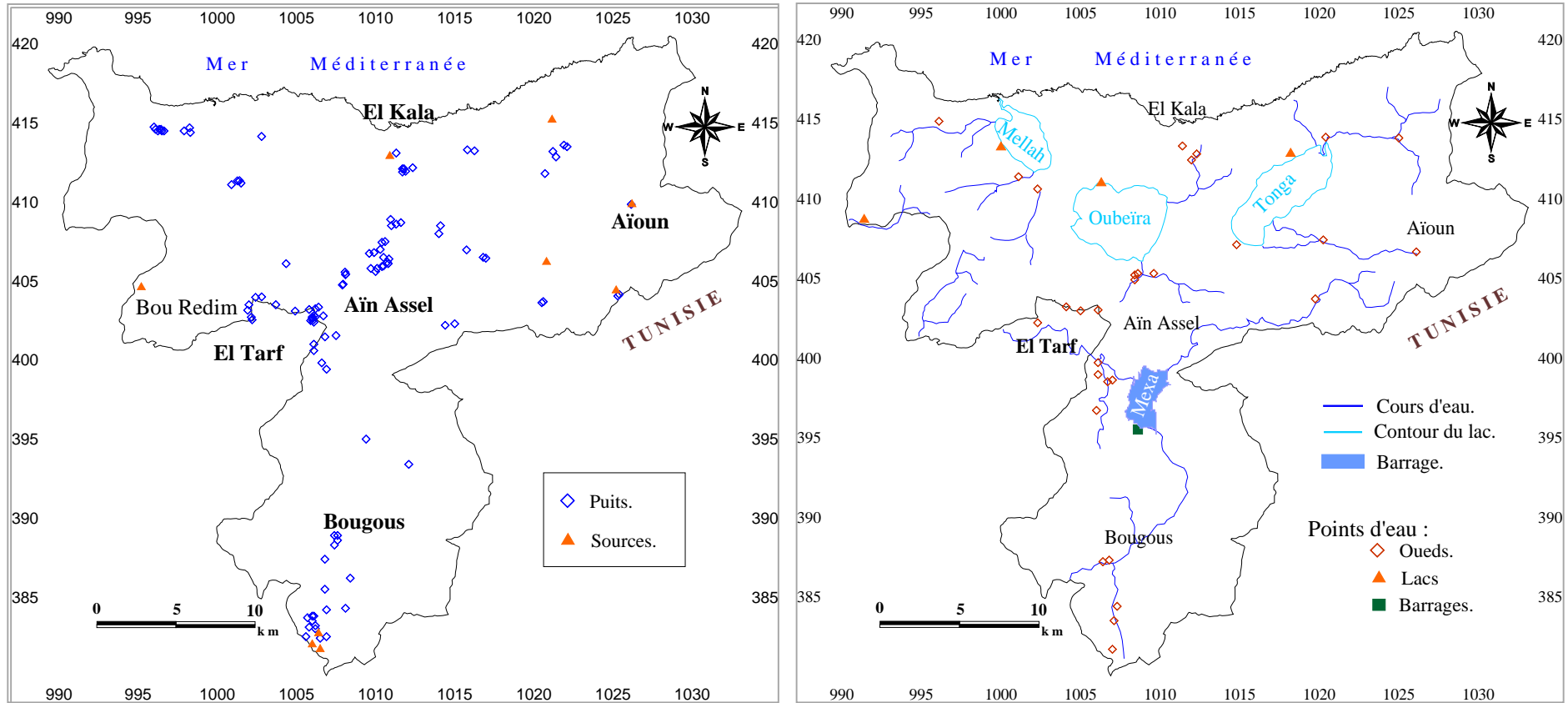
Pour les physiciens et les chimistes, l'eau est une molécule très particulière dont la structure et les propriétés sont beaucoup plus complexes que sa formule chimique (H_2O) si simple et si connue ne le laisserait présager [GROSCLAUDE, 1999]. L'eau est un liquide naturel qui se forme par condensation en altitude, puis elle acquiert son chimisme au cours de son trajet, par dissolution des gaz et absorption des composés solubles et insolubles présents dans l'air. Au sol, elle traverse les formations géologiques perméables, ce qui augmente sa minéralisation par lessivage des roches [ROUABHIA, 2006].

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface [GOUAIDIA, 2008]. La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.) [KHELFAOUI, 2014].

V-1-1/ Échantillonnage et analyse

Le but capital de l'étude hydrochimique est de caractériser le comportement des eaux superficielles et souterraines en interaction avec son environnement (géologique et anthropique) et identifier la qualité de ces eaux et, donc, de déduire probablement sa pollution et ses impacts sur l'environnement du parc d'El Kala.

C'est pour cette raison que nous avons réalisé deux campagnes d'échantillonnage qui correspondent aux périodes des hautes (le mois choisi : mars 2011) et des basses eaux (le mois choisi : juillet 2011). Pour chaque campagne, nous avons mesuré, sur terrain, les quatre paramètres physico- chimiques (le pH, la conductivité électrique, la salinité et la température) grâce à une valise multi- paramètres de terrain de marque WTW pour plus de cent cinquante points d'eau répartis entre puits, sources, oueds, lacs et barrages (Fig.71). En laboratoire, on a procédé à une analyse complète de tous les éléments chimiques majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et certains paramètres organiques (NH_4^+ , P_2O_5 , PO_4^{3-} , O_2). Le DBO_5 , DCO , NO_2^- et NO_3^- ont fait l'objet d'analyse uniquement pour la campagne de juillet 2011. A cet effet, dix-sept (17) échantillons ont été prélevés et analysés dans différents points d'eau et qui sont répartis comme suit :



Figures n°71 : Inventaires des points d'eau analysés répartis dans le PNEK.

- ◆ Huit (08) points de prélèvements au niveau des puits ;
- ◆ Six (06) points de prélèvements au niveau des Oueds ;
- ◆ Deux (02) points de prélèvements au niveau des sources ;
- ◆ Un (01) point de prélèvement au niveau du barrage Mexa.

Les échantillons à analyser ont été recueillis dans des flacons en polyéthylène qui ont été, d'abord, rincés avec de l'eau distillée puis avec de l'eau à échantillonner, ensuite ils ont été remplis jusqu'à débordement, bouchonnés, mis dans une glacière et transportés le plus vite possible vers les laboratoires les plus proches (Laboratoire Fertial, le laboratoire central SEATA et le laboratoire Horizon) situés à Annaba.

Il faut mentionner la diversité lithologique des terrains du parc d'El Kala qui est constituée essentiellement de formations sédimentaires meubles et compactes et par conséquent les eaux souterraines minéralisées, comme pour celles en surface, sont généralement chargées d'éléments chimiques proviennent surtout de certains minéraux constituant ces terrains (Fig.72).

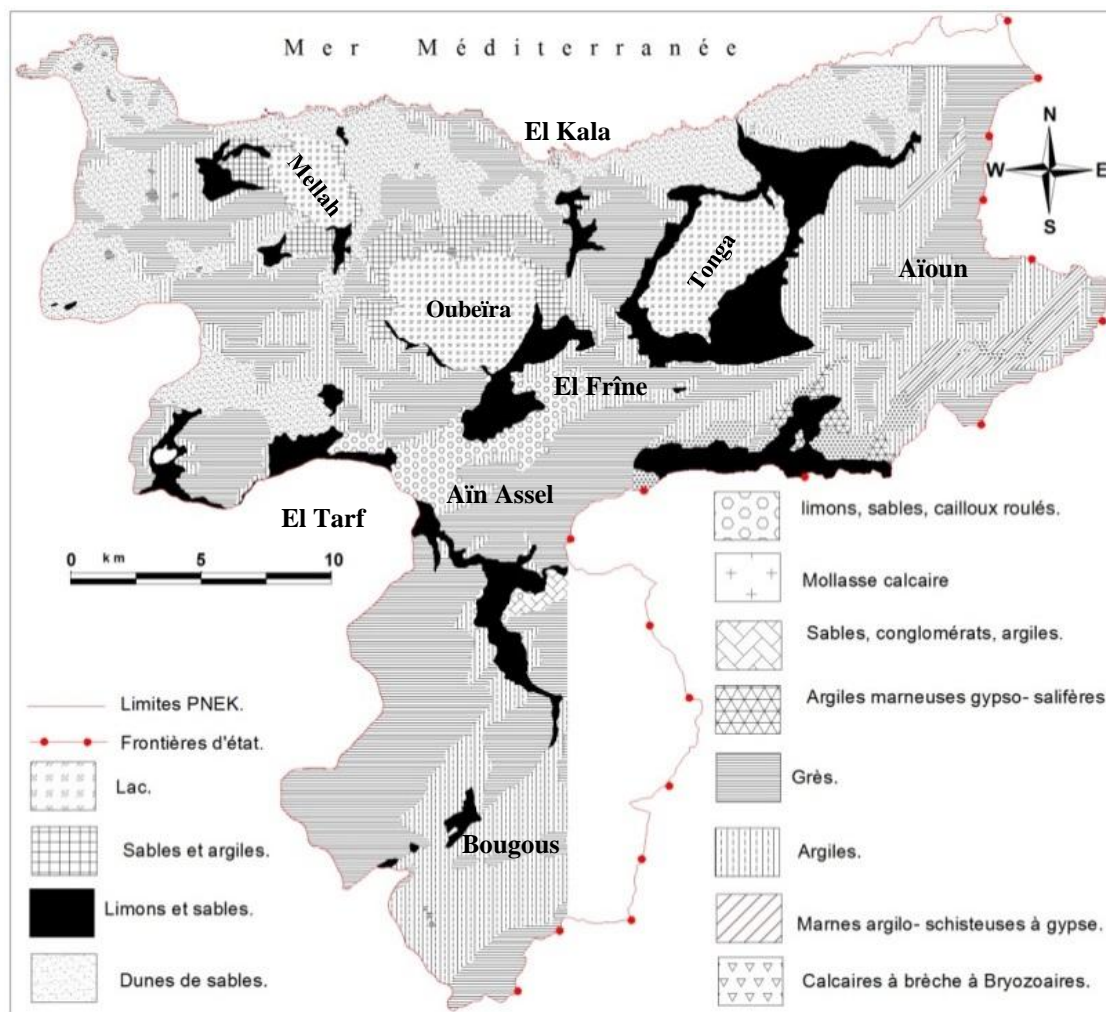


Figure n°72 : Observation des couches lithologiques dans le parc d'El Kala (Voir Figure 25).

V-1-2/ Interprétation des paramètres physico-chimiques

L'étude des paramètres physico- chimiques dans l'eau est nécessaire pour évaluer son comportement dans le milieu traversé et donc sa vulnérabilité au contact des contraintes persistantes. Il faut dire que, pour l'eau, ces paramètres contrôlent l'intensité de sa sensation (goût, odeur, fraîcheur).

Pour les deux campagnes de mesure (mars et juillet 2011), des cartes de distributions spatiales éventuelles des teneurs de ces paramètres physico- chimiques, dans plusieurs points partagés entre les eaux superficielles et souterraines, ont été réalisées et commentées.

V-1-2-1/ Température de l'eau (T)

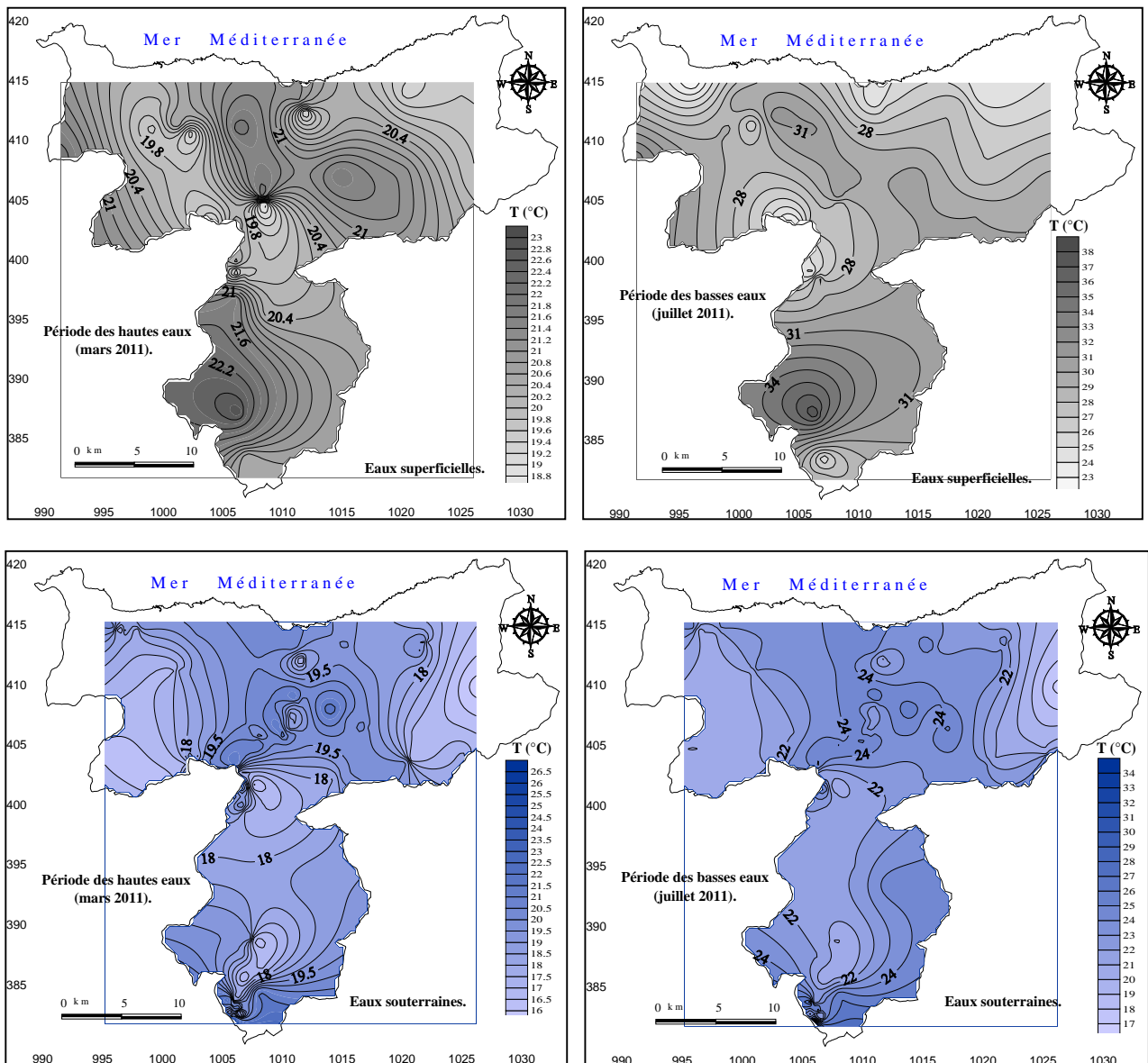
Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle- ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissolution des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. la mesure de la température est à effectuer sur le terrain [RODIER, 1996].

Les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres [BOUZIANI, 2000].

D'après l'OMS (1994), la température de l'eau ne doit pas dépasser les 30°C. En période des hautes eaux, la température des eaux superficielles et souterraines est inférieure à la norme et ne dépasse pas les 27°C. Nous observons que la température des eaux de surface est moins importante que celle des eaux souterraines car, en surface, les eaux sont exposées à une atmosphère hivernale pluvieuse et froide et même l'altitude et l'exposition anthropique influent sur la variation de la température de l'air et donc sur la température des eaux.

Au revanche, les eaux souterraines circulent parfois dans des aquifères à toit et substratum argileux qui représente un isolant thermique inversant le comportement externe de la surface. Certains puits sont exposés directement à l'air atmosphérique et donc la température des eaux étant froide.

En période des basses eaux, le comportement s'inverse et la température des eaux de surface est relativement élevée et dépasse même, dans certains points d'eau, la norme recommandée. Dans certains endroits, la morphologie des courbes reste analogue par rapport à celle des hautes eaux. La température de l'air influe toujours sur la température des eaux en surface et la plus forte valeur atteint les 38°C.



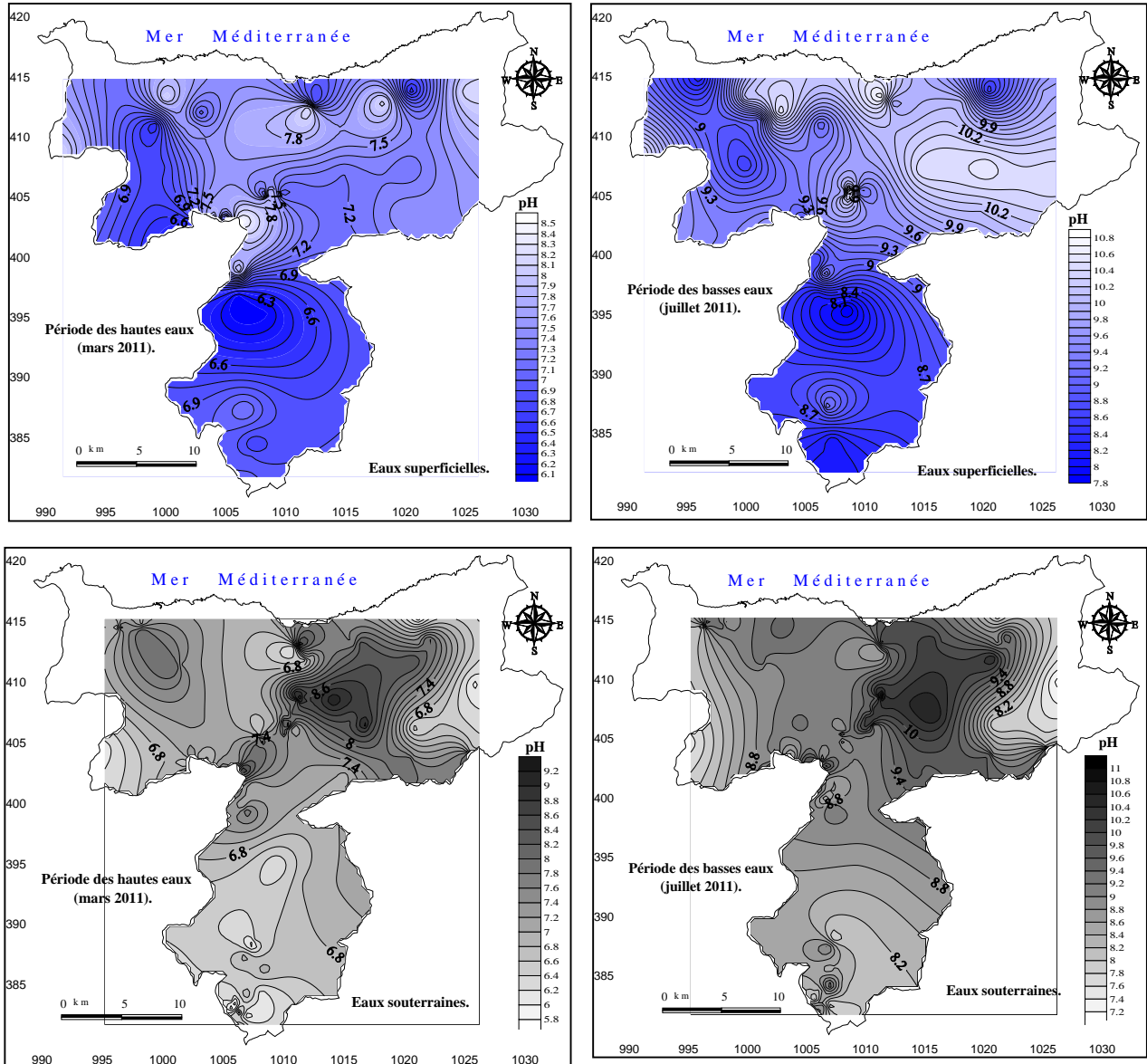
Figures n°73 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale des températures de l'eau (°C).

La température maximale des eaux souterraine arrive à 35°C, cette forte température peut être due parfois à une augmentation du comportement chimique et bactérien dans les eaux (Fig.73).

V-1-2-2/ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (le potentiel d'hydrogène) exprime si l'eau est à réaction acide ou alcaline. Le pH n'a pas de signification hygiène, mais il représente une notion importante dans la détermination de l'agressivité de l'eau, vis-à-vis des métaux. Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 8. Au-dessous de ce seuil, l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations, et peut conduire à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites [BOUZIANI, 2000].

Selon l'OMS (1994), les valeurs du pH doivent être comprises entre 6,5 et 8,5. On voit que, en période des hautes eaux, le pH des eaux de surface est majoritairement normalisé du fait de l'exposition de ces eaux à l'air et aux eaux des pluies acides.



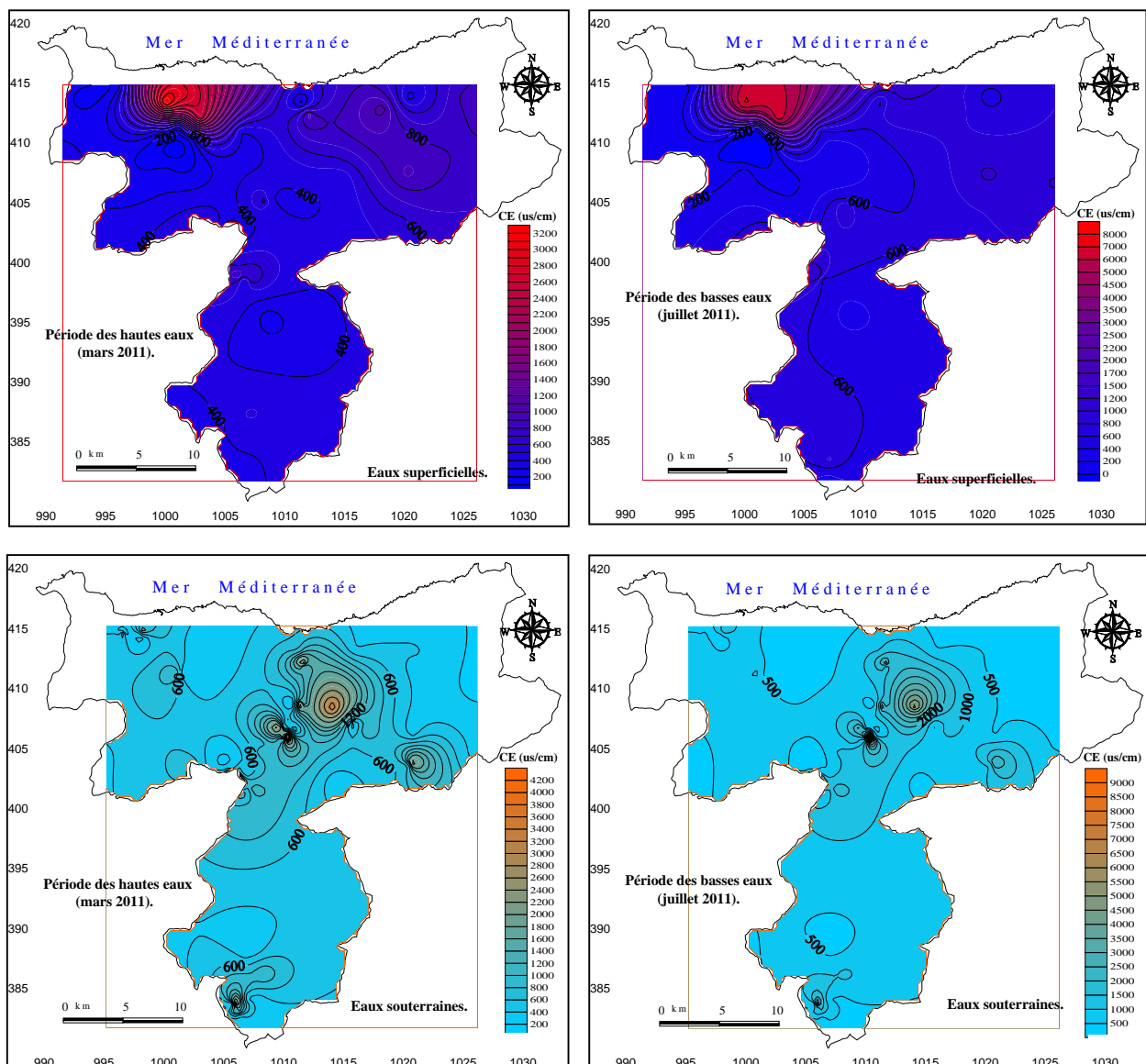
Figures n°74 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale du pH.

Pour les eaux souterraines, le pH tend beaucoup plus vers une acidité (<6,5) alors que son alcalinité est observée au voisinage des agglomérations humaines (rejets domestiques acides et alcalins, l'influence de la végétation, l'utilisation des engrais à bases alcaline et surtout les concentrations chimiques alcalines d'origine géologique). En période des basses eaux, les courbes de la répartition du pH gardent sa morphologie et le comportement des eaux devient plus alcalin mais la majorité des points d'eau reste dans les normes recommandées avec un

pH varie entre 7,8 et 8,8 dans les eaux de surface et 6,4 à 8,6 pour les eaux souterraines. La plus forte valeur du pH, dans les eaux de surface, est de 10,8 alors que la forte valeur du pH, dans les eaux moins profondes arrive à 11,5. Les apports chimiques par lessivage et dissolution des formations géologiques à base alcaline et l'utilisation des engrais dans l'agriculture parfois augmentent le pH surtout dans les eaux souterraines (Fig.74).

V-1-2-3/ Conductivité électrique (CE)

L'eau peut être considérée comme une solution électrolytique, car presque tous ses constituants dissous, majeurs et mineurs, sont présents sous forme ionique. Grace à la présence de ces ions, l'eau devient susceptible de se laisser traverser par un courant électrique [DJIDEL, 2008].



Figures n°75 :Cartes éventuelles de la distribution spatiale des conductivités électriques (uS/cm).

D'après l'OMS (1994), la conductivité électrique de l'eau ne devrait pas dépasser la valeur de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En période des hautes eaux, les valeurs de CE des eaux superficielles et souterraines sont en majorité inférieure à la norme. Nous envisageons que la conductivité électrique des eaux de surface est importante, au Nord, au voisinage du littoral et la forte salinité des eaux du lac Mellah correspond à la plus forte conductivité électrique estimée à 3260 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les valeurs de la conductivité électrique, dans les eaux souterraines, sont comprises entre 156 et 1385 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Un puits à eaux salées a été identifié dans la localité d'El Frîne où sa conductivité est de 7435 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ceci est dû certainement à la présence des formations gypseuses et salifères dans le sous-sol. En période des basses eaux, la conductivité électrique augmente dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface du fait de l'augmentation des sels dessous sous l'influence de l'évaporation des eaux en surface et le lessivage des évaporites dans le sous-sol. La conductivité électrique des eaux du lac mellah atteint la valeur de 7250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alors que la CE du puits à eaux salées arrive à 17180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.75).

V-1-2-4/ Salinité de l'eau (S)

La salinité est définie comme étant la concentration en gramme des sels dessous dans un litre d'eau et elle est exprimée à diverses manières (in situ ou en labo). La salinité est proportionnelle à la conductivité (CE).

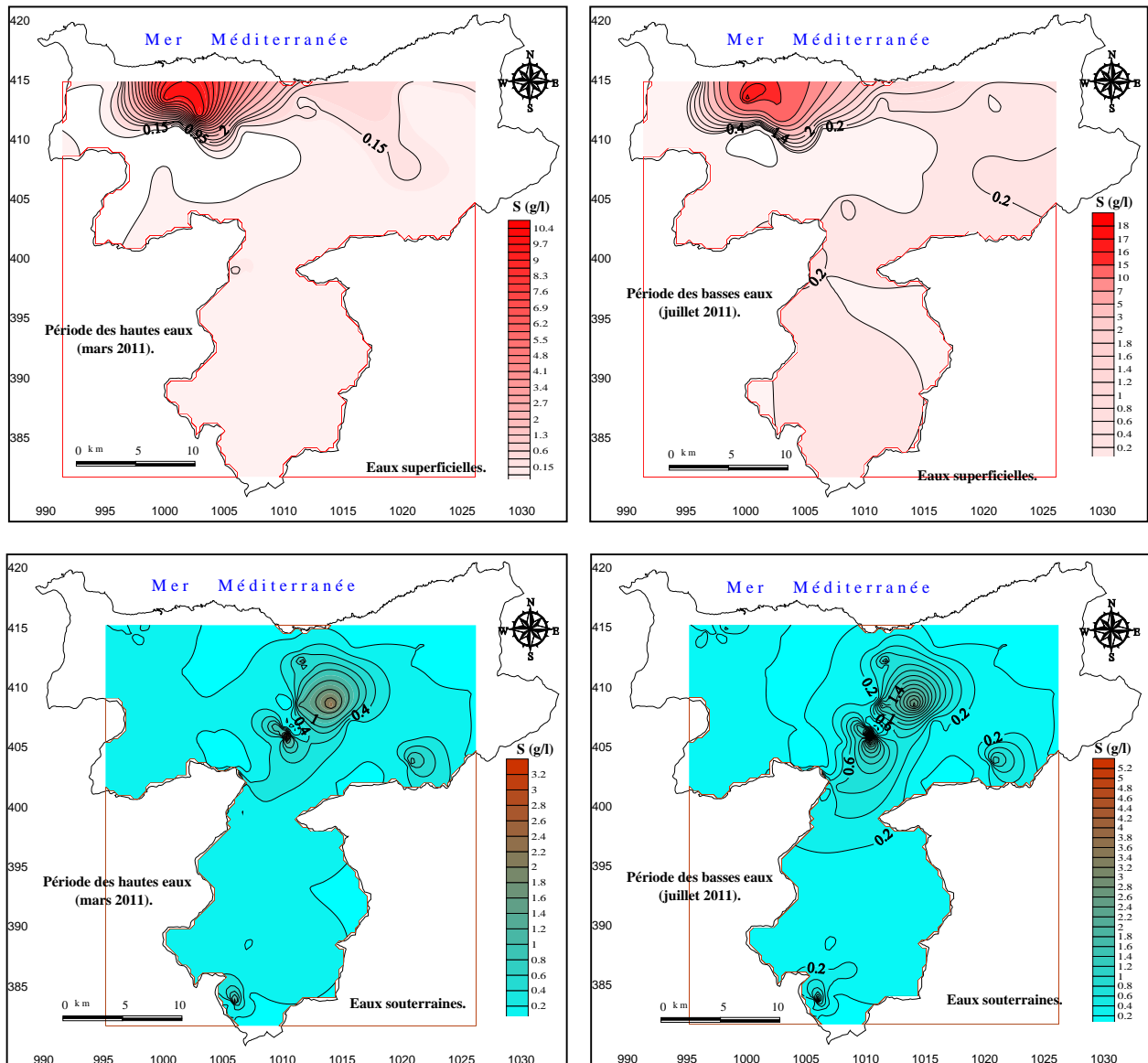
La salinité peut aussi être calculée à partir de la conductivité. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. En effet, le calcul de la minéralisation à partir de la conductivité ne permet pas d'avoir une valeur exacte [RODIER, 1996] :

$$*Minéralisation (mg/l): 688000 \times \text{conductivité à } 20^{\circ}\text{C (S/cm)}.$$

L'observation de la carte de la distribution spatiale de la salinité (Fig.76) en comparaison avec la carte de la conductivité électrique (Fig.75) montre une ressemblance de l'allure des courbes et donc la salinité qui représente la concentration des sels dessous dans l'eau est relative à la conductivité électrique qui représente le déplacement de la charge électrique dans les eaux sous la présence des ions à charge positive et négative.

La salinité des eaux en période des hautes eaux dans la pluralité des eaux souterraines est inférieure à 0,3 g/l, alors que, dans les eaux de surface, la salinité atteint la valeur 2 g/l. En période des basses eaux la salinité augmente pour atteindre la valeur de 10,2 g/l dans le puits à eaux salées et la valeur de 17,6 g/l pour les eaux du lac Mellah. La minéralisation des eaux du fait de la forte évaporation dans les saisons sèches, la dissolution des formations gypseuses et

salifères et les rejets d'origine anthropique sont les causes probables de l'augmentation de la salinité des eaux.



Figures n°76 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale de la salinité des eaux (gr/L).

V-1-3/ Interprétation des éléments chimiques majeurs

L'étude de ces éléments chimiques et leurs concentrations dans l'eau peut nous fournir des indices sur la nature lithologique des milieux traversés par cette eau. La concentration de certains éléments dépend aussi des apports externes climatiques et anthropiques. Les eaux superficielles ou souterraines sont minéralisées du fait des teneurs élevées de certains de ces éléments chimiques et qui peuvent rendre ces eaux indésirables.

Pour les deux campagnes de mesure (mars et juillet 2011), des histogrammes, de la concentration de chaque élément chimique, ont été réalisés et interprétés pour 17 échantillons prélevés (Tab.29) au niveau des eaux de surface et souterraines.

Tableau n°29 : Informations sur les dis- sept échantillons analysés.

Symbole	Localité	Localisation (Lambert)			Lithologie
		X(km)	Y(km)	Z(m)	
P-1	O. Teboul	1021,2	413,3	8	Limons-sables
P-2	R. Souk	1020,5	403,2	128	Argiles- calcaires
P-3	A. Assel	1010,9	408,9	33	Sables- argiles
P-4	O. Hout	1014,1	408,5	5	Sables- limons
P-5	Bougous1	1006,8	387,9	190	Limons- argiles
P-6	Bougous2	1008,9	394,1	90	Argiles
P-7	A. Khiar	1002,4	403,95	48	Argiles
P-8	S. Rguibet	998,25	414,65	11	Sables- argiles
S-A	Aïoun	1025,2	410,25	290	Argiles- grès
S-B	Bou Rdim	995,25	404,65	49	Sables- argiles
O-a	Kala	101,7	412,65	25	Limons- argiles
O-b	Eurg	1021,5	414,4	8	Limons- sables
O-c	Bougous-amont	1006,5	387,3	198	Limons- argiles
O-d	Kebir-Assel	1005,65	399,9	35	Limons
O-e	Aroug	1002	409,7	6	Sables- limons
O-f	Bou Hchicha	1008,3	405	28	Limons
B-M	Mexa	1008,2	395,4	87	Limons- argiles

V-1-3-1/ Notion d'équivalence

Pour un ion en solution, l'équivalent- gramme est la masse de cet ion déchargée sur une électrode par un faraday (96000C). L'équivalent- gramme se calcule en divisant la masse de l'ion considéré par l'électrovalence de cet ion [RODIER, 1996] (Tab.30):

$$Eq = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(40)$$

Tableau n°30 : Détermination de l'équivalent- gramme des éléments chimiques majeur.

Elément chimique	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Masse atomique (M)	40,08	24,31	22,99	39,10	35,45	[1,008+12,01+(16)*3]	[32,07+(16)*4]
Valence (V)	2	2	1	1	1	1	2
Equivalent (Eq)	20,04	12,155	22,99	39,10	35,45	61,018	48,035

Traiter informations, source SEVIN

Les teneurs des constituants des eaux s'expriment le plus souvent en milligramme, d'où le choix du milliéquivalent. Une concentration en milliéquivalent d'un ion donné se calcule en divisant le chiffre de sa concentration en milligramme C par le rapport précédent [RODIER, 1996]:

$$C \text{ en Meq} = \frac{c \left(\frac{mg}{l} \right)}{\frac{M}{V}} = c \left(\frac{mg}{l} \right) \times \frac{V}{M} \dots\dots\dots(41)$$

Les résultats d'analyses chimiques des éléments majeurs ont été interprétés sous forme d'histogrammes dont les concentrations obtenues ont été permutées en milliéquivalent-gramme par litre.

V-1-3-1-1/ Fiabilité des résultats

Le travail analytique étant terminé, il convient de présenter les résultats de telle façon qu'ils soient directement utilisables par le lecteur. Les résultats qui suivent le long travail systématique de l'analyse de l'eau comportent une certaine marge d'incertitude tant du point de vue qualitatif que quantitatif. Mis à part les seuils de détection des méthodes utilisées, le problème qui se pose à l'analyste repose principalement sur l'approximation du résultat chiffré qu'il a obtenu. Une fois les limites de confiance connues, il cherchera à éliminer les erreurs grossières tout en tenant compte de celles liées à la technique analytique elle-même comme l'action des interférences, la sensibilité de l'appareil de mesure, l'habitude de l'opération, etc. [RODIER, 1996].

