

TABLE DES MATIÈRES

ملخص

Abstract

Résumé

Liste des acronymes

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale1

Objectif de l'étude.....2

CHAPITRE I CADRE PHYSICO-GÉOGRAPHIQUE ET GÉNÉRALITÉS

1. Cadre physico-géographique.....4

1.1. Situation géographique et administrative.....4

1.2. Géomorphologie..... 5

1.2.1. Le domaine des plaines.....6

1.2.1.1. La plaine d'Annaba.....6

1.2.1.2. La plaine d'El Hadjar..... 6

1.2.2. Les montagnes6

1.2.3. Le cordon dunaire7

- Le lac Fetzara et ses abords.....7

1.3. Le réseau hydrographique.....9

1.3.1. Oued Bouhdid.....9

1.3.2. Oued Boudjemâa.....9

1.3.3. Oued Seybouse.....10

1.3.4. Oued Meboudja.....10

1.4. La végétation et l'agriculture.....12

2. Aspect socio-économique.....14

2.1. Contexte démographique.....14

2.2. Le contexte industriel.....17

Conclusion.....19

CHAPITRE II

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

1. Introduction.....	21
2. Stratigraphie.....	21
2.1. Le Paléozoïque :	21
2.2. Le Mésozoïque.....	22
2.3. Le Cénozoïque.....	22
2.3.1. l'Eocène inférieur.....	23
2.3.2. L'Oligocène :	23
2.3.3. Le Mio-Pliocène.....	23
2.4. Le Quaternaire.....	23
3. Tectonique.....	25
3.1. Les monts de Cheffia.....	25
3.2. La plaine d'Annaba.....	25
4. Etude structurale et paléogéographique	25
4. 1. Etude structurale.....	25
4. 2. Etude paléogéographique.....	26
Conclusion	27

CHAPITRE III

ÉTUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

1. Introduction.....	28
2. Les stations de mesures	28
3. Etude des paramètres climatiques.....	29
3.1. Les précipitations.....	29
3.1.1. Précipitations moyenne mensuelles.....	29
3.1.2. Précipitations moyenne annuelles.....	31
- La station des Salines.....	31
- La station de Berrahal.....	31
- La station de Pont Bouchet.....	31
- La station de Seraidi.....	31
3.1.3. Répartition saisonnière des précipitations.....	32
3.1.4. Le coefficient pluviométrique.....	34
3.2. Les températures.....	36
3.3. Le diagramme ombrothermique (H.Gaussen et F. Bagnouls).....	37
3.4. L'humidité.....	38

3.5. Le vent.....	39
4. Le bilan hydrique.....	40
4.1. L'évapotranspiration.....	40
4.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentiel et l'évapotranspiration réelle.....	41
4.1.1.1. L'évapotranspiration potentiel (ETP).....	41
4.1.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	41
4.1.1.2.1. Formule de C.W.Thornthwaite.....	41
4.1.1.2.2. Formule de Turc.....	42
4.1.1.2.3. Formule de Coutagne.....	42
4.2. Le ruissellement (R).....	43
4.3. L'infiltration (I).....	44
4.4. La réserve facilement utilisable (RFU).....	45
4.5. Calcul du bilan hydrique.....	45
4.5.1. Représentation graphique du bilan hydrique.....	47
4.5.2. Interprétation du bilan hydrique.....	49
Conclusion.....	50

CHAPITRE IV CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

1. Introduction.....	51
2. Les différents horizons aquifères.....	51
2.1. Aquifère superficiel.....	51
2.1.1. La nappe des gneiss altérés.....	51
2.1.3. La nappe du cordon dunaire.....	52
2.1.2. La nappe des cailloutis et des terrasses.....	52
2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles (nappe phréatique).....	52
2.2. Aquifère profond.....	52
2.2.1. La nappe des cipolins.....	53
2.2.2. La nappe des graviers.....	53
3. Le mode d'alimentation des nappes.....	53
3.1. Pour la nappe phréatique (des alluvions récentes et actuelles).....	53
3.2. Pour la nappe profonde des graviers.....	54
4. Les profils hydrogéologiques.....	54
5. Piézomètre de l'aquifère.....	57

5.1. Etablissement des cartes piézométrique.....	57
Conclusion.....	58

CHAPITRE V

QUALITÉ DES EAUX

1. Introduction.....	60
2. Les eaux souterraines.....	60
2.1. Échantillonnage et méthode d'analyse.....	60
- Les paramètres physiques.....	60
- Les paramètres chimiques.....	60
2.2. Mesures in situ.....	62
2.2.1. Les paramètres physiques.....	62
2.2.1.1. La température.....	62
2.2.1.2. Le PH.....	62
2.2.1.3. La conductivité électrique (CE).....	63
2.2.1.4. Salinité.....	63
2.2.1.5. Solide total dissous (TDS).....	63
2.3. Analyses aux laboratoires.....	65
2.3.1. Eléments majeurs.....	65
2.3.1. 1. Cations.....	65
2.3.1.1.1. Calcium (Ca^{2+}).....	65
2.3.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+}).....	65
2.3.1.1.3. Le sodium (Na^{+}).....	65
2.3.1.1.4. Le potassium (K^{+}).....	66
2.3.1.2. Les anions.....	67
2.3.1.2.1. Les Chlorures (Cl^{-}).....	67
2.3.1.2.2. Les sulfates (SO_4^{-2}).....	67
2.3.1.2.3. Les bicarbonates (HCO_3^{-}).....	67
2.3.1.3. Le cycle d'azote.....	69
2.3.1.3.1. Nitrates (NO_3^{-}).....	69
2.3.1.3.2. Nitrites (NO_2^{-}).....	69
2.3.1.3.3. Ammonium (NH_4^{+}).....	69
2.3.1.3. Les éléments métalliques traces (Fe^{2+}).....	71
2.4. Le faciès chimique.....	71

2.4.1. Représentation graphique des analyses chimiques.....	73
2.4.1.1. Diagramme de Piper.....	73
2.4.1.2. Aptitude des eaux à l'irrigation (diagramme de Richards).....	74
3. Les eaux superficielles (Eaux de barrage Mexa).....	75
3.1. Représentation du barrage Mexa.....	75
3.2. Qualité des eaux de barrage Mexa.....	76
3.3. Résultats des analyses physico-chimiques.....	76
3.3.1. Composition chimique.....	76
3.3.2. Diagramme de Piper.....	77
3.3.3. Diagramme de Stiff.....	77
3.3.4. Evolutions des paramètres physico-chimiques.....	78
3.3.4.1. Les paramètres physiques.....	78
3.3.4.1.1. La température.....	78
3.3.4.1.2. Le potentiel d'hydrogène (PH).....	79
3.3.4.1.3. La conductivité électrique (CE).....	79
3.3.4.1.4. La salinité.....	80
3.3.4.1.5. La turbidité.....	81
3.3.4.2. Les éléments chimiques.....	81
3.3.4.2.1. Les cations.....	81
3.3.4.2.1.1 Calcium (Ca^{2+}).....	81
3.3.4.2.1.2. Magnésium (Mg^{2+}).....	81
3.3.4.2.2. Les anions.....	81
3.3.4.2.2.1. Les Chlorures (Cl^-).....	81
3.3.4.2.2.2. Les bicarbonates (HCO_3^-).....	82
3.3.4.3. Les nutriments.....	83
3.3.4.3.1. Nitrates (NO_3^-).....	83
3.3.4.3.2. Nitrites (NO_2^-).....	83
3.3.4.3.3. Ammonium (NH_4).....	83
3.3.4.4. Les métaux lourds.....	84
3.3.4.4.1. Le fer (Fe^{2+}).....	84
4. Analyse en composante principale (ACP).....	85
4.1. Matrice de corrélation.....	85
Conclusion	88