V-1-3-1-2/ Balance ionique

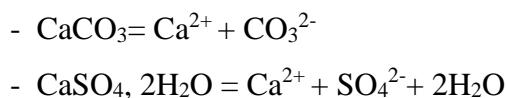
Le calcul de la balance ionique (BI) nous permet de déterminer le pourcentage d'erreurs des échantillons d'eaux analysés en se basant sur la formule suivante [DJABRI, 1996] :

$$BI = \frac{(\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions})}{(\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions})} \times 100\% \dots \dots \dots (42)$$

Pour que les analyses soient fiables et acceptables, il est important que le pourcentage d'erreur soit inférieur à 6%. Après avoir calculé la balance ionique des échantillons d'eau analysés, nous avons constaté qu'ils ont tous une BI inférieure à 6%, ce qui nous permettra de les traiter pour la détermination des faciès.

A/ Calcium (Ca²⁺)

La présence d'ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, à savoir la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) et la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄), selon les réactions suivantes [SEGHIR, 2008] :



D'après la figure n° 77, nous pouvons dire que la pluralité des échantillons d'eau analysés présente des concentrations inférieures à la norme de potabilité recommandée par l'OMS (160 mg/l-7,98 Meq/l). Seulement un échantillon, qui symbolise les eaux souterraines, indiquent une concentration supérieure à la norme et cela en période des basses eaux. Ces deux puits se situent à l'Est du parc d'El Kala où ces concentrations sont éventuellement dues à la présence de formations carbonatées ou aussi gypseuses dans le sous-sol. Pour les eaux superficielles,

et au niveau du barrage de Mexa, l'accroissement de la concentration en calcium est probablement liée aux apports d'eau des formations carbonatées présentes dans le secteur.

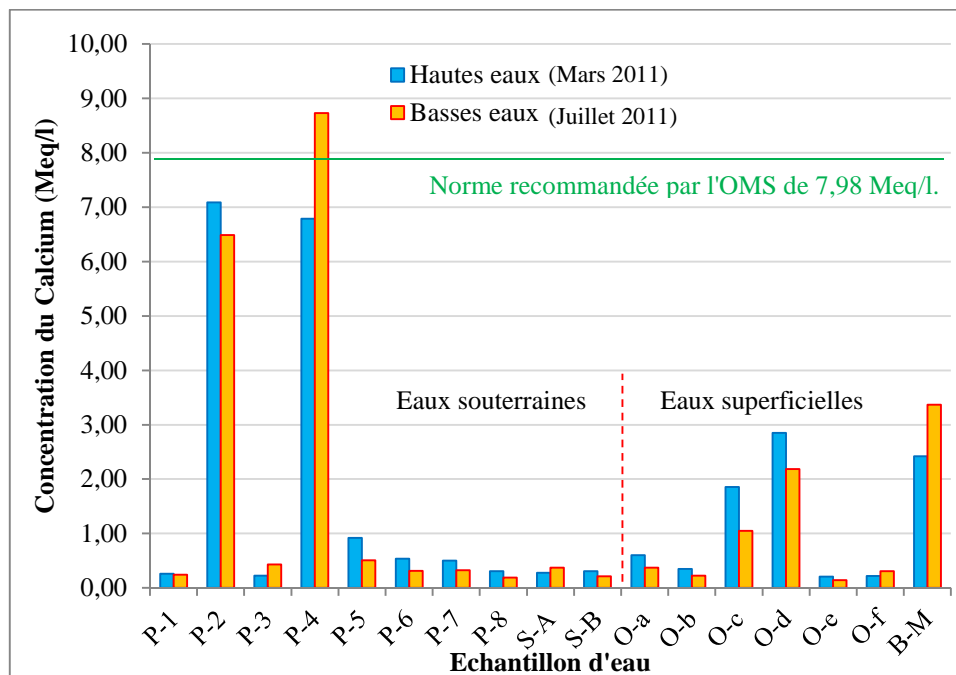


Figure n°77 : Histogramme de la concentration du calcium - Ca^{2+} - dans les eaux (Meq/l).

En période des basses eaux (fortes évaporation), ces concentrations diminuent surtout pour les eaux de surface où nous pouvons parler des apports atmosphériques riches en Ca^{2+} pour les échantillons proches du littoral (en hiver) et aussi de la décomposition de la matière organique ruisselée et diluée dans les oueds ou les nappes.

B/ Magnésium (Mg^{2+})

Ses origines sont comparables à celle des calciums car il provient [DJIDEL, 2008] :

- Soit de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) ;
- Soit des formations salifères riches en magnésium (MgSO_4).

D'après la figure n° 78, nous pouvons dire que la majorité des échantillons d'eau indiquent des teneurs inférieures à la norme de potabilité recommandée par l'OMS (50 mg/l-4,11 Meq/l). Seulement les mêmes échantillons (P₂ et P₄) montrent des concentrations supérieures à la norme. La présence des formations carbonatées ou salifères riches en magnésium sont parmi les causes probables de ces fortes concentrations. Pour la plupart des échantillons d'eau, les concentrations ne dépassent pas les 10 mg/l

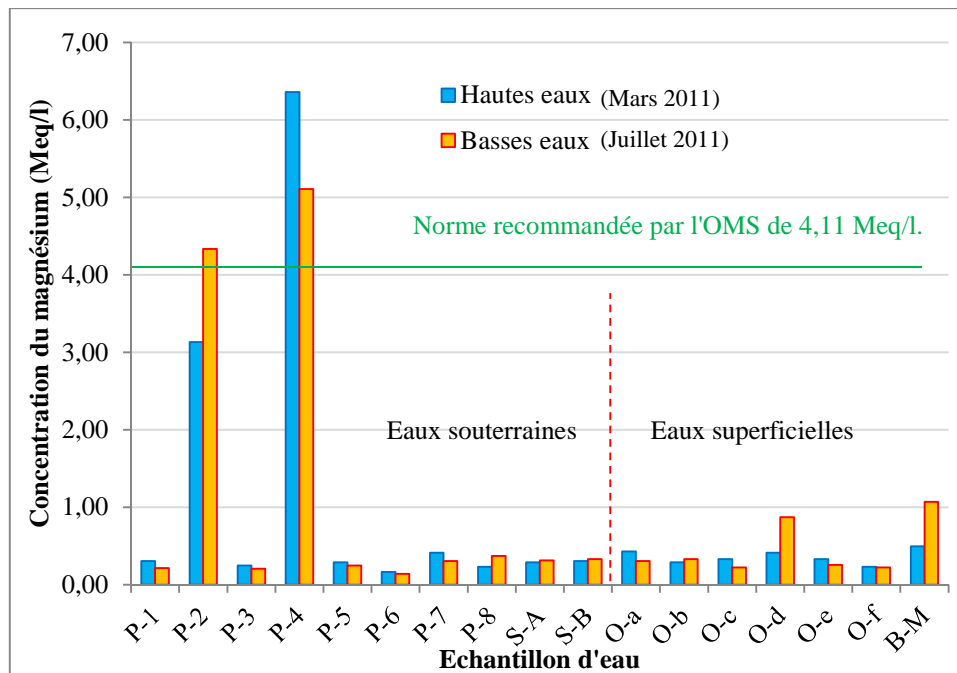


Figure n°78 : Histogramme de la concentration du magnésium - Mg²⁺ - dans les eaux (Meq/l).

C/ Sodium (Na⁺)

Le sodium est souvent présent dans les eaux naturelles. En proportions très variables, il provient [SAADALI, 2007] :

- 1* De l'altération des minéraux silicatés, échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques ;
- 2* Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques qui augmentent aussi les concentrations en sodium ;
- 3* Apports atmosphériques.

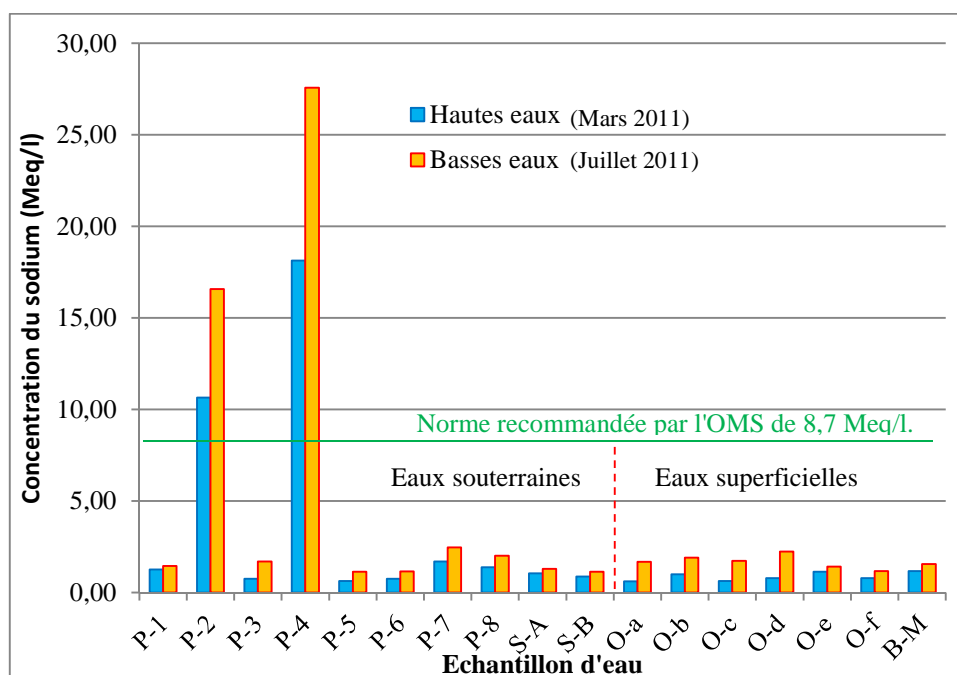


Figure n°79 : Histogramme de la concentration du sodium - Na⁺ - dans les eaux (Meq/l).

D'après la figure n° 79, nous remarquons que la plupart des échantillons d'eau présentent des teneurs inférieures à la norme recommandée par l'OMS (200 mg/l-8,7 Meq/l) et ne dépassent pas les 50 mg/l. Les mêmes échantillons (P₂ et P₄) montrent des teneurs supérieures à la norme.

Nous pouvons remarquer aussi que la concentration de tous échantillons analysés augmente en période des basses eaux et nous pouvons lier cette augmentation à la présence des argiles qui, par l'échange de base avec d'autres éléments chimiques, permettent la libération de quantités de Na⁺ dans les eaux. Il faut aussi signaler l'importance des rejets des eaux usées domestiques et agricoles qui peuvent avoir une relation avec cette augmentation.

D/ Potassium (K⁺)

Le potassium provient généralement de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) [SEGHIR, 2008]. D'après la figure n° 80, nous apercevons que tous les échantillons d'eau présentent des teneurs inférieures à la norme recommandée par l'OMS (12 mg/l-0,31 Meq/l). Dans les eaux souterraines, les concentrations les plus élevées correspondent aux puits P₂ et P₄ qui sont connus comme des eaux minéralisées et la présence du K⁺ peut être liée à la lithologie des terrains argileux et salifères riche en potassium.

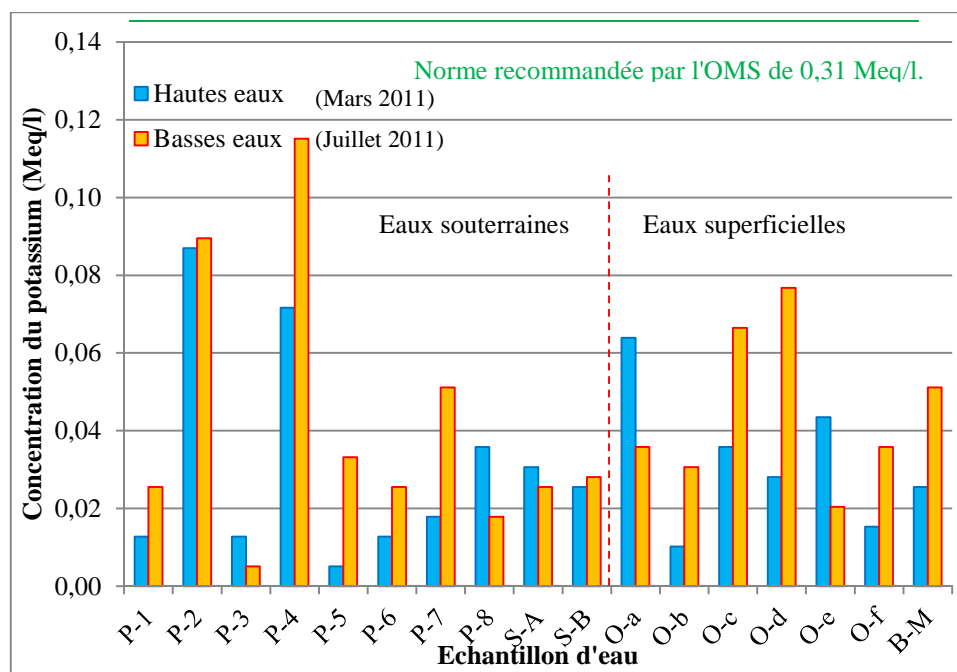


Figure n°80 : Histogramme de la concentration du potassium - K⁺- dans les eaux (Meq/l).

Concernant les eaux superficielles, les plus fortes concentrations sont situées à l'oued El Kebir Est vers Aïn El Assel et il est possible que l'utilisation des engrais chimique (NPK) dans l'agriculture et des eaux usées déversées dans le milieu étant une cause vraisemblable de la présence du potassium.

E/ Chlorures (Cl⁻)

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères, et secondairement aux rejets d'eau usée déversées dans le canal [DJIDEL, 2008].

D'après la figure n° 81, nous pouvons dire que la pluralité des points d'eau indique des concentrations inférieures à la norme de potabilité recommandée par l'OMS (250 mg/l-7,05 Meq/l). Les deux échantillons, situés à l'Est du parc, montrent les fortes teneurs en chlorures supérieures à la norme.

Il faut signaler que les variations des chlorures des eaux coïncident avec celles des sodiums et donc une liaison possible existait entre ces deux éléments, nous pouvons dire que l'influence géologique par la présence des formations salifères (Halite :NaCl) puisse être l'une des causes de l'accumulation de cette élément. Outre, ces concentrations se haussent, en juillet 2011, pour tous les échantillons et donc deux hypothèses peuvent être évoquées, l'augmentation de la salinité du fait de l'évaporation atmosphérique et les rejets d'eaux usées contenant des chlorures dans la nature.

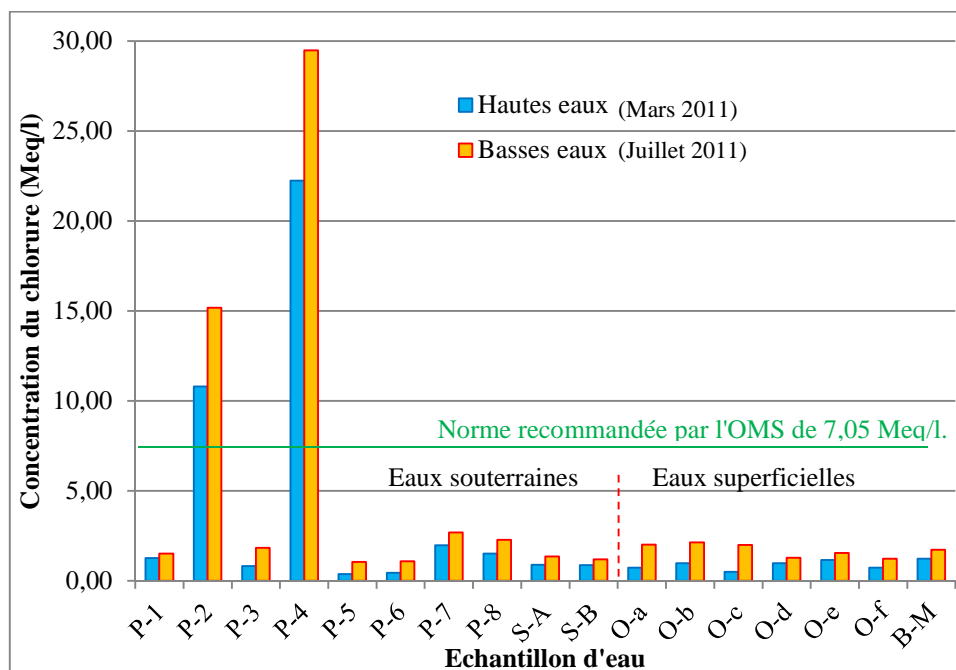
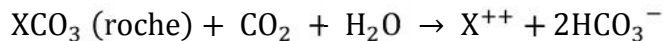


Figure n°81 : Histogramme de la concentration des chlorures - Cl⁻ dans les eaux (Meq/l).

Les ions des chlorures possèdent des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, ils ne sont pas adsorbés par les formations géologiques, ne se combinent pas facilement avec les éléments chimiques et restent très mobile. Ils constituent un bon indicateur de la pollution [GOUAIDIA, 2008].

F/ Bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates représentent le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale [SAADALI, 2007] :



Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont fonction : du pH de l'eau, de la température, de la concentration en CO_2 dissous et de la nature lithologique.

D'après la figure n° 82, nous pouvons dire que, pour les eaux souterraines, les échantillons présentent des faibles concentrations en HCO_3^- ne dépassant pas les 80 mg/l, soit 1,31 Meq/l. Seulement pour les deux échantillons (P_2 et P_4), les concentrations dépassent les 240 mg/l (3,93 Meq/l), ce qui nous laisse supposer que ces eaux parcourent des terrains carbonatés.

Concernant les eaux superficielles, deux échantillons se comportent de la même façon mais à différentes concentrations et se situent dans la même localité. Pour l'oued El Kebir (O-d) et le barrage de Mexa (B-M), ces fortes concentrations en HCO_3^- peuvent correspondre au lessivage et dissolution des terrains carbonatés traversés par ces eaux et qui augmentent dans la période des basses eaux. Contrairement à l'échantillon (O-c), situé en amont de la ville de Bougous où la concentration en bicarbonate diminue dans la période des basses eaux.

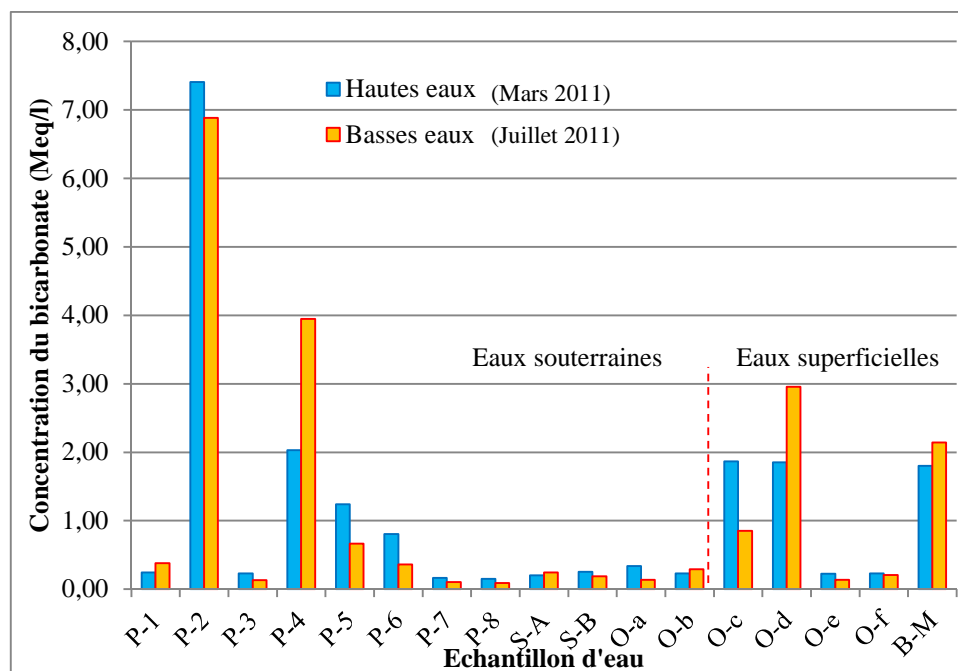


Figure n°82 : Histogramme de la concentration des bicarbonates – HCO_3^- - dans les eaux (Meq/l).

G/ Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des ions de sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses. Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. D'une part, des pesticides provenant des eaux d'irrigation [DJIDEL, 2008].

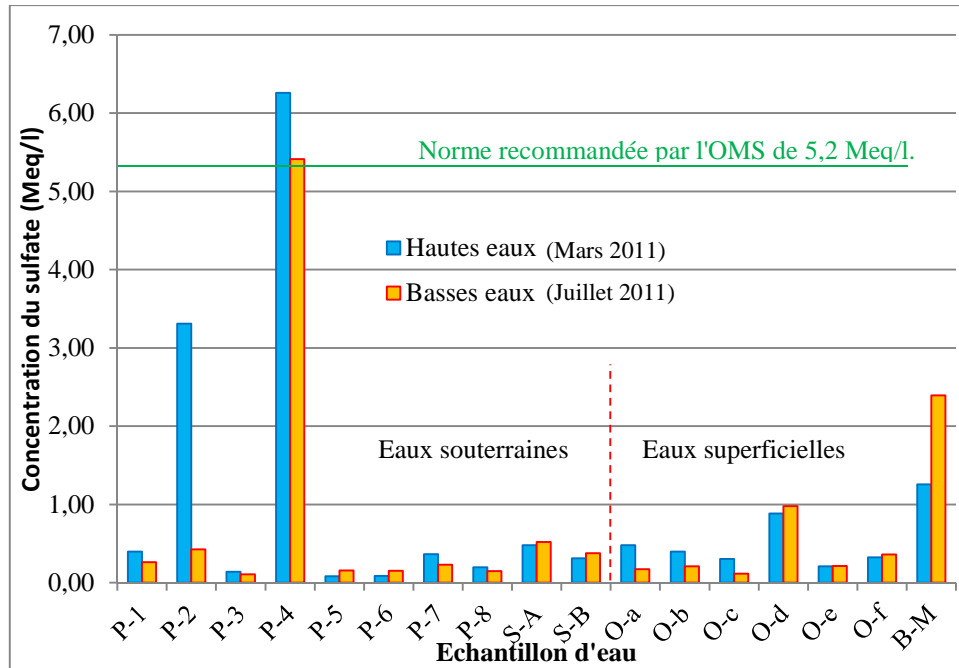


Figure n°83 : Histogramme de la concentration des sulfates – SO_4^{2-} - dans les eaux (Meq/l).

D'après la figure n° 83, la répartition des faibles concentrations en sulfates s'observent dans la majorité des échantillons d'eau et ne dépassent pas les 20 mg/l (0,42 Meq/l). D'après l'OMS, les teneurs en SO_4^{2-} dans les eaux ne devraient pas dépasser les 250 mg/l, soit 5,2 Meq/l. Le seul échantillon qui dépasse cette norme est celui du Puits P₄ qui passe de 6,26 Meq/l en mars à 5,41 Meq/l en juillet 2011. Le faible intervalle entre ces deux valeurs nous permet de dire que l'origine est plutôt géologique par la présence de formations gypseuses proche du point d'eau. Pour l'échantillon P₂, nous pouvons observer la diminution importante dans les concentrations en sulfates qui passent de 3,31 Meq/l en mars 2011 à 0,43 Meq/l en juillet 2011. Nous pouvons supposer que les eaux profondes parcourent des formations gypseuses et se chargent en sulfate et le transportent le long de son parcours vers un point donné. Les fortes concentrations des sulfates dans les eaux de surface sont observées dans les mêmes échantillons (O-d et B-M) où elles se haussent en période des hautes eaux (apports possibles des pesticides).

V-1-3-2/ Détermination des faciès hydrochimiques

Les faciès hydrochimiques, d'après Jaeckli (1970), sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles [GOUAIDIA, 2008].

La détermination des faciès hydrochimiques repose sur la classification des éléments chimiques majeurs, convertis (du milligramme par litre en milliéquivalent-gramme par litre) et traités (balance ionique), en tenant compte des méthodes de classification des ions (formule ionique) et sous forme de graphes (Piper et Stiff).

V-1-3-2-1/ Formule ionique

Le principe de cette méthode est de classer les éléments chimiques majeurs cationiques (Ca^{2+} - Mg^{2+} - Na^+ - K^+) et anioniques (Cl^- - HCO_3^- - SO_4^{2-}), représentés en milliéquivalent-gramme par litre, en tenant compte de la concentration élevée, soit pour les cations ou pour les anions, dans la nomenclature d'un faciès.

Les résultats de la classification des faciès hydrochimiques selon la formule ionique ont été reportés dans le tableau n°31. Nous pouvons constater à partir du tableau n°31 que le cation dominant, pour la pluralité des échantillons d'eau, correspond au sodium (Na^+) suivi par le calcium (Ca^{2+}) alors que l'anion dominant est les chlorures (Cl^-) succédé par les bicarbonates (HCO_3^-).

Deux faciès hydrochimiques ont été identifiés. Le premier faciès, et qui est le plus dominant pour la majorité des points d'eau, est le faciès chloruré sodique et son comportement ne change pas en période des basses eaux (P₁ / P₂ / P₃ / P₄ / P₇ / P₈ / S-A / S-B / O-a - O-b / O-e / O-f). Le second faciès est le faciès bicarbonaté calcique, son comportement reste stable seulement pour l'échantillon B-M (Mexa). Par contre, en période des basses eaux, il change soit en chloruré sodique (P₅ / P₆ / O-c) ou en bicarbonaté sodique pour l'échantillon O-d.

V-1-3-2-2/ Interprétation graphique de Piper

Le diagramme triangulaire de Piper est l'une des méthodes permettant de déterminer les faciès hydrochimiques de nombreux échantillons d'eau simultanément. Ce diagramme est constitué d'un losange qui assemble le faciès hydrochimique typique placé entre deux triangles, l'un pour la représentation des faciès cationiques et l'autre pour les faciès anioniques.

Sur le diagramme de Piper nous interprétons les résultats d'analyses chimiques des eaux superficielles et souterraines pour les deux périodes de mesure (mars et juillet 2011) et faire ressortir les faciès qui dominent dans le territoire du parc d'El Kala :

A/ Pour les eaux superficielles

Nous pouvons remarquer que les échantillons d'eau de surface (Fig.85), en période des hautes eaux, se partagent entre deux pôles, le premier correspond au faciès chloruré sodiques, le second représente le faciès bicarbonaté calcique. Certains échantillons (Oa par exemple) indiquent un positionnement, soit dans le triangle des cations ou des anions, neutre (non dominant) et donc ils peuvent se pencher vers l'un des deux pôles mentionnés.

En période des basses eaux, les échantillons se concentrent nettement vers le pôle à faciès chloruré sodique ; un seul échantillon se place dans le pôle à faciès bicarbonaté calcique où un autre échantillon (B-M) peut s'incliner vers ce pôle.

B/ Pour les eaux souterraines

Nous pouvons apercevoir que la majorité des échantillons d'eaux souterraines (Fig.86), en période des hautes eaux, se concentrent dans le pôle à faciès chloruré sodique. Seulement un seul échantillon (P5) se positionne dans le pôle à faciès bicarbonaté calcique.

En période des basses eaux, nous voyons que tous les échantillons s'accumulent vers un seul pôle qui représente le faciès chloruré sodique.

Par conséquent, nous pouvons dire que tous les échantillons d'eau répartis dans le territoire du parc d'El Kala se caractérisent par un faciès dominant chloruré sodique. Un autre faciès moins abondant est celui du faciès bicarbonaté calcique caractérise beaucoup plus les eaux superficielles. La dominance des argiles et la présence des formations carbonatées, salifères et gypseuses dans certains endroits peuvent être l'une des causes de la concentration de ces éléments chimiques dans les eaux.

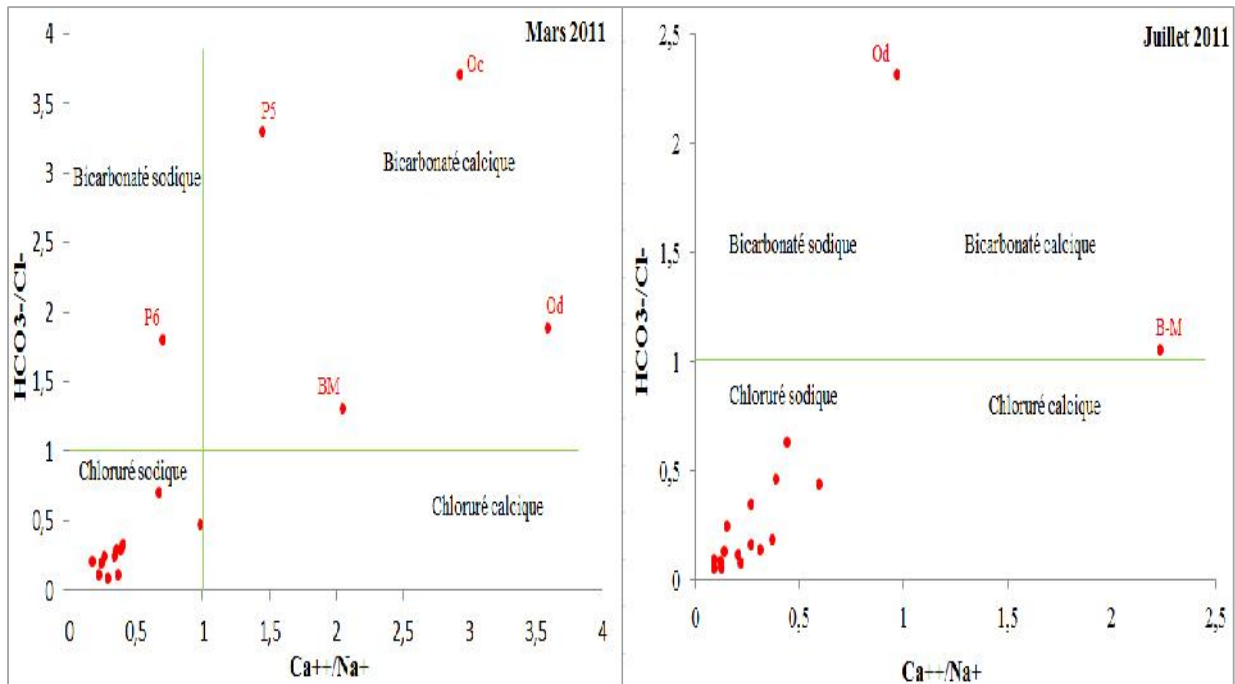
Nous pouvons aussi évoquer l'emplacement de la région d'étude par rapport au littoral (eaux salées) et les activités humaines exercées sur le sol et le sous- sol (eaux usées, engrais et pesticides) qui peuvent être aussi des causes probables de la minéralisation des eaux.

V-1-3-2-3/ Evolution des faciès chimiques (rapports de concentrations)

Elle correspond aux rapports entre deux cations et deux anions suivant la dominance de ces éléments chimiques dans les eaux analysées. C'est qu'à partir de la formule ionique qu'on a pu constater la présence de trois faciès chimiques (Hautes et basses eaux) et qui sont : le

chloruré sodique, le bicarbonaté calcique et le bicarbonaté sodique et vérifiant la supériorité de quatre éléments chimiques : Ca^{2+} - Na^+ - HCO_3^- - Cl^- .

Deux rapports sont évolués et qui vont nous permettre de déterminer les faciès chimiques des eaux traitées. On a utilisé les rapports $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^-$ et $\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$ qui nous permettent la réalisation du diagramme caractéristique (Fig.84) des faciès dominants.



Figures n°84 : Evolution et distribution des faciès hydrochimiques.

L'interprétation de ce diagramme (Fig.84) montre que l'agglomération des rapports d'ions en un seul faciès celui du chloruré sodique et qui caractérise le faciès dominant dans les eaux ; deux autres faciès, représentant, en période des basses eaux, pour chacun un seul échantillon, qui sont le bicarbonaté sodique et le bicarbonaté calcique. Il faut noter l'absence du faciès chloruré calcique dans le graphe.

V-1-3-2-4/ Interprétation graphique de Stiff

Le diagramme de Stiff nous permet de déterminer le faciès chimique des eaux en visualisant chaque échantillon d'eau par un polygone dessiné suivant deux repères, l'un horizontal exprimant les concentrations en milliequivalent-gramme par litre, et un autre vertical où on a les anions à sa droite et les cations à sa gauche. Nous pouvons maintenant confirmer, d'après le diagramme de Stiff (Fig. 87), que la pluralité des échantillons d'eau, souterraines et superficielles, sont caractéristiques d'un faciès chloruré sodique (dominant) ; seulement un échantillon d'eau de surface (B-M) se fixe sur un faciès bicarbonaté calcique.

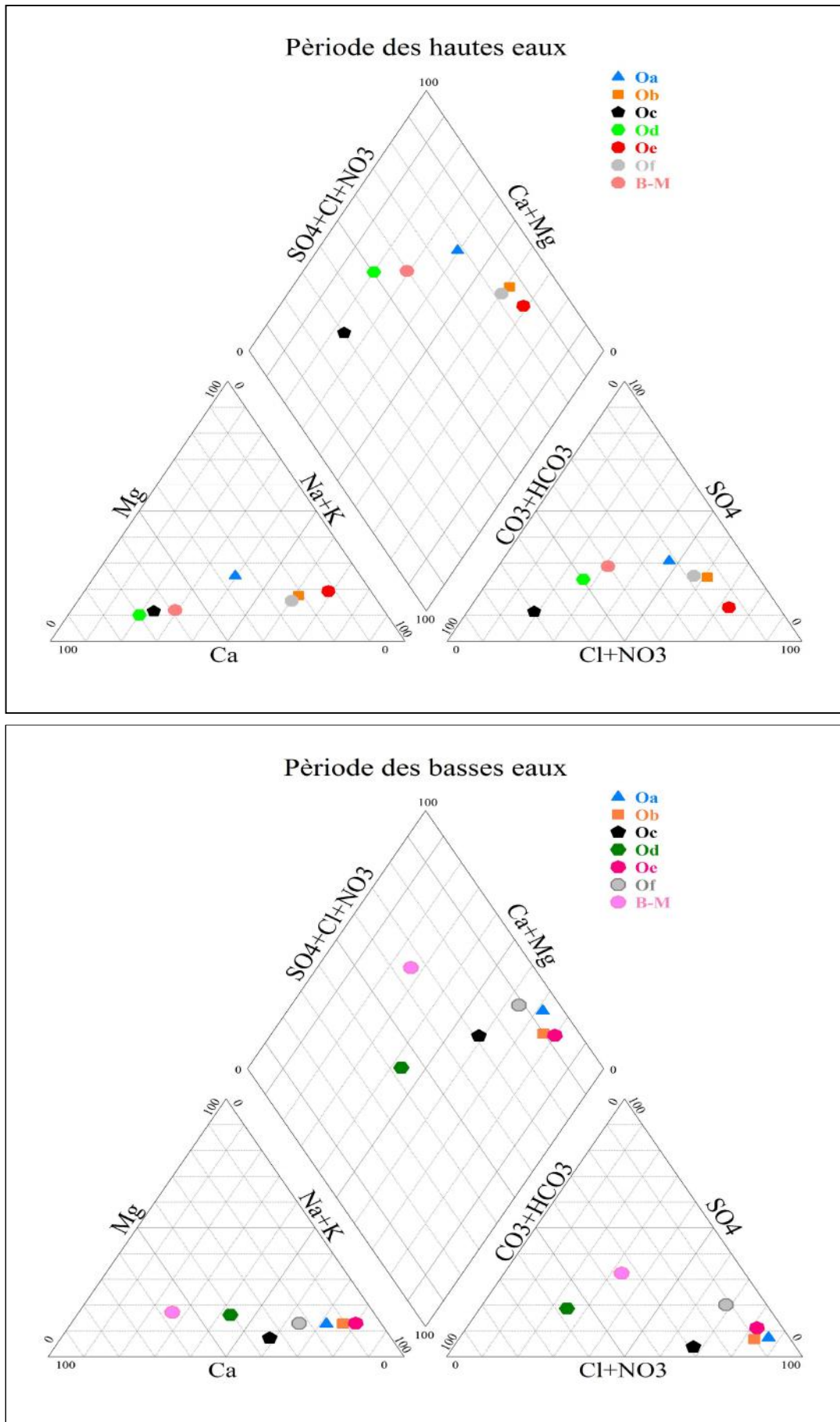


Figure n°85 : Faciès chimiques des eaux superficielles selon le diagramme de Piper (2011).

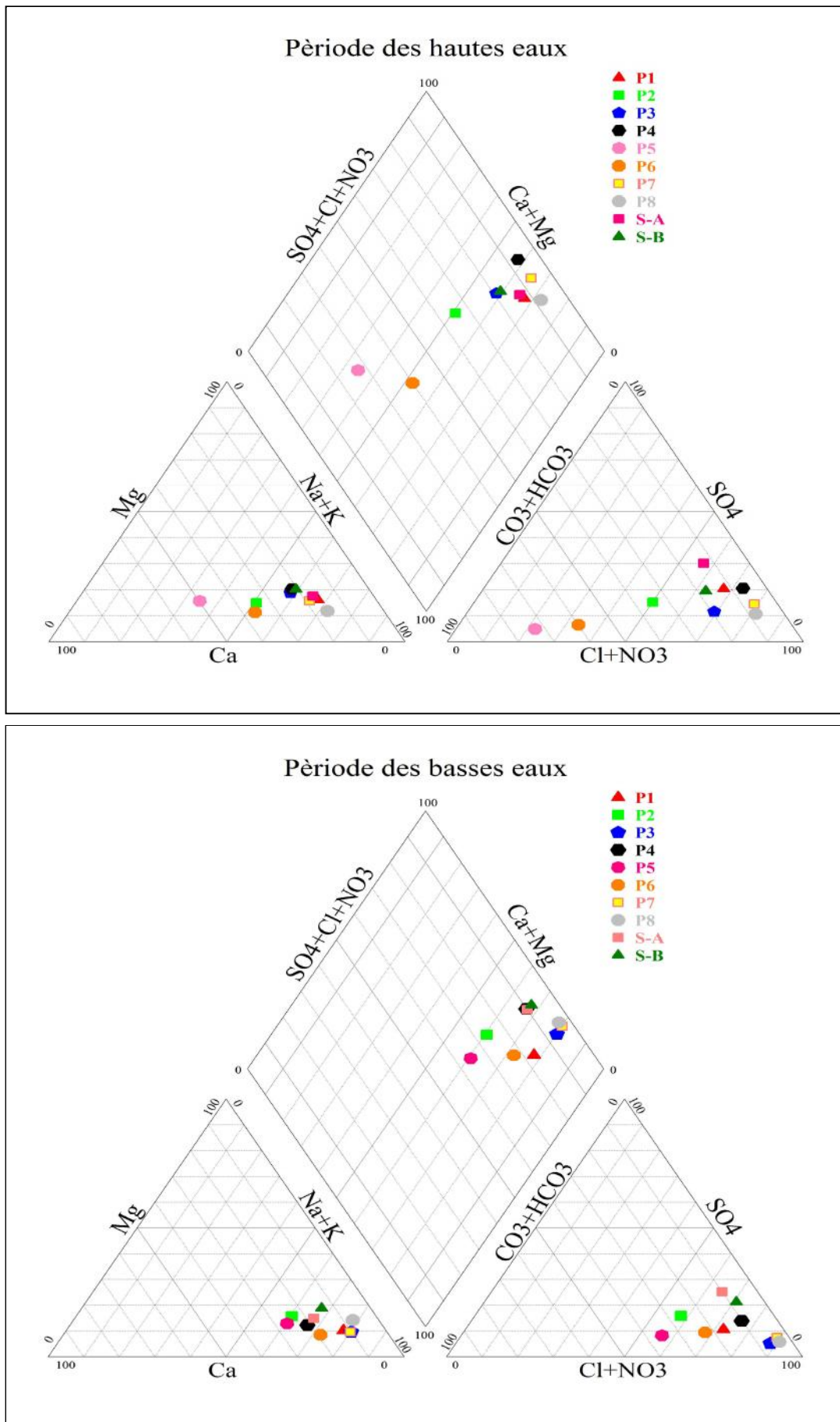


Figure n°86 : Faciès chimiques des eaux souterraines selon le diagramme de Piper (2011).

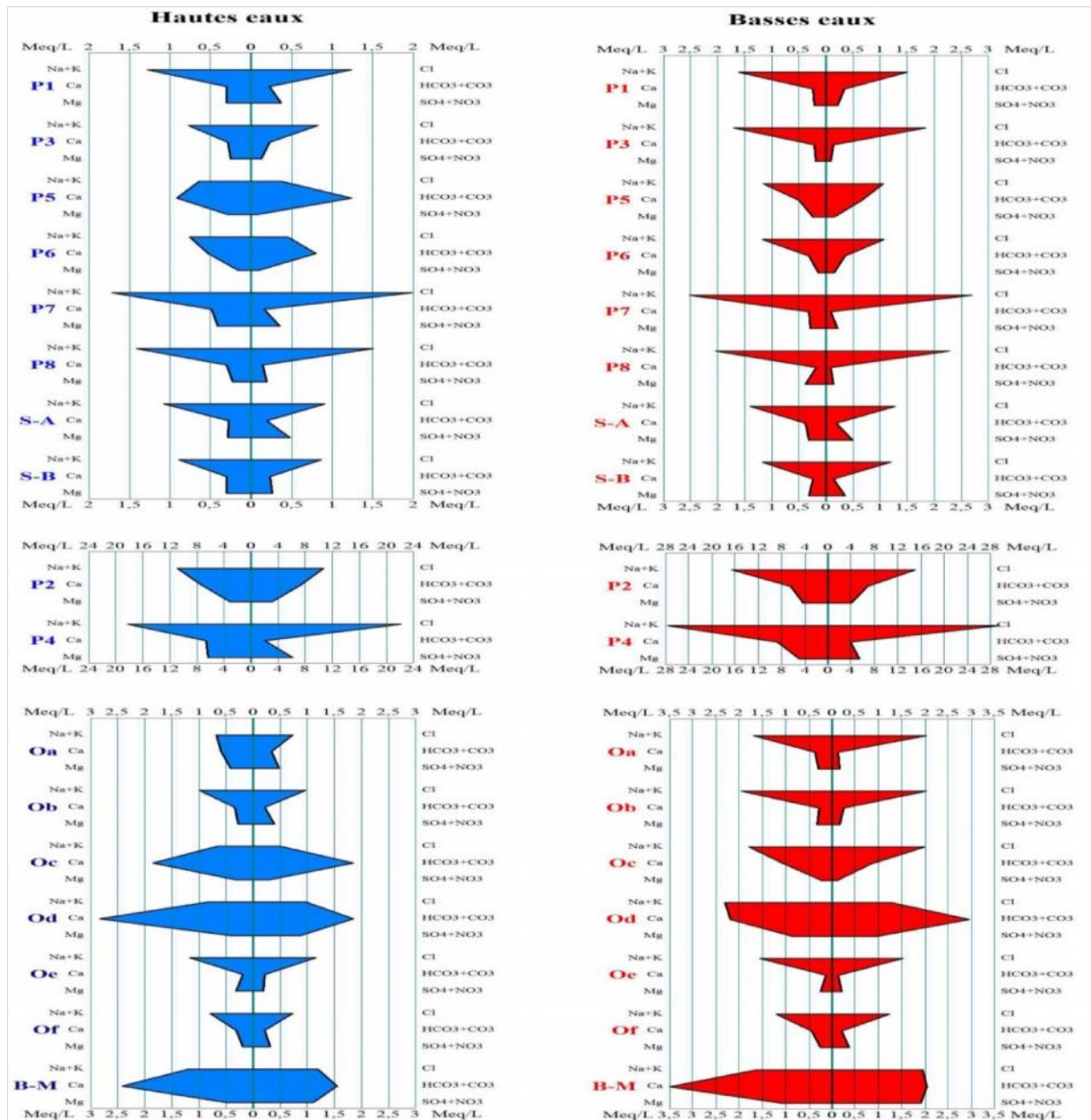


Figure n°87 : Faciès chimiques des eaux souterraines d'après le diagramme de Stiff (2011).

V-1-3-3/ Origine des éléments chimiques

Les eaux en surface ou en profondeur dépendent directement des précipitations atmosphériques. Les pluies, une fois qu'elles atteignent le sol, s'écoulent en surface (oueds, lacs) ou s'infiltrent dans le sous-sol (nappe phréatique). La vitesse d'écoulement et le temps de séjour favorisent le lessivage et la dissolution des formations géologiques préexistantes et donc la livraison de quantités importantes d'éléments chimiques. Les eaux sont dites minéralisées. D'autres phénomènes peuvent influencer sur la minéralisation des eaux ; l'évaporation en période de sécheresse, l'intrusion marine, les activités anthropiques et les conséquences qui les escortent.

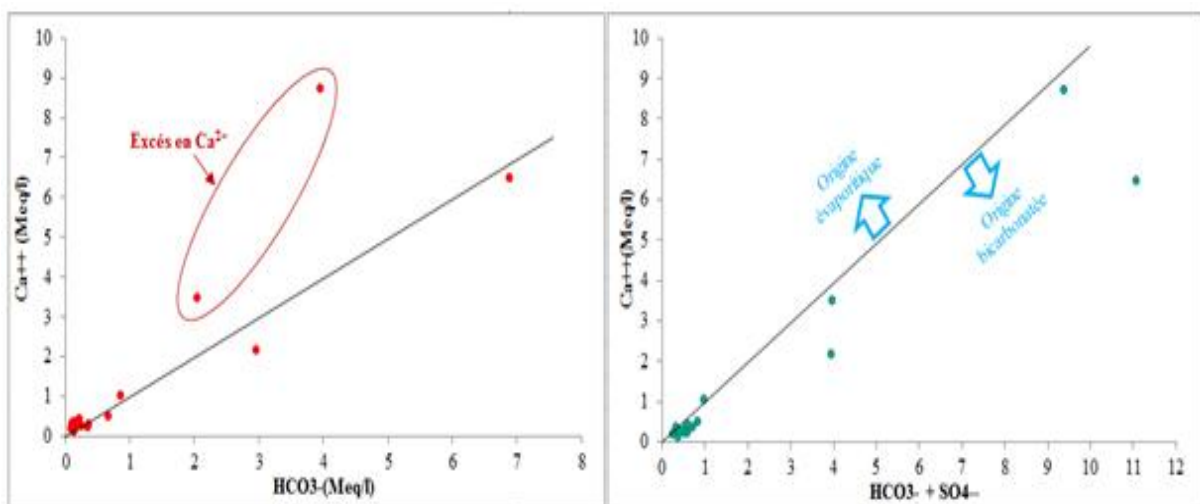
Les propriétés physico- chimiques des eaux, souterraines que superficielles, sont en liaison étroite avec la nature des minéraux qui forment les roches. Dans la région d'étude, des formations lithologiques affleurent en surface et se prolongent en profondeur ; on cite des calcaires (de l'Eocène et du Sénonien) qui peuvent donner le faciès dominé par les ions du Ca^{2+} et HCO_3^- , des argiles (de Numidie), des marnes (de l'Eocène), les formations salifères et gypseuses (du Pontien) qui peuvent donner des faciès dominés par les ions de Na^+ , de Cl^- , SO_4^{2-} et beaucoup moins du Ca^{2+} et ce par lessivage, par échange de base et aussi par évaporation. En se basant sur l'interprétation des rapports des concentrations entre les différents éléments mesurés, on va tenter de déterminer l'origine vraisemblable de ces éléments chimiques analysés.

V-1-3-3-1/ Rapports des concentrations

Certaines corrélations existantes entre les éléments chimiques permettent de montrer leur origine géologique. En se basant sur les données de la période des basses eaux, plusieurs graphes de couples chimiques ont été interprétés et qui correspondent aux cation et anions qui prédominent les faciès hydrochimiques.

A/ Graphique : Calcium / rapport bicarbonates et sulfates

Le calcium, dans la nature, provient soit de la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ou gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Deux graphes ont été réalisés pour évaluer les concentrations du calcium par rapport au bicarbonate et aussi par rapport à la concentration des deux anions de bicarbonates et de sulfates qui sont normalement liés à cet élément chimique (Fig.88).



Figures n°88 : Origine du calcium dans les eaux (juillet 2011).

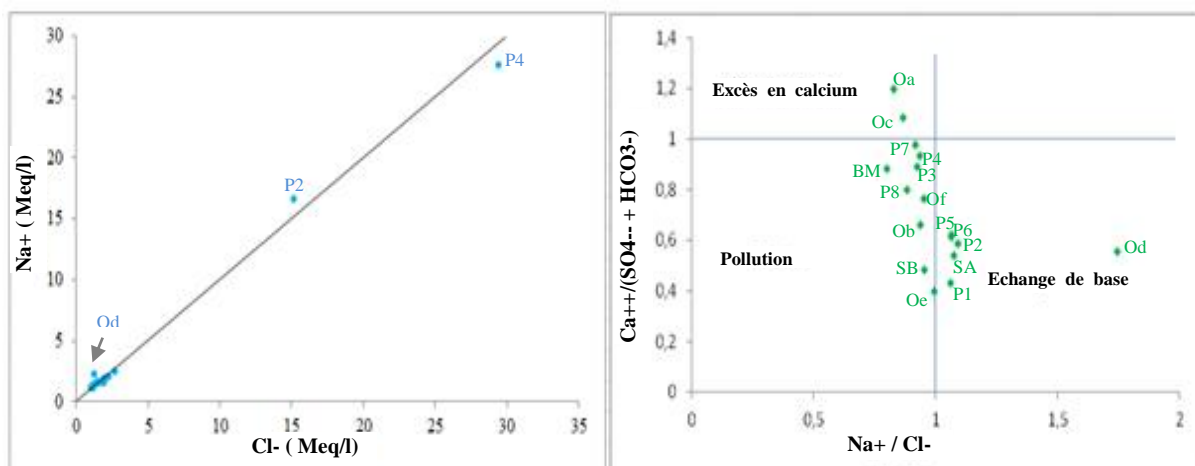
Le premier graphe, qui correspond au couple $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$, montre que la majorité des échantillons se mettent suivant la ligne représentative indiquant l'origine carbonatée du calcium. Quelques échantillons s'éloignent de la ligne à sa gauche indiquant un excès en calcium qui peut être en relation avec des apports gypseux. Le deuxième graphe, qui correspond à la concentration du calcium en fonction des deux anions de bicarbonates et de sulfates, montre que d'importants échantillons se penchent à droite de la ligne (coté carbonaté) et nous permettent de dire que la présence du calcium est certainement liée aux bicarbonates et de préciser l'origine carbonatée des échantillons.

B/ Graphique : Sodium / Chlorures

Les formations salifères, en particulier l'Halite (NaCl), se délayent en contact de l'eau qui se minéralise à des fortes concentrations en chlorures et en sodium. Parfois la présence, en excès de l'un de ces deux éléments chimiques peut avoir d'autres origines (climatique ou anthropique).

Les chlorures sont considérés comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau [MEBARKIA, 2011].

D'après le graphe (Fig.89) qui représente l'évolution du sodium en fonction des chlorures, nous pouvons constater une corrélation entre ces deux éléments dans la pluralité des échantillons analysés car les concentrations du sodium augmentent au fur et à mesure que celles des chlorures augmentent aussi. Il est possible que la présence des formations salifères dans le sol soit à l'origine de la présence de ces deux éléments chimiques.

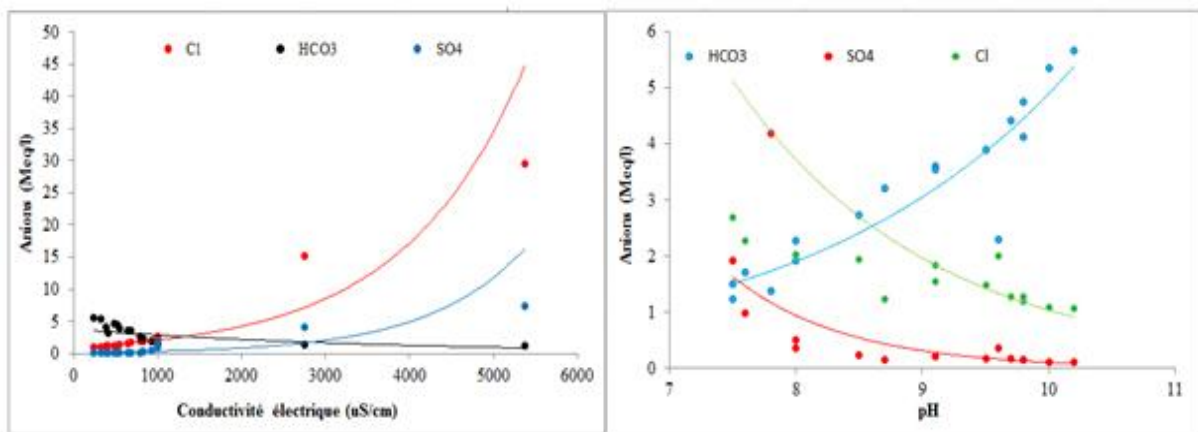


Figures n°89 : Origine du sodium dans les eaux (juillet 2011).

Peu d'échantillons présentent un excès en sodium et cela peut s'expliquer par l'échange de base lié aux minéraux argileux où le sodium est libéré et certains cations se fixent comme pour le calcium (Fig.89).

C/ Graphique : Anions / CE - pH

En observant les deux graphes (Fig.90), l'un représente l'évolution des anions (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) en fonction de la conductivité électrique (CE) et l'autre représente l'évolution de ces anions suivant le potentiel d'hydrogène (pH).



Figures n°90 : Comportement des anions suivant le pH et la conductivité électrique (juillet 2011).

Nous pouvons constater, d'après le premier graphe, que les chlorures augmentent proportionnellement avec la conductivité électrique alors que la même évolution est observée pour les sulfates mais à des faibles concentrations par rapport aux chlorures. Par contre, les bicarbonates s'abaissent au fur et à mesure que la conductivité électrique augmente. Nous pouvons déduire qu'une dépendance existait entre les fortes conductivités électriques et la présence des ions du chlorure et de sulfates dans les eaux au contraire du bicarbonate qui n'a aucune influence sur la minéralisation des eaux.

Nous pouvons remarquer, d'après le deuxième graphe, que les bicarbonates s'accroissent avec le pH. Par contre, les chlorures et les sulfates s'abaissent au fur et à mesure que le potentiel d'hydrogène augmente. Nous pouvons déduire qu'une étroite liaison existait entre les forts pH et la présence des ions du bicarbonate dans les eaux.

V-1-4/ Interprétation des paramètres organiques

Certains paramètres organiques, qualifiés comme des contaminants, se développent dans les eaux et leur existence dévoile une pollution d'origine anthropique et donc un danger qui menace les ressources hydriques et l'environnement.

Les activités humaines exercées quotidiennement sont multiples et causent de graves problèmes aux eaux. Les rejets des eaux usées domestiques, l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides en agriculture, le sur-pâturage sont parmi ces activités croissantes et incontrôlables. Heureusement, les eaux en masse, par l'autoépuration, se nettoie continuellement mais c'est insuffisant surtout dans des endroits de fortes concentrations des matières organiques.

Le DBO_5 , DCO , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , O_2 dissous et le PO_4^{3-} représentent les plus importants indicateurs d'une pollution urbaine. Pour le PO_4^{3-} , l' O_2 et le NH_4^+ , dix échantillons ont été prélevés et analysés pour les deux campagnes de mesure. Concernant le reste des paramètres, une analyse a été effectuée pour la campagne de juillet de 2011 au niveau des eaux de surface et souterraines.

V-1-4-1/ Cycle de L'azote

L'azote existait dans la nature sous forme de nitrates, de nitrites et d'ammoniums. Trois sources peuvent maintenir le cycle de l'azote : L'azote organique (les acides aminés, les protéines...), l'azote minéral (NO_3^- ...) et les constituants à l'état gazeux (N_2 , N_2O , NH_3 ...). Ces sources s'interagissent entre eux par des processus physique, chimiques et biologiques. En présence de l'oxygène, le nitrate et le nitrite se forment à partir de l'ammonium qui se renouvelle en présence du CO_2 .

L'excès l'ammoniac, les nitrates et les nitrites dans le milieu naturel provoque la surcroissance de la végétation et le changement dans le comportement du sol. De plus, ces éléments nutritifs, présents à des fortes teneurs, deviennent nuisibles pour les êtres vivants surtout pour homme. En présence de la vapeur d'eau, ils peuvent former de l'acide nitrique (HNO_3). Une réaction entre deux ammoniacs et un hydroxyde peut former de l'oxyde d'azote (Fig.91).

La croissance de la plupart des cultures exige l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement. Les sources d'azote pour ces cultures peuvent être [GOUAIDIA, 2008] :

- ◆ La matière organique du sol par la minéralisation ;
- ◆ Les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- ◆ Les engrais azotés. Ces derniers donnent naissance aux nitrates par les processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO_3^- . Les étapes successives de la nitrification se font par l'intermédiaire de deux familles de bactéries principalement présentes dans les sols: Nitrosomonas pour la nitritation

(transformation de NH_4^+ en NO_2^-) et Nitrobacter pour la nitratisation (transformation de NO_2^- en NO_3^-).

Source : DEBIECHE

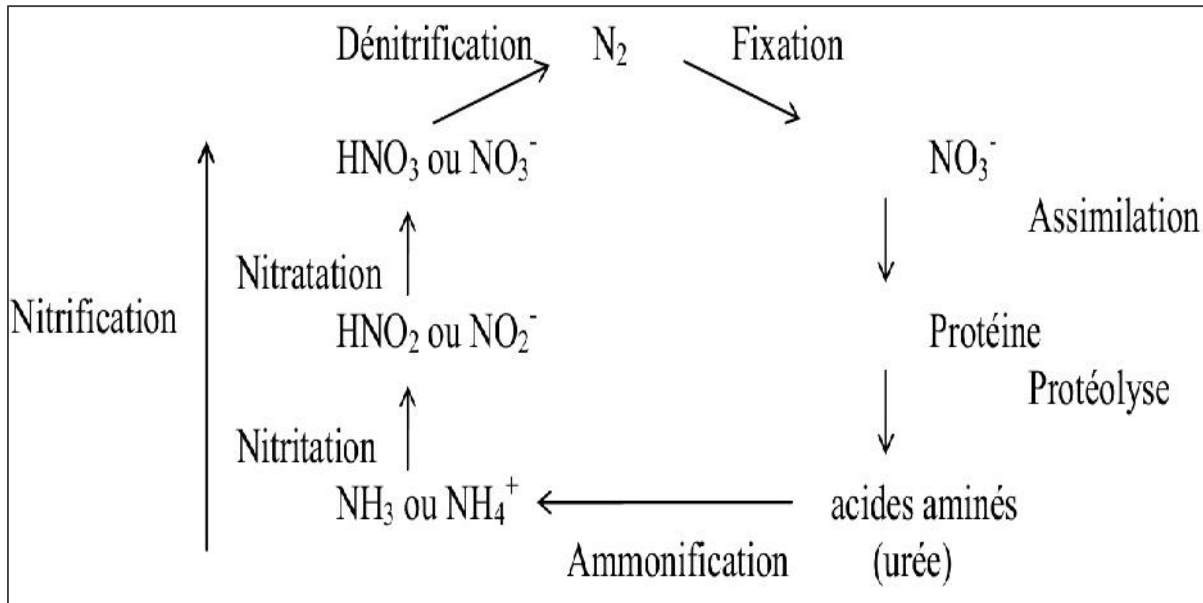


Figure n°91 : Cycle de l'azote.

V-1-4-1-1/ Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium (NH_4^+) représente un indice de la pollution des eaux naturelles par le rejet des eaux usées ménagères ou à l'épandage et au lessivage des sols agricoles. L'interprétation des analyses de l'ammonium

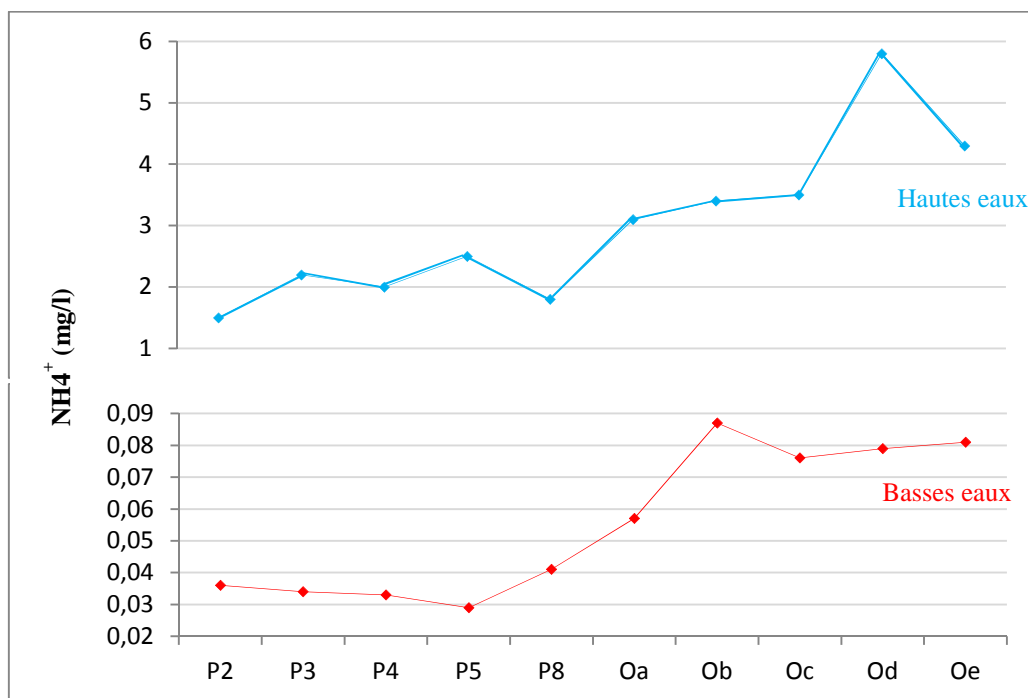


Figure n°92 : Variation de l'ammonium dans les eaux (2011).

Nous pouvons constater, d'après la figure n°92, qu'en période des hautes eaux, les concentrations en NH_4^+ dépassent la norme admise par l'OMS qui est de 0,5 mg/l. la plus forte concentration correspond au point situé dans l'oued El Kebir- Est (5,8 mg/l). En période des basses eaux, les concentrations s'abaissent et sont tous inférieures à la norme recommandée. Les concentrations dans les eaux superficielles sont importantes par rapport à eaux souterraines. Il est possible que les eaux polluées atteignent directement ces oueds en quantités sous l'effet des écoulements superficiels.

V-1-4-1-2/ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates NO_3^- , représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimique [DEBIECHE, 2002].

D'après la figure n° 93, nous pouvons remarquer que les concentrations en nitrates, en période des basses eaux, pour la majorité des échantillons analysés sont inférieures à 20 mg/l (OMS). Un seul échantillon indique une concentration supérieure à la norme (56 mg/l) et correspond au point situé à Bougous. On voit que les concentrations dans les eaux souterraines sont plutôt élevées que celles des eaux de surface.

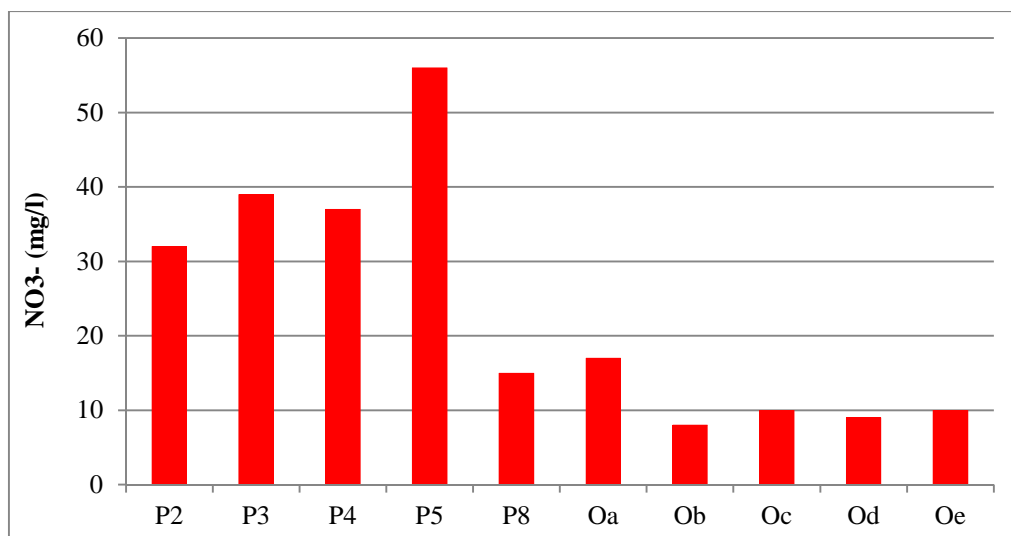


Figure n°93 : Concentration des nitrates dans les eaux (Juillet 2011).

V-1-4-1-3/ Nitrites (NO_2^-)

Le nitrite (l'azote nitreux) représente l'élément le moins oxygéné et le moins stable de l'azote et il est très toxique pour la végétation. Il correspond au passage entre le nitrate et l'ammonium. Ses teneurs élevées peuvent être examinées par suite de la transformation

biologique de l'ammonium en nitrates ou, en condition anaérobies lors de la dénitrification des nitrates en NO_2^- ou N_2 gazeux.

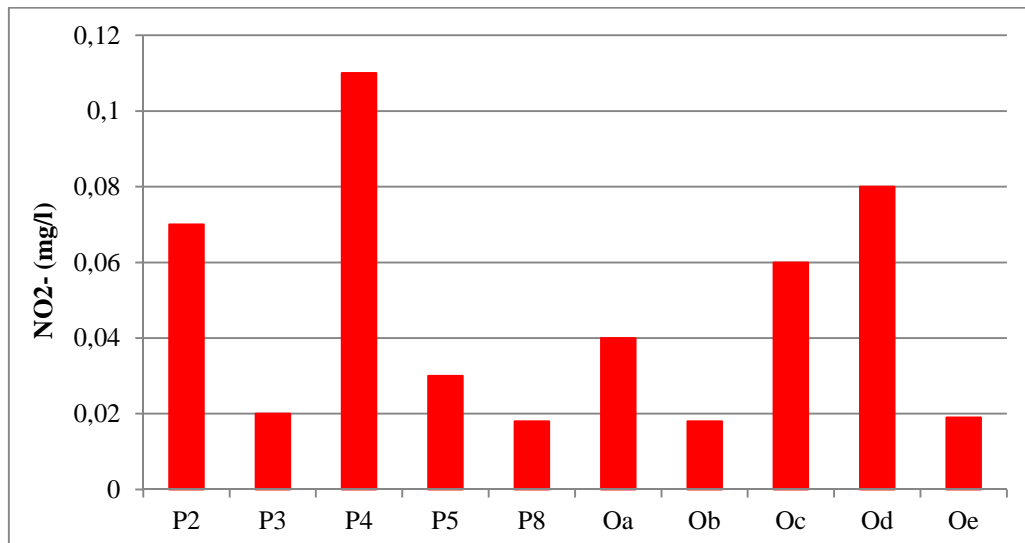


Figure n°94 : Concentration des nitrites dans les eaux (Juillet 2011).

Nous pouvons dire, d'après la figure n°94, que les concentrations en nitrites, dans la pluralité des eaux, sont inférieures à la norme dictée par l'OMS et qui de 0,1mg/l. un seul échantillon d'eau souterrain, situé à l'oued El Hout, représente une teneur en NO_2^- supérieure à la norme (0,11 mg/l).

V-1-4-2/ Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ est la quantité d'oxygène, présente dans l'eau, utilisée pendant 5 jours par la substance organique. Parmi les substances organiques consommatrices d'oxygène, on rencontre le carbone, l'azote et le phosphore. L'oxydation des substances organiques biodégradables en présence des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de ce paramètre nous permet d'estimer la qualité d'une eau ou son degré de pollution.

A titre indicatif, un habitant produit en moyenne une charge de pollution équivalente à 60 grammes de DBO₅ pour une journée, elle s'exprime en milligrammes d'oxygène par litre (mg O₂/l) [MEBARKIA, 2011].

Les phénomènes d'autoépuration dans les eaux superficielles entraînent la dégradation de la charge organique polluante par les micro-organismes. L'activité de ces derniers tend à consommer de l'oxygène et c'est cette diminution de l'oxygène dans le milieu qui est mesurée par la DBO₅. En effet, à 20 °C la dégradation des matières organiques commence

immédiatement. Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO_5 en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20 °C. Les valeurs de la DBO_5 varient selon les types d'eau [HAIED, 2008]:

- De 0 à 10 mg/l : eau naturelle.
- De 10 à 50 mg/l : eau usée épurée.
- De 50 à 400 mg/l : eau usée domestique.
- > 400 mg/l : eau usée industrielle.

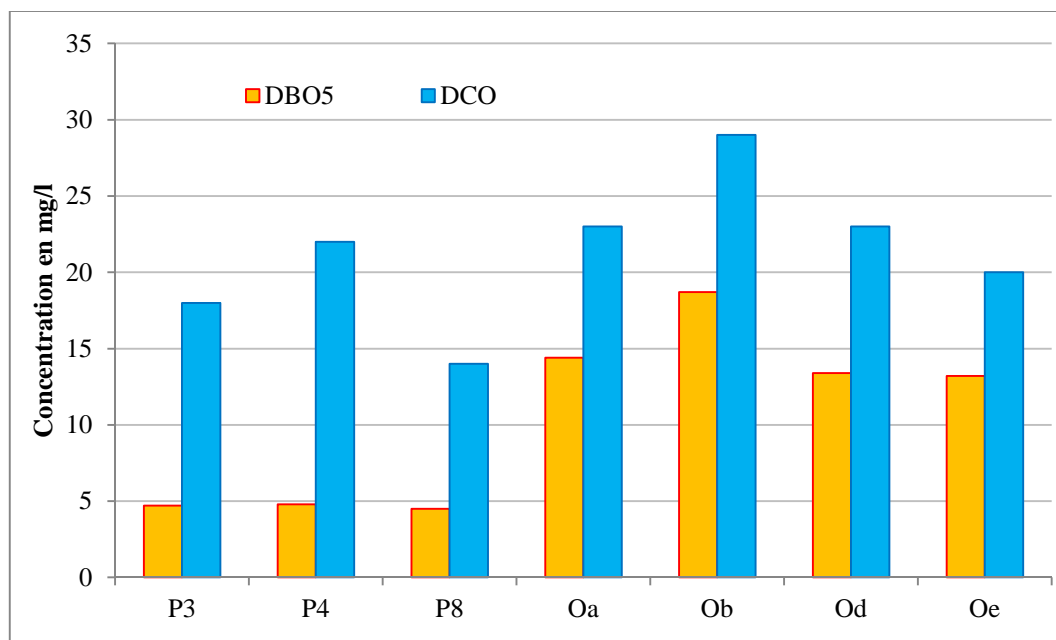


Figure n°95 : Concentrations en DBO_5 et DCO dans les eaux (Juillet 2011).

Nous pouvons remarquer que, d'après la figure n° 95, les échantillons d'eaux souterraines présentent des teneurs en DBO_5 inférieures à la norme de l'OMS (10 mg/l) tandis que pour les eaux superficielles les teneurs dépassent la norme recommandée.

Nous pouvons constater que les eaux souterraines, pour des teneurs en DBO_5 inférieures à 10 mg/l, sont positionnées parmi les eaux plutôt naturelles alors que les eaux superficielles, pour des teneurs en DBO_5 dépassant les 10 mg/l, sont classées comme des eaux usées épurées.

V-1-4-3/ Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions de l'essai. Contrairement à la DBO_5 où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation, la mesure de la DCO, est provoqué à l'aide d'un oxydant

(bichromate de potassium) et des conditions données (ébullition, catalyseur, ...). Alors que la DBO₅ ne mesure que la matière organique naturellement et rapidement dégradable, la DCO permet de mesurer la majeure partie de la matière organique biodégradable et peu dégradable.

C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de DBO₅. Le rapport DCO-DBO₅ permet d'évaluer le caractère biodégradable de la matière organique. Les concentrations de ce paramètre sont illustrées dans le tableau suivant [MEBARKIA, 2011].

Nous pouvons dire, d'après la figure n° 95, que tous les échantillons d'eaux présentent des teneurs en DCO inférieures à la norme recommandée par l'OMS, soit de 40 mg/l. ces teneurs s'intercalent entre 14 mg/l et 29 mg/l (Oum Teboul).

V-1-4-4/ Phosphate (PO₄³⁻)

Les phosphates peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, méta phosphate HPO₃, pyrophosphate H₄P₂O₇ et ortho phosphate H₃PO₄. En milieu aqueux les formes méta et pyrophosphates tendent vers la forme orthophosphate pour des pH compris entre 5 et 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphates sont données par les réactions [HANDOUZI, 2011] :



L'existence des phosphates dans les eaux peut être liée aux rejets urbains et la dissolution des engrais chimiques (NPK).

Nous pouvons constater, d'après la figure n°96, qu'en période des hautes eaux, les concentrations en PO₄³⁻, dans les eaux souterraines, ne dépassent pas la norme admise par l'OMS et qui est de 0,1 mg/l et elles s'intercalent entre 0,03 et 0,1 mg/l.