CHAPITRE VI POLLUTION ATMOSPHERIQUE : SOURCES ET DISPERSIONS

1. Introduction.....	89
2. Les niveaux de la pollution Atmosphérique.....	90
2.1. Pollution globale	90
2.2. Pollution régionale.....	90
2.3. Pollution locale.....	90
3. Les sources de pollution atmosphérique.....	91
3.1. Pollution d'origine naturelle.....	91
3.2. Anthropiques	91
3.2.1. Pollution due aux procédés industriels.....	92
3.2.2 Pollution due à la combustion.....	92
3.2.3. Pollution due aux véhicules.....	92
4. Les types des polluants.....	92
4.1. Les polluants primaires	92
4.1.1. Le monoxyde de carbone (CO).....	92
4.1.2. Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	93
4.1.3. Les oxydes d'azote (NOX).....	93
4.1.4. Les composés organiques volatiles (COV).....	93
4.1.5. Les particules en suspension.....	94
4.2. Les polluants secondaires.....	94
- L'Ozone.....	94
5. Les sources de pollution atmosphérique dans la zone d'étude.....	95
5.1. Procédés industrielles.....	95
5.2. Intensité du trafic routier.....	96
5.2.1. Axe routiers de la région d'étude.....	96
5.2.2. L'état du réseau routier.....	97
6. Le parc automobile.....	98
6.1. Comparaison du parc automobile avec les autres wilayas en Algérie.....	98
6.2. Les rejets liés au trafic routier.....	99
6.3. Statistique annuel du park des véhicules de la zone d'étude.....	99
6.2.1. Evolution annuel du nombre des véhicules de la zone d'étude (période 1984-2014).....	100
6.2.2. Estimation du dégagement de CO ₂ par les véhicules à essence et celles à diesel.....	101
6.2.2.1. Le principe de quantification de CO ₂	101

6.2.2.2. Estimation du dégagement de CO ₂ par les véhicules selon leurs âges durant la période (2004-2014).....	101
6.2.2.2.2. Les véhicules à diesel.....	101
6.2.2.2.1. Les véhicules à essence.....	101
6.2.2.3. Estimation du dégagement de CO ₂ total pour l'année 2014 par les véhicules de la zone d'étude selon la distance.....	102
6.3. Distribution communale du parc automobile.....	104
6.4. Parc automobile selon le carburant utilisé.....	104
6.5. Répartition du trafic routier selon le type de véhicule au niveau des communes de la région d'étude.....	105
6.5.1. Commune d'Annaba ville.....	105
6.5.2. Commune d'El Bouni.....	105
6.5.3. Commune de Sidi Amar.....	105
6.5.4. Commune d'El Hadjar.....	105
6.6. Variation temporelle du trafic routier durant la période (2004-2014) pour les trois communes (Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar).....	106
7. La surveillance de la qualité de l'air.....	107
7.1. La station de contrôle de l'environnement.....	107
7.2. Description du réseau de mesure (surveillance).....	107
7.2.1. Installation du réseau de surveillance de la qualité de l'air.....	107
7.2.2. Implantation des stations de mesure.....	109
- Station de type base d'Annaba ville (S ₁).....	109
- Stations de type forte pollution d'El Bouni (S ₂) et Sidi Amar (S ₃).....	109
- Station de type référence des Salines (S ₄).....	109
7.3. Les objectifs du réseau de surveillance de la qualité de l'air.....	110
7.4. Fonctionnement du réseau de surveillance de la qualité de l'air.....	111
8. La pollution atmosphérique.....	111
8.1. Les normes préconisées par l'OMS de quelques polluants atmosphériques.....	111
8.2. Les polluants mesurés par Sama Safia.....	112
8.2.1. Les polluants chimiques (identification)	112
8.2.2. Les paramètres météorologiques.....	113
- La température de l'air.....	113
- Le vent.....	113
- L'humidité relative.....	113

8.2.3. Variations spatio-temporelles des paramètres météorologiques au niveau de quatre stations durant la période (2002-2007).....	113
8.2.3.1. Variation annuelle de la température enregistrée au niveau de quatre stations.....	113
8.2.3.2. Variation spatio-temporelle de l'humidité enregistrée au niveau de quatre stations durant la période (2002-2007).....	113
8.2.3.3. Les vents.....	114
8.3. Les polluants chimiques mesurés.....	116
8.3.1. Variations spatio-temporelles de NO ₂	116
8.3.1. 1. Pour la période (2012-2013).....	116
8.3.1.2. Pour la période (2013-2014).....	117
8.3.2. Variations spatio-temporelles de NO _x	120
8.3.2.1. Pour la période (2012-2013).....	120
8.3.2.2. Pour la période (2013-2014).....	120
8.3.3. Variation spatio-temporelle des PM ₁₀	121
8.3.3.1. Les stations de Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar.....	121
8.3.3.2. La station des Salines.....	121
8.3.4. L'Ozone.....	122
8.3.4.1. La station d'Annaba ville.....	122
8.3.4.2. La station de Sidi Amar.....	122
8.3.4.3. La station d'El Bouni.....	123
8.3.4.4. La station Des Salines.....	124
8.3.5. Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	124
8.3.5.1. Stations d'Annaba ville.....	124
8.3.5.2. Stations de Sidi Amar et El Bouni.....	125
8.3.5.3. Stations des Salines.....	126
8.4. Bilan sur la qualité de l'air pour Annaba et ses agglomérations.....	127
8.4.1. Paramètres de calcul de l'indice de la qualité de l'air.....	127
8.4.1. Echelle des valeurs attribuée aux sous-indices des polluants.....	127
8.4.2. Niveaux des indices.....	128
8.4.3. La qualité de l'air pour chaque station.....	129
8.4.3.1. Station d'Annaba ville.....	129
8.4.3.2. Station d'El Bouni.....	129
8.4.3. 3. Station de Sidi Amar.....	129

8.4.3. 4. Station des Salines (Aéroport).....	129
Conclusion	131

CHAPITRE VII **ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE**

1. Introduction.....	132
2. Les maladies à transmission hydrique (MTH).....	132
2.1. La toxicité des métaux lourds.....	132
- Le Plomb (Pb).....	132
- Le Fer total (Fe. T).....	133
- Le Cuivre (Cu).....	133
- Le Chrome (Cr).....	133
2.2. Situation épidémiologique(MTH) en Algérie durant la période (2000-2015).....	134
2.3. Situation épidémiologique dans la zone d'étude pendant la période (2007-2017).....	136
2.4. Cartographie de la répartition spatiale des maladies à transmission hydrique (MTH) au niveau de quatre commune durant la période (2007-2017).....	138
2.4.1. La fièvre typhoïde.....	138
2.4.2. L'hépatite virale A.....	138
3. Les maladies provoquées par la pollution atmosphérique.....	140
3.1. Type des effets des polluants atmosphériques sur la santé.....	140
3.1.1. Les effets à court terme.....	140
3.1.2. Les effets à long terme.....	140
3.2. Effets des polluants atmosphériques sur la santé.....	140
- Effets du monoxyde de carbone (CO).....	140
- Effets du monoxyde d'azote (NO).....	141
- Effets d'anhydride sulfureux ou dioxyde de soufre (SO ₂).....	141
- Effets du plomb.....	141
- Effets des COV.....	142
- Effets des particules.....	142
- Effets d'ozone.....	143
- Effets de PAN.....	144
3.3. Différentes affections dues à la pollution atmosphérique.....	144
3.3.1. Les affections du système respiratoire.....	144
- Bronchite chronique.....	144

- Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO).....	145
- Emphysème pulmonaire.....	145
- Cancer pulmonaire.....	145
- Asthme.....	146
3.3.2. Affections cardiovasculaires.....	146
3.3.3. Effets neuropsychiques.....	146
3.4. Les maladies provoquées par la pollution atmosphérique au niveau de la zone d'étude (respiratoires et cardiovasculaire).....	147
3.4.1. Variation mensuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	147
3.4.2. Variation mensuelle du nombre de cas d'admission et de décès par les maladies cardiovasculaire au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	148
3.4.3. Variations interannuelles des admissions et décès par les maladies respiratoires au niveau de la région d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	148
3.4.4. Variations interannuelles des admissions et décès par les maladies cardiovasculaires au niveau de la région d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	149
3.4.6. Comparaison entre le nombre des admissions et décès aux maladies respiratoires et celui des maladies cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	150
3.4.6.1. Comparaison entre les admissions aux maladies respiratoires et celles cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	150
3.4.6.2. Comparaison entre les décès par les maladies respiratoires et celles cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	150
3.4.5. Variation annuelles des asmatiques au niveau de quatre communes durant la période (2012-2014).....	151
3.4.5.1. Au niveau d'Annaba et El Bouni.....	151
3.4.5.2. Au niveau de Sidi Amar et El Hadjar.....	151
3.4.5.1. Cartographie de la répartition spatiale de nombre des asmatiques selon le type de pollution au niveau de quatre communes et durant les années 2012, 2013 et 2014.....	152
Conclusion.....	154

CHAPITRE VIII IMPACT DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ET DES PARTICULES FINES SUR L'ENVIRONNEMENT

1. Introduction.....	155
2. Les caractéristiques environnementales et biodiversité de la wilaya d'Annaba.....	155
2.1. Les zones humides de la wilaya d'Annaba.....	155
2.2. Flore et faune	157
2.2.1. Flore.....	157
2.2.1.1. Les principaux groupements florale (In Allitatar. B ; 2010).....	157
2.2.1.1.1. Le chêne liège (Quercus suber).....	157
2.2.1.1.2. Groupement à l'oléo-lentisque (Olea oleaster et Pistacia lentiscus).....	158
2.2.1.1.3. Groupement hygrophiles.....	158
2.2.1.1.4. Groupements des rochers maritimes.....	158
2.2.1.2. Dynamisme de la végétation de la région d'Annaba.....	158
2.2.1.3. Les facteurs de dégradations.....	159
2.2.1.3.1. Les incendies.....	159
2.2.1.3.2. Le surpâturage.....	160
2.2.1.3.3. Les défrichements.....	160
2.2.1.4. Les formations de dégradations.....	161
2.2.1.4.1. Le maquis.....	161
2.2.1.4.2. Les pelouses.....	161
2.2.1.4.3. Reboisement.....	161
2.2.1.4.4. Les vergers et les cultures.....	161
2.2.2. Faune.....	162
2.2.2.1. Les poissons.....	162
2.2.2.2. Les invertébrés.....	164
2.2.2.3. Les amphibiens.....	164
2.2.2.4. Les reptiles.....	164
2.2.2.5. Les oiseaux.....	164
2.2.2.6. Les mammifères.....	164
2. Impact ou effets des polluants atmosphériques sur.....	165
2.1. La végétation.....	165

2.2. Les écosystèmes

2.2.1. Précipitations acides.....	166
2.2.1.1. Acidification des lacs et des cours d'eau.....	166
2.2.1.2. Les forêts.....	167
2.2.1.3. Les matériaux.....	167
2.3. La visibilité atmosphérique.....	168
3. Effets de quelques polluants sur l'environnement.....	168
3.1. Effets du CO.....	168
3.2. Effet des oxydes d'azote sur l'environnement.....	168
3.3. Effets de SO ₂	169
3.4. Effets des COV.....	169
3.5. Effets des particules.....	169
3.6. Effets du plomb.....	169
3.7. Effets de l'ozone.....	169
3.8. Effets de PAN.....	170
3.9. Les effets des particules sur le bâti et les écosystèmes.....	171
3.10. Les effets des particules sur le climat.....	172
Conclusion.....	172

Conclusion générale et recommandations.....173

Références bibliographiques.....178

Annexes.....185

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques.

AEE : Agence Européenne pour l'Environnement

ADE : Algérienne des Eaux.

ANBT : Agence Nationale des Barrages et de Transfert

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

BNEDER : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

CNTC : Centre National des Technologies et du Consulting

DE : Direction de l'environnement.

DRE : Direction des ressources en eau.

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire.

DSA : Direction des Services Agricoles.

DUH : Direction d'Urbanisme et d'Habitat.

FIDA : Fond International du Développement Agricole

FAO : Food and Agriculture Organization

GIWA : Global International Water Assessment

GWP : Global Water Partnership

IRD : Institut de Recherche en Développement.

IWRM : Integrated Water Resource Management

LEM : Laboratoire des Etudes Maritimes

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

O.C.D.E : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OIE : Office International de l'Eau

ONA : Office National d'Assainissement.

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

ONID : Office National d'Irrigation et de Drainage.

ONM : Office National de Météorologie.

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

PDE : Plan Directeur de l'Eau.