Dans les eaux superficielles, les concentrations des échantillons dépassent la norme recommandée par l'OMS alors que la plus forte teneur, de 1,46 mg/l, est constatée dans le point situé à l'oued El Kebir- Est. En période des basses eaux, les concentrations sont toutes supérieures à la norme recommandée et dépassent même les 3 mg/l. elles varient entre 3,2 et 4,41 mg/l. sur le terrain, en juillet 2011, nous avons constaté la présence des algues dans certains puits et aussi en surface des cours d'eau.

La présence du PO₄³⁻ dans les eaux naturelles est liée à la fertilisation intense des terres (engrais chimiques) et à la décomposition de la matière organique des rejets urbains [DJABRI, 1996].

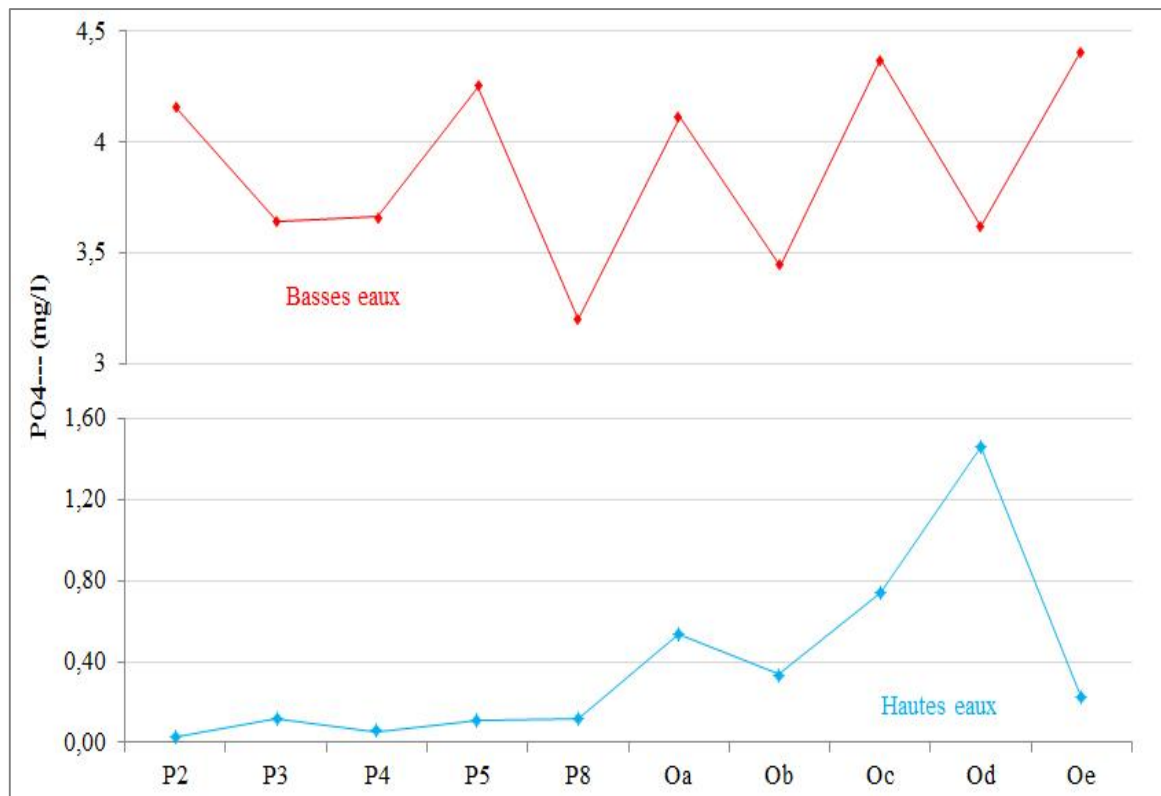


Figure n°96 : Concentration des phosphates dans les eaux (2011).

V-1-4-5/ Oxygène dissous (O₂)

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. La présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues. C'est un indicateur important de pollution organique des eaux. L'oxygène constitue un excellent indicateur du fonctionnement du plan d'eau à différents titres [MEBARKIA, 2011]:

✓ Sur le plan physique (indicateur de pollution) ; les matières minérales et organiques réduites sont oxydées biologiquement et font diminuer la concentration en O₂ dissous. Une eau appauvrie en O₂ peut à ce titre être considérée comme polluée.

✓ Sur le plan biologique ; l'oxygène présent dans l'eau est vital aux organismes vivants. L'oxygène dissout provient en majeure partie de l'atmosphère. Une autre partie de l'oxygène est produite par les plantes aquatiques durant le jour car la nuit c'est le processus inverse qui se met en branle en produisant une consommation d'oxygène et une production de CO₂ par les plantes aquatiques.

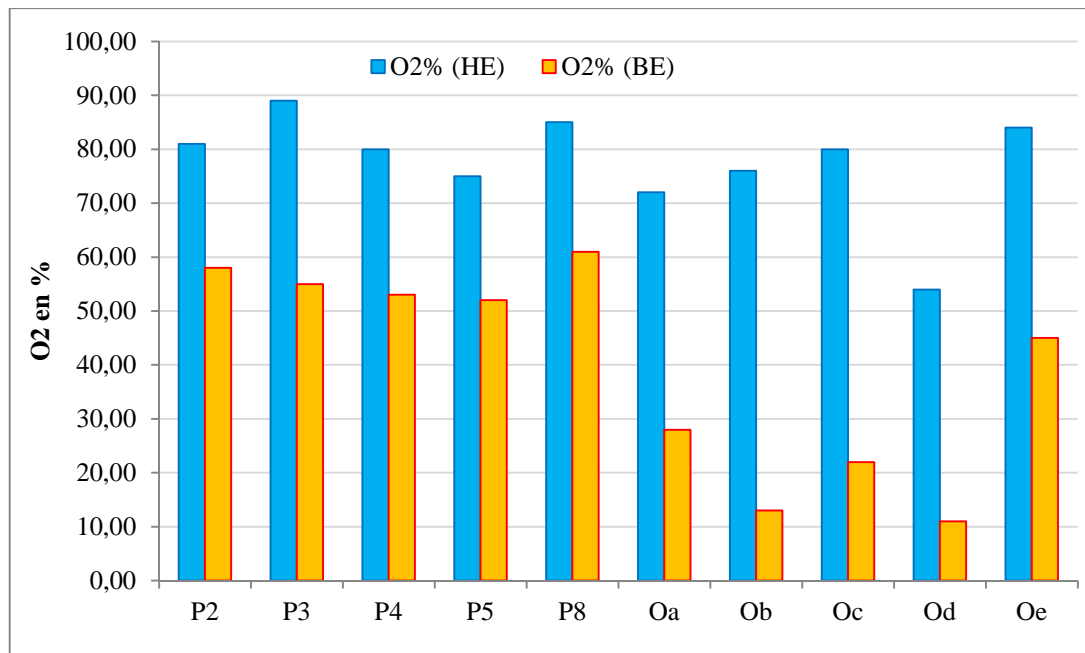


Figure n°97 : Variation de l'oxygène dissous dans les eaux (2011).

Selon l'OMS, une eau acceptable doit avoir un pourcentage en oxygène dissous supérieur à 50 %. Nous pouvons constater qu'en période des basses eaux, les eaux des puits ne s'abaissent pas de la norme admise contrairement aux oueds qui présentent des proportions inférieures à la norme, avec une forte consommation où l'oxygène dissous atteint les 11% au niveau de l'oued El Kebir- Est.

V-2/ POLLUTION DES EAUX

La pollution est un concept qui signifie, peut-être, la nocivité envers la prospérité de la vie. Elle est soit diffuse ou chronique. A présent, on entend parler de la pollution de l'aire, du sol aussi et surtout de l'eau.

La pollution représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des rejets déversés dans les rivières [DERRADJI & al, 2007]. L'eau est exposée dans la nature à des pollutions de toutes sortes et les phénomènes de pollution de l'eau peuvent être observés à différents niveaux [BOUZIANI, 2000]:

- ✚ Dans la nappe ou dans les sources d'eaux, par suite d'infiltration d'eaux usées (fosses, latrines), particulièrement dans les sols perméables et au cours des averses.

- ✚ Dans les eaux de surface ; les fleuves, les rivières et les oueds qui sont souillés par les déversements d'eaux usées non traitées.

- ✚ Dans les canalisations et les réseaux d'alimentation en eau ; l'eau est contaminée plus facilement lorsque les conduites sont vétustes et de qualité médiocre, lors des coupures d'eau et en cas de mauvaises installations des conduites (proximité d'égouts, caves inondées...).

- ✚ Les puits domestiques construits sans périmètre de protection, à proximité d'une nuisance (fosse septique) sont très souvent souillés.

- ✚ Les réservoirs individuels de stockage de l'eau sont souvent contaminés par les fissures, les défauts d'étanchéité, l'absence de couvercle...

- ✚ L'eau qui est stockée durant plusieurs jours, à domicile et sans désinfection.

- ✚ Les eaux du littoral ; qui font l'objet d'une pollution permanente par suite des déversements systématiques des eaux usées urbaines des villes côtières, des déchets des bateaux et des rejets industriels.

V-2-1/ Qualité de l'eau

Une eau potable est une eau dont la composition et les qualités sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs [GROSCLAUDE, 1999]. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau [DEBIECHE, 2002]. La dégradation sensible de la qualité des eaux met ainsi en évidence la nécessité d'un contrôle préalable des eaux avant leur utilisation [DERRADJI, 2004].

Une eau buvable est une eau douce, neutre, incolore, inodore, peu minéralisée et ne doit pas comporter des micro-organismes pathogènes ou des parasites. Certaines substances

indésirables (NO_2 , NO_3 , NH_4 , fer, zinc, cuivre, ...) ou toxiques (arsenic, mercure, plomb,...) ne doivent pas dépasser des concentrations recommandées par l'organisation mondiale de la santé qui adapte une grille adéquate pour la qualité des eaux superficielles (Tab.32) et souterraines (Tab.33).

Le traitement des données analytiques des échantillons d'eau, pour la période des basses eaux, répartis dans la région d'étude nous a permis de déterminer la qualité de ces eaux suivant les grilles de qualités recommandées par l'OMS (Fig.98). Nous évaluons la qualité des eaux superficielles et souterraines en traitons les concentrations des éléments physico-chimiques d'une part, et d'autre part les teneurs des composés organiques en respectant le quadrillage référence dans les deux tableaux.

Tableau n°32 : Grille de la qualité des eaux superficielles.

Classe de qualité paramètres	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Excessive
O_2 dissous	mg/l	> 7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
% saturation	%	> 90	70 à 90	50 à 70	< 50	0
DBO_5	mg/l	< 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25	> 25
DCO	mg/l	< 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80	> 80
NH_4	mg/l	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8	> 8
PO_4	mg/l	< 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
NO_3	mg/l	< 5	5 à 25	25 à 50	50 à 80	> 80
NO_2	mg/l	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 1	1 à 2	> 2

ABH- CSM. n°8-2002

Tableau n°33 : Grille de la qualité des eaux souterraines.

Classe de qualité paramètres	Unité	Bonne	Acceptable	Médiocre	Exc.Pol
pH	-	$\geq 6,5$ et $\leq 8,5$	$> 8,5$ et ≤ 9	$< 6,5$ et $\geq 5,5$ ou	$< 5,5$ ou
Conductivité Electrique	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	≥ 180 et ≤ 400	> 400 et ≤ 2500	< 180 ou > 2500 et < 4000	> 4000
Température	$^\circ\text{C}$	< 25	25-30	30-35	> 35
Taux de saturation en O_2	%	> 100	100-50	50-30	< 30
Calcium	mg/l	≥ 32 et ≤ 160	/	< 32 ou > 160	/
Magnésium	mg/l	< 30	30-50	50-400	> 400
Sodium	mg/l	< 20	20-200	> 200	/
Potassium	mg/l	< 10	10-12	12-70	> 70
Chlorure	mg/l	< 25	25-250	/	> 250
Sulfate	mg/l	< 25	25-250	/	> 250
DBO_5	mg/l	< 5	5-10	10-15	> 15
DCO	mg/l	< 20	20-40	40-50	> 50
NH_4^+	mg/l	< 0,05	0,05-0,5	0,5-4	> 4
NO_3^-	mg/l	< 10	10-20	20-40	> 40
NO_2^-	mg/l	< 0,01	0,01-0,1	0,1-3	> 3
PO_4^{3-}	mg/l	< 0,01	0,01-0,1	0,1-3	> 3

ABH- CSM. n°8-2002

D'après la figure n°98, nous pouvons constater, que les eaux souterraines, suivant la concentration des éléments minéraux, présentent une qualité bonne à acceptable alors que seulement deux échantillons ont une qualité médiocre. En prenant en considération la concentration des éléments organiques dans la classification de la qualité de ces eaux, nous pouvons dire que les eaux des puits présentent une qualité plutôt médiocre à mauvaise. Pour les eaux superficielles, suivent la concentration en éléments chimiques, tous les échantillons présentent une qualité acceptable. La présence de certains paramètres organique rend la qualité des eaux de surface plutôt médiocre.

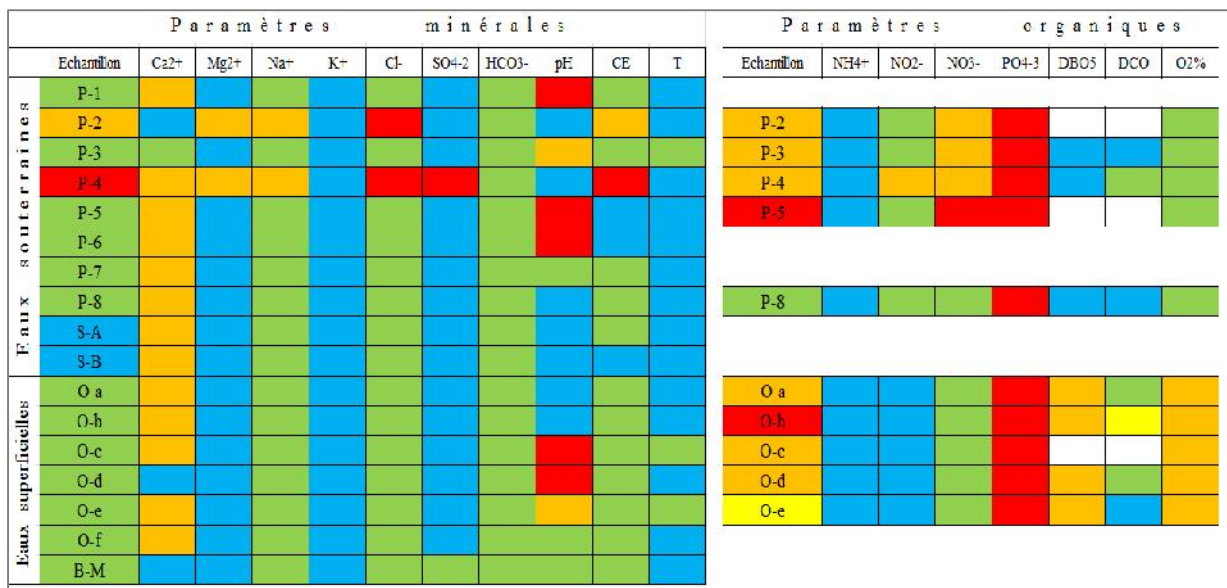


Figure n°98 : Qualité des eaux dans le parc national d'El Kala (Juillet 2011).

La qualité des eaux dans le parc d'El Kala s'est beaucoup dégradée. Même si les implications sont réparties, les pollutions d'origine urbaine (domestique) et agricole restent les premières responsables de la dégradation récente. L'environnement naturel garde toujours son sourire et l'eau aussi malgré la mauvaise administration de la part des humains qui continuent à se moquer de cette richesse précieuse et continuent à survivre. L'eau, par autoépuration, se dépollue et la flore intense ingurgite tous ce qui est organique et la faune aussi ; un équilibre écologique.

V-2-2/ Pollution organique

La pollution par les substances organiques peut être évaluée en traitant certains paramètres dont principalement : la DBO₅, DCO, les composés azotés, l'oxygène dissous, le PO₄ ; on parle d'une pollution organique qui est à l'origine :

1/ Les rejets des eaux usées non traitées et les décharges solides renferment des matières biotiques qui permettent la consommation de l'oxygène et donc l'apparition de nouveaux composés qualifiés comme toxique et qui troublent la vie des êtres aquatique, on parle de la pollution domestique (urbaine).

2/ Des étendues de terres arables cultivées (individuelles ou collectives) où les agriculteurs, pour un meilleur rendement, utilisés des engrais chimique pour enrichir les sols des éléments essentiels (NPK) et les pesticides pour bien protéger les cultures vulnérables des insectes. Le lessivage de ces substances, en présence de l'eau irriguée, libère des quantités de composés polluants qui atteignent les eaux souterraines et superficielles à diverses concentrations.

Afin de mieux étudier la pollution organique des eaux dans notre région d'étude, nous allons utiliser des méthodes adéquates qui prennent en compte le traitement des données chimiques et organiques sous forme d'indice suivant des classes bien appropriées :

V-2-2-1/ Indice de contamination

Kherici,N (1993) a adapté une méthode qui permet de déterminer la contamination des eaux en mettant les concentrations de chacun des éléments chimiques données (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^-) dans l'une des sept classes appropriées et qui représentent un chiffre (Tab.34).

Pour calculer l'indice de contamination (IC), on donne pour chaque élément chimique, et selon sa concentration, un chiffre correspondant à chacune des sept classes, donc l'IC correspond à la somme de ces chiffres ; le plus faible indice de contamination indique qu'une eau est non contaminée tandis que le plus fort indice signifie que l'eau est très contaminée donc très polluée. Les valeurs des indices de contamination calculés sont représentées dans le tableau n°35.

Tableau n°34 : Intervalle des classes.

Classe élément	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7
Ca^{2+} (mg/l)	<50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	>300
Mg^{2+} (mg/l)	<50	50-100	100-150	150-200	/	/	/
Na^+ (mg/l)	<100	100-150	150-200	200-250	250-500	>500	/
K^+ (mg/l)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25	/
Cl^- (mg/l)	<250	250-500	500-750	750-1000	1000-1250	>1250	/
SO_4^{2-} (mg/l)	<150	150-250	250-350	350-450	450-550	>550	/
NO_3^- (mg/l)	<13	13-18	18-23	23-30	>30	/	/

Kherici, 1993

Tableau n°35 : Indices de contamination calculés.

Echan	Eaux souterraines					Eaux superficielles				
	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₈	Oa	Ob	Oc	Od	Oe
IC	20	11	26	11	8	8	7	7	7	7

Nous pouvons constater, d'après le tableau n°35, que les indices de contamination au niveau des eaux souterraines sont très élevés par rapport aux indices de contamination au niveau des eaux de surface qui ne dépassent pas la valeur 8. Nous pouvons dire que les eaux souterraines sont plus contaminées et plus polluées que celles de surface qui sont peu contaminées et peu polluées.

V-2-2-2/ Indice de pollution organique (Leclercq et Maquet 1987)

Le principe consiste à répartir les valeurs de quatre (04) éléments polluants en cinq (05) classes et à déterminer à partir de ces propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne (Tab.36). La classification des paramètres est mentionnée selon cinq classes de couleurs correspondant au degré de la pollution organique IPO (Tab. 37).

Tableau n°36 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Leclercq et Maquet 1987).

Paramètres Classes	DBO ₅ mg-O ₂ /l	NH ₄ ⁺ mg-N/l	NO ₂ ⁻ µg-N/l	PO ₄ ³⁻ µg-P/l
5	<2	<0,1	<5	<15
4	2-5	0,1-0,9	6-10	16-75
3	5,1-10	1-2,4	11-50	76-250
2	10,1-15	2,5-6	51-150	251-900
1	>15	>6	>150	>900

Tableau n°37 : Grille du degré de l'indice de la pollution organique.

Degré de la pollution	Pollution organique nulle	Pollution organique faible	Pollution organique modérée	Pollution organique forte	Pollution organique très forte
IPO	5,0 – 4,6	4,5 – 4,0	3,9 – 3,0	2,9 – 2,0	1,9 – 1,0

Les résultats du calcul de l'indice de pollution organique sont illustrés dans le tableau n°42. L'évaluation de la pollution des eaux par la détermination de l'indice de pollution organique montre un degré de pollution modéré pour les eaux souterraines et modéré à fort pour les eaux superficielles.

V-2-2-3/ Lisec-Index (Beckers & Steegmans, 1979)

Le principe de la méthode Lisec-Index (LI) de cette méthode ressemble, dans la forme, à celui de l'IPO. Cette méthode se diffère de l'IPO ; d'une part, on fait la somme des classes mais pas la moyenne. D'autre part, de nouveaux paramètres organiques sont utilisés pour la détermination de la pollution. Donc, les valeurs des quatre éléments polluants sont distribuées suivant cinq classes (Tab. 38).

Tableau n°38 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Lisec-Index (Beckers & Steegmans 1979)).

Paramètres Classes	DBO ₅ mg-O ₂ /l	NH ₄ ⁺ mg-N/l	Oxygène dissous %de saturation	Phosphore total µg-P/l
1	3	<0.5	91-110	50
2	3,1-6,0	0,5-1,0	71-90	51-249
3	6,1-9,0	1,1-2,0	51-70	250-899
4	9,1-15,0	2,1-5,0	31-50	900-1499
5	>15	>5	<30	>1500

Les résultats obtenus sont placés suivant des couleurs qui mentionnent le degré de la pollution (Tab. 39). Ainsi, la pollution organique est faible, la qualité des eaux serait bonne.

Tableau n°39 : Grille de la qualité et la pollution des eaux par la méthode Lisec-Index.

Degré de la pollution	Pollution organique nulle	Pollution organique faible	Pollution organique modérée	Pollution organique forte	Pollution organique très forte
Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Lisec-Index	4 – 6	> 6 – 10	> 10 – 14	> 14 – 18	> 18 – 20

Les résultats obtenus correspondants à la qualité des eaux selon la méthode Lisec-Index sont illustrés dans le tableau n°42. L'appréciation de la qualité des eaux nous permet de dire que les eaux souterraines représentent une qualité bonne à moyenne tandis que les eaux souterraines possèdent une qualité moyenne

V-2-2-4/ Méthode de l'IHE (Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, 1986)

Le principe de la méthode de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E) consiste à répartir les valeurs de six éléments polluants en cinq (05) classes et à déterminer à partir de ces propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne (Tab.40). La classification des paramètres est identique à celui de l'IPO où les résultats sont placés suivant cinq classes de couleurs correspondant au degré de la pollution (Tab. 41).

Tableau n°40 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, 1986).

Paramètres Classes	DBO ₅ mg-O ₂ /l	DCO mg-O ₂ /l	NH ₄ ⁺ mg-N/l	Oxygène dissous %de	Phosphore total µg-P/l	PO ₄ ³⁻ µg-P/l
5	1,0	5,0	0,05	90-110	50	50
4	1,1 – 3,0	5,1 – 10	0,06 – 0,5	70-89	51 – 100	51 – 100
3	3,1 – 5,0	10,1 –	0,51 – 1,0	50-69	101 – 200	101 – 200
2	5,1 – 10	20,1 –	1,01 – 2,0	30-49	201 – 400	201 – 400
1	> 10	> 50	> 2,0	<30	> 400	> 400

Tableau n°41 : Grille de la pollution des eaux par la méthode de l'IHE.

Degré de la pollution	Pollution organique nulle	Pollution organique faible	Pollution organique modérée	Pollution organique forte	Pollution organique très forte
IHE	5,0 – 4,6	4,5 – 4,0	3,9 – 3,0	2,9 – 2,0	1,9 – 1,0

Les résultats correspondants à la détermination de degré de la pollution organique des eaux par la méthode d'IHE sont illustrés dans le tableau n°42. L'évaluation de la qualité des eaux nous permet de déduire que les eaux souterraines représentent une pollution très forte à forte alors que les eaux de surface indiquent une pollution très forte.

Tableau n°42 : Valeurs des indices et les classes correspondantes pour chacun des trois méthodes indiquées.

Paramètres Points	IPO		Lisec-Index		IHE	
	Indice	Pollution	Indice	Qualité	Indice	Pollution
P-2	3,00	Modérée	-	-	1,67	Très forte
P-3	3,25	Modérée	11,00	Moyenne	2,33	Forte
P-4	3,00	Modérée	11,00	Moyenne	2,33	Forte
P-5	3,33	Modérée	-	-	1,67	Très forte
P-8	3,50	Modérée	10,00	Bonne	2,33	Forte
O-a	2,50	Forte	14,00	Moyenne	1,83	Très forte
O-b	3,00	Modérée	14,00	Moyenne	1,50	Très forte
O-c	3,00	Modérée	-	-	1,17	Très forte
O-d	2,50	Forte	14,00	Moyenne	1,67	Très forte
O-e	2,75	Forte	13,00	Moyenne	1,83	Très forte

L'évolution de la pollution ou de la qualité des eaux souterraines et superficielles constatées à partir des trois méthodes (IPO / Lisec-Index / IHE) nous laisse dire que les eaux sont polluées par des substances organiques. Ces substances sont à l'origine d'une pollution anthropique probable. Les deux méthodes, IPO et IHE, sont identiques d'après leur manière de classer les éléments, mais l'IHE utilisée plus de paramètres et donc permettre plus de précision concernant la pollution organique des eaux. En comparant les résultats de ces trois méthodes nous pouvons confirmer la pollution organique des eaux dans le parc d'El Kala.

En présence de fortes teneurs en phosphore et en éléments azotés, l'eutrophisation se développe dans l'eau de surface où les algues repoussent intensivement au contact de la lumière et consomment de l'oxygène et même enrichissent le milieu en matières organiques biodégradables par décomposition.

V-2-3/ Qualité des eaux irriguées

On considère l'agriculture comme étant le secteur le plus demandeur d'eau afin de garantir sa disponibilité pour la production des cultures à condition qu'elle soit de bonne qualité physico- chimique et organique. Les eaux riches en sels minéraux représentent de sérieux problèmes aux sols et donc bouleverser la croissance régulière des végétaux. Les sels minéraux peuvent boucher les pores et rendre les terres moins productives en réduisant sa perméabilité et son aération et peuvent aussi déséquilibrer le processus osmotique qui permet aux plantes de survivre.

Et comme notre région d'étude est à vocation agricole, il serait utile et nécessaire de traiter chimiquement les eaux qui peuvent être utilisées en agriculture et de démontrer les dangers que présentent certains éléments chimiques pour les plantes et le sol.

V-2-3-1/ Aptitude des eaux à l'irrigation

L'aptitude de l'eau à l'irrigation est fonction non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il devient donc impératif d'étudier les paramètres définissant les eaux destinées à l'irrigation; tel que [SEDRATI, 2011] :

- ✚ Salinité ; contenu total en sel soluble.
- ✚ Sodium ; proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- ✚ Alcalinité et Dureté ; concentration d'anions Carbonate (CO_3) et bicarbonate.
- ✚ pH de l'eau.

Les deux premiers critères sont très importants, car un excès de sel baisse la perméabilité du sol empêchant ainsi le développement des plantes. Ce qui provoque une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

V-2-3-1-1/ Risque de salinité

■ Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes [SEDRATI, 2011] :

- ✚ Si la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation;
- ✚ Si la conductivité varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne;
- ✚ Si la conductivité est supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

Tableau n°43 : Aptitude des eaux à l'irrigation d'après la conductivité électrique.

Restriction pour l'irrigation	Conductivité électrique	Répartition des échantillons (%)	
		Hautes eaux	Basses eaux
Aucun	< 700	70	53
Légère à modéré	700 – 3000	18	41
Forte	>3000	12	06

Si nous prenons en considération la période des basses eaux étant la période la plus exploitée des eaux pour l'irrigation, nous pouvons constater, d'après le tableau n°43, que 53% des échantillons d'eau analysés ne sollicitent pas une restriction pour l'irrigation, 41% des échantillons exigent une restriction légère à modérée pour l'irrigation et 6% exigent une restriction forte.

■ Selon R.S. AYERS et D.W. WESTCOT (1988), quand les eaux d'irrigation sont chargées en sel, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture [DEROUICHE, 2008].

Le tableau n°44, montre la variation du rendement de certaines cultures en fonction de la salinité des eaux d'irrigation.

Tableau n°44 : Rendements des cultures d'après la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

Culture	Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)			
Orge	5300	6700	8700	12000
Blé	4000	4900	6400	8700
Chute de rendement en %	0	10	25	50

R.S.AYERS et D.W.WESTCOT (1988)

Nous pouvons voir que plus la conductivité s'accroît plus le rendement des cultures diminue. C'est pour cette raison, il faut que l'agriculteur fasse attention à la salinité des eaux utilisées pour certaines cultures.

V-2-3-1-2/ Risque de solidité

Le sodium, à forte concentration, devient un élément nuisible pour la végétation car son excès par rapport aux alcalino-terreux (Ca, Mg) dans le système adsorbant du sol permet la défloculation des argiles et la destruction de la structure du sol agissant sur la perméabilité et la porosité des couches superficielles du sol. L'eau irriguée se stagne à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines, le sol devient cohérent et asphyxiant pour la plante.

Le risque est déterminé à partir du rapport du sodium absorbable (Sodium absorption ratio- SAR) qui prend en compte le rapport entre la concentration en sodium et en alcalino- terreux et les conductivités des eaux mesurées. Le SAR est donné par l'expression suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}\dots\dots\dots(43)$$

Afin d'étudier le risque de solidité, Richards (1954) a élaboré une classification en se basant sur les valeurs de la SAR et de la Conductivité électrique. La classification de Richards propose quatre classes du SAR en fonction de quatre classes de salinité représentée par la conductivité électrique (Tab.45). Un diagramme représentatif de Richards est utilisé pour permettre la répartition des échantillons suivant ces classes. En plus de la détermination du SAR, le pourcentage du sodium (Na^+ %) est nécessaires pour mieux définir l'aptitude des eaux pour l'irrigation. L'équation est représentée comme suit [ROUABHIA, 2006] :

$$Na^+ \% = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100 \dots \dots \dots (44)$$

Les paramètres chimiques utilisés dans la détermination du SAR et du %Na sont en milliéquivalent- gramme par litre. En se référant à la conductivité, le %Na est représenté dans le diagramme de Wilcox.

Tableau n°45 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation.

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S1 / C1-S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 / C2-S2	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	C3-S1 / C2- S3 / C3-S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C4-S1 / C4-S2 / C3-S3	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Mauvaise	C3-S4 / C4-S3 / C4-S4	Inutilisable.

Source : Boulakoud

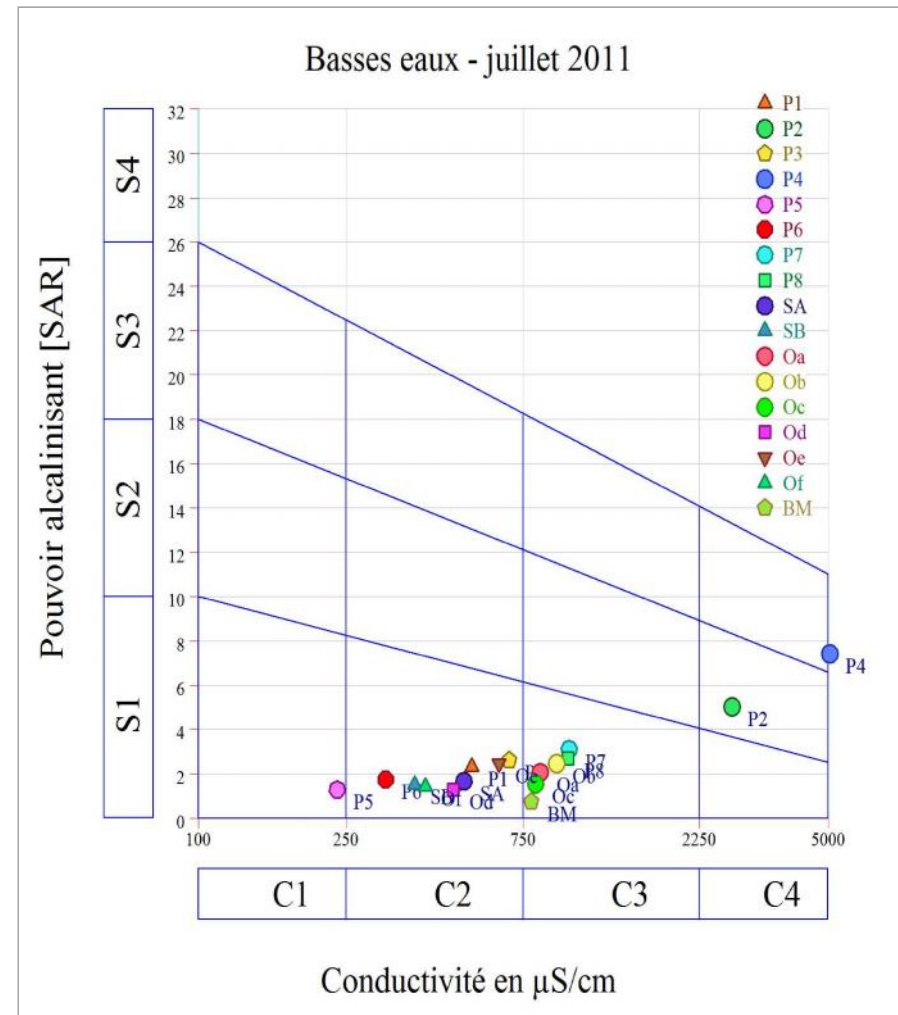
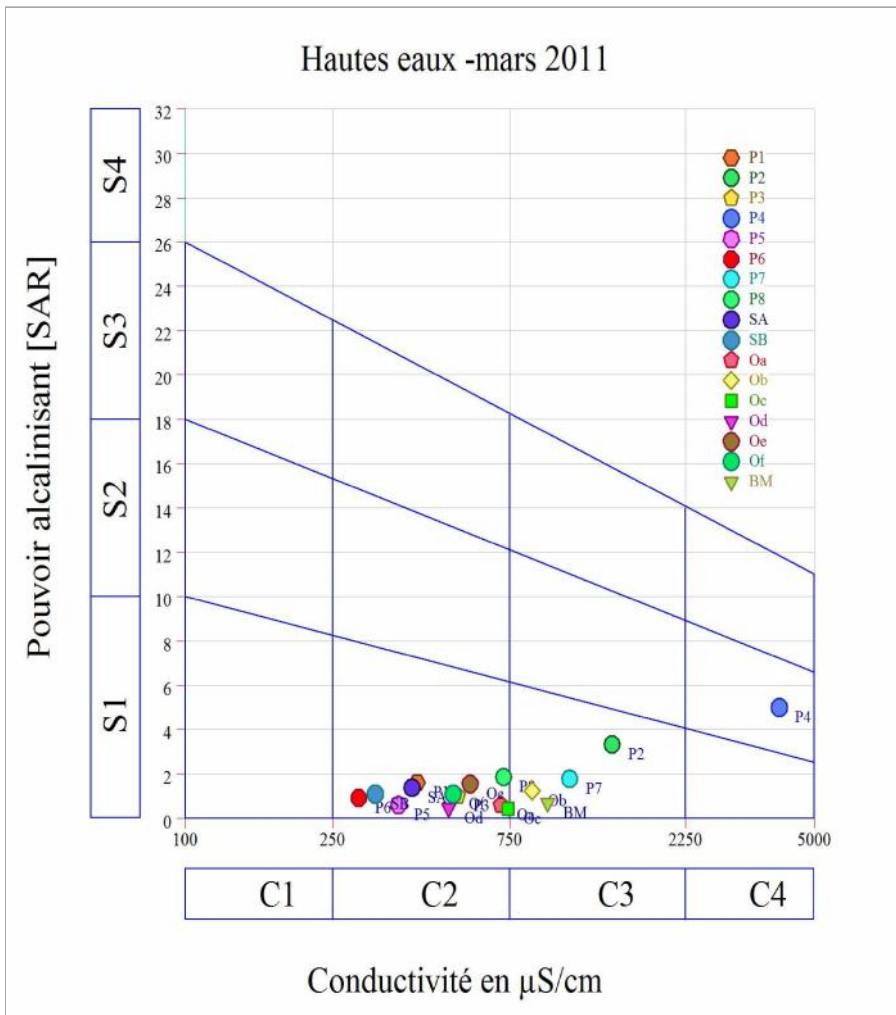
L'observation des diagrammes de Richards (Fig.99) montre que les eaux destinées à l'irrigation se répartissent comme suit :

◆ En période des hautes eaux, douze des dix- sept échantillons analysés (la majorité) se positionnent dans la case C2-S1 qui est caractérisée par une eau de bonne qualité à l'irrigation

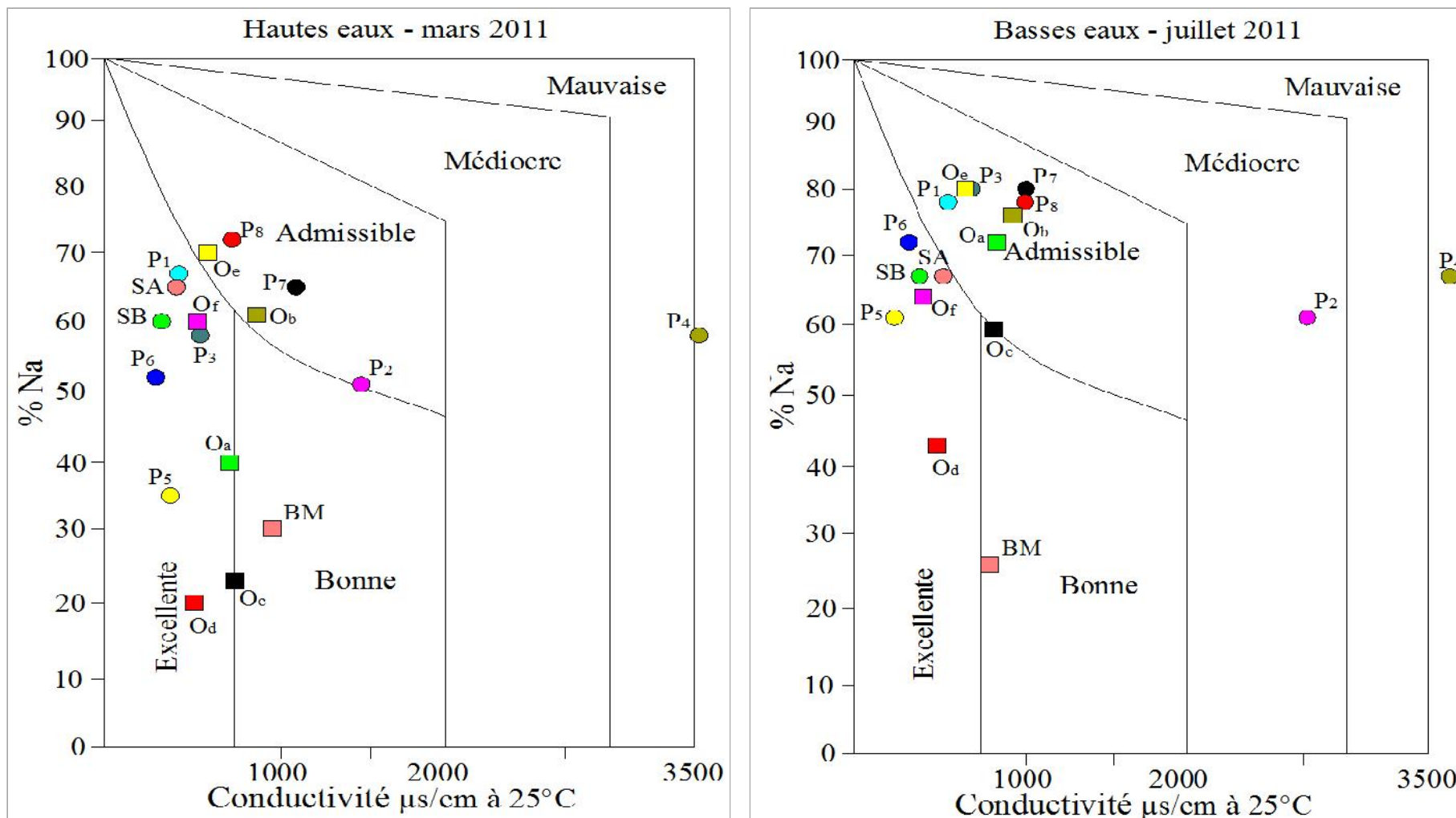
convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles. Quatre échantillons se localisent dans la case C3-S1 qui est caractérisée par une eau de qualité admissible pour l'irrigation dont la salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés. Un seul échantillon (P₄) se situe dans la case C4-S2 qui est caractérisée par une eau de qualité médiocre pour l'irrigation ; une eau fortement minéralisée utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.

◆ En période des basses eaux, huit des dix-sept échantillons analysés se placent dans la case C2-S1 qui est caractérisée par une eau de bonne qualité à l'irrigation convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles. Six échantillons se mettent dans la case C3-S1 qui est caractérisée par une eau de qualité admissible pour l'irrigation dont la salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés. Deux échantillons, P₄ et P₂, se positionnent respectivement dans les cases C4-S2 et C4-S3 qui sont caractérisées par une eau de qualité médiocre pour l'irrigation ; une eau fortement minéralisée utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité. Un seul échantillon (P₅) observé dans la case C1-S1 qui est caractérisée par une eau d'excellente qualité dont une utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.

D'après les diagrammes de Wilcox (Fig.99), nous pouvons dire que, en période des hautes eaux, 65% des échantillons présentent des eaux d'une qualité excellente à bonne, 29% des échantillons correspondent aux eaux d'une qualité admissible et seulement un seul point (P₄) indique une eau de mauvaise qualité pour l'irrigation. Pour la période des basses eaux, 47% des échantillons indiquent des eaux d'une qualité excellente à bonne, 41% présentent des eaux d'une qualité admissible et deux échantillons correspondent aux eaux d'une qualité médiocre à mauvaise.



Figures n°99 : Classification des eaux destinées à l'irrigation suivant le SAR (Diagramme de Richards)



Figures n°100 : Classification des eaux destinées à l'irrigation suivant le %Na (Diagramme de Wilcox).

CHAPITRE VI



IMPACT ANTHROPIQUE



VI/ DEPENDANCE HOMMES- MILIEUX

De tout temps, l'homme s'est préoccupé de son environnement naturel. Toutes les civilisations anciennes, tous les humanistes ont eu conscience de la nécessité de faire corps avec l'environnement. L'entretien et la protection du milieu vital sont toujours apparus comme indispensables aux hommes d'esprit, de grande spiritualité, conscients de leur environnement ou simplement sensibles aux beautés de la nature [HERTIG & al, 2006]. Il est communément admis que, par leurs activités, leurs modes de vie, leurs organisations sociales, leurs croyances, leurs perceptions et leur connaissance de ce qui les entoure, les êtres humains, individus isolés ou regroupés en sociétés, entretiennent des relations étroites avec l'espace et les milieux naturels (désormais presque exclusivement anthropisés) dans lesquels ils vivent et avec lesquels ils interfèrent [CHENORKIAN & ROBERT, 2014].

L'homme se trouve positionner, en intermédiaire, entre des composantes de l'environnement : l'air, le biotope, la biocénose et l'eau. Cette dernière qui signifie la source de vie, s'évolue dans un cycle continu et dépendant mais elle est fragile à toute perturbation d'origine naturelle ou humaine (anthropique).

Les activités humaines peuvent affecter le cycle naturel de l'eau et de ce fait sa disponibilité locale. La déforestation, certaines pratiques agricoles, l'altération des écosystèmes humides à proximité des côtes, le détournement des cours d'eau ou leur endiguement sont quelques activités qui peuvent influencer l'évaporation, la transpiration et les précipitations à une plus large échelle, et donc altérer le cycle hydrologique planétaire [RICKLEFS & MILLER, 2005].

VI-1/ Activité anthropique

L'invitée de toutes les dimensions de la vie humaine, l'activité humaine est désignée comme une énigme, une tension et une dramatique [DANVERS, 2012]. Un groupe humain subsiste et se développe par sa cohésion sociale ; il tente de subordonner la nature à son idée du monde. Les techniques sont passées de la simple survie à la maîtrise quasi- absolue [HUFTY, 2001]. Sur une plus grande échelle, la technologie scientifique a modifié le caractère de l'activité humaine et sa relation avec l'environnement. La nature n'est plus seulement ou principalement le lieu de l'activité humaine ; elle est devenue l'objet d'une transformation technologique et d'une responsabilité morale dont nous sommes encore, la plupart du temps, tout à fait inconscients [DUCHESNE & CAMBROSIO, 1984].

L'activité anthropique a de tout temps compromis une atteinte à l'environnement ou tout au moins interagi avec la nature. Les premières modifications majeures du rapport des

hommes aux milieux sont apparues avec l'apparition de l'agriculture et les bâtis qui s'étendent avec la croissance démographique qui transforme le cadre de vie ordinaire.

La plupart des activités humaines modifient plus ou moins profondément le fonctionnement des écosystèmes ou l'état de certains éléments de l'environnement, dont bien entendu les êtres humains. Plusieurs des modifications environnementales apparemment très éloignées du bien-être des humains affectent en retour l'ensemble des conditions de vie de ces derniers. Il existe donc une grande interdépendance entre les êtres humains et leur environnement. De prime abord, on associe la détérioration de l'environnement à une augmentation quantitative des impacts. A titre d'exemple de la quantité croissante des impacts, mentionnons l'accumulation des déchets, l'accroissement des rejets d'eaux usées, l'augmentation des gaz à effet de serre, le nombre impressionnant de véhicules motorisés et l'ampleur nouvelle des infrastructures modernes [LEDUC & RAYMOND, 2000].

VI-2/ Figures d'intrusion anthropique dans le PNEK

L'idée de créer le parc national d'El Kala était un effort intellectuel et juste de la part de l'état algérien pour bien protéger un milieu naturel vulnérable de toute sorte d'intrusion anthropique. Le patrimoine naturel de la région est aussi une préoccupation que la société venait de saisir. Sa pérennité et sa solidité nécessitent des lois vigilantes et non tolérantes et doivent être, normalement, applicables par lettre.

Le parc national d'El Kala est un exemple d'une dégradation anthropique au détriment de sa biodiversité et de ses potentialités hydriques. D'une part, une croissance démographique accompagnée de la dissémination des infrastructures et des rejets liquides et solides incontrôlables. D'autre part, le réaménagement du couvert végétal en terres agraires suivies d'un pâturage intensif et qui représentent le domaine le plus exercé par la population du parc.

VI-2-1/ Impact des rejets d'ordures

On avait montré, antérieurement, que la population humaine dans le PNEK s'est évoluée de 11299 en 1856 [GRIMES, 2005] à 128887 en 2009 [AKROUM, 2013], accompagnée d'une large propagation de l'habitation sur les terres fragiles. Cette population est, dans leur majorité, classée partiellement ou totalement rurale. Des infrastructures à caractère économique et sociale sont implantées dans la région d'étude. La conséquence est aperçue par les rejets liquides et solides dispersés dans la nature et qui polluent l'environnement à long terme.

✚ Les eaux usées domestiques sont essentiellement porteuses de pollutions organiques. Elles se répartissent en deux catégories : les eaux ménagères des salles de bain et des cuisines

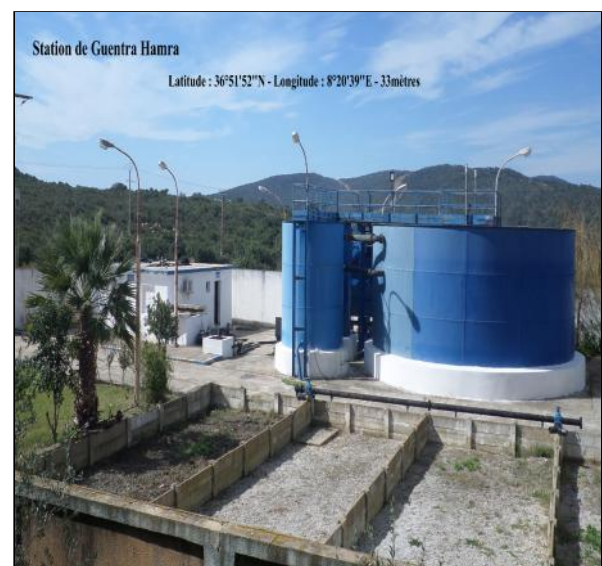
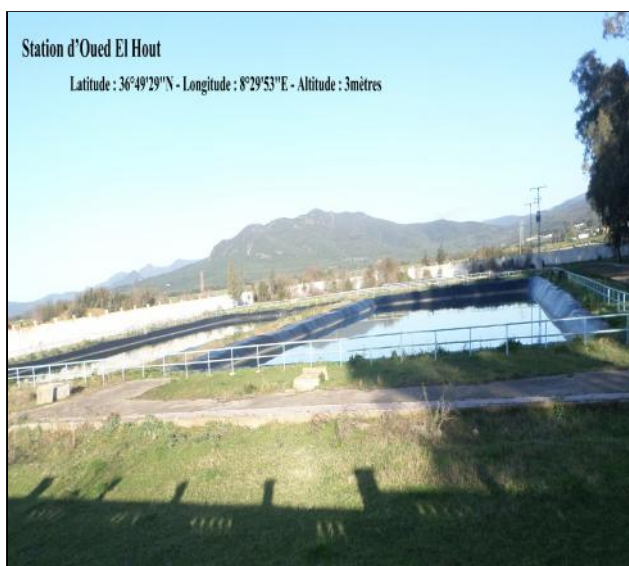
qui sont généralement chargées de substances biodégradables, de détergents, de produits nettoyants, désinfectants, et détartrants ainsi que de pesticides pour usage domestique et de solvants pour le bricolage ; ces eaux peuvent aussi contenir des polluants cosmétiques et médicamenteux. La deuxième catégorie d'eaux usées domestiques sont les « eaux vannes » comprenant les rejets de toilettes. Ces dernières sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [in PICARD, 2011]. L'épuration est destinée à réduire les pollutions issues des eaux usées pour les rendre (acceptables) par le milieu récepteur [in PICARD, 2011].

Concernant les eaux usées, et d'après l'ONA, à l'intérieur du parc, on se dispose de trois stations de traitement des eaux usées (Tab.46) est qui sont situées aux environs d'El Kala (Pht.22) :

Tableau n°46 : Stations d'épuration existantes dans le parc d'El Kala.

Stations d'épuration	Capacités		Volume moyen (m3/j)	Qualité des eaux épurées (Sortie)		
	(Eq/H)	m3/j		MES (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)
Station d'épuration à boues activées El Kala	25 000	1 900	1 295	30	54	84
Station d'épuration à boues activées Gantra	3 000	150	123	51	/	117
Station de lagunage naturel d'Oued El Hout	2 600	150	131	0	29	/

Source : ONA-2015





Photos n°22 : Stations de traitement des eaux usées dans le PNEK.

Ces stations ne prennent pas en charge une grande superficie des terrains du parc surtout celles des agglomérations rurales qui jettent directement ces eaux dans la nature ou dans des fosses septiques comme une solution favorable dans de telles circonstances de vie. Dans certains cas, dans les agglomérations urbaines, les réseaux d'assainissement sont parfois endommagés et des quantités d'eau s'écoulent en profondeur (Pht.23).

Photo personnelle prise en 2013



Photos n°23 : Échappées des eaux usées.

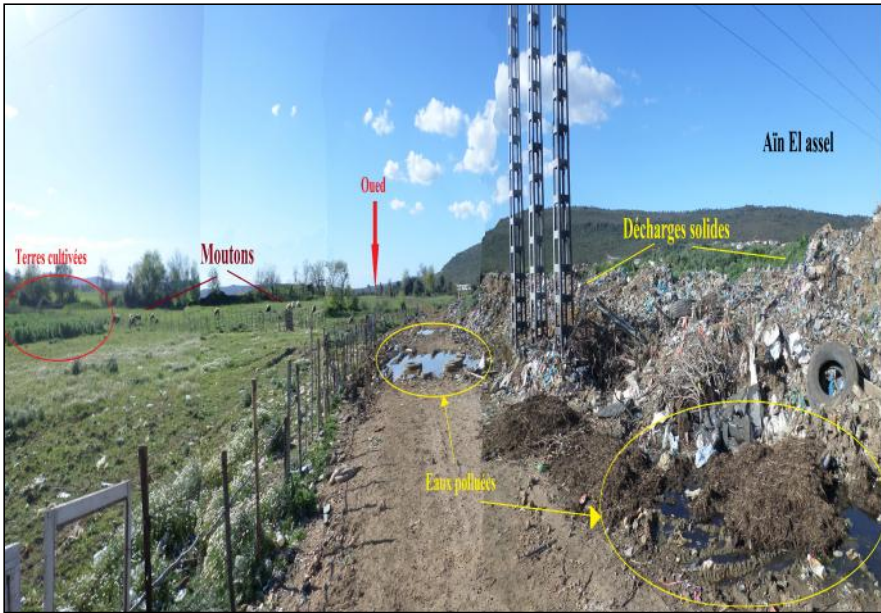
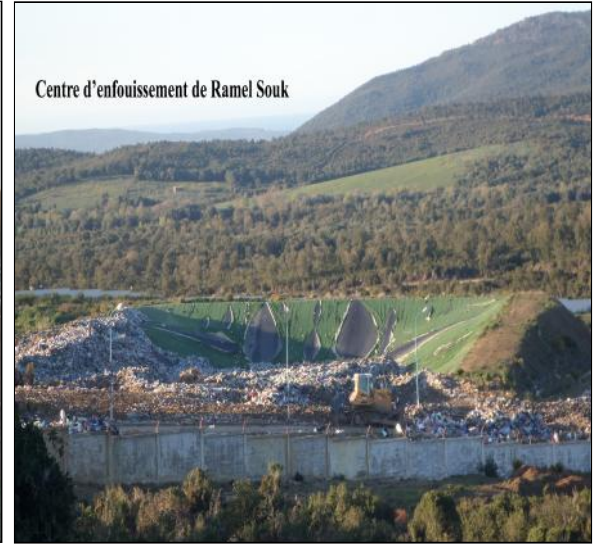
✚ L'existence de dépotoirs sauvages et communaux pour les ordures ménagères représente une menace réelle pour les ressources et les richesses naturelles dans le parc d'El Kala et donnent un mauvais comportement sur l'esthétique territoriale. Ces décharges permettent la reproduction des substances toxiques, des odeurs dégoûtantes, des rongeurs, des reptiles, des insectes...

Dans le PNEK, nous avons observé huit décharges et sont toutes à ciel ouvert et situées au voisinage des forêts et des cours d'eau (Tab.47). Elles représentent une source de contamination du sous-sol et donc de la nappe phréatique par des polluants toxiques et représentent aussi un grave danger pour la faune, la flore et la santé humaine qui se trouvent proche des décharges (maladies) (Pht.24).

Tableau n°47 : Décharges solides existantes dans le parc d'El Kala.

N°	Localité	Coordonnées UTM (DMS)			Observations
		Latitude- N	Longitude- E	Z(m)	
1	Bougous	36°37'28.8"	8°22'26.5"	192	Proche des agglomérations et de l'oued Bougous
2	Aïn El Assel	36°47'20.3"	8°22'03.5"	27	Au voisinage d'un oued à Mchtat S' ben Arous
3	El Frîne	36°48'43.6"	8°26'06.5"	42	Proche des affluents - amont de l'oued Bouhchicha
4	Raml souk	36°47'26.4"	8°32'50.4"	170	En amont des Chaâbets de l'oued Leben
5	El Aïoun	36°49'01.2"	8°36'11.58"	225	Proche de l'oued Skrouna
6	Oum Teboul	36°52'0.5"	8°34'35.9"	181	Proche des chaâbets de Zitoun
7	El Kala	36°53'17.5"	8°27'32"	157	Au voisinage de Chaâbets – amont l'oued Degrah
8	Guentra El Hamra	36°51'53"	8°20'42"	34	Proche du lac Melah et de l'Oubeïra

En 2014, Nous avons aperçu que les rejets solides au niveau des décharges d'El Frîne et d'El Aïoun ont été diminués et la possibilité de les transférer vers le centre d'enfouissement de Raml Souk. ,



Photos n°24 : Quelques décharges solides situées dans le PNEK.

Photos personnelles prises en 2013

VI-2-1-1/ Conséquences de ces rejets

Les ressources hydriques sont de plus en plus menacées par des contaminations dues aux rejets anthropiques qui renferment des polluants chimiques, organiques et toxiques susceptibles d'atteindre l'environnement : des métaux lourds, pesticides, lessives, et d'autres produits agricoles et industriels. C'est qu'à partir d'une étude synthétique effectuée basée sur des recherches réalisées dans la région d'étude et qui vont nous permettre de visualiser l'ampleur de l'influence anthropique sur la détérioration du milieu naturel.

Zaafour (2012) a montré les effets polluants des décharges solides sur le sol et sur l'eau. Ces décharges sont implantées sur des milieux naturels reconnus, plan d'eau, zones humides (prairie humide, marais...) et dans plusieurs cas, elles se trouvent très proches des eaux de surfaces (lac, oued, mer). Leur majorité est à vocation rurale, de type ménager ou agricole, rarement industriels. On peut trouver des déchets de toute nature tels que les papiers, carton, textiles ; déchets vert ; déchets hospitaliers ; déchet organiques...etc. En analysant certains échantillons (du sol et d'eau) proches des décharges, l'auteur a indiqué la présence des éléments toxiques et qui sont à l'origine de la décomposition de ces corps rejetées (Tab.48). Ces échantillons analysés se situent à une certaine distance des décharges (100 mètres environ) pour permettre de visualiser l'influence des rejets.

Tableau n°48 : Résultats d'analyse au voisinage de quelques décharges solides.

Décharge	Analyse du sol				Analyse de l'eau										
	ETM (mg/l)				Paramètres chimiques (mg/l)				Nutriments (mg/l)			ETM (mg/l)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	Cd	Cu	Pb	Zn
Aïn El Assel	0,04	0,03	0,11	0,03	106,5	344	72	3,36	19,36	5,24	0,37	0,041	0,029	0,208	0,096
El-Frêne	0,05	0,01	0,16	0,06	106,5	345,67	65,6	40,8	3,14	1,42	1,56	0,038	0,015	0,198	0,151
Rmal-Essouk	0,056	0,03	0,57	0,02	71	154	60	30,72	27,27	0,28	3,57	0,054	0,004	0,198	0,089
El-Aïoun	0,06	0,06	0,48	0,03	213	240,67	62,4	27,36	12,73	28,49	0,78	0,051	0,008	0,226	0,084
Oum Teboul	0,02	0,09	0,91	0,06	213	64	20	22,56	2,48	2,51	0,55	0,06	0,021	0,179	0,091
El-Kala	0,03	0,04	0,81	0,04	177,5	74	61,6	9,12	4,51	0,87	0,37	0,05	0,002	0,217	0,074
Gintra Hamra	0,04	0,05	0,78	0,08	177,5	94	92,8	6,72	4	0,55	0,27	0,025	0,027	0,141	0,133

Source : Zaafour

Nous pouvons ressortir, d'après le tableau n°48, que :

1- les résultats d'analyse des éléments en traces métalliques (ETM) dans le sol montrent la présence du Cuivre et du Zinc mais à des faibles teneurs ne dépassant pas les normes recommandées par l'OMS. Le Cadmium et le Plomb représentent des teneurs qui dépassent les normes recommandées (Cd-0,003 et Pb-0,01 mg/l).

2- L'analyse des éléments chimiques dans les eaux indique la présence du chlorure mais à des concentrations inférieures à la norme admise, les fortes concentrations en sulfate sont

observées au niveau des points situés proches des décharges d'Aïn El Assel, El Frêne, El Aïoun et Raml eSouk, le calcium et la magnésium sont présentes dans les eaux mais leurs concentrations sont inférieurs aux normes recommandées.

La détermination des nutriments, sources d'une pollution organique possible, dans l'eau indique des teneurs en nitrates mais dans leur majorité elles sont inférieures à la norme sauf pour le point situé au voisinage de la décharge de Raml eSouk et qui indique une valeur supérieure à la norme recommandée. Les fortes concentrations en phosphate sont observées dans tous les échantillons alors que l'ammonium, pour la plupart des échantillons, indique des teneurs supérieures à la norme recommandée par l'OMS.

La présence des éléments en traces métalliques dans les eaux est proportionnelle à celles déduites dans le sol. Les concentrations en Cuivre et le Zinc sont faibles et ne dépassent pas les normes conseillées, les teneurs en Cadmium et le Plomb sont fortes et dépassent les normes recommandées par l'OMS.

Les sols analysés sont caractérisés souvent par une texture propice à l'infiltration et la percolation des lixiviats provenant des décharges. Les eaux de pluies permettent la dispersion et la dilution des composés générés par l'évolution des déchets métalliques de toute nature. La concentration des éléments analysés reste encore dans les normes [ZAAFOUR, 2012].

VI-2-2/ Impact des rejets d'automobile

Le trafic routier génère, donc une pollution métallique qui se dépose sur les sols et les voiries. Cette pollution est essentiellement particulaire. Les éléments Zn et Pb sont deux contaminants majeurs qui pénètrent dans les sols lors de l'infiltration des eaux pluviales. Leur devenir est lié à leurs caractéristiques géochimiques et aux conditions physico-chimiques qui règnent dans le sol. Le plomb est très peu mobile du fait de sa très faible solubilité et de sa grande affinité pour la plupart des sols. Le zinc, plus soluble, se fixe généralement moins fortement sur la matrice et est donc plus mobile [ROUABHIA, 2006].

La pollution atmosphérique générée par les transports, ses impacts sur la qualité de l'air et sur la santé préoccupent aussi bien les citoyens que les pouvoirs publics, en particulier en ce qui concerne le milieu urbain. La pollution issue du trafic routier a également des incidences sur les milieux naturels. La pollution atmosphérique d'origine automobile est d'autant plus importante que le flux de circulation des véhicules est important [AOUADI, 2009].

VI-2-2-1/ Conséquences de ces rejets

Aouadi (2009) a pu réaliser une cartographie de la distribution de la pollution atmosphérique d'origine automobile dans le parc d'El Kala en utilisant une espèce végétale qui est le *pistachier lentisque*. La station choisie correspond au site de Bou Redim, exactement située sur une vallée à El Khanga au passage de la RN° 44 entre Bouteldja et El Tarf.

L'analyse statistique des paramètres étudiés révèle l'incidence des gaz d'échappements sur le bio-indicateur utilisé en l'occurrence le lentisque (Fig.101). Les résultats obtenus montrent que l'exposition aux xénobiotiques affecte sensiblement la croissance des plantes de *Pistacia lentiscus*. Des études similaires montrent que le cadmium a tendance à affecter sensiblement les paramètres de croissance des végétaux. La mesure de l'activité respiratoire montre une stimulation significative, cette augmentation de l'intensité respiratoire des racines de *Pistacia lentiscus* est due à l'absorption des différentes substances et polluants que contient le sol après lessivage de ces dernières par la pluie [AOUADI, 2009].

Source traitée : Aouadi

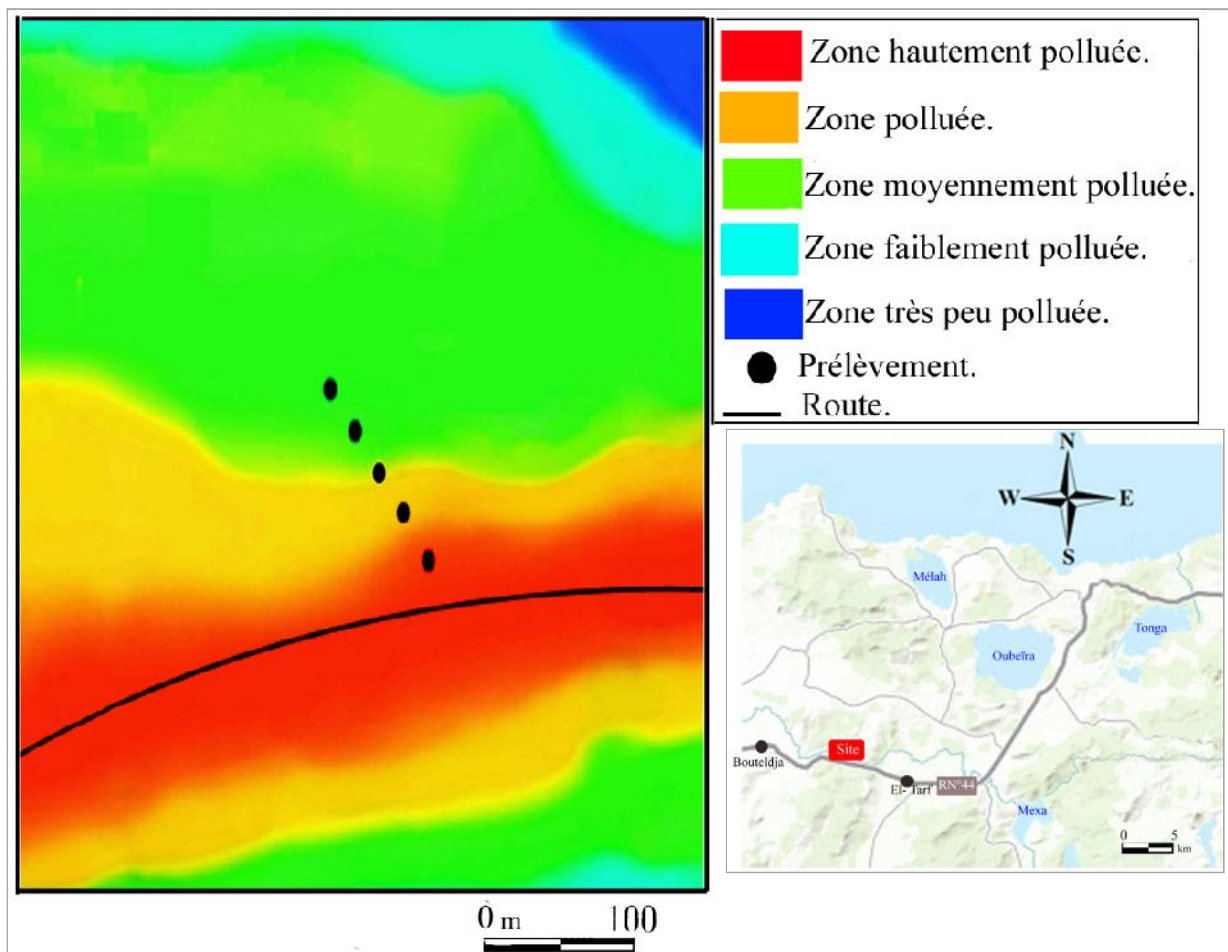


Figure n°101 : Cartographie de la distribution de la pollution automobile au niveau du site de Bou Redim.

Il faut mentionner aussi que les substances toxiques produites du freinage des pneus sur les voies routières, les huiles et les hydrocarbures dégagés des moteurs et le gaz libéré des échappements des véhicules vont être lessivés par les eaux des pluies et s'agglomèrent sur les sols. L'agglomération de ces substances menace de polluer le sol et l'eau car elles sont insolubles et sont difficiles à éliminer (Pb, Zn..).

Il est donc permis de penser que l'autoroute qui va drainer un flux de circulation plus important sera à l'origine d'une pollution à court terme sur une distance pouvant aller jusqu'à 500 m de part et d'autre de l'axe routier. D'autres types de pollution ayant un impact négatif sur les écosystèmes fragiles comme le Bou Redim dont la richesse spécifique équivaut à celle du Lac Tonga tel que: le bruit, les eaux résiduaires et les risques de pollution accidentelle. Des mesures de protection doivent être envisagées le long des routes (plantation d'arbres et de lits filtrants) [AOUADI, 2009].

VI-2-3/ Contamination métallique des eaux

Les métaux lourds constatés dans l'environnement aquatique émanent de sources naturelles et anthropogènes. Leur présence peut être le résultat soit de déversements effectués directement dans les écosystèmes aquatiques, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas des décharges sèches et humides et du ruissellement agricole. Les lacs étant, par nature, le réceptacle des eaux de pluie qui lessivent leurs bassins versants et, de plus en plus, celui des eaux usées des populations riveraines [BENDJAMA, 2007].

Dans les eaux naturelles, ces métaux se trouvent à de très faibles teneurs et sont de l'ordre de microgramme par litre. La présence des métaux lourds dans l'eau, à de fortes concentrations, est, soit d'origine géologique par la libération de ces métaux existant dans certains minéraux (Galène - PbS / Sphalérite - (Zn,Fe)S₂ / Chromite - FeCr₂O₄ ..), ou d'origine anthropique par le rejet solides des produits à utilisation domestique (les emballages métalliques, les lampes, les batteries, la peinture, gaz d'échappement des véhicules, corps plastiques, matériaux de plomberie, caoutchouc...), les rejets liquides (détergents, carburants...) et des produits à utilisation agricole (pesticide comme le fongicide, dans les fertilisants, épandages agricoles dans les engrais...).

Bendjama (2007) a étudié les degrés de la contamination métallique au niveau des trois lacs (Mellah, Oubeïra et Tonga) ; deux prélèvements pour chaque lac (oueds) ont été effectués au cours de l'année 2006. Les résultats traités ont été représentés dans la figure n°102 (Tab.19 - annexe).

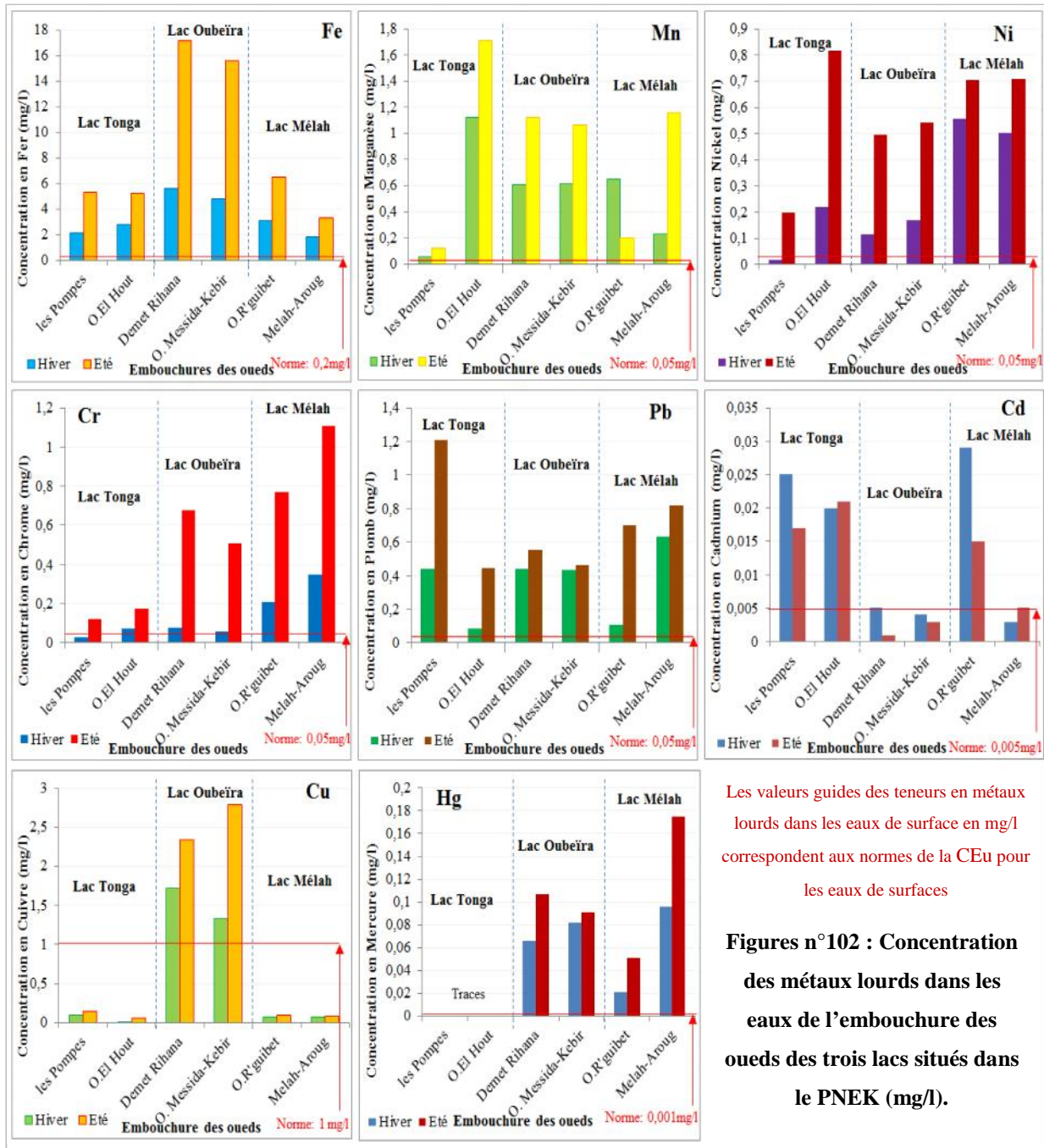
Les résultats concernant les concentrations des métaux lourds analysés dans les eaux superficielles des trois lacs (Fig.102) montrent des fortes teneurs dépassant même les normes européennes recommandées.