PME : Partenariat mondial de l'eau

SEATA : Société de l'Eau et l'Assainissement de Taref et Annaba

PMH : Petite et Moyenne Hydraulique

PNE : Plan National de l'Eau

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

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

RGPH: Recensement Général de Population et d'Habitat

RIOB: Le Réseau International des Organismes des Bassins

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

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

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

SIG : Système d'Information Géographique

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les superficies des différents types de végétation caractérisant les forêts de la région d'étude.....	12
Tableau 02 : Données des populations des communes de la région d'étude pour les années 1998 et 2008.....	16
Tableau 03 : Localisation des zones industrielles par communes au niveau de la wilaya de Annaba (Source : PATW, 2010)	17
Tableau 04 : Localisation des grandes unités industrielles au niveau de la wilaya de Annaba (Source : PATW, 2010)	18
Tableau 05 : Localisation des zones d'activités commerciales au niveau de la wilaya de Annaba (Source : PATW, 2010).....	18
Tableau 06 : Coordonnées géographiques des stations de mesure	28
Tableau 07 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles des 04 stations.....	30
Tableau 08 : Répartition interannuelle des précipitations pour les 04 stations	32
Tableau 09 : Répartition saisonnière des précipitations pour les 04 stations	33
Tableau 10. Coefficient pluviométrique et observation pour les 04 stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraidi).....	35
Tableau 11 : Températures moyennes mensuelles à la station des Salines (1985-2016) et Berrahal (1984/2012).....	36
Tableau 12 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines (1984/2013).....	38
Tableau 13 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1974-2013)	40
Tableau 14 : Résultats de l'ETR obtenus par la méthode de Turc pour les 04 stations	42
Tableau 15 : Résultats de l'ETR obtenus par la méthode de Coutagne pour les 04 stations	42
Tableau 16 : Ruissellements obtenus par la formule de «ROMANTCHOUK» pour les 04 stations	43
Tableau 17 : Estimation de l'infiltration en mm pour les 04 stations	44
Tableau 18 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station des Salines, période (1985-2016).....	45

Tableau 19 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station de Pont Bouchet, période (1984-2016).....	45
Tableau 20 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station de Berrahal, période (1984-2012).....	46
Tableau 21 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station de Seraidi, période (1980-2007).....	46
Tableau 22 : Variation de la transmissivité selon la texture des alluvions d'après (N.Khérici.1993, DHW El-Taref).....	52
Tableau 23 : Classification des eaux souterraines (Septembre 2017) selon la formule caractéristique de Stabler.....	72
Tableau 24 : Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques	85
Tableau 25 : Apport du trafic routier dans l'émission de polluants atmosphériques (O.F.E.S, 2013)	99
Tableau 26 : Nombre de véhicules par type et par âge, Wilaya d'Annaba (Inventaire 2014)	100
Tableau 27 : Estimation du dégagement de CO ₂ par les véhicules à essence et à diesel selon leurs âges (Inventaire année 2014)	102
Tableau 28 : Estimation du dégagement de CO ₂ total durant la période (1984-2014) par tous les véhicules selon la distance.....	103
Tableau 29 : Les stations de surveillance de la qualité de l'air à Annaba	109
Tableau 30 : Normes OMS de quelques polluants atmosphériques	112
Tableau 31 : Les polluants mesurés par la station de surveillance Sama Safia	112
Tableau 32 : Les différentes normes de PM ₁₀ (µg/m ³).....	119
Tableau 33 : Echelle des valeurs attribuée aux sous indices des polluants.....	128
Tableau 34 : Niveaux des indices et ses qualités de l'air (1984 – 1993).....	128
Tableau 35 : Présentation des différentes maladies à transmission hydrique et les séries d'observation en Algérie	134
Tableau 36 : Situation épidémiologique durant la période (2007-2017).....	136
Tableau 37: Les zones humides recensées au niveau de la wilaya d'Annaba.....	156
Tableau 38: Flore Existante au niveau des zones humides recensées au niveau de la wilaya d'Annaba	159
Tableau 39 : Les unités systématiques appartenant aux différents groupes: Poissons, Crustacés et Mollusques.....	162
Tableau 40: Principaux polluants atmosphériques, leurs sources et leurs effets	170

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Situation administrative de la wilaya d'Annaba.....	4
Figure 02 : Situation géographique de la zone d'étude « Image LandSat 2014) ».....	5
Figure 03 : Les unités morphologiques dans la région d'Annaba (Direction des forêts d'Annaba) Saadali B ; 2007 (légèrement modifié).....	8
Figure 04 : Image satellite présentant la localisation des oueds dans la zone d'étude.....	9
Figure 05 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (Moi, 2011).....	11
Figure 06. Superficie des cultures irriguées dans la zone d'étude.....	13
Figure 07 : Carte du couvert végétal d'Annaba (Direction des forêts d'Annaba-In Saadali .B.2007- (modifiée 2009).....	14
Figure 08 : Evolution de la population de la wilaya d'Annaba durant la période (1966-2008).....	15
Figure 09 : Distribution par commune de la population de la wilaya d'Annaba durant la période (1966-2008).....	15
Figure 10 : Populations des communes de la région d'étude, recensement de 1998 et 2008 (Moi, 2011).....	16
Figure 11 : Localisation des complexes industriels d'Annaba	19
Figure 12 : Colonne lithologique du massif de l'Edough (Aissa D.E, 1985).....	22
Figure 13 : Bloc diagramme au travers de la plaine d'Annaba (Hani, 2003, modifié).....	24
Figure 14 : Situation géologique des plaines de la région d'Annaba – Bouteldja d'après STROJEXPORT, 1975. (In Hani, 2003 légèrement modifiée).....	27
Figure 15 : Localisation des stations météorologiques dans la région d'Annaba	29
Figure 16 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles pour les 04 stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi).....	30
Figure 17 : Précipitations moyennes inter- annuelles pour les 04 stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Séraïdi)	31
Figure 18 : Répartition saisonnière des précipitations pour les 04 stations.....	33
Figure 19 : Diagramme ombrothermique de la station des Salines durant la période (1989-2009)	34
Figure 20 : Températures moyennes mensuelles pour les stations des Salines et Berrahal : Périodes (1985-2016) et (1984/2012) respectivement.....	36
Figure 21 : Diagramme ombrothermique de la station des Salines	37
Figure 22 : Diagramme ombrothermique de la station des Pont Bouchet	37

Figure 23 : Diagramme ombrothermique de la station de Berrahal	37
Figure 24 : Diagramme ombrothermique de la station des Séraïdi	37
Figure 25 : L'humidité moyenne mensuelle à la station des Salines (Période 1984/2013)....	38
Figure 26 : Les vitesses moyennes mensuelles du vent à la station des Salines :(Période 1974-2013).....	40
Figure 27 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station des Salines, période (1985-2016).....	47
Figure 28 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Pont Bouchet, période (1984-2016)	47
Figure 29 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Berrahal, période (1985-2012)	48
Figure 30 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Séraïdi, période (1980 - 2007)	48
Figure 31 : Profil hydrogéologique schématisé de la plaine d'Annaba (In A. Hani 2003, Légèrement modifié).....	55
Figure 32 : Profil hydrogéologique schématisé de la plaine d'Annaba (In A. Hani 2003, Légèrement modifié).....	55
Figure 33 : Coupes montrant la nature lithologique des aquifères de Annaba (zone Est) (In A. Hani, 2003)	56
Figure 34 : Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe superficielle (In Bechiri, 2009)..	58
Figure 35 : Carte piézométriques des hautes eaux de la nappe superficielle (Fév. 2009)....	58
Figure 36 : Carte piézométriques des basses eaux de la nappe superficielle (Jui. 2009) ...	58
Figure 37 : Carte d'inventaire des points de prélèvement: forages et puits (Sept. 2017)....	61
Figure 38 : Variation de la température dans les forages et puits (Sept. 2017).....	62
Figure 39 : Caractéristique de l'eau en fonction du PH	63
Figure 40: Carte de la distribution spatiale du PH (forages, puits, Sept. 2017).....	64
Figure 41 : Carte de la distribution spatiale de la CE (forages, puits, Sept. 2017).....	64
Figure 42 : Carte de la distribution spatiale de la salinité (forages, puits, Sept. 2017)...	64
Figure 43 : Carte de la distribution spatiale du TDS (forages, puits, Sept. 2017)	64
Figure 44. Carte de la distribution spatiale du Ca^{2+} (forages, puits, Sept. 2017).....	66
Figure 45 : Carte de la distribution spatiale de Mg^{2+} (forages, puits, Sept. 2017).....	66
Figure 46 : Carte de la distribution spatiale du Na^{2+} (forages, puits, Sept. 2017).....	66
Figure 47. Carte de la distribution spatiale de k^{+} (forages, puits, Sept. 2017).....	66
Figure 48 : Carte de la distribution spatiale du Cl (forages, puits, Sept. 2017).....	68