En ce qui concerne le fer, les concentrations obtenues dépassent la norme requise (0,2 mg/l) alors que les fortes teneurs sont observées dans les deux points qui correspondent au lac Oubeïra pour un maximum de 17,19 mg/l mesuré à l'embouchure de Demet Rihana. Pour le manganèse, les concentrations obtenues dépassent la norme requise (0,05 mg/l) et la forte concentration est observée, en été, dans le point situé au Sud-Est du lac Tonga (oued El Hout) pour une valeur de 1,71 mg/l. Pour le nickel, les concentrations obtenues dépassent la norme requise (0,05 mg/l) et les fortes teneurs sont observées dans les deux points qui correspondent au lac Mélah et un maximum enregistré à oued El Hout pour une valeur de 0,816 mg/l.

Pour le chrome, les concentrations obtenues augmentent en été et dépassent la norme requise (0,05 mg/l) et les fortes concentrations sont observées dans les deux points qui correspondent au lac Mélah alors que le maximum est enregistré au point situé entre oued El Aroug et oued Mélah pour une valeur de 1,11 mg/l. Pour le plomb, les concentrations obtenues dépassent la norme requise (0,05 mg/l) et les fortes teneurs sont observées dans le Nord du Tonga et qui correspond à la station des pour une valeur de 1,206 mg/l. Pour le cadmium, les concentrations obtenues, de certains oueds, dépassent la norme requise (0,005 mg/l) et les fortes concentrations sont observées dans les deux points qui correspondent au lac Tonga et le maximum est enregistré à oued R'guibet (Mélah) pour une valeur de 0,029 mg/l. Les concentrations du cadmium s'abaissent en été pour certains points analysés.

Pour le cuivre, les concentrations obtenues, pour la plupart des échantillons, sont inférieures à la norme requise (1 mg/l) ; seulement les deux points qui correspondent au lac Oubeïra indiquent des concentrations supérieures à la norme recommandée. Le maximum est enregistré à oued Messida pour une valeur de 2,788 mg/l. Pour le mercure, les concentrations obtenues au niveau des lacs Oubeïra et Mélah dépassent la norme requise (0,001 mg/l), alors qu'au niveau du lac Tonga, le mercure est sous forme de trace. La plus importante concentration est observée au Sud du lac Mélah, au point situé entre oued El Aroug et oued Mélah pour une valeur de 0,175 mg/l.

Traitées source : Bendjama



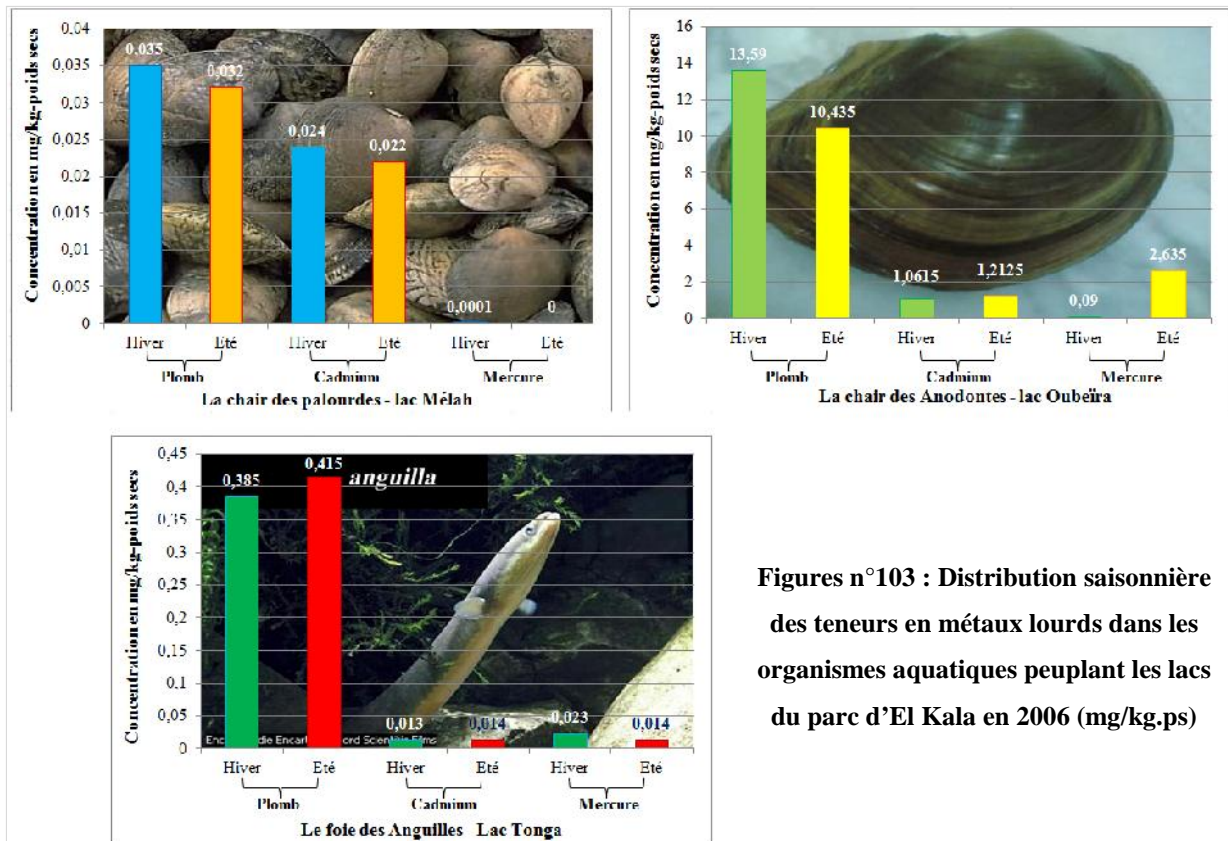
VI-2-3-1/ Conséquences sur la faune

La concentration des métaux lourds à des fortes proportions dans les eaux naturelles peut conduire à la toxicité certaines espèces aquatiques en s'accumulant dans leurs organes vitaux et peuvent même provoquer leur mort.

Pour constater le degré de la contamination de certaines faunes vivaient dans les eaux, Bendjama (2007) a choisi d'étudier des espèces aquatiques utilisées comme bio- indicateurs

d'une pollution métallique et qui sont capables de bio-accumuler des métaux dans leurs chairs. Deux types de bivalves, qui sont la palourde prélevée au niveau du lac Mélah et l'Anodonte pour le lac Oubeïra, ont un habitat très étendue et diversifié (benthique, saumâtre, douce, marins...). Au niveau de l'étang du Tonga, on a prélevé un poisson euryhalin très connu dans la région et qui est doté d'une grande valence écologique ; c'est l'anguille.

Traitées source : Bendjama



Figures n°103 : Distribution saisonnière des teneurs en métaux lourds dans les organismes aquatiques peuplant les lacs du parc d'El Kala en 2006 (mg/kg.ps)

Les variations saisonnières des teneurs en plomb, cadmium et en mercure existaient dans les organismes aquatiques répartis dans les trois lacs, Mélah, Oubeïra et Tonga, sont indiquées dans la figure n°103 (Tab. 19 - annexe). On peut déduire que :

✚ Les teneurs en plomb relevées dans la chair de palourde (Mélah) varient de 0,035 à 0,032 mg/kg de p.s. avec une légère diminution en été. La norme du plomb recommandée pour cette espèce étant égale à 1,5 mg/kg (VGF), on peut dire que les palourdes du lac Mélah sont indemnes de toute contamination par le plomb. Les concentrations en cadmium de la chair de palourde sont proches et sont comprises entre 0,024 et 0,022 mg/kg de p.s. La norme admise du cadmium étant égale à 0,5 mg/kg (VGF), on peut dire que les palourdes du lac Mélah sont indemnes de toute contamination par le cadmium. La chair de palourde montre, en hiver, des teneurs en mercure très faible, de l'ordre du millième de mg/kg de p.s. En période

estivale, ce métal est en revanche rencontré à l'état de traces. La norme du mercure étant égale à 0,1 mg/kg (VGF), on peut dire que les palourdes sont indemnes de toute contamination par le mercure.

✚ La chair d'anodonte (Oubeira) présente des teneurs en plomb comprises entre 13,59 et 10,43 mg/kg de p.s avec une légère diminution en été. La norme du plomb pour cette espèce étant égale à 1,5 mg/kg (VGF), on peut dire que les anodontes du lac Oubeira sont contaminés par le plomb. Les teneurs en cadmium contenu dans la chair d'anodonte sont comprises entre 1,06 et 1,2 mg/kg de p.s; La norme du cadmium pour cette espèce étant égale à 0,5 mg/kg (VGF), on peut considérer que les anodontes sont contaminés par le cadmium. Les teneurs en mercure rencontrées dans la chair d'anodonte ne dépassent pas 0,1 mg/kg de p.s en période hivernale. Toutefois, en période estivale, la teneur en mercure de l'anodonte atteint 2,6 mg/kg de p.s. La norme du mercure étant égale à 0,1 mg/kg (VGF), on peut considérer que les anodontes sont contaminés par le mercure.

La chair d'anodonte présente aussi des fortes teneurs en manganèse, en nickel, en chrome et en cuivre et qui dépassent les valeurs guides françaises, on peut dire que les anodontes sont contaminés par ces métaux (Tab. 19 - annexe).

✚ Le foie d'anguille (Tonga) montre des teneurs en plomb qui varient entre 0,38 et 0,41 mg/kg de p.s. Il montre une hausse en été et une baisse en hiver. La norme du plomb étant égale à 2 mg/kg (CEu), on peut dire que les anguilles du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le plomb. Le cadmium contenu dans le foie d'anguille est à des concentrations proches entre les deux saisons et sont comprises entre 0,013 à 0,014 mg/kg de p.s. La norme du cadmium étant égale à 0,50 (CEu), on peut considérer que les anguilles du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le cadmium. Le foie d'anguille indique des concentrations en mercure qui varient entre 0,023 et 0,014 mg/kg de p.s. Il montre une hausse en été et une baisse en hiver. La norme du mercure étant égale à 5 mg/kg (CEu), on peut dire que les anguilles sont indemnes de toute contamination par le mercure.

Il faut signaler que ces espèces aquatiques sont vendues dans les marchés et sont donc consommées par la population humaine. Il faut dire que la consommation des anodontes est interdite car ces métaux, une fois dans le corps humain, vont s'accumuler dans des organes vitaux sensibles comme le cerveau, le foie... Pour les anguilles et les palourdes, les teneurs en métaux lourds sont plutôt inférieures aux normes recommandées, donc leur consommation est normale mais à long terme l'impact pourra être visualisé.

Concernant l'origine de ces métaux lourds dans les échantillons analysés, on note que pour le plomb, le cadmium et le mercure l'origine est anthropique [BENDJAMA, 2007].



CONCLUSION GÉNÉRALE
ET
RECOMMANDATIONS



ii-1/ CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

Le parc national d'El Kala est un héritage d'importance nationale qui renferme une richesse naturelle et culturelle rarissime ; c'est pour cette raison que l'UNESCO l'a classé comme réserve de la biosphère en 1990. Le PNEK se situe à l'extrême Nord- Est de l'Algérie et plus précisément dans la wilaya d'El Tarf. Il couvre une superficie de 786,28 km². Le territoire du parc d'El Kala possède une géomorphologie très diversifiée ; on aperçoit des éminences couvertes de forêts, des dépressions occupées par de nombreux lacs et oueds et un couloir maritime dessiné par des dunes sableuses et des récifs rocheux qui donnent à ce milieu une belle physionomie pour les espèces marines. La zone d'étude qui appartient au domaine géologique du Tell algérien nord- oriental, est caractérisée par les affleurements des grés et des argiles du Numidien et l'étendue des formations quaternaires. Elle est cependant avant tout un pays de plis Cénozoïque et les déformations structurales plicatives et cassantes qui l'ont touchées correspondaient à la phase de néotectonique poste- tortonienne. Le parc national d'El Kala est conçu d'importants écosystèmes qui lui offrent une richesse remarquable en espèces animales et végétales connues comme rares et magnifiques. De plus sa richesse naturelle, le parc abritent des sites archéologiques et historiques dévoilant encore son importance culturelle.

Le territoire du parc national d'El Kala est réparti entre neuf communes de quatre daïrates et il est protégé par un siège public à caractère administratif doté de directions et de personnels et qui préside le parc à travers trois secteurs de gestion : Secteurs de Bougous, de Brabtia et d'Oum Teboul. Pour mieux contrôler sa richesse naturelle, le PNEK est dessiné en cinq classes de protection des zones. La population humaine, vivaient à l'intérieur du parc, a évoluée remarquablement et qui a atteint les 77000 habitants en 2008. Cette évolution est accompagnée d'une croissante socio- économique indéterminée au détriment de l'écosystème qui est normalement protégé. L'exemple de la ville d'El Kala montre l'extension continue de l'urbanisme sur des terres sauvages engendrant d'énormes quantités de déchets non traités dispersés dans le sol, le sous- sol et même dans l'eau. Le PNEK comporte un réseau routier spacieux et surtout avec la traversée d'un tronçon de l'autoroute Est- Ouest sur des superficies où il est interdit toute plantation des édifices humains. Les populations du parc ont toujours été majoritairement composées d'éleveurs et d'agriculteurs. L'exploitation des surfaces agricoles utiles s'est augmentée de 15 889 hectares en 2003 à 16172 hectares en 2010. On déduit que cette exploitation agricole s'exerce au détriment des surfaces forestières et des pelouses qui se contractent avec l'extension des terres agricoles. L'élevage des animaux est

une nécessité exercée dans le PNEK, les animaux domestiques (bovins, ovins, caprins) se sont haussés de 88645 têtes en 2003 à 106483 têtes en 2012. L'industrie est pratiquement inexistante dans le parc national d'El Kala ; seulement dix unités de production industrielles existaient avec une grande concentration dans les communes d'El Kala et de Bouteldja.

Le climat du parc national d'El Kala, pour une précipitation et une température moyennes annuelles respectivement de 770,1mm et 18,22°C (1971/72-2009/10), est du type méditerranéen tempéré avec une saison humide allant du mois de septembre jusqu'au mois de mai et une saison sèche qui débute du mois de mai et qui s'achève au mois d'août. Selon la méthode de C. W. Thornthwaite, 66% des précipitations sont captées par l'évapotranspiration (ETR=505,22mm). Le déficit agricole est moins élevé par rapport à l'excédent qui est de l'ordre de 264,88mm. Le bilan hydrologique, pour un ruissellement de 20% et une infiltration de 14% de la précipitation annuelle, est un bilan excédentaire.

Le parc d'El Kala est inclus dans le bassin versant de la Mafragh et il est constitué de plusieurs sous bassins versants d'une superficie d'environ 1142,36 km². Les valeurs de l'indice de compacité de Gravelius montrent que ces sous bassins versants possèdent des formes rectangulaires. Les reliefs sont assez forts à modérés. Le réseau hydrographique est unique car on observe un réseau d'oueds dense qui se réunit à plusieurs mares d'eau dans un même endroit ; nous pouvons citer les oueds : El Kebir- Est, Bougous, Eurg, Mélah et les lacs : Tonga, Mellah, Oubeïra, Noir... Ce réseau hydrographique est plutôt dendritique. Deux barrages sont construits dans le PNEK afin de satisfaire les besoins en eau dans la région ; le barrage de Mexa d'une capacité totale de 47 Hm³/an et le barrage Bougous d'une capacité totale de 65 Hm³/an.

A partir des renseignements que nous ont fournis les colonnes et les cartes hydrogéologiques, nous avons distingué trois nappes aquifères. Une nappe superficielle (libre) composée de sables et de graviers de grès d'épaisseur d'environ 60 mètres et localisée au nord de la région. Une nappe profonde (semi- captive) à réservoir constitué de graviers et de sables et argiles sableuses à toit et substratum argileux imperméable localisée dans la plaine d'El Tarf et d'Oum Teboul. La nappe des grès ou la nappe des graviers caillouteux d'épaisseur allant à 20 mètres et qui renferme de nombreuses sources jaillissantes. L'infiltration représente la principale source d'approvisionnement de ces aquifères.

L'examen de la carte piézométrique réalisée en 2011 montre une même allure des courbes pour les deux périodes (hautes et basses eaux) où les eaux souterraines s'écoulent du Sud et l'Est vers l'intérieur aboutissant à l'alimentation des principaux lacs et les aquifères profonds mais la morphologie des courbes ne se rassemble pas car le sur- pompage (période sèche) des

puits désoriente le dessin des courbes mais l'écoulement des eaux suit la topographie de la région. L'interprétation des données hydrodynamiques montrent que la perméabilité est bonne à moyenne dans les formations dunaires libre et moyenne à faible dans les formations profondes semi- captives. Les potentialités en eaux souterraines disponibles montrent que le parc d'El Kala est exploité par plusieurs puits et forages et la présence des sources de bonne qualité permet à la population du parc de les utiliser continuellement.

Une analyse chimique et organique des eaux réparties entre superficielles et souterraines nous a permis d'évaluer le comportement de ces eaux en interaction avec son écosystème et d'identifier les pollutions probables d'origine naturelle et anthropique. D'après l'interprétation des paramètres physico- chimiques, nous pouvons constater que les eaux ont un pH avoisinant la neutralité avec une légère trace alcaline. Les températures des eaux, en surface, sont influencées par celle de l'air alors, qu'en profondeur, elles s'inversent ; mais en majorité elles ne dépassent pas les normes de l'OMS. La conductivité électrique et la salinité montrent une minéralisation moyenne à forte selon les eaux analysées surtout dans le côté est de la région d'étude.

L'analyse chimique révèle que la variation des différents paramètres chimiques majeurs, en profondeur, est en fonction de plusieurs facteurs liés à la lithologie des terrains. En surface, d'autres facteurs (climatiques et humains) interviennent sur le comportement chimique des eaux. Les éléments chimiques majeurs indiquent, dans leur majorité, des concentrations inférieures aux normes recommandées. Le faciès chimique dominant pour les eaux souterraines et superficielles, à partir de la formule ionique, du diagramme de Piper et de Stiff, est chloruré sodique et un peu moins le faciès bicarbonaté calcique. Des corrélations réalisées entre certains éléments chimiques confirment les origines naturelles géologiques des eaux analysées en présence des argiles et, dans certains endroits, des formations carbonatées et salifères.

L'analyse des paramètres organiques indiquent de fortes concentrations en phosphates et en azotes (l'ammonium, le nitrate et le nitrite) dont ses origines sont purement anthropiques ; les rejets des eaux usées polluées et des déchets organiques solides, l'utilisation intensive des engrais et des pesticides sont les causes. L'évaluation de la pollution anthropique à partir de l'interprétation des méthodes de pollution organiques (IPO / Lisec-Index / IHE) nous a permis de constater que les eaux sont polluées mais à des degrés différents.

L'utilisation des eaux pour l'irrigation, par l'interprétation des diagrammes de Richards et Wilcox, montre une variation des classes dans la distribution des échantillons traités et qui est, d'une manière générale, caractérisée par des eaux d'une qualité bonne à admissible à

l'irrigation des cultures. En période des basses eaux, nous apercevons que deux échantillons (P₂ et P₄) sont caractérisés par une eau d'une qualité médiocre à mauvaise. L'accroissement de l'utilisation des eaux irriguées surtout en période de sécheresse (Basses eaux) traduira l'apparition des sels sur les sols et permettent une augmentation de la minéralisation qui détériora la qualité des eaux.

Les activités anthropiques clandestines exercées dans le parc national d'El Kala sont remarquées surtout par la surexploitation des terres et des forêts et qui sont les véritables abris de nombreuses espèces vivantes qui ont octroyé à ce parc cette importance mondiale. Une croissance démographique continue suivie d'une bâtisse intense et anarchique au détriment de l'espace vert. L'utilisation indispensable des engrais et des pesticides de la part des agriculteurs, les rejets liquides déversés dans la nature, et même pour les ordures ménagères, vont libérer des quantités de métaux lourds, toxiques pour l'écosystème et même pour les êtres humains. Le sol est pollué, l'eau est polluée et l'air aussi ; un trafic routier croissant et de nombreux véhicules circulent sur des routes qui sont en train de se propager avec l'achèvement du tronçon de l'autoroute Est- Ouest qui, à long terme, finalisera la netteté du lieu par le dégagement des bruits et des corps toxiques libérés des automobiles.

Les conséquences de ces activités sont illustrées à travers une étude synthétique réalisée en interprétant quelques travaux réalisés dans la région d'étude. Des analyses chimiques et organiques réalisées sur des échantillons d'eau et du sol ont évoqué leur contamination par de fortes concentrations des éléments polluants et toxique au voisinage des dépotoirs sauvages où on trouve des déchets de toutes natures. La contamination de certaines espèces végétales (*Pistacia lentiscus*) par des substances polluantes expulsées des gaz d'échappements des automobiles et qui troublent leur mode de vie. Du fait de la pollution des lacs par des métaux lourds, quelques espèces aquatiques connues dans la région (*Palourdes, anodontes et anguilles*) ont dévoilées la présence de certains métaux toxiques dans leurs organismes vitaux à des concentrations distinctes et indiquant leur contamination.

Le PNEK est un milieu où l'eau, la faune et la flore se sont réunies pour dessiner une vraie mosaïque de nature. Derrière cette beauté rarissime se cache une horrible image d'une inconscience humaine envers la pérennité de cet espace. L'impact négatif de l'homme sur son environnement et sur la dégradation de la qualité des eaux en surface et en profondeur est aperçu. L'homme peut épurer l'eau mais il trouvera des difficultés à épurer ce qu'il consomme de fruits, de légumes et de la viande car il ignore leur contamination.

Malgré les lois présidentielles, les décrets ministérielles et les réglementations rigoureuses de la part des responsables du parc d'El Kala mais on a toute une vie humaine et ses accessoires socio- économiques qui continuent à se croître et à exercer des pressions sur l'écosystème. Il serait légitime de notre part de proposer des conseils et des recommandations afin de mieux et de bien préserver, maîtriser et rafraîchir la dépendance positive entre l'homme et son environnement :

✓ Convaincre les autorités locales concernées à sensibiliser les habitants du parc, les touristes à l'importance de cette aire protégée et à éduquer les enfants sur la propreté de l'environnement par des programmes pédagogiques qui permettent aux enseignants, du primaire au lycée, de développer des plans exemplaires et des travaux in situ. Des panneaux d'informations techniques et instructives sont également à implanter à proximité des agglomérations. Les mentalités des individus qui constituent la société du PNEK doivent être réconciliées davantage pour apprendre l'importance de ce qu'elles ont sous leurs pieds. Ça serait la première et l'importante étape vers la préservation de l'environnement.

✓ Contrôler, voir stopper l'extension croissante de l'habitat diffus afin d'épargner le plus possible les surfaces naturelles. S'intéresser aux maisons écolos qui interagissent avec l'écosystème et recycler les eaux grises et les réutilisées. Les rejets solides doivent être classifiés et recyclés aussi.

✓ Restaurer des espaces dégradés et réduire la déforestation et l'abaissement du niveau d'eau. Le parc n'existait pas pour des intérêts agricoles et il serait mieux d'adopter l'agriculture bio, elle est utile. Le sur- pompage des eaux des lacs et des puits profonds doit être interdit ou contrôlé car le parc, à présent, se dispose de deux barrages capables d'alimenter plusieurs agglomérations en eau.

✓ L'activité pâturage dans le parc doit être cernée et limitée pour prévenir tout risque de pollutions fécales et le piétinement des zones humides.

✓ La mise en place de réseaux de surveillance piézométrique permanents pour permettre l'observation et l'évolution des niveaux de nappes souterraines, des débits exploités et de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux.



Références bibliographiques

Listes appropriées

Annexes



Références bibliographiques

- [01] **ABH-CSM (2004)** – *Les cahiers de l'Algérie. Le bassin du Kebir- Rhumel*. MRE, n°8. 44P.
- [02] **AKROUM. H (2013)** - *Perspectives de développement écotouristique au parc national d'El Kala*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 118P.
- [03] **ANCTIL. F & ROUSSELLE. J & LAUZON. N (2012)** - *Hydrologie: cheminements de l'eau*. Livre. Presses internationale Polytechnique, Canada.365P.
- [04] **ANRH. (2013)** - *Données climatiques du siège régional*. Constantine, Algérie.
- [05] **AOUADI. A (2009)** - *Cartographie de la distribution de la pollution atmosphérique d'origine automobile au niveau de la région d'El Kala en utilisant: Pistacia lentiscus*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 85P.
- [06] **BAHROUN. S (2006)** - *Impact des eaux usées urbaines et industrielles sur les eaux naturelles dans la région d'El Tarf*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 122P.
- [07] **BELOUAHEM-ABED. D (2012)** - *Etude écologique des peuplements forestiers des zones humides dans les régions de Skikda, Annaba et El Tarf (Nord-Est algérien)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 239P.
- [08] **BELOULOU. L (2011)** - *Cours d'hydrologie fondamentale avec exercices d'application*. UBM Annaba, Algérie. 29P.
- [09] **BENDJAMA. A (2007)** - *Niveaux de contamination par les métaux lourds du complexe lacustre (Tonga, Oubeïra, El-Mellah) du parc national d'El-Kala*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 157P.
- [10] **BENTOUILI. M Y (2007)** - *Inventaire et Qualité des Eaux des Sources du Parc National d'El Kala (N-Est algérien)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 113P.
- [11] **BOUAZOUNI. O (2004)** - *Parc National d'El Kala Etude socio-économique du PNEK*. Projet régional MedMPA, UNEP. 51P.
- [12] **BOUGUERRA. S A (2014)** - *Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie septentrionale : cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tlemcen)*. Mémoire Magister. UNIV ABOUBEKR BELKAID, TLEMEN, Algérie. 127P.
- [13] **BOUKHNOUNA. S (2008)** - *Impact de l'oued Bounamoussa sur la qualité des eaux de la nappe alluviale superficielle d'El Asfour (wilaya d'El Tarf)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 112P.
- [14] **BOULAKOUD. Z (2009)** - *Variations quantitatives et qualitatives des ressources en eau des nappes superficielles de la région de Annaba*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 111P.
- [15] **BOUSNOUBRA. H & ROUABHIA. A K & KHERICI. N & DERRADJI. E & EL KANDJ. Y (2009)** - *Vulnerability to the pollution and urban development of the massive dune of Bouteldja, northeastern Algerian*. Journal Geographia Technica, no°.1. 7P.

Références bibliographiques

- [16] **BOUZIANI. M (2000)** - *L'eau. De la pénurie aux maladies*. Livre. Editions IBN- Khaldoun, Algérie. 243P.
- [17] **BRAHMIA. A (2008)** - *Etude de la structure profonde du système aquifère du fosse d'effondrement de Terraguelt, haute Seybouse*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 109P.
- [18] **BRAHAMIA. K & SEMOUK. A (2010)** - *Activité touristique dans un espace fragile : cas du Parc National d'El kala*. El-Tawassol. N° 26, P 34-57.
- [19] **CASTANY. G (1982)** - *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Livre. Dunod université Paris, France. 238 P.
- [20] **CENEAP-PNEK (2011)** - *Problématique de la gestion des zones humides : le cas particulier du Parc National d'El Kala*. Cahier synthèse. Journée d'étude, El Kala, Tarf, Algérie. 23P.
- [21] **CHAOUI. W (2007)** - *Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 97P.
- [22] **CHEKCHAKI. S (2012)** - *Caractérisation morpho-analytique des sols des aulnaies glutineuses du complexe lacustre (Parc National d'El Kala)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 123P.
- [23] **CHENORKIAN. R & ROBERT. S (2014)** - *Les interactions hommes- milieux. Questions et pratiques de la recherche en environnement*. Livre. Editions Quae, France. 176P.
- [24] **DANVERS. F (2012)** - *S'orienter dans la vie : la sérendipité au travail ? Dictionnaire de sciences humaines et sociales – Tome 2 de la 501^e à la 600^e considération*. Livre. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, France. 1068P.
- [25] **DE BELAIR. G (1990)** - *Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre Eco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala, est algérien)*. Thèse de doctorat, Univ. de Montpellier II, France. 193P.
- [26] **DEBIECHE. T H (2002)** - *Evolution de la qualité des eaux (Salinité, acidité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline agricole, et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse, N-Est Algérien*. Thèse doctorat. Univ de Franche- comté, France. 200P.
- [27] **DELCAILLAU. B (2004)** - *Reliefs & tectonique récente*. Livre. Vuibert éditions, Paris, France. 259P.
- [28] **DEROUICHE. A M (2008)** – *Impact des eaux du rejet sur la qualité des eaux de la nappe libre d'Oued Souf*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 148P.
- [29] **DERRADJI. F (2004)** - *Identification quantitative et qualitative des ressources en eau dans la région d'Annaba -El Tarf (Nord-est de l'Algérie)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 200 p.
- [30] **DERRADJI. F, BOUSNOUBRA. H, KHERICI. N, ROMEO. M, CARUBA R (2007)** - *Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est Algérien*. Revue sécheresse, Vol. 18, N°1, P 23-27.

Références bibliographiques

- [31] **DJABRI. L (1996)** - *Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse- Origine géologique, industrielle, agricole et urbaines*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 261P.
- [32] **DJEDDI. M (2015)** - *Contexte géodynamique, tectonique et sismologique du nord- oriental de l'Algérie*. 63P.
- [33] **DJELLOUL. R (2013)** - *Cartographie des champignons au niveau du Parc National d'El Kala (Nord Est Algérien)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 188P.
- [34] **DJEMAI. M (1985)** - *Hydrologie du bassin versant du haut Sébaou : hydrogéologie des formations alluviales (Algérie)*. Thèse doctorat. Univ Scientifique et Médicale de Grenoble, France. 236P.
- [35] **DJIDEL. M (2008)** - *Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 165P.
- [36] **DUCHESNE. R & CAMBROSIO. A (1984)** - *Enjeux du Progrès*. Livre. Presses de l'université du Québec, Canada. 356P.
- [37] **ELMEDDAHI. Y (2008)** - *Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du Moyen Cheliff*. Mémoire Magister. Univ Hassiba Ben Bouali, Chleff, Algérie. 137P.
- [38] **FERCHICHI. W (2010)** - *Etude de la législation sur les aires protégées en Tunisie*. Rapport de synthèse. MEDD & UICN, Tunisie. 24P.
- [39] **GAAGAI. A (2008)** - *Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued El Arab, région est de l'Algérie*. Mémoire Magister. UNIV de Batna, Algérie. 107P.
- [40] **GHERZOULI. C (2013)** - *Anthropisation et dynamique des zones humides dans le nord-est-algérien : apport des études palynologiques pour une gestion conservatoire*. Thèse doctorat. Université Toulouse 2 Le Mirail, France. 181P.
- [41] **GHRIB. L (2011)** - *Impact de la minéralisation des formations triasiques sur la qualité de l'eau et du sol en zone semi- aride : cas de la plaine Bekkaria- Tébessa (extrême Nord-Est algérien)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 136P.
- [42] **GILLI. E & MANGAN. C & MUDRY. J (2004)** - *Hydrogéologie Objets, méthodes, applications*. Livre. Dunod, Paris, France. 303P.
- [43] **GOUAIDIA. L (2008)** - *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est algérien*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 130P.
- [44] **GRIMES. S (2005)** - *Plan de gestion de l'aire marine du Parc National d'El Kala (Wilaya d'El Tarf)*. Projet MedMPA, UNEP. 130P.
- [45] **GROSCLAUDE. G (1999)** - *L'eau: Usages et polluants (tome II)*. Livre. INRA éditions, Paris, France. 209P.

Références bibliographiques

- [46] **GUEFAIFIA. O (2007)** - *Identification et caractérisation d'un milieu karstique et sa contribution à l'alimentation du champ captant : Hammamet - Ain Chabro. Cas de la zone de Bouakkous-Hammamet. Région de Tébessa.* Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 124P.
- [47] **HAIED. N (2008)** - *Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja (NE Algérien).* Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 120P.
- [48] **HAMOUDA. S (2012)** - *Parcs nationaux, réserves de biosphère et activités agricoles. Enjeux au sein du parc national d'El- Kala. (Algérie).* Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 250P.
- [49] **HAMZAOUI. S (2011)** - *Gestion et impact des déchets solides urbains sur l'environnement, El Tarf commune.* Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 105P.
- [50] **HANDOUZI. M A (2011)** - *Evolution du chimisme des eaux du barrage Mexanna (Nord-Est Algérien).* Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 103P.
- [51] **HARBI. A & MAUCHE. S (2009)** - *Les principaux séismes du Nord- Est de l'Algérie.* Mémoires n°16 du service géologique national, Alger, Algérie. 81P.
- [52] **HERTIG. J A & al (2006)** - *Etudes d'impact sur l'environnement.* Livre. PPUR presses polytechniques, Lausanne ; Suisse. 529P.
- [53] **HOMEWOOD. K M (1993)** - *Livestock economy and ecology in El Kala, Algeria, evaluating ecological and economic costs and benefits in pastoralism systems.* 18P.
- [54] **HOUBIB. H (2012)** - *Analyse Multicritères des composantes du Milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée de Oued Mellagou- Bouhmama W. KHENCHELA.* Mémoire Magister. Univ El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie. 181P.
- [55] <http://www.craag.dz/>
- [56] <http://www.ramsar.org/>
- [57] **HUFTY. A (2001)** - *Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau.* Livre. Les presses de l'université Laval & De BOECK université, Canada. 545P.
- [58] **JOLEAUD. L (1936)** - *Etude géologique de la région de Bône et de la Calle.* Bulletin du service de la Carte géologique d'Algérie. 200p.
- [59] **KACHI. S (2007)** – *Vulnérabilité de la nappe alluviale de Tébessa- Morsott face aux polluants.* Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 159P.
- [60] **KHELFAOUI. H (2014)** - *Modélisation des écoulements et de transport de masse dans une région industrielle : Exemple de la nappe de Berrahal, Nord-Est Algérien.* Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 161P.
- [61] **KHERICI. N (1985)** - *Aquifère sableux de bords de mer. Hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappe de Bouteldja (Nord Est algérien).* Thèse Docteur 3^{ème} cycle USTL, Montpellier, France. 202p.

Références bibliographiques

- [62] **KHERICI. N (1993)** - *Vulnérabilité a la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba - la Mafragh) NE algérien*. Thèse de Doctorat. UBM Annaba, Algérie. 170P.
- [63] **LABORDE. J P (2000)** - *Eléments d'hydrologie de surface*. Livre. CNRS, Univ de Nice, France. 192P.
- [64] **LAMBERT. R (1996)** - *Géographie du cycle de l'eau*. Livre. Presses Universitaires du Mirail, Univ de Toulouse, France. 426P.
- [65] **LEDUC. G A & RAYMOND. M (2000)** - *L'évaluation des impacts environnementaux: un outil d'aide à la décision*. Livre. Éditions MultiMondes, Québec, Canada. 319P.
- [66] **LEFRANC. E (1867)** - *La Calle, topographie, botanique et climatologie*. Livre. Extrait du bulletin de la société botanique de France. Imprimerie de Martinet, Paris, France. 26P.
- [67] **LEVEQUE. N (2009)** – *Synthèse des premiers éléments de création d'un réseau méditerranéen de gestionnaires de zones humides littorales en vue d'échanges d'expériences*. Diplôme master. Université Paul Valéry Montpellier III, France. 34P.
- [68] **MANSOURI. Z (2009)** - *Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'oued Bouhamdane (Nord -Est algérien)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 128P.
- [69] **MAOUI. A (2006)** - *Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 248P.
- [70] **MEBARKIA. A H (2011)** - *Etudes des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Aïn Zada wilaya de Bordj Bou-Arredj (Nord-Est algérien)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 192P.
- [71] **MEJI´A. A I & NIEMANN. J D (2008)** - *Identification and characterization of dendritic, parallel, pinnate, rectangular, and trellis networks based on deviations from planform self-similarity*. Journal of geophysical research, vol. 113. 21P.
- [72] **MERIAUX. P & ROYET. P & FOLTON. C (2004)** – *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations*. Livre. CEMAGREF éditions, France. 201P.
- [73] **MORGAN. N C (1982)** - *An ecological survey of standing waters in North West Africa: II. Site descriptions of Tunisia and Algeri.*, Biol. Conserv.24: 83-113.
- [74] **MUSY. A & HIGY. C (2003)** - *Hydrologie: Une science de la nature*. Livre. PPUR éditions, Lausanne, suisse. 261P.
- [75] **NOUAR. T (2007)** - *Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 150P.