Figure 49 : Carte de la distribution spatiale de SO_4^{2-} (forages, puits, Sept. 2017).....	68
Figure 50 : Carte de la distribution spatiale de HCO_3^- (forages, puits, Sept. 2017).....	68
Figure 51 : Carte de la distribution spatiale des NO_3^- (forages, puits, Sept. 2017).....	70
Figure 52 : Carte de la distribution spatiale des NO_2^- (forages, puits, Sept. 2017).....	70
Figure 53 : Carte de la distribution spatiale de NH_4^+ (forages, puits, Sept. 2017).....	70
Figure 54 : Carte de la distribution spatiale du Fe^{2+} (forages, puits, Sept. 2017).....	71
Figure 55 : Carte de faciès chimiques (forages, puits, Sept. 2017).....	73
Figure 56 : Représentation de diagramme de Piper (forages, puits, Sept. 2017).....	74
Figure 57: Représentation de diagramme de Richards (forages, puits, Sept. 2017).....	75
Figure 58 : Composition chimique des eaux traitées du barrage Mexa (2017).....	76
Figure 59 : Représentation de diagramme de Piper (Barrage Mexa, 2017).....	77
Figure 60 : Représentation de diagramme de Stiff (Barrage Mexa, 2017).....	78
Figure 61 : Variations mensuelles des températures (Eaux de barrage Mexa, année 2017)...	79
Figure 62 : Variations mensuelles du pH (Eaux de barrage Mexa, année 2017).....	79
Figure 63 : Variations mensuelles de la CE (Eaux de barrage Mexa, année 2017).....	80
Figure 64 : Variations mensuelles de la salinité (Eaux de barrage Mexa, année 2017).....	80
Figure 65 : Variations mensuelles de la turbidité (Eaux de barrage Mexa, année 2017).....	81
Figure 66 : Evolution mensuelle de calcium (Barrage Mexa, année 2017).....	82
Figure 67 : Evolution mensuelle de magnésium (Barrage Mexa, année 2017).....	82
Figure 68 : Evolution mensuelle des chlorures (Barrage Mexa, année 2017).....	82
Figure 69 : Evolution mensuelle des bicarbonates (Barrage Mexa, année 2017).....	82
Figure 70 : Evolution mensuelle des nitrates (Barrage Mexa, année 2017).....	83
Figure 71 : Evolution mensuelle des nitrites (Barrage Mexa, année 2017).....	83
Figure 72 : Evolution mensuelle de l'ammonium (Barrage Mexa, année 2017).....	84
Figure 73 : Evolution mensuelle du fer (Barrage Mexa, année 2017).....	84
Figure 74 : Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F2.....	87
Figure 75 : Paramètres qui conditionnent la qualité de l'air d'une zone (Ponche, 2003 in François S, 2004)	89
Figure 76 : Mécanismes de la pollution atmosphérique. Source : Association de surveillance de la qualité de l'air – AIRFOBEP	91
Figure 77 : Identification du réseau routier de la wilaya d'Annaba (PATW, 2017).....	96
Figure 78 : Carte des axes routiers de la wilaya d'Annaba (Mourdi, 2011).....	97
Figure 79 : L'état du réseau routier au niveau de la wilaya d'Annaba (2014).....	98
Figure 80 : Comparaison du parc automobile avec les autres wilayas en Algérie (2004-2014)	

.....	98
Figure 81 : Evolution temporelle du nombre de véhicule durant la période (1984-2014).....	100
Figure 82 : Variation du dégagement de CO ₂ estimé pour les véhicules à essence et à diesel selon la distance parcourue durant la période (1984-2014).....	103
Figure 83 : Distribution communale du parc automobile de la wilaya d'Annaba durant la période (2004 - 2014).....	104
Figure 84 : Parc automobile de la wilaya d'Annaba selon le carburant utilisé durant la période (2004 - 2014).....	104
Figure 85 : Type de véhicule au niveau d'Annaba ville (2004-2014)	105
Figure 86 : Type de véhicule au niveau d'El Bouni (2004-2014)	105
Figure 87 : Type de véhicule à Sidi Amar (2004-2014).....	106
Figure 88 : Variations temporelles du trafic routier sur l'axe Annaba, Sidi Amar et El Bouni durant la période (2004- 2014).....	106
Figure 89 : Organigramme de la station de contrôle de l'environnement (ONEDD) – Annaba	108
Figure 90 : Carte de localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air -Sama Safia- (Mourdi, 2011)	110
Figure 91 : Fonctionnement du réseau de surveillance de la qualité de l'air.....	111
Figure 92 : Variation annuelle de la température enregistrée au niveau de quatre stations (2002-2007, Mourdi, 2011)	114
Figure 93 : Variation annuelle de l'humidité enregistrée au niveau de quatre stations (période 2002-2007, Mourdi, 2011)	114
Figure 94 : Rose des vents enregistrés à 15 h (A) et 3 h (B) au niveau des salines pendant les mois : juin, juillet, août et septembre (1970-2017); source des données : NOAA.....	115
Figure 95 : Anémogramme du vent (direction et vitesse moyenne horaire) à Annaba (In.Saihia. A et Dahech. S. 2017) - données NOAA (1970-2016) -.....	116
Figure 96 : Variations spatiales de NO ₂ durant la période (2012-2013).....	117
Figure 97 : Variations spatiales de NO ₂ durant la période (2013-2014)	117
Figure 98 : Variations spatiales de NO _x durant la période (2012-2013).....	118
Figure 99 : Variations spatiales de NO _x durant la période (2013-2014).....	119
Figure 100 : Moyennes horaires des concentrations en PS enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville.....	120
Figure 101 : Moyennes horaires des concentrations en PS enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni	120

Figure 102 : Moyennes horaires des concentrations en PS enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar	121
Figure 103 : Moyennes horaires des concentrations en PS enregistrées en juillet, août et septembre (Années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines.....	121
Figure 104 : Moyennes horaires des concentrations en O ₃ enregistrées en juillet, août et septembre (Années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville.....	122
Figure 105 : Moyennes horaires des concentrations en O ₃ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar.....	123
Figure 106 : Moyennes horaires des concentrations en O ₃ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni.....	123
Figure 107 : Moyennes horaires des concentrations en O ₃ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines.....	124
Figure 108 : Moyennes horaires des concentrations en SO ₂ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville.....	125
Figure 109 : Moyennes horaires des concentrations en SO ₂ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni.....	125
Figure 110 : Moyennes horaires des concentrations en SO ₂ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar.....	126
Figure 111: Moyennes horaires des concentrations en SO ₂ enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines.....	126
Figure 112: Grille de couleurs des paramètres de calcul de l'indice de la qualité de l'air	127
Figure 113: Grille de couleurs de l'indice atmosphérique.....	128
Figure 114: La qualité de l'air au niveau d'Annaba ville (2012-2014) mois : juillet, août et septembre (Source : station de contrôle d'environnement).....	130
Figure 115: La qualité de l'air au niveau d'El Bouni (2012-2014) mois : juillet, août et septembre (Source : station de contrôle d'environnement).....	130
Figure 116: La qualité de l'air au niveau de Sidi Amar (2012-2014) (mois : juillet, août et septembre ; Source : station de contrôle d'environnement).....	130
Figure 117: La qualité de l'air au niveau des Salines (2012-2014) (mois : juillet, août et septembre ; Source : station de contrôle d'environnement)	130
Figure 118: Répartition des maladies à transmission hydrique en Algérie pour l'année 2015 (Source INSP.2015 ; in W. Kherifi, F. Bekiri.2017).....	134
Figure 119: Situation épidémiologique en Algérie durant la période (2000-2015; in	

W.Kherifi, F. Bekiri.2017).....	135
Figure 120: Situation épidémiologique pour les quatre communes (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar) durant la période 2007-2017.....	137
Figure 121: Les fuites d'eaux usées et crainte des maladies à transmission hydrique	138
Figure 122: Carte de la répartition spatiale de la fièvre typhoïde au niveau de quatre communes durant la période (2007-2017).....	139
Figure 123: Carte de la répartition spatiale d'hépatite virale A au niveau de quatre communes durant la période (2007-2017).....	139
Figure 124: Effet de différents types de particules sur le système respiratoire humain (OMP, 2015)	143
Figure 125: Zone du corps humain affectée en fonction de la nature du polluant. Source : Association de surveillance de la qualité de l'air – Atmo Nord – Pas-de-Calais.....	146
Figure 126: Variations mensuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	147
Figure 127: Variations mensuelle des admissions et des décès cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	148
Figure 128: Variations interannuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).....	149
Figure 129: Variations interannuelles des admissions et des décès par les maladies cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)	149
Figure 130: Comparaison entre les moyennes annuelles des admissions aux maladies respiratoires et cardiovasculaires enregistrées au niveau d'Annaba et ses agglomérations (2010-2013)	150
Figure 131: Comparaison entre les moyennes annuelles des décès par les maladies respiratoires et cardiovasculaires enregistrées au niveau d'Annaba et ses agglomérations (2010-2013)	151
Figure 132: Variation spatiale de nombre des astmatiques pour les quatre communes durant les années 2012, 2013 et 2014.....	152
Figure 133: Carte de répartition spatiale de nombre des astmatiques selon le type de pollution par les poussières au niveau de quatre communes et durant les années 2012, 2013 et 2014	153
Figure 134: Les principaux effets des polluants atmosphériques chez les végétaux-interférence de divers paramètres	165

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis l'accession de l'Algérie à l'indépendance, le développement économique et social a été primordial. La période post coloniale a été marquée par trois phases de développement ayant bouleversé l'équilibre entre l'homme et son environnement (Kimura, 1993). En effet, avec la création (dans les années 70) de grandes unités industrielles (Hlavay et Nagy, 1994), le problème de pollution a été posé. Il constituait non seulement une menace pour la santé des populations mais également un élément moteur de dégradation de nombreux sites où le cycle naturel de dépollution est rompu. Parmi les villes algériennes ayant payé le tribut du développement industriel pour être confrontées à un problème sérieux de pollution urbaine (un des aspects le plus spectaculaire que recouvre l'environnement urbain), l'on cite

l'Agglomération de Annaba où le phénomène a pris tellement de l'ampleur que la situation est devenue alarmante et préoccupante à plus d'un titre. Quotidiennement, faune, flore, population, et constructions sont agressées par des émissions en tout genre : liquides, gazeuses et sonores. Cette ville est constituée d'une vaste plaine bordée au Sud et à l'Ouest d'un massif montagneux au Nord, et par la mer à l'Est. Sa topographie en forme de cuvette favorise la stagnation de l'air et la formation d'inversions de températures. Ces situations permettent l'accumulation de polluants et l'élévation de taux de concentration qui en résulte. Les effets des brises de mer, terre, et pente concourent au transport des nuages de polluants. Ces derniers sont entraînés par la brise de terre la nuit vers la mer, et le jour, ils retournent sur la ville par effet de brise de mer en longeant la montagne de Séraïdi. Les polluants se déposent lentement par gravité et l'on assiste à une pollution affectant les trois récepteurs (mer, terre, air). Les problèmes de pollution, quelles que soient leurs natures (liés à l'air, à la mer, au sol ou à l'industrie, etc.) ont fait l'objet d'études et de recherches et ont intéressés toutes les disciplines : chimistes, écologistes, biologiste, urbanistes, géologues, etc... Tous ont tenté de débattre la question compte tenu des risques qu'elle présente pour la santé et l'environnement.

Afin de contribuer à ce débat et sans prétendre épuiser la problématique de la pollution, ce travail s'efforce de comprendre l'effet de ces problèmes sur la dégradation de l'environnement et du cadre de vie. Pour ce faire, nous nous basons sur le recueil et le recensement de données relatives à ce problème auprès des services concernés à savoir : la Direction de l'Environnement, l'Office national de l'environnement et de développement

durable (ONEDD), la Direction des ressources en eau, le service de la réglementation générale, les hopitaux ; Ibn Rochd, Dorban, Ibn Sina et le centre de santé (Annaba).....

Objectif de l'étude

Le but principal de cette thèse est de savoir la qualité des eaux et de l'air en déterminant la pollution (eau+air) et l'impact que peut avoir les particules fines et leurs conséquences sur l'homme et l'environnement de la région d'Annaba et ses environs (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar).

Une analyse détaillée a été effectuée au niveau des eaux souterraines (forages et puits) et des eaux superficielles traitées (barrage de Mexa) ainsi que celle de l'air (en s'appuyant sur les poussières).

Ces travaux de thèse sont présentés en deux parties principales :

➤ **La première partie comprend quatre chapitres**

- Le premier chapitre est consacré à l'identification de la zone d'étude en présentant sa localisation, sa géomorphologie, le réseau hydrographique, contexte agricole, contexte industriel,.....
- Le deuxième chapitre donne une idée sur le contexte géologique et structural de la région, en présentant les deux types de formations celles métamorphiques du massif de l'Edough et l'autre sédimentaire.
- Le troisième chapitre est une étude hydroclimatologique, il est pour but mieux appréhender l'évolution des caractéristiques climatiques dans le temps et dans l'espace et de définir ces caractéristiques hydroclimatologiques, ainsi d'évaluer les différents termes du bilan hydrique pour pouvoir donner une estimation de la réserve en eau de la nappe.
- Le quatrième chapitre est un aperçu hydrogéologique dont le but est la limitation des aquifères et le traçage des cartes piézométriques pour déceler le sens d'écoulement, les zones d'alimentations et d'accumulation des eaux.