Références bibliographiques

- [76] OFFICE NATIONAL DES STATISTIQUES (2011) - *V° Recensement Général de la Population et de l'Habitat – 2008 : Armature urbaine*. Collections statistiques n°163/2011-série S, Alger, Algérie. 220P.
- [77] OUELMOUHOUB. S (2005) – *Gestion multi- usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie)*. Thèse Master science. IAM, Montpellier, France. 100P.
- [78] PICARD. C (2011) – *Transfert de matière dans un biofilm aéré sur membrane*. Thèse doctorat. Univ de Toulouse III, France. 170 P.
- [79] RAACHI. M L (2007) - *Étude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac Tonga au Nord-Est Algérien*. Mémoire du Service des bibliothèques, Université du Québec à Montréal, Canada, 104P.
- [80] RAMDANI. A (1996) - *Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 138 P.
- [81] RIAD. S (2003) - *Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc*. Thèse doctorat. Univ. Sci Tech Lille, France & Univ Ibnou Zohr d'Agadir, Maroc. 127P.
- [82] RICKLEFS. R E & MILLER. G L (2005) - *Écologie*. . Livres. De Boeck éditions, Bruxelles. 825P.
- [83] RODIER. J (1996) - *L'analyse de l'eau- eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Livres. 8^e édition, Dunod, Paris, France. 1357P.
- [84] ROUABHIA. A K (2006) - *Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod, Nord-Est algérien*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 160P.
- [85] SAADALI. B (2007) – *Etude de la qualité des eaux des sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême nord orientale)*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 84P.
- [86] SALAH- SALAH. H (2009) - *Dynamique de l'urbanisation dans un espace littoral protégé, le cas d'El- Kala*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 172P.
- [87] SEDRATI. N (2011) - *Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est algérien*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 160P.
- [88] SEGHIR. K (2008) - *Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 136P.
- [89] SEVIN. A & al (2012) - *Chimie générale : tous les cours en fichiers*. Livre. Dunod, Paris, France. 505P.

Références bibliographiques

- [90] **TERREAUX. J Ph (2005)** - *Economie des équipements pour l'eau et l'environnement*. Livre. CEMAGREF éditions, Montpellier, France. 208P.
- [91] **THOMAS. J P (1975)** - *Ecologie et dynamisme de la végétation des dunes littorales et des terrasses sableuses quaternaires de Jijel à El Kala (Est algérien)*. Thèse de spécialité en écologie végétale, U.S.T.L, Montpellier, France. 113P.
- [92] **VIERS. G (1970)** - *Géographie zonale des régions froides et tempérées*. Livre. Paris, Nathan. 206P.
- [93] **VILA. J M (1980)** - *La plaine alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens*. Thèse de Doc. Sc. Nat. Univ. P et M. Curie. Paris VI, France. 2 tomes, 588P.
- [94] **WACKERMANN. G & ROUGIER. H (2010)** - *L'eau. Ressources et usages*. Livre. Ellipses éditions, Paris, France. 259P.
- [95] **YOUBI. A (2008)** - *Politiques publiques et aires protégées. Paysage –patrimoine, outils de gestion du parc national d'El Kala ?*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 187P.
- [96] **ZAAFOUR. M D (2012)** - *Impact des décharges sauvages sur les Zones Humides de la région d'El-Tarf*. Mémoire Magister. UBM Annaba, Algérie. 112P.
- [97] **ZERIRI. I (2013)** - *Toxicité potentielle d'un insecticide sur un invertébré de la famille des coelomates*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 54P.
- [98] **ZERROUKI. H (2013)** - *Aspects quantitatifs et qualitatifs de la source de Bouakkous : impact sur le champ captant d'Aïn Chabro (zone semi-aride Tébessa)*. Thèse doctorat. UBM Annaba, Algérie. 165P.

Abréviations

ABH- CSM:	Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue
AEP:	Alimentation en eau potable.
Alsat 2A :	Deuxième satellite artificiel algérien
ANBT:	Agence Nationale des Barrages et transferts
ANRH:	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ASAL :	Agence Spatiale Algérienne
BE :	Basses eaux.
°C :	Degré Celsius.
Ca²⁺ :	Calcium.
CaCO₃:	Carbonate de calcium ou le calcaire.
CaSO₄.2H₂O :	Sulfate de calcium dihydraté ou le gypse.
Cd :	Cadmium.
CENEAP :	CEntre National d'Etudes et d'Analyses pour la Population et le développement.
CEu :	Conforme aux exigences de l'Union européenne (CE)
Cl⁻ :	Chlorure.
cm :	Centimètre.
CO₂ :	Dioxyde de carbone.
Cp_a :	Le coefficient pluviométrique annuel
Cp_m :	Le coefficient pluviométrique mensuel
CRAAG :	Centre de Recherche e Astronomie, Astrophysique et Géophysique.
Cu :	Cuivre.
DA :	Le déficit agricole.
DBO₅ :	Demande biochimique en eau pendant 5 jours.
DCO :	Demande chimique en eau.
DHW :	Direction Hydraulique de Wilaya.
Dj:	Djebel (Mont).
DPAT :	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
DMS :	Degré – minute – seconde.
DSA :	Direction des services agricole.
ENE :	Est- Nort- Est.
Eq/H :	Equivalent par habitant.
ETM :	Eléments traces métalliques
ETP :	L'évapotranspiration potentielle
ETR :	L'évapotranspiration réelle
EURL:	Entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée.
Exc :	L'excédent
g/l:	Gramme par litre.
GME :	Grande Menuiserie de l'Est
h :	Heures.
hab :	Habitant.
HCO₃⁻ :	Bicarbonate ou hydro- géno- carbonate.
HE :	Hautes eaux.
Hm³/an :	Hectomètre cube par an.
I :	Infiltration
i_A :	L'indice d'aridité mensuel
I_A :	L'indice d'aridité annuel
I_g :	Indice de pente globale en m/km
I_M :	L'indice pluviométrique de Moral
IND:	Alimentation en eau pour l'industrie.
IRRI:	Alimentation en eau pour l'irrigation.
K⁺ :	Potassium.
K_G :	Indice de compacité de Gravelius

km :	Kilomètre.
K^t:	Koudiat.
m :	Mètre.
Meq/l :	Milliéquivalent- gramme par litre.
MES :	Matières en suspension.mg/l : Milligramme par litre.
MgSO₄:	Sulfate de magnésium.
MI :	Mixtes.
m³/j :	Mètre cube par jour.
mm :	Millimètre.
MM :	Magnitude de Moment.
m/sec:	Mètre par seconde.
Mta :	Mechtat (rassemblement d'habitations de familles ou de tribu).
n^o:	Numéro.
Na⁺ :	Sodium.
Mg²⁺ :	Magnésium.
NH₄⁺ :	Ammonium.
NO₂⁻ :	Nitrite.
NO₃⁻ :	Nitrate.
NPK :	Engrais riches en Azote – Phosphate – Potassium.
O₂ :	Oxygène dissous.
OMS :	Organisation mondiale de la santé.
ONA:	Office national de l'assainissement
ONM:	Office national de la météorologie.
O.R.S.T.O.M :	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
P :	Précipitations.
PAW :	Plan d'aménagement de Wilaya.
Pb :	Plomb.
PDAU:	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PNEK :	Parc national d'El Kala.
PO₄³⁻ :	Phosphates.
P₂O₅ :	Phosphore total.
PU :	Prédominance urbaine.
R :	Le ruissellement.
RAMSAR:	Ville en Iran, siège de la convention sur les zones humides.
R_c :	Le rapport de circularité de Miller
RFU :	La réserve facilement utilisable.
RN:	Route nationale.
RW:	Route wilaya.
SARL :	Société à responsabilité limitée.
SAT :	Superficie agricole totale.
SAU :	Superficie agricole utile.
SEATA :	Société de l'Eau et de l'Assainissement d'el Tarf et d'Annaba.
SO₄²⁻ :	Sulfate.
SPOT :	Satellite Probatoire d'Observation de la Terre.
T :	Températures.
TR :	Totalement rurales.
UICN :	Union internationale pour la conservation de la nature.
UNESCO :	Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture.
µS/cm:	Micro- siemens par centimètre.
UTM :	Universal Transverse Mercator
VGF :	Valeur guide française.
WSW :	Ouest- Sud- Ouest.
WTW:	Marque du groupe Xylem spécialisé dans le domaine de l'eau.
ZHUN:	Zone d'Habitat Urbain Nouvelle.
Zn :	Zinc.

Liste des figures

Figure n°01 : Répartition des parcs nationaux et des réserves naturelles en Algérie.....	7
Figure n°02 : Répartition des zones humides dans la wilaya d'El Tarf.....	8
Figure n°03 : Localisation géographique du parc national d'El Kala (Extrait la carte topographique d'Algérie 1/500 000 : Constantine + traitement).....	12
Figure n°04 : L'emplacement administratif du PNEK dans la Wilaya d'El Tarf + la répartition de ses secteurs de gestion.....	14
Figure n°05 : L'organisation administrative du PNEK.....	15
Figure n°06 : Les différentes zones du parc d'El Kala.....	17
Figure n°07 : L'accroissement de la population humaine dans la région d'étude (1856/2009)...	18
Figure n°08 : La répartition de la population humaine à l'intérieur du PNEK en 2008.....	19
Figure n°09 : Répartition des agglomérations sédentaires dans la région du PNEK + les principales routes existantes (Support : google- earth / juillet 2013).....	21
Figure n°10 : Principaux types de résidences de la population du PNEK en 2007.....	22
Figure n°11 : Amplification urbaine de la ville d'El Kala + modification.....	24
Figure n°12 : La croissance démographique dans la commune d'El Kala.....	25
Figure n°13 : Les proportions des déchets solides dans la ville d'El Kala en 2008.....	26
Figure n°14 : L'exploitation des superficies agricoles utiles dans les communes du PNEK (2003 et 2010).....	30
Figure n°15 : La croissance des terres agricoles dans le PNEK en hectares.....	31
Figure n°16 : Extension des terres agricoles au détriment des terres fertiles (1993- 2007).....	33
Figure n°17 : Les superficies forestières incendiées dans la région du parc d'El Kala.....	35
Figure n°18 : L'occupation des sols dans le PNEK (Extrait de la carte agricole de la wilaya d'El Tarf).....	36
Figure n°19 : L'élevage du bétail dans les communes du PNEK.....	38
Figure n°20 : Nombre de travailleurs dans l'industrie pour les communes du PNEK (2003 et 2007).....	40
Figure n°21 : La diversité géomorphologique de la région d'étude (Site web: topographic-map.com + traitement).....	43
Figure n°22 : Coupe topographique du cap Rosa au Djebel Ghorra + le positionnement de la coupe dans la carte topographique (Assemblage des cartes topographiques 1/50000e de Blandan, Bougous, El Kala1&2).....	44

Figure n°23 : Le réseau hydrographique du parc d'El Kala (Assemblage des cartes topographiques 1/50000e :El Kala1&2-Bouteldja-Bougous + traitement).....	49
Figure n°24 : Esquisse structurale de la région d'étude (Extrait de la carte structurale au 1/500.000e de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens – J.M Vila, 1978 + traitement).....	51
Figure n°25 : Aperçu lithologique des terrains dans le parc national d'El Kala (D'après les travaux réalisés par L. Joleaud, 1936 ^[58] + traitement).....	53
Figure n°26 : Colonne litho- stratigraphique de la région d'El- Tarf (D'après Tchoulanov, 1980 + modification).....	55
Figure n°27 : Représentation schématique des principaux effets de la néotectonique_J M Vila	60
Figure n°28 : Coupes géologiques représentatives dans la région d'étude (Extrait des coupes réparties entre Bône te la Calle ^[58] : + traitement).....	61
Figure n°29 : Coupes géologiques réalisées dans le parc d'El Kala	63
Figure n°30 : Le patrimoine forestier réparti dans le parc d'El Kala + Traitement.....	65
Figure n°31 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en % à la station d'El Kala (1984/85- 2009/10).....	69
Figure n°32 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/sec) à la station d'El Kala (1984/85- 2001/02).....	70
Figure n°33 : Précipitations moyennes mensuelles en mm à la station d'El Kala (1971/72- 2009/10)	71
Figure n°34 : Précipitations annuelles et la moyenne annuelle en mm à la station d'El Kala (1971/72- 2009/10).....	72
Figure n°35 : Répartition des précipitations moyennes saisonnières en % à la station d'El Kala (1971/72- 2009/10).....	74
Figure n°36 : Répartition saisonnière des précipitations en % pour les périodes 1990/1991 et 2008/2009 à la station d'El Kala	74
Figure n°37 : Variations des coefficients pluviométriques annuels à la station d'El Kala (1971-72/2009-10)	75
Figure n°38 : Températures moyennes mensuelles en °C à la station d'El Kala (1971/72- 2009/10)	77
Figure n°39 : Températures annuelles et la moyenne annuelle en °C à la station d'El Kala (1971/72- 2009/10).....	78

Figure n°40 : Diagramme pluvio-thermique (Gausse-Bagnouls) de la station d'El Kala (1971/72- 2009/10).....	79
Figure n°41 : Diagramme pluvio -thermique (Walter, 1955) de la station d'El Kala (1971/72- 2009/10)	80
Figure n°42 : Abaque de l'indice d'aridité Annuel d'après de Martonne	82
Figure n°43 : Abaque de l'indice d'aridité mensuel d'après de Martonne	82
Figure n°44 : Estimation de l'ETR suivant les abaques de Wundt à la station d'El Kala (1971/72-2009/10)	85
Figure n°45 : Représentation graphique du bilan hydrique (D'après Thornthwaite) à la station d'El Kala (71/72-09/10).....	89
Figure n°46 : La délimitation + la répartition hypsométrique des bassins versants répartis dans la région d'étude (1).....	92
Figure n°47 : La délimitation + la répartition hypsométrique des bassins versants répartis dans la région d'étude (2).....	93
Figure n°48 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (1)	100
Figure n°49 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (2)	101
Figure n°50 : Répartition et courbes hypsométriques des bassins versants dans la région du PNEK (3)	102
Figure n°51 : Réseau hydrographique des bassins versants répartis dans la région d'étude (1) ..	108
Figure n°52 : Réseau hydrographique des bassins versants répartis dans la région d'étude (2)...	110
Figure n°53 : Divers formes des réseaux hydrographiques d'après la classification de Howard (1967)	112
Figure n°54 : Ordre d'un bassin hydrographique d'après la classification de Strahler (1957)....	113
Figure n°55 : Relation pluies/ débit (année 1996/97).....	120
Figure n°56 : Fortes pluies enregistrées dans les stations pluviométriques (W. El Tarf).	121
Figure n°57 : Imagerie satellitaire des Inondations à El Tarf + traitement	122
Figure n°58 : Systèmes aquifères existés dans la région d'étude	124
Figure n°59 : Forage d'eau réalisé dans le secteur de Mélah	125
Figure n°60 : Forage d'eau réalisé dans la nappe superficielle d'Oum Teboul	125
Figure n°61 : Forage d'eau réalisé dans la nappe semi- captive d'Oum Teboul	126
Figure n°62 : Forage d'eau réalisé dans la nappe dunaire de Bouteldja	126
Figure n°63 : Forage d'eau réalisé dans la nappe profonde d'El Tarf	127
Figure n°64 : Profil hydrogéologique schématique à travers les dunes de Bou Redim	129
Figure n°65 : Profil hydrogéologique schématique à travers le secteur du lac Noir	129

Figure n°66 : Profil hydrogéologique schématique à travers la plaine d'Oum Teboul	130
Figure n°67 : Profil hydrogéologique schématique à travers la plaine de Mexa	130
Figure n°68 : Carte piézométrique du PNEK (hautes eaux - mars 2011)	133
Figure n°69 : Carte piézométrique du PNEK (basses eaux - juillet 2011)	133
Figure n°70 : Caractéristiques hydrodynamiques suivant la composition lithologique des terrains (Extrait de Carte Hydrogéologique de l'Algérie du Nord)	135
Figure n°71 : Inventaires des points d'eau analysés répartis dans le PNEK	139
Figure n°72 : Observation des couches lithologiques dans le parc d'El Kala	140
Figure n°73 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale des températures de l'eau (°C).....	142
Figure n°74 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale du pH	143
Figure n°75 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale des conductivités électriques (uS/cm).....	144
Figure n°76 : Cartes éventuelles de la distribution spatiale de la salinité des eaux (gr/L).....	146
Figure n°77 : Histogramme de la concentration du calcium - Ca ²⁺ - dans les eaux (Meq/l)	149
Figure n°78 : Histogramme de la concentration du magnésium - Mg ²⁺ - dans les eaux (Meq/l)...	150
Figure n°79 : Histogramme de la concentration du sodium - Na ⁺ - dans les eaux (Meq/l).....	150
Figure n°80 : Histogramme de la concentration du potassium - K ⁺ - dans les eaux (Meq/l)	151
Figure n°81 : Histogramme de la concentration des chlorures - Cl ⁻ - dans les eaux (Meq/l)	152
Figure n°82 : Histogramme de la concentration des bicarbonates - HCO ₃ ⁻ - dans les eaux (Meq/l).....	153
Figure n°83 : Histogramme de la concentration des sulfates – SO ₄ ²⁻ - dans les eaux (Meq/l).....	154
Figure n°84 : Evolution et distribution des faciès hydrochimiques	158
Figure n°85 : Faciès chimiques des eaux superficielles selon le diagramme de Piper (2011).....	159
Figure n°86 : Faciès chimiques des eaux souterraines selon le diagramme de Piper (2011)	160
Figure n°87 : Faciès chimiques des eaux souterraines d'après le diagramme de Stiff (2011).....	161
Figure n°88 : Origine du calcium dans les eaux (juillet 2011).....	162
Figure n°89 : Origine du sodium dans les eaux (juillet 2011).....	163
Figure n°90 : Comportement des anions suivant le pH et la conductivité électrique (juillet 2011).....	164
Figure n°91 : Cycle de l'azote	166
Figure n°92 : Variation de l'ammonium dans les eaux (2011).....	166
Figure n°93 : Concentration des nitrates dans les eaux (Juillet 2011).....	167
Figure n°94 : Concentration des nitrites dans les eaux (Juillet 2011).....	168
Figure n°95 : Concentrations en DBO5 et DCO dans les eaux (Juillet 2011).....	169
Figure n°96 : Concentration des phosphates dans les eaux (2011).....	171
Figure n°97 : Variation de l'oxygène dissous dans les eaux (2011).....	172

Figure n°98 : Qualité des eaux dans le parc national d'El Kala (Juillet 2011)	175
Figure n°99 : Classification des eaux destinées à l'irrigation suivant le SAR (Diagramme de Richards)	185
Figure n°100 : Classification des eaux destinées à l'irrigation suivant le %Na (Diagramme de Wilcox)	186
Figure n°101 : Cartographie de la distribution de la pollution automobile au niveau du site de Bou Redim	195
Figure n°102 : Concentration des métaux lourds dans les eaux de l'embouchure des oueds des trois lacs situés dans le PNEK (mg/l)	198
Figure n°103 : Distribution saisonnière des teneurs en métaux lourds dans les organismes aquatiques peuplant les lacs du parc d'El Kala en 2006 (mg/kg.ps).....	199

Liste des photos

Photo n°01 : La culture des terres par la population du parc national d'El Kala.....	28
Photo n°02 : Tronçon de l'Autoroute Est- Ouest traversant le parc national d'El Kala à Aïn El Assel.....	29
Photo n°03 : L'élevage dans le parc national d'El Kala.....	37
Photo n°04 : Kef el Fedda-Bougous	42
Photo n°05 : Vue du lac Bleu (de près) et Méléah (de loin).....	42
Photo n°06 : Marécages de Bou Redim.....	42
Photo n°07 : Plage de la veille Calle.....	42
Photo n°08 : Plage du Cap Rosa.....	42
Photo n°09 : Djebel Ghorra.....	42
Photo n°10 : Vue panoramique du lac Noir.....	46
Photo n°11 : Vue panoramique du lac Mellah et du lac Bleu.....	46
Photo n°12 : Vue panoramique du lac Oubeïra.....	46
Photo n°13 : Oued El Kébir- Est (Aïn El Assel).....	48
Photo n°14 : Etang de Tonga.....	49
Photo n°15 : Marais de Bou Redim.....	49
Photo n°16 : Bastion de France.....	67
Photo n°17 : Barrage de Mexa	117
Photo n°18 : Barrage de Bougous	118
Photo n°19 : Retenue collinaire sur l'oued Sebaa	118

Photo n°20 : Station hydrométrique d'Aïn El Assel	119
Photo n°21 : Des terres inondées à El Tarf (Février 2012)	121
Photo n°22 : Stations de traitement des eaux usées dans le PNEK	189
Photo n°23 : Échappées des eaux usées	-190
Photo n°24 : Quelques décharges solides situées dans le PNEK	190
Photo n°24 : Quelques décharges solides situées dans le PNEK	192

Liste des tableaux

Tableau n° 1 : La répartition de la surface des communes dans le PNEK.....	13
Tableau n° 2 : La répartition de la densité des habitants dans le PNEK en 2008	20
Tableau n° 3 : Evolution des taux d'urbanisation par commune	22
Tableau n° 4 : Progression des habitats et des surfaces bâties dans la ville d'El Kala	26
Tableau n° 5 : Extension des terres agricoles au détriment des terres forestières (en hectares)..	32
Tableau n° 6 : Occupation du sol dans le PNEK pour deux périodes différentes (en hectares)	35
Tableau n° 7 : Principales unités industrielles au niveau du PNEK	39
Tableau n° 8 : Le patrimoine faunistique du PNEK (Par espèces)	64
Tableau n° 9 : Le patrimoine floristique du PNEK (Par espèces).....	64
Tableau n°10 : Coordonnées géographiques de la station météorologique choisie.....	68
Tableau n°11 : Répartition saisonnière des précipitations à la station d'El Kala.....	73
Tableau n°12 : Coefficients pluviométriques mensuels à la station d'El Kala (1971-72/2009-10).....	76
Tableau n°13 : Valeurs de l'indice d'aridité mensuel à la station d'El Kala	81
Tableau n°14 : Evapotranspiration potentielle (D'après C. W. Thornthwaite).....	84
Tableau n°15 : Valeurs estimées de l'évapotranspiration réelle	86
Tableau n°16 : Le bilan hydrique (D'après C. W. Thornthwaite) pour la station d'El Kala (1971/72- 2009/10).....	88
Tableau n°17 : Estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique à la station d'El Kala	90
Tableau n°18 : Caractéristiques géométriques des bassins versants répartis dans la région d'étude	96
Tableau n°19 : Répartition des surfaces des bassins versants par tranche d'altitude (1)	98
Tableau n°20 : Répartition des surfaces des bassins versants par tranche d'altitude (2)	99
Tableau n°21 : Classification du relief (Selon l'ORSTOM-France).....	104

Tableau n°22 : Caractéristiques orographiques des bassins versants répartis dans la région d'étude.....	106
Tableau n°23 : Longueurs cumulées des thalwegs des bassins versants (en kilomètre).....	114
Tableau n°24 : Caractéristiques hydrographiques des bassins versants répartis dans la région d'étude.....	116
Tableau n°25 : Pluies et débits enregistrés dans la région d'Ain El Assel (année 1996/97)	119
Tableau n°26 : Valeurs du Coefficient de perméabilité suivant la nature lithologique	134
Tableau n°27 : Inventaire des puits domestiques situés dans le PNEK (2011)	137
Tableau n°28 : Forages hydrauliques réalisés dans la région d'étude (DHW- Tarf.2004)	137
Tableau n°29 : Informations sur les dis- sept échantillons analysés.....	147
Tableau n°30 : Détermination de l'équivalent- gramme des éléments chimiques majeur	147
Tableau n°31 : Le faciès hydrochimique par la classification des ions (Formule ionique).....	156
Tableau n°32 : Grille de la qualité des eaux superficielles	174
Tableau n°33 : Grille de la qualité des eaux souterraines	174
Tableau n°34 : Intervalle des classes	176
Tableau n°35 : Indices de contamination calculés	177
Tableau n°36 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Leclercq et Maquet, 1987).....	177
Tableau n°37 : Grille du degré de l'indice de la pollution organique	177
Tableau n°38 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Lisec-Index (Beckers & Steegmans 1979)).....	178
Tableau n°39 : Grille de la qualité et la pollution des eaux par la méthode Lisec-Index	178
Tableau n°40 : Intervalle des classes des paramètres de la pollution organique (Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, 1986).....	179
Tableau n°41 : Grille de la pollution des eaux par la méthode de l'IHE	179
Tableau n°42 : Valeurs des indices et les classes correspondantes pour chacun des trois méthodes indiquées.....	180
Tableau n°43 : Aptitude des eaux à l'irrigation d'après la conductivité électrique	181
Tableau n°44 : Rendements des cultures d'après la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.....	182
Tableau n°45 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation	183
Tableau n°46 : Stations d'épuration existantes dans le parc d'El Kala	189
Tableau n°47 : Décharges solides existantes dans le parc d'El Kala	191
Tableau n°48 : Résultats d'analyse au voisinage de quelques décharges solides	193

Liste des Formules

Formule n°1 : Coefficient pluviométrique annuel	75
Formule n°2 : Coefficient pluviométrique mensuel (1)	76
Formule n°3 : Coefficient pluviométrique mensuel (2)	76
Formule n°4 : Indice d'aridité annuel	80
Formule n°5 : Indice d'aridité mensuel	81
Formule n°6 : Indice de Paul Moral	81
Formule n°7 : Bilan hydrologique	83
Formule n°8 : ETP- formule de Thornthwaite (1)	84
Formule n°9 : ETP- formule de Thornthwaite (2)	84
Formule n°10 : Ajustement de l'indice thermique annuel	84
Formule n°11 : L'indice thermique annuel	84
Formule n°12 : L'indice thermique mensuel	84
Formule n°13 : L'ETR – Selon Turc	84
Formule n°14 : Pouvoir évaporant.....	84
Formule n°15 : L'ETR – Selon Coutagne	85
Formule n°16 : Coefficient des températures.....	85
Formule n°17 : Réserve facilement utilisable	86
Formule n°18 : Le déficit agricole	87
Formule n°19 : Le ruissellement de surface (1).....	90
Formule n°20 : Le ruissellement de surface (2).....	90
Formule n°21 : L'infiltration (1)	90
Formule n°22 : L'infiltration (2)	90
Formule n°23 : Indice de compacité de Gravelius	94
Formule n°24 : Rapport de circularité de Miller	95
Formule n°25 : Longueur du rectangle équivalent	95
Formule n°26 : Largeur du rectangle équivalent	95
Formule n°27 : Altitude moyenne d'un bassin versant	97
Formule n°28 : Indice de pente globale	103
Formule n°29 : La dénivelée spécifique	103
Formule n°30 : Indice de pente de Roche (1).....	104
Formule n°31 : Indice de pente de Roche (2).....	104
Formule n°32 : Pente moyenne d'un bassin versant (1)	104
Formule n°33 : Pente moyenne d'un bassin versant (2).....	105

Formule n°34 : Densité de drainage	113
Formule n°35 : Coefficient de torrentialité	114
Formule n°36 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1	114
Formule n°37 : Temps de concentration	115
Formule n°38 : Vitesse d'écoulement de l'eau	115
Formule n°39 : Gradient hydraulique	132
Formule n°40 : Notion d'équivalence	147
Formule n°41 : Calcul de la concentration en milliéquivalent.....	147
Formule n°42 : Balance ionique	148
Formule n°43 : Rapport du sodium absorbable	182
Formule n°44 : Le pourcentage du sodium	183

ANNEXES

TITRE I
DISPOSITIONS GENERALES

Art. 2. - Sont qualifiées, en vertu de la présente loi, d'aires protégées le territoire de tout ou partie d'une ou de plusieurs communes ainsi que les zones relevant du domaine public maritime soumis à des régimes particuliers fixés par la présente loi pour la protection de la faune, de la flore et d'écosystèmes terrestre, lacustre, côtier et/ou marin concernés.

Art. 3. - Au sens de la présente loi, on entend par :

Habitat : un habitat est le lieu ou type de site dans lequel un organisme ou une population animale ou végétale existe à l'Etat naturel. L'habitat désigne également toutes les conditions de vie ainsi que les facteurs environnementaux qui permettent à ce groupe d'individus de subsister dans ce lieu précis.

Zone humide : toute zone se caractérisant par la présence d'eau douce, saumâtre ou salée, permanente ou temporaire, en surface ou à faible profondeur dans le sol, stagnante ou courante, naturelle ou artificielle, en position d'interface et/ou de transition, entre milieux terrestres et milieux aquatiques, ces zones abritent de façon continue ou momentanée des espèces végétales et/ou animales.

Chapitre 1er
Des catégories d'aires protégées

Art. 5. - Le parc national est un espace naturel d'intérêt national institué dans le but de protéger l'intégrité d'un ou de plusieurs Ecosystèmes, Il a pour objectif d'assurer la conservation et la protection de régions naturelles uniques, en raison de leur diversité biologique, tout en les rendant accessibles au public à des fins d'éducation et de récréation.

Art. 7. - La réserve naturelle intégrale est un espace institué pour assurer la protection intégrale d'écosystèmes, ou de spécimens de faune ou de flore rares méritant une protection intégrale.

Elle peut être située à l'intérieur des autres aires protégées dont elle constitue la zone centrale au sens des dispositions de l'article 15 ci-dessous

Art. 10. - La réserve naturelle est un espace institué à des fins de conservation, de protection et/ou de restauration des espèces de faune, de flore, des Ecosystèmes et des habitats. Sur le territoire de la réserve naturelle, toutes les activités humaines sont réglementées.

Le président de la république algérienne : Abdelaziz BOUTEFLIKA.

Fiche n°1 : Lois relatives aux aires protégées dans le cadre du développement durable.

Décret exécutif n°11-87 du 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011 portant changement de la dénomination du parc national de l'Ahaggar.

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de la culture,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3°et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n°98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, notamment son article 38 ;

Vu le décret n°87-231 du 3 novembre 1987 portant création de l'office du parc national de l'Ahaggar ;

Vu le décret n°87-232 du 3 novembre 1987 portant réglementation du parc national de l'Ahaggar ;

Vu le décret présidentiel n°10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;
Après approbation du Président de la République ;

Décrète :

Article 1er. - La dénomination du « parc national de l'Ahaggar » est remplacée par celle du « parc culturel de l'Ahaggar » dans toutes les dispositions des décrets n°87-231 et n°87-232 du 3 novembre 1987, susvisés et ce, conformément aux dispositions de l'article 38 de la loi n°98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Art. 2. - Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 18 Rabie El Aouel 1432 correspond au 21 février 2011.

Décret exécutif n°11-87 du 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011 portant changement de la dénomination du parc national du Tassili.

Vu le décret n°87-89 du 21 avril 1987 portant règlementation du parc national du Tassili ;

Vu le décret présidentiel n°10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ; Après approbation du Président de la République ;

Décrète :

Article 1er. - La dénomination du « parc national du Tassili » est remplacée par celle du « parc culturel du Tassili » dans toutes les dispositions des décrets n°72-168 du 27 juillet 1972, n°87-88 et n°87-89 du 21 avril 1987, susvisés et ce, conformément aux dispositions de l'article 38 de la loi n°98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Art. 2. - Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011.

Le Premier ministre : Ahmed OUYAHIA.

Fiche n°2 : Dénomination des parcs culturels d'Ahaggar et du Tassili.

Décret n° 83-462 du 23 juillet 1983 portant création du parc national d'El Kala.

Le président de la république,

Sur le rapport du secrétaire d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres, Vu la Constitution , notamment ses articles 111-10° et 152;

Vu la loi n° 82-10 du 21 août 1982 relative à la chasse;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu l'ordonnance n° 67-281 du 20 décembre 1967 relative aux fouilles et à la protection des sites et monuments historiques et naturels;

Vu le décret n° 81-49 du 24 mars 1981 fixant les attributions du secrétaire d'Etat aux forêts et à la mise en valeur des terres;

Vu le décret n° 83-458 du 23 juillet 1983 fixant le statut-type des parcs nationaux;

Décrète:

Article 1 er - Conformément aux dispositions du décret n° 83-458 du 23 juillet 1983 fixant le statut-type des parcs nationaux, il est créé le parc national d'El Kala.

Art. 2. - Le siège du parc national est fixé à El Kala.

Art. 3. - Le parc national d'El Kala, couvre le territoire dont le plan est annexé à l'original du présent décret.

Art. 4. - Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 23 juillet 1983.

Chadli BENDJEDID

Fiche n°3 : Création du parc national d'El Kala en 1983.

Tableau n°01 : Listes des parcs nationaux dans le territoire algérien.

N°	Nom du site	Coordonnée géographique (UTM)	Wilaya	Superficie (km ²)	Année
1	Parc national de Tlemcen	34°52'59 N 01°18 W	Tlemcen	82,25	1993
2	Parc national de Theniet El- Had	35°40 N 01°49 E	Tissemsilet	34,25	1983
3	Parc national de Chréa	36°21 N 02°45 E	Blida	265,87	1983
4	Parc national de Djurdjura	36°27'47 N 04°10'41 E	Tizi Ouzou/Bouira	185,50	1983
5	Parc national de Gouraya	36°46 N 05°06 E	Béjaïa	20,80	1984
6	Parc national de Taza	36°36 N 05°30 E	Jijel	38,07	1984
7	Parc national d'El- Kala	36°49'01 N 08°24'47 E	El- Tarf	764,38	1983
8	Parc national de Belezma	35°34'52 N 06°01'38 E	Batna	262,50	1984
9	Parc culturel du Tassili	24°58'26 N 09°00'43 E	Illizi	138 000	1972
10	Parc culturel d'Ahaggar	22°49'59 N 05°19'59 E	Tamanrasset	45 000	1987
11	Parc national de Djebel Aïssa	32°52'23 N 00°29'10 E	Naâma	244	2003
12	Parc Naturel de Mont de Chélia	35°19 N 06°38 E	Batna	88,32	-
13	Parc Naturel de Mont Chenoua	36°36'22 N 02°22'20 E	Tipaza	3	-
14	Aire protégée Gorges de Ghouffi	35°03 N 06°10 E	Batna	3,75	-

Synthèse auteur.

Tableau n°02 : Listes des Zones humides dans le territoire algérien.

N°	Nom du site	Coordonnée géographique (UTM)	Wilaya	Superficie (km ²)	Année
1	Gueltaïes Afilal	23° 09 N 05° 46 E	Tamanrasset	209	2003
2	Lac Fetzara	36° 47 N 07° 32 E	Annaba	206,8	2003
3	Chott de Zehrez Gharbi	34° 58 N 02° 44 E	Djelfa	522	2003
4	Chott de Zehrez Chergui	35° 15 N 03° 30 E	Djelfa	509,85	2003
5	Réserve Intégrale du Lac Oubeïra	36° 50 N 08° 23 E	El Tarf	31,6	1983
6	Chott Melghir	34° 15 N 06° 19 E	El Oued, Biskra, Khenchela	5515	2003
7	Aulnaie de Aïn Khiar	36° 48 N 08° 19 E	El Tarf	1,8	2003
8	Tourbière du Lac Noir	36° 51 N 08° 12 E	El Tarf	0,05	2003
9	La Réserve Naturelle du Lac des Oiseaux	36° 46 N 08° 07 E	El Tarf	1,2	1999
10	Marais de la Mekhada	36° 48 N 08° 00 E	El Tarf	89	2003
11	Oasis de Moghrar et de Tiout	32° 53 N 00° 40 E	Naâma	1955	2003
12	Grotte karstique de Ghar Boumâaza	34° 42 N 01° 18 E	Tlemcen	200	2003
13	Réserve Naturelle du Lac de Réghaïa	36° 46 N 03° 20 E	Alger	8,42	2003
14	Réserve Intégrale du Lac Tonga	36° 51 N 08° 31 E	El Tarf	27	1983
15	Réserve Naturelle du Lac de Béni-Bélaïd	36° 53 N 06° 05 E	Jijel	6	2003
16	Le Cirque de Aïn Ouarka	32° 44 N 00° 10 E	Naâma	23,5	2003
17	Chott El Hodna	35° 18 N 04° 40 E	M'Sila, Batna	3620	2001
18	Sebkha d'Oran	35° 22 N 00° 48 O	Oran	568,7	2001
19	Marais de la Macta	35° 41 N 00° 10 E	Mascara, Mostaganem, Oran	445	2001
20	Oasis de Ouled Saïd	29° 24 N 00° 18 E	Adrar	254	2001

Tableau n°02 : Listes des Zones humides dans le territoire algérien (suite).