➤ **La seconde partie comprends trois chapitres**

- Le cinquième et le sixième chapitre sont les parties essentielles de cette thèse, ils sont consacrés à présenter et identifier la qualité des eaux (forages et puits, barrage Mexa) en présentant les différents types de pollution de ces eaux et celle de l'atmosphère (spécialement les poussières) ainsi que leur évolution spatial et temporelle et ses origines.

Introduction générale

- Le septième et le huitième chapitre sont nécessaires pour quantifier et préciser l'impact d'une pollution urbaine sur les différentes maladies à transmission hydrique (dont la fièvre typhoïde et l'hépatite virale A), respiratoires et cardiovasculaires en particulier, ainsi que les conséquences de cette pollution sur l'environnement en général.

PARTIE I

Présentation de la zone d'étude et généralités

Cette partie générale comprend les 04 chapitres suivants:

- **Cadre physico-géographique et généralités**
- **Contexte géologique**
- **Etude hydroclimatologique**
- **Aperçu hydrogéologique**

CHAPITRE I

Cadre physico-géographique et généralités

1. Cadre physico-géographique

1.1. Situation géographique et administrative

La wilaya d'Annaba est située au Nord - Est de l'Algérie entre les latitudes 36°30' Nord et 37°03' Nord et longitudes 7°20' Est et 8°40' Est, d'une superficie de 1411,98 km² et une population estimée à 592 128 en 2008, elle est limitée administrativement par les zones suivantes :

- Au Nord par la mer méditerranée ;
- A l'Ouest par la wilaya de Skikda ;
- Au Sud la wilaya de Guelma ;
- A l'Est la wilaya d'El Tarf.

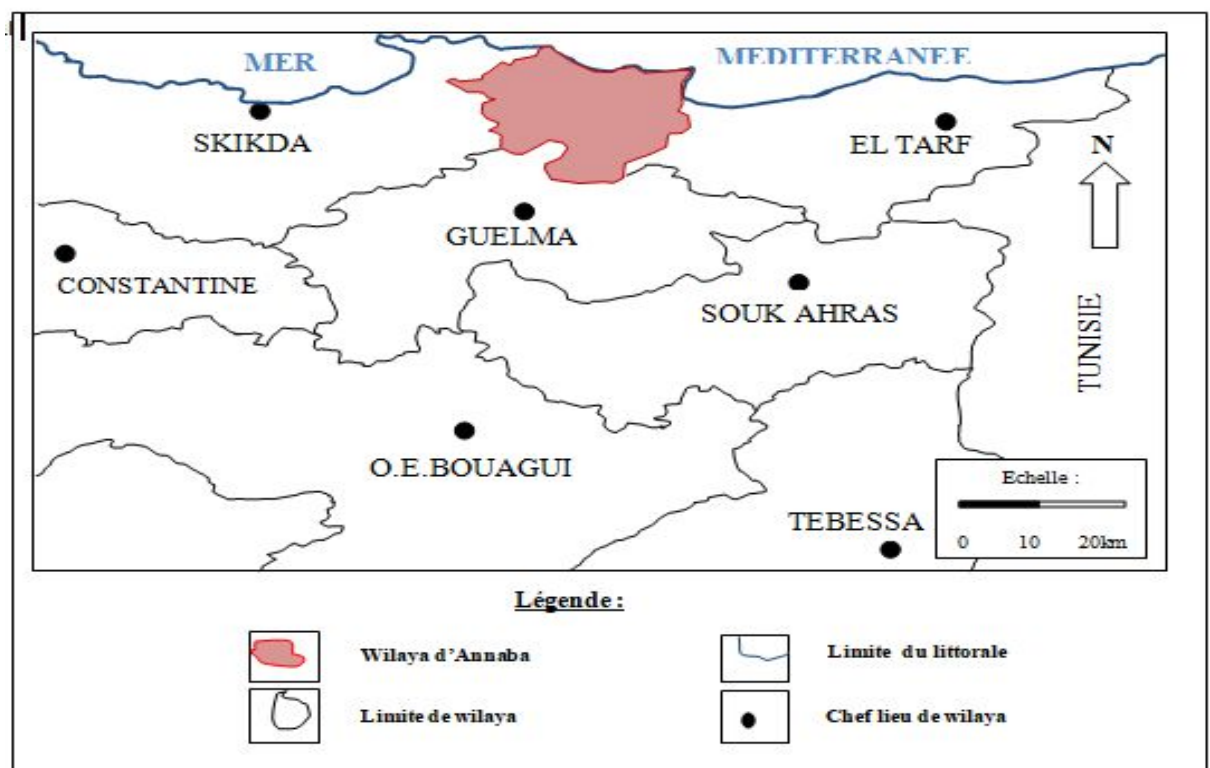


Fig.01 : Situation administrative de la wilaya d'Annaba (Mourdi, 2018)

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba et comporte: Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar, elle est limitée:

- Au Nord, par la mer méditerranée;
- A l'Ouest et du Nord vers le Sud par les massifs de: l'Edough (1008 m), Boukhadra (152 m) et celui de Belellieta (287 m);
- Au Sud, par la chaîne Numidique;
- A l'Est, par le prolongement oriental du système aquifère Annaba-Bouteldja.

Cette zone est caractérisée par une topographie plane marquée par des inclinaisons importantes aux bordures de la plaine, à la partie Ouest et Sud, dues à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Bellielita et celle de la chaîne numidienne.

Elle s'étend entre les coordonnées Lambert :

$$\begin{cases} X = 399 \text{ km} & Y = 940 \text{ km} \\ X = 414 \text{ km} & Y = 954 \text{ km} \end{cases}$$