N°	Nom du site	Coordonnée géographique (UTM)	Wilaya	Superficie (km ²)	Année
21	Oasis de Tamantit et Sid Ahmed Timmi	27° 45 N 00° 15 E	Adrar	957	2001
22	Les Gueltates d'Issakarassene	22° 25 N 05° 45 E	Tamanrasset	351	2001
23	La Vallée d'Iherir	25° 24 N 08° 25 E	Illizi	65	2001
24	Chott Merrouane et Oued Khrouf	33° 55 N 06° 10 E	El Oued	3377	2001
25	Chott Ech Chergui	34° 27 N 00° 50 E	Saïda	8555	2001
26	Complexe de zones humides de la plaine de Guerbes-Sanhadja	36° 53 N 07° 16 E	Skikda, El Tarf	421	2001
27	Réserve Intégrale du Lac El Mellah	36° 53 N 08° 20 E	El Tarf	22,57	2004
28	Garaet Guellif	35° 47 N 06° 59 E	Oum El Bouaghi	240	2004
29	Garaet El Taref	35° 41 N 07° 08 E	Oum El Bouaghi	33 4,6	2004
30	Garaet Annk Djemel et El Merhsel	35° 47 N 06° 51 E	Oum El Bouaghi	18 1,4	2004
31	Chott Tinsilt	35° 53 N 06° 29 E	Oum El Bouaghi	2 1,54	2004
32	Sebkhet Bazer	36° 05 N 05° 41 E	Sétif	43,79	2004
33	Sebkhet El Hamiet	35° 55 N 05° 33 E	Sétif	25,09	2004
34	Chott El Beïdha- Hammam Essoukhna	35° 55 N 05° 45 E	Sétif, Batna	122,23	2004
35	Chott Ain El Beïda	31° 58 N 05° 22 E	Ouargla	68,53	2004
36	Chott Oum El Raneb	32° 02 N 05° 22 E	Ouargla	71,55	2004
37	Chott Sidi Slimane	33° 17 N 03° 45 E	Ouargla	6,16	2004
38	Sebkhet El Melah	30° 25 N 02° 55 E	Ghardaïa	189,47	2004
39	Dayet El Ferd	34° 28 N 01° 15 E	Tlemcen	33,23	2004
40	Oglat Ed Daira	33° 18 N 01° 48 E	Naâma	234,3	2004
41	Lac de Télamine	35° 43 N 00° 23 E	Oran	23,99	2004
42	Les Salines d'Arzew	35° 40 N 00° 18 O	Oran, Mascara	57,78	2004
43	Garaet Timerganine	35°40'N 06°58'E	Oum El Bouaghi	14,6	2009
44	Marais de Bourdim	36°48'N 08°15'E	El Tarf	0,11	2009
45	Sebkhet Ezzmoul	35°53'N 06°30'E	Oum El Bouaghi	67,65	2009
46	Lac Boulhilet	35°45'N 06°48'E	Oum El Bouaghi	8,56	2009
47	Vallée de l'oued Soummam	36°42'N 05°00'E	Béjaïa	124,53	2009
48	Ile de Rachgoun	35°19'N 01°28'W	Ain Temouchent	0,66	2011
49	Lac du barrage de Bougezoul	35°44'N 02°47'E	Médéa	90,58	2011
50	Oum Lâagareb	36°49'N 08°13'E	El Tarf	7,29	2011

Source : La Liste des zones humides d'importance internationale, 07/10/2015-Liste Ramsar.


 Zones humides incluses dans la wilaya d'El Tarf.

Tableau n°03 : Listes des réserves naturelles dans le territoire algérien.

N°	Nom du site	Coordonnée géographique (UTM)	Wilaya	Superficie (km ²)	Année
1	Réserve Naturelle de Mergueb	35°36 N 03°55 E	M'sila	134,82	-
2	Réserve Naturelle des Babors	36°30 N 05°28 E	Sétif	23,67	-
3	Réserve Naturelle de Beni Salah	36°32 N 07°57 E	Guelma	20	-
4	Réserve Naturelle Marine des Iles Habibas	35°43'25 N 01°07'55 W	Oran	0,4	2003
5	Réserve Naturelle de la Macta	36°46 N 05°06 E	Mascara	230	2001

Source : synthèse du rapport de l'Agence Spatiale Algérienne.

Tableau n°04 : Esquisse administrative du PNEK dans la wilaya d'El Tarf.

Daïra	Communes	Superficie (km²) dans la wilaya	Superficie (%) dans le PNEK
El Tarf	El Tarf	112	16
	Ain El Assel	96	93
	Bougous	217	96
	Zitouna	160	0
<i>Total /Daïra</i>	04	585	53,94
El Kala	El Kala	292	88
	Souarekh	87	100
	Raml Souk	50	100
	El Aïoun	46	100
<i>Total /Daïra</i>	04	475	92,62
Bouteldja	Bouteldja	115	18
	Lac des Oiseaux	86	00
	Cheffia	193	00
<i>Total /Daïra</i>	03	394	05,25
Ben M'hidi	Berrihane	202	05
	Ben M'hidi	151	00
	El Chatt	62	00
<i>Total /Daïra</i>	03	415	02,43
Bouhadjar	Bouhadjar	92	
	Aïn Kerma	111	
	Oued Zitoune	50	
	Hammam Beni Salah	211	
<i>Total /Daïra</i>	04	464	
Besbes	Besbes	122	
	Asfour	105	
	Zerizer	29	
<i>Total /Daïra</i>	03	256	
Dréan	Dréan	48	
	Chbaïta Mokhtar	42	
	Chihani	201	
<i>Total /Daïra</i>	03	291	
Total /Wilaya	24	2880	27,30

Source : travail individuel

Tableau n°05 : Evolution des populations humaines dans le PNEK (1966/1977/1987/1998/2008/2009)

Commune	Superficie (km²)	Année					
		1966⁽¹⁾	1977⁽¹⁾	1987⁽¹⁾	1998⁽²⁾	2008⁽²⁾	2009⁽³⁾
El Tarf	112	5082	7679	13916	20362	25594	26198
Ain El Assel	96	4780	6606	9859	12482	16285	16718
Bougous	217	3804	7171	9043	10576	11234	11344
El Kala	292	10041	13037	19515	24793	28411	28800
Souarekh	87	3180	4085	6070	7457	8173	8240
Raml Souk	50	1658	2368	2931	3715	4356	4420
El Aïoun	46	1866	2375	3590	4591	5347	5426
Bouteldja	115	5131	7105	11479	15275	17738	17998
Berrihane	202	3185	4630	6903	8326	9605	9743
PNEK	786,28	38727	55056	83306	107577	126743	128887

Sources traitées : (1) DPATarf-M^r. HAMOUDA S^[48]

(2) DPATarf-SAADALI Badreddine

(3) PAWTarf-Akroum. H^[02]

Tableau n°06 : Répartition des populations humaines dans le PNEK (2007)

	Chef-lieu (Habitant)	Chef-lieu %	Agglomération second (Habitant)	Agg. sec %	Zone éparsé (Habitant)	Z. éparsé %	Population totale
El Tarf	10 774	38,75	13 777	49,55	3 254	11,7	27 805
Ain Assel	9 040	60	4 088	27,13	1 939	12,87	15 067
Bougous	1 054	8,6	2 103	17,16	9 101	74,24	12 258
El Kala	26 330	85,84	1 132	3,69	3 211	10,47	30 673
Souarekh	6 845	76,57	954	10,67	1 140	12,76	8 939
Raml Souk	2 298	52,24	1 262	28,7	838	19,06	4 398
El Aioune	4 451	79,07	721	12,8	457	8,13	5 629
Berrihane	3 650	37,34	5 005	51,2	1 121	11,46	9 776
Boutheldja	14 118	72,32	2 540	13,01	2 863	14,67	19 521
Total PNEK	78 560	58,6	31 582	23,56	23 924	17,84	134 066

Source : DPATarf^[95]

Tableau n°07 : Répartition des terres agricoles dans le PNEK (2003 - 2010) avec surfaces utiles pour 2002 -2004

Sources traitées :

Commune	SAT (Hectares)	SAU (Hectares)		SAU ⁽¹⁾ (Hectares)		Forêts ⁽¹⁾ (Hectares)	Parcours ⁽¹⁾ (Hectares)	Terres improductives ⁽¹⁾ (Hectares)
		2003 ⁽¹⁾	2010 ⁽²⁾	à sec	Irriguée			
El Tarf	2 232	2 112	2147	1 912	200	7 361	100	20
Aïn El Assel	2 182	2 032	2080	1 732	300	6 508	100	50
Bougous	1 400	860	860	840	20	16 140	500	40
El Kala	1 500	1 040	1040	855	185	20 184	400	60
Souarekh	900	560	560	510	50	6 756	280	60
Raml souk	1 200	800	800	795	5	3 700	350	50
El Aioun	1 200	720	745	705	15	3 159	430	50
Berrihane	5 300	4 765	4940	4 765	0	12 007	500	35
Bouteldja	3 500	3 000	3000	2870	130	7 500	400	100
Total PNEK	19 414	15 889	16172	14 984	905	83 315	3 060	465

(1) MF . BOUAZOUNI Omar ^[16]

(2) Akroum. H^[02]

Année	2002 ⁽¹⁾	2004 ⁽¹⁾
SAU PNEK (Hectares)	15 849	15 997

Tableau n°08 : Superficies forestières incendiées dans le PNEK en hectares (1987/2010)

Année	Superficie	Superficie cumulée	Année	Superficie	Superficie cumulée
1987	1055	1055	1999	1683	47472
1988	1203	2258	2000	6125	53597
1989	147	2405	2001	110,61	53707,61
1990	1830	4235	2002	2609,33	56316,94
1991	403	4638	2003	812,45	57129,39
1992	1121	5759	2004	89,5	57218,89
1993	15802	21561	2005	162,37	57381,26
1994	23807	45368	2006	158,51	57539,77
1995	153	45521	2007	820,28	58360,05
1996	27	45548	2008	2451,63	60811,68
1997	161	45709	2009	17,43	60829,11
1998	80	45789	2010	110,11	60939,22

Sources traitées : (1987-2000) PAW 2003 ^[95] (2001-2010) PAW 2011 ^[02]

Tableau n°12: Répartition de la superficie forestière selon les essences (année 2003).

ESSENCE COMMUNE	Chêne liège	Chêne zeen	Eucalyptus	Peuplier	Pins maritimes	Oléastre	Aulnaie	Autres Essence	Maquis	Vide	Total
EL TARF	2991	---	3690	30	354	15	5	30	228	18	7361
BOUGOUS	10255	1156	---	60	---	13	---	15	4535	105	16139
AIN EL ASSEL	2727	---	2140	130	---	5	---	10	1473	23	6508
EL KALA	8857	---	2283	35	5125	15	132	15	3542	180	20184
SOUAREKH	4182	6	---	80	350	50	---	18	2070	---	6756
RAMEL SOUK	2447	---	500	48	---	60	---	30	585	30	3700
EL AOUN	2482	8	---	57	20	16	---	30	536	10	3159
BOUTHELDJA	18	---	20	10	1430	26	66	57	5608	265	7500
BERRIHANE	38	---	6	190	7195	---	525	35	3108	910	12007
TOTAL PNEK	33997	1170	8639	640	14474	200	728	240	21685	1541	83314
TOTAL WILAYA	59563	6492	13047	1278	18542	1024	730	760	61162	3713	166311

Selon la direction des forêts par Bouazoumi.M^[16] + corrections

Tableau n°13 : Patrimoine Historique et culturel du parc national d'El Kala.

Commune	Sites panoramiques	Patrimoine historique et culturel	Vestiges historiques
El Kala	Calle prisonnière Cap Rosa	Sidi Abdelkader Djamâa Boutrebicha Djamâa Boudouma	Ruines de la vieille Calle Bordj Kaci d'EL Guentra El Hamra
	la plage et le phare	Djamâa Sidi Edkhal Djamâa Bachir	
	Lac Mellah	Djamâa Sidi Yahia Djamâa Sidi Amar 1 Djamâa Sidi Amar 2	Ruines de Bleida de l'embouchure de lu lac Mellah
	Vieille Calle	Djamâa Ben Zayed	Ruines militaires de Fedj El Massied entre le lac Oubeira et le lac Tonga
	Cap Mezira	Djamâa Sidi Djenhane Djamâa Sidi Nasser	
	Ville d'El Kala	Djamâa Kcherida	L'église d'El Kala
Ramel souk			Le palais Bir El-Kerma Les grottes portant gravures rupestres neolithiques
Souarekh	La Messida	Djamâa Sidi Khaled Djamâa Sidi Amor	Ruines militaires de Ain B'Har (cap Roux) Bastion de cap roux
	Kef Mechtob Cap Segleb	Djamâa Boukchirida Djamâa Ben Aouda	Fort antique de cap Roux Ruines romaines de Châbat El Kharza
	Haddada	Djamâa Djaddi ben Ouagua Djamâa Sidi Dendène Djamâa Sidi Salem	Ruines romaines à la frontière algéro-tunisienne Ruines militaires de Kef El Assa Ksar Lalla Fatima
	Kef Oum Teboul	Koba Radjel El Kef	Les Menhirs et Dolmens de Segleb
	Poste d'observation Mézila	Djamâa Sidi Ben Abbès	Ruines militaires de Ain B'Har (cap Roux)
Bougous	Gaber Hallouf Sidi Bou-Labahaa Djebel Skhoun Koudiet el Argoub Lasfar Elfaden		Nazel El-baldi Ain kebir Elghora Elhammem

Tableau n°09 : La répartition des cheptels dans le PNEK par Tête (2003 et 2012)

Cheptel	Bovins		Dont vaches laitières		Ovins		Caprins		Poules chairs et dindes	Poules pondeuses	Apiculture	Aviculture	Equin	
	Année communes	2003	2012	2003	2012	2003	2012	2003	2012	2003	2003	2003	2012	
El Tarf		3240	4915	1030	1925	2400	4973	1200	2800	30300	0	20	0	40
Aïn El Assel		2310	4000	850	1500	1710	3200	1110	2400	1000	0	7	0	80
Bougous		4490	5900	1200	1860	17450	16000	4000	4850	0	0	9	0	140
El Kala		4250	5165	1262	2470	3120	4420	860	2000	29300	0	7	0	80
Souarekh		3780	3400	1270	1500	3300	3230	2320	2200	0	0	26	0	50
El Aïoun		1400	2600	822	1070	2400	3200	1250	2580	0	0	7	1	40
Raml Souk		2800	3050	1250	1530	2000	2600	750	1550	20000	4800	24	0	30
Berrihane		5581	5650	1021	3830	2770	2950	555	550	100200	10400	0	0	240
Bouteldja		3762	6300	1705	3200	5657	5100	4180	900	26000	2400	1	1	120
Total PNEK		31613	40980	10410	18885	40807	45673	16225	19830	206800	17600	101	2	820

Sources traitées : DSA-Tarf : 2003. Bouazoumi^[16] - 2012. Akroum^[02]

Tableau n°10 : La répartition de la population des occupées dans le PNEK par personnes (2003 et 2007)

Année	Administration		Agricul+Pêche+Forêts		BTP+Hydraulique		Commerce		Education		Santé		Industrie		Autre	
	2003	2007	2003	2007	2003	2007	2003	2007	2003	2007	2003	2007	2003	2007	2003	2007
El Tarf	10938	11424	1570	2089	1131	2768	1807	2176	394	452	288	390	329	473	458	1075
Aïn El Assel	89	1165	1219	1440	513	825	575	761	370	409	66	105	43	90	183	307
Bougous	64	127	845	1028	182	386	241	362	147	171	37	53	17	32	113	219
El Kala	218	355	2386	2899	1025	2137	1581	1853	563	603	376	450	293	374	723	901
Souarekh	63	123	667	891	263	627	243	362	178	200	48	65	18	43	168	329
Raml Souk	73	122	975	1120	194	398	135	239	134	145	42	52	19	30	120	211
El Aïoun	49	76	640	792	245	491	116	203	141	154	39	44	15	34	127	236
Berrihane	53	95	653	485	261	524	124	194	139	138	33	37	11	25	129	213
Bouteldja	168	330	1245	1615	744	1903	1362	1648	389	415	127	172	147	229	377	597
Total	11715	13817	10200	12359	4558	10059	6184	7798	2455	2687	1056	1368	892	1330	2398	4088

Sources traitées : Direction d'emploi : 2003^[16] - 2007. Youbi^[95]

Tableau n°11 : L'occupation des terres agricoles dans le PNEK en hectares (2003 et 2010)

COMMUNE	Céréales	Légume sec	Fourrage	Agrume	Cultures industrielles	Maraichères	Vignes	Olivier
A N N É E 2 0 0 3⁽¹⁾								
El Tarf	542	60	450	0,5	240	260	112,62	43
Aïn El Assel	177	22	250	0	500	380	126,68	74,23
Bougous	210	3	50	0	20	50	0	132
El Kala	0	0	5	1,5	262	170	7	15
Souarekh	0	1	0	0,25	200	80	0,5	61,5
Raml Souk	60	8	200	12,25	17	270	11	19,5
El Aïoun	0	18	40	0	0	60	0	7,5
Berrihane	168	0	1750	1	1100	400	6	0
Bouteldja	210	6	150	0	400	500	280	63
Total PNEK	1367	118	2895	15,5	2739	2170	543,8	415,73
A N N É E 2 0 1 0⁽²⁾								
El Tarf	325	10,5	540	6	102	640	136	80
Aïn El Assel	250	15	240	1	485	280	159	147
Bougous	80	0	370	0	10	50	0	177
El Kala	0	0	240	2	280	430	1	13
Souarekh	0	0	20	1	160	190	0	180
Raml Souk	20	12	205	7	180	180	2	82
El Aïoun	0	0	450	1	5	125	0	82
Berrihane	20	0	2465	13	250	1370	0	98
Bouteldja	460	19	300	4	150	300	271	88
Total PNEK	1155	56,5	4830	35	1622	3565	569	947

Sources traitées : (1) BOUAZOUNI. O^[16]

(2) AKROUM. H^[02]

Tableau n°14 : Moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité relative de l'air (%) à la station d'El Kala (1984/85-2009/10).

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Moy
84/85	50	59	46	58	50,7	49	56	54	58	54	55	57	53,89
85/86	64	57	59	53	56	52	59	52	55	60	58	59	57,00
86/87	54	54	60	62	54	58	64	57	65	58	62	57	58,75
87/88	57	47	54	63	51	64	54	62	63	65,7	64	65	59,14
88/89	58	52	69	70,4	70	63	59	48	64	66,7	57,6	68	62,14
89/90	63	68	57	61	69	69	71	65	69	85,8	71	68	68,07
90/91	62	64	62	79,8	80,7	83,7	78	76	68,2	71,8	71,7	74,3	72,68
91/92	73	68,3	73,5	/	/	75,2	72,4	73,4	81,4	73,8	80,3	76,1	74,74
92/93	70,7	72,5	76,9	73,6	/	/	74,3	72,9	76,5	70,7	68,7	72,5	72,93
93/94	70,5	71,4	72	78	77,5	78	81,7	81,1	71	73	70,5	/	74,97
94/95	66	75,9	79	75,2	/	/	/	/	/	/	/	57,1	70,64
95/96	55,1	59,7	59,9	60,2	59,9	66,4	81,7	/	/	77	64,4	71,9	65,62
96/97	71,1	69,8	65,6	64,9	69,1	80,2	77,2	59	57,7	62,4	65,6	56,3	66,58
97/98	62	60,7	61,8	63,1	69	74,5	72,4	61,4	63,3	55	69,1	72,5	65,40
98/99	73,8	78,1	75,7	77,6	81,5	89,3	73,03	70,5	74,1	71	72,5	71	75,68
99/00	69,04	58,7	70	69	76,3	54,6	73,2	63	71,3	73,7	45,2	42	63,84
00/01	67	53	47,2	53,5	61,2	58,9	49,2	61,8	65,2	53,1	53,8	75,1	58,25
01/02	72,9	58,7	58,6	61,6	56	62,4	58,9	56,4	54,9	52,3	56,4	58,3	58,95
02/03	74,9	54,1	52,8	/	76,7	59,4	57,4	62,4	57,3	61,8	53,2	49,9	59,99
03/04	73	69,8	72,7	74,9	74,7	70,31	71,7	73,35	72,18	72,53	70,18	67,48	71,90
04/05	73	69,8	72,7	74,9	74,7	70,31	71,7	73,4	72,8	72,5	70,1	67,5	71,95
05/06	69,5	67	78,9	76,2	80	76	77	75	74	70	73	75	74,30
06/07	73	69	75	79	82	79	83	81	78	77	73	73	76,83
07/08	76	82	78	81	79	79	81	75	76	77	75	73	77,67
08/09	72	77	76	80	81	80	78	82	74	74	69	75	76,50
09/10	82	82	77	80	81	86	79	80	81	79	76	76	79,92
Moy-mens	67,41	65,33	66,55	69,58	70,04	69,93	70,15	67,32	68,45	68,31	65,81	66,32	68,01

Tableau n°15 : Moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse des vents (m/sec) à la station d'El Kala (1984/85-2001/02).

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Moy
84/85	2,1	2,1	2,1	2,5	2,5	2,5	2,8	2,5	2,3	2	1,6	1,8	2,23
85/86	2	1,6	2,1	2,7	2,7	2,4	2,1	2,3	1,4	1,5	1,3	1,9	2,00
86/87	1,9	2,3	2,5	2,5	2,5	2,9	3,1	2,5	1,8	1,4	1,7	1,8	2,24
87/88	2,9	2,4	2,2	3	3	3	2,7	1,9	1,8	2	1,3	1,2	2,28
88/89	1,7	1,4	1,9	1,4	1,4	2,5	2,1	2,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,73
89/90	1,8	1,8	1,4	1,7	1,7	2,1	1,7	2,3	1,6	1,9	1,5	1	1,71
90/91	1,5	1,8	2,2	1,6	1,6	/	1,7	2,2	2,1	2,1	2	1,6	1,85
91/92	2,1	2,8	2,1	/	/	2,4	2,8	3,3	2,4	2,3	1,4	2,5	2,41
92/93	1,5	3	3	/	/	/	2,7	1,7	2,2	0,8	3,1	1,8	2,20
93/94	2,7	2,4	2,4	3,1	3,1	3	2,2	2,6	2,3	2,3	1,1	/	2,47
94/95	2,8	2,6	2	/	/	/	/	/	/	/	/	2,4	2,45
95/96	2,8	1,6	3,3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,57
96/97	/	/	/	/	/	/	/	2,5	3,3	3,1	2,7	3	2,92

97/98	2,2	3,4	3,5	4	4	2,6	3,6	2,8	4,3	2,7	2	2,5	3,13
98/99	3,6	2,1	2,3	2,3	2,3	3,5	2,8	2,3	3	2	2,5	2,7	2,62
99/00	3,5	1,5	3,8	2,1	2,1	2,6	2,9	1,35	2,5	2,3	2,3	1,5	2,37
00/01	1,3	1,4	1,6	2,1	2,1	2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,3	1	1,53
01/02	1	1,2	1,6	1,2	1,2	1,6	1,4	1,6	1,3	1,3	1,7	1,3	1,37
Moy-mens	2,32	1,92	2,56	2,34	2,34	2,46	2,46	1,93	2,46	1,9	1,96	1,8	2,23

Tableau n°16 : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (mm) à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Total
71/72	99,6	122,4	57,4	56,4	149,1	82,8	84,6	130,6	51,1	25,5	2,3	10,2	872,00
72/73	81,3	80	35,7	101,4	230,7	104,5	164,6	53,9	0	12,5	1,2	8,3	874,10
73/74	34,2	121	53,9	104,3	38,4	108,7	59	91,8	14,1	4,4	4,6	1,5	635,90
74/75	91	200	190	98	85	137	88,3	20	45,5	0,5	0	51	1006,30
75/76	2,5	37	200	75	66	104	126	43	36	28	23	49	789,50
76/77	43	253	255	55	110	86	12,5	78,1	31	23,5	0	27	974,10
77/78	20	10,5	204,4	50,5	189	134	94	93,4	33,8	3,1	0	0	832,70
78/79	12,5	99,6	164,1	35,5	104,2	178,3	93,8	161	13	15,5	0	1,1	878,60
79/80	44,5	42	229,6	31	49,3	20,5	128,1	91,3	58,5	0	0	8	702,80
80/81	45	97	148	200	140	90	70	50	50	30	14,5	7	941,50
81/82	6,5	45	56,1	150	186	6	113	84	36	0	0	45	727,60
82/83	54,5	110,3	157,7	213,6	7	35,4	91,8	5,4	14,7	2,5	0	0	692,90
83/84	80,5	108,4	127,7	130	142,1	86,6	112,9	48,2	8,1	4,7	0,5	4	853,70
84/85	85,5	172,3	66	287,5	223	82,2	76,7	21,2	41,1	0	0	0	1055,50
85/86	15,6	80,9	58,2	59,5	146,1	102,5	53,4	39,7	0,8	4,1	6,9	0,6	568,30
86/87	44,1	99,6	134,4	189,6	131,2	126,6	110,2	46,6	77,4	0,3	2,8	0	962,80
87/88	62,8	28,3	133,4	42,7	99,8	99,9	60,7	22,8	15,9	27,3	0	2,6	596,20
88/89	70,4	19,4	119,7	124,8	39	54,7	25,7	118,8	11,5	21,5	0,2	1,9	607,60
89/90	20,5	132,6	73,7	75	113,7	14,2	51,4	60	55,3	11,7	1,8	2	611,90
90/91	0,7	49,3	86,2	61,1	72,6	68,4	48	20,8	3,5	0	0	2,1	412,70
91/92	59,7	168,4	107	10,2	0	102,5	68,8	99	110,7	6,5	14,2	0,4	687,70
92/93	0,2	98,4	198,3	237,7	92,8	63	45,4	51,5	50,9	0	0	0,5	838,70
93/94	26,1	83,3	48,4	125,6	106,6	97,9	0	66,9	5,6	0	0	0	560,40
94/95	29,1	107,9	24,2	161,3	141	4,2	94,2	44,5	0,3	25,6	0	8,9	641,20
95/96	13,24	56,4	109,9	126,8	84,3	245,1	51,9	84,5	112,6	44	0	0,9	929,64
96/97	25,4	88,6	43,2	57,8	111,8	39	20,7	53	110	12,2	0	0,9	562,60
97/98	82,7	155,3	199	136,8	97,2	101,2	41,5	83,4	56,8	1,3	0	4,1	959,30
98/99	44,8	35	108,4	122,6	133,4	60,2	54,6	46,4	7,6	7,7	14,3	53,7	688,70
99/00	87,9	164,7	56,4	107,6	93,9	76,5	100,9	56,9	60,8	2	1	1,8	810,40
00/01	17,8	100,6	42	150,2	124	121,3	103,6	67,6	64	5,4	5,1	0,3	801,90
01/02	18	4	151	112	40	36	42	60	8	0,3	12	69	552,30
02/03	62	80	215	238	104	42	115	38	0,8	0,8	0	0	895,60
03/04	115	23	78	192	148	18	81	64	45	36	0,6	3	803,60
04/05	115	23	78	172	148	18	81	64	45	6	1	0	750,93
05/06	74	33,8	24	20	80	75	60	51	11	0	0	13,5	442,30
06/07	12,9	15,7	115,8	143,3	27,3	110,2	323,9	73,5	27,4	50,3	1	3,4	904,70
07/08	5,3	143,3	134,5	109,9	13,6	18,1	119,1	38,8	52,4	10,7	5,1	0	650,80
08/09	94	58,5	113,6	140,5	187,2	184,3	85,7	171,6	25,6	0	1	1,9	1063,90
09/10	127,6	90,3	83,2	105,8	146,5	104,8	94,3	28,8	64,4	42,2	0	4,5	892,40
Moy-mens	49,10	88,17	114,90	118,23	107,74	83,07	83,29	64,72	37,34	11,96	2,89	9,95	770,10

Tableau n°17 : Coefficients pluviométriques annuels à la station d'El Kala (1971-72/2009-10).

Année	Coefficient pluviométrique annuel	Année	Coefficient pluviométrique annuel
1990/1991	0,54	2003/2004	1,04
2005/2006	0,57	1999/2000	1,05
2001/2002	0,72	1977/1978	1,08
1993/1994	0,73	1992/1993	1,09
1996/1997	0,73	1983/1984	1,11
1985/1986	0,74	1971/1972	1,13
1987/1988	0,77	1972/1973	1,14
1988/1989	0,79	1978/1979	1,14
1989/1990	0,79	2009/2010	1,16
1973/1974	0,83	2002/2003	1,16
1994/1995	0,83	2006/2007	1,17
2007/2008	0,85	1995/1996	1,21
1991/1992	0,89	1980/1981	1,22
1998/1999	0,89	1997/1998	1,25
1982/1983	0,90	1986/1987	1,25
1979/1980	0,91	1976/1977	1,26
1981/1982	0,94	1974/1975	1,31
2004/2005	0,98	1984/1985	1,37
1975/1976	1,03	2008/2009	1,38
2000/2001	1,04		

En rouge, les années déficitaires. En bleu, les années excédentaires.

Tableau n°18 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (mm) à la station d'El Kala (1971/72-2009/10).

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Moy
71/72	21,15	21,96	16,37	13,92	15,06	14,45	13,75	14,26	17,66	21,69	22,81	24,29	18,11
72/73	22	19,42	17,27	12,45	11,3	10,14	10,65	13,73	18,85	21,56	24,85	24,85	17,26
73/74	23,44	19,3	13,73	11,53	11,73	9,42	11,48	12,13	16,73	19,33	21	21,85	15,97
74/75	21,32	13,46	15,92	13,5	9,89	11,93	13	14,75	18,85	20,81	25,55	26,43	17,12
75/76	25,36	19,8	15,57	13,91	11,88	12,32	12,82	15,25	18,51	21,45	23,85	25,5	18,02
76/77	23,43	19,8	14,45	14,31	13,75	14,29	15,38	16,83	19,25	21,21	22,29	23,81	18,23
77/78	21,15	21,96	16,37	13,92	11,06	14,45	13,75	14,26	17,66	21,69	22,81	24,29	17,78
78/79	22,51	18,16	14,52	15,78	16,55	13,81	14,15	14,03	18,08	22,81	24,94	24,81	18,35
79/80	22,11	20,92	14,66	13,79	12,5	13,3	13,5	14	17,1	20,9	23,1	25	17,57
80/81	23,5	19	16,8	10,9	9,42	11,3	14,7	12,2	17,23	20,99	23,3	23,9	16,94
81/82	23,8	20,4	16,5	14,6	14,1	12,6	13,6	15,8	18,1	23	27,8	25,1	18,78
82/83	24,2	13,7	16,8	12,6	12,2	12,1	13,7	17,2	19,4	22,8	27,6	25,8	18,18
83/84	25	19,1	17,8	14,3	12,6	11,7	13,4	15,08	18,55	21,15	25,5	22,05	18,02
84/85	22,4	19,1	17,75	13,15	11	14,5	12,6	16,4	18	22,1	25,4	25,1	18,13
85/86	23,1	20,5	17,1	14	12	12,45	13,45	15,7	20,35	21,05	24,2	26,4	18,36
86/87	23,7	22	16,4	12,35	12,1	12,65	12,8	16,45	17,35	21,6	25,8	25,5	18,23
87/88	25,85	23,7	16,75	15,1	14,25	12,3	13,6	15,95	19,17	22,44	25,6	26,25	19,25
88/89	22,8	22,85	16,65	12,05	11,7	12,4	15,35	16,1	18,15	21,39	25,65	26,5	18,47
89/90	24,05	19,8	17,65	16,45	12,9	14,3	14,2	15,4	18,8	23	24,9	24,7	18,85
90/91	25,6	22,8	17,1	11,7	11,6	11,55	14,4	15,55	15,9	21	24,15	25,25	18,05
91/92	24,15	20,5	15,25	11,65	11,28	11,4	13,4	14,2	21,37	21,69	23,7	25,4	17,83
92/93	24,2	21,4	16,1	13,1	11,8	11,6	12,9	15,6	18,3	21,1	25,5	25,8	18,12
93/94	25,8	20,9	17,4	13,7	12,8	12,8	15,3	14,3	20,2	23,3	25,9	28,7	19,26
94/95	22,4	18,8	17,2	12,9	11,7	11,2	12,7	14,5	17,3	19,9	25,3	24,1	17,33
95/96	22,7	18,9	16,9	15	14,5	12,1	14,6	16,3	19,3	22,5	25,5	27	18,78
96/97	24,18	20,92	14,69	13,79	12,5	13,3	13,5	14	17,1	20,9	23,1	26	17,83
97/98	23,5	19,22	16,8	10,9	9,42	11,3	14,8	13,9	17,23	20,79	23,3	24,9	17,17
98/99	23,8	20,4	16,5	14,6	12,1	11,4	12,6	15,8	19,6	23	27,3	25,1	18,52
99/00	24,2	17,25	16,6	13,2	12,2	12,1	13,2	17,2	19,8	22,32	26,6	27,4	18,51
00/01	24,3	19,28	17,3	14,3	12,6	11,7	13,4	15,08	19,45	21,15	25,5	23,3	18,11
01/02	24,1	23,25	17,05	12,85	12,1	13,3	15,05	17,05	19,45	23,7	25,5	25,3	19,06
02/03	23,75	21,7	17,65	0	12,95	11,75	14,65	17,6	19,6	25,8	27,85	29,45	18,56
03/04	24,6	22,85	17,7	13,25	12,75	14	14,7	15,85	17,9	22,1	25,5	27,65	19,07
04/05	24,2	22,9	17,7	13,3	12,7	13,1	13,8	15,4	17,8	22,1	25,5	27,8	18,86
05/06	24,3	23,1	15,1	13,2	12,9	12,9	13,5	16,1	20,3	23,8	27,1	25,5	18,98
06/07	24,7	23,2	18,3	14,5	13,9	14,3	13,3	17	19,5	23,3	26,3	26,9	19,60
07/08	24,8	20,6	16,1	12,8	13,2	13,1	13,3	16,9	19,5	21,8	26	27,2	18,78
08/09	24,7	21	16	12,3	11,8	11,9	12,7	14,4	19,9	23,3	27,4	26,6	18,50
09/10	23,3	20,5	16,8	14,1	12,4	13	13,8	15,5	17,1	20,4	24,4	25	18,03
Moy-mens	23,70	20,37	16,49	13,07	12,39	12,52	13,63	15,33	18,57	21,92	25,09	25,55	18,22

Tableau n°19 : les teneurs en métaux lourds dans les eaux et les organismes aquatiques dans le PNEK (2006).

Métaux	Concentration des métaux lourds dans l'eau (mg/l)															
	Fe		Mn		Ni		Cr		Pb		Cd		Cu		Hg	
Saisons	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
les Pompes	2,1	5,316	0,053	0,12	0,016	0,2	0,03	0,12	0,44	1,206	0,025	0,017	0,09	0,14	0	0
O.El Hout	2,8	5,25	1,126	1,71	0,22	0,816	0,073	0,176	0,086	0,446	0,02	0,021	0,016	0,063	0	0
Demet Rihana	5,616	17,19	0,61	1,12	0,116	0,497	0,079	0,676	0,443	0,556	0,005	0,001	1,726	2,343	0,0661	0,1066
O. Messida-Kebir	4,786	15,61	0,613	1,066	0,17	0,543	0,056	0,506	0,433	0,465	0,004	0,003	1,333	2,788	0,0816	0,0906
O.R'guibet	3,106	6,47	0,653	0,2	0,556	0,706	0,206	0,77	0,106	0,7	0,029	0,015	0,076	0,096	0,021	0,051
Melah-Aroug	1,826	3,33	0,226	1,16	0,503	0,71	0,35	1,11	0,63	0,82	0,003	0,005	0,07	0,08	0,096	0,175
C-Europienne	0,2		0,05		0,05		0,05		0,05		0,005		1		0,001	
Palourde	Concentration des métaux lourds dans les organismes aquatiques (mg/kg. poids secs)															
	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Palourde	5,75	5,7	0,7	0,16	0,045	0,042	0,025	0,023	0,035	0,032	0,024	0,022	3,42	3,4	0,0001	0
Anodonte	20,4	55,69	247,36	602,62	16,515	99,64	16,185	80,28	13,59	10,435	1,0615	1,2125	3,06	11,745	0,09	2,635
VGF	250		1		6		1,8		1,5		0,5		6,5		0,1	
Anguille	39,58	43,235	0,164	0,17	0,337	0,362	0,505	0,63	0,385	0,415	0,013	0,014	5,915	5,885	0,023	0,014
C-Europienne	-		-		-		-		2		0,5		-		5	

Source traitée: Bendjama. A (2007)^[09]

Photos personnelles prises en 2013



Photo n°10: Vue panoramique du lac Noir.



Photo n°11: Vue panoramique du lac Mellah et du lac Bleu.



Photo n°12: Vue panoramique du lac Oubeïra.