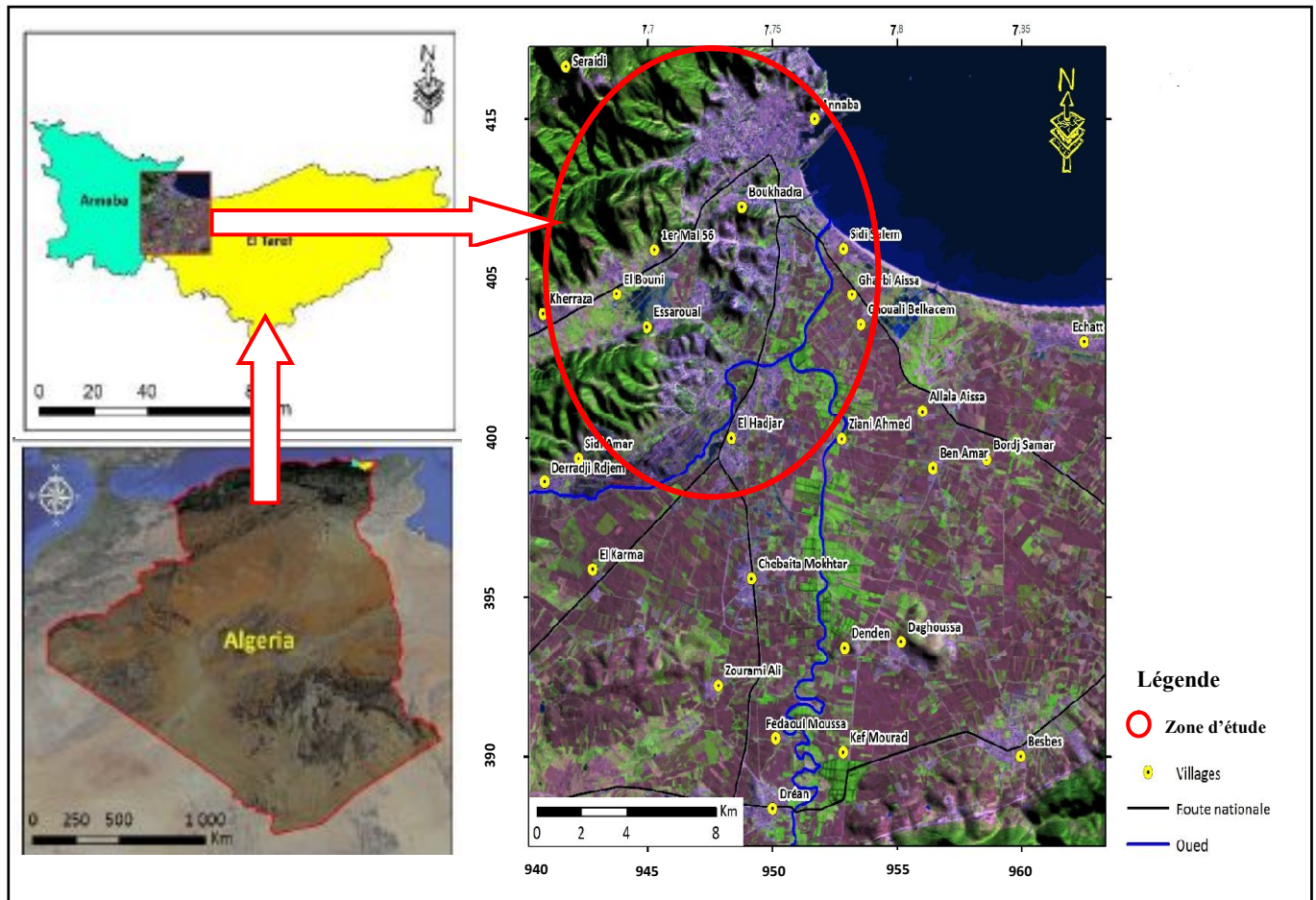


Fig.02 : Situation géographique de la zone d'étude « Image LandSat 2014»

(In Sayad, 2015)

1.2. Géomorphologie

La géomorphologie d'une région donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. La zone d'étude est caractérisée par une topographie plane sur l'ensemble de la plaine dont les formations quaternaires sont les plus dominantes, marquée par des inclinaisons importantes aux bordures à la partie Ouest et Sud, due à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Belelieta et celle de la chaîne Numidienne. Trois formes morphologiques sont présentes dans la région d'étude :

La plaine, les montagnes et le cordon dunaire.

1.2.1. Le domaine des plaines

1.2.1.1. La plaine d'Annaba

C'est la plaine drainée par les deux oueds le Seybouse au Sud et le Bounamoussa au Nord, elle se situe au centre d'un synclinaurium limité par le massif de l'Edough au Nord et la chaîne numidienne au Sud. On y distingue trois secteurs :

- La basse plaine dans laquelle s'encaisse l'oued Seybouse, dans les bordures on peut observer les glacis et le littoral où quelques formations Quaternaires sont visibles.

- Dans la partie inclinée et légèrement bombée où la Seybouse entaille son lit, on constate deux terrasses, la basse terrasse sablo-limoneuse qui constitue le niveau général de la plaine de Annaba et la très basse terrasse qui existe seulement dans la région de Dréan.

- La basse terrasse sableuse de l'oued Seybouse, dont l'altitude est de 5 à 6 m vient buter contre un cordon dunaire de sable blanc et haut d'environ 10 m qui naît derrière le port. A l'Est et à l'Ouest cette basse terrasse disparaît pour laisser place à des dépressions de 2 m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydro morphes (marais de Boukhmira près de l'aéroport Annaba – les salines).

1.2.1.2. La plaine d'El Hadjar:

Elle présente une forme inclinée vers la mer et occupe la partie Est du fond de la cuvette du lac Fetzara et se prolonge par la plaine de Annaba. La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Meboudja.

1.2.2. Les montagnes

La région d'étude se caractérise par un massif montagneux important d'où on observe l'élévation de l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer. Ce massif a une allure d'un dôme anticlinal et il est limité au Sud-Ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'Est par la plaine d'Annaba et au Nord par la mer méditerranée.

La ligne de crête (ligne de partage des eaux) est longue et relativement rectiligne suit une direction Sud-Ouest Nord-Est en débutant de la bordure du lac Fetzara au Sud-Ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à Koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa puis s'abaisse régulièrement jusqu'au Cap de garde au Nord de la ville d'Annaba.

Les principaux versants qui caractérisent ce massif sont :

- Le versant Nord-ouest: il est profondément entaillé par de nombreux oueds, descend progressivement après une série de crêtes étagées où se forme le promontoire rocheux de la Voile noire et du Pain de sucre.
- Le versant Sud-Ouest dont les lignes orographiques sont encore moins brutales, s'abaissent lentement jusqu'à l'Oued Aneb.
- Le versant Sud-Est a une distance approximative de 3,5 km entre Séraïdi et la vallée de l'Oued Oureida, il est beaucoup plus raide.

Le côté Sud-Est est caractérisé aussi par deux chaînons parallèles séparés par la plaine de Khérazza qui vient se greffer au Djebel Edough.

Le massif de Boukantas se prolonge par le Kef N'Sour, les trois mamelons de la ferme Duzer jusqu'à la butte témoin du cimetière israélite. Le point culminant se situe à 586 m. Le massif de Bellelita que termine le massif de Bouhamra jusqu'à la butte de la basilique Saint Augustin. A l'Ouest de la zone d'étude, le massif de l'Edough est isolé du Djebel Bellelita par une vallée à fond plat, il s'agit là d'une fosse Ouest-Est d'effondrement entre les Djebels Edough et Bellelita ouvrant ainsi une dépression vers la mer Méditerranée.

1.2.3. Le cordon dunaire

- Le lac Fetzara et ses abords : zone de 23.000 ha dont la cuvette a constitué pendant des siècles un marécage permanent où le plan d'eau s'étalait sur une superficie de 14.000 ha. Ne bénéficiant plus, à partir d'une certaine époque, de l'alluvionnement des deux grands fleuves qui le bordent, il ne s'est lentement comblé que par les apports des petits oueds descendant au Nord et au Sud des collines d'Ain Berda et du massif de l'Edough. Sa côte de fond est de l'ordre de plus de 10,50 m. Sa vidange totale est obtenue chaque année vers la fin de mars par un canal de 14 km de long qui le traverse dans le sens W-E et rejoint, après traversée de son bourrelet oriental, le cours moyen de l'Oued Méboudja.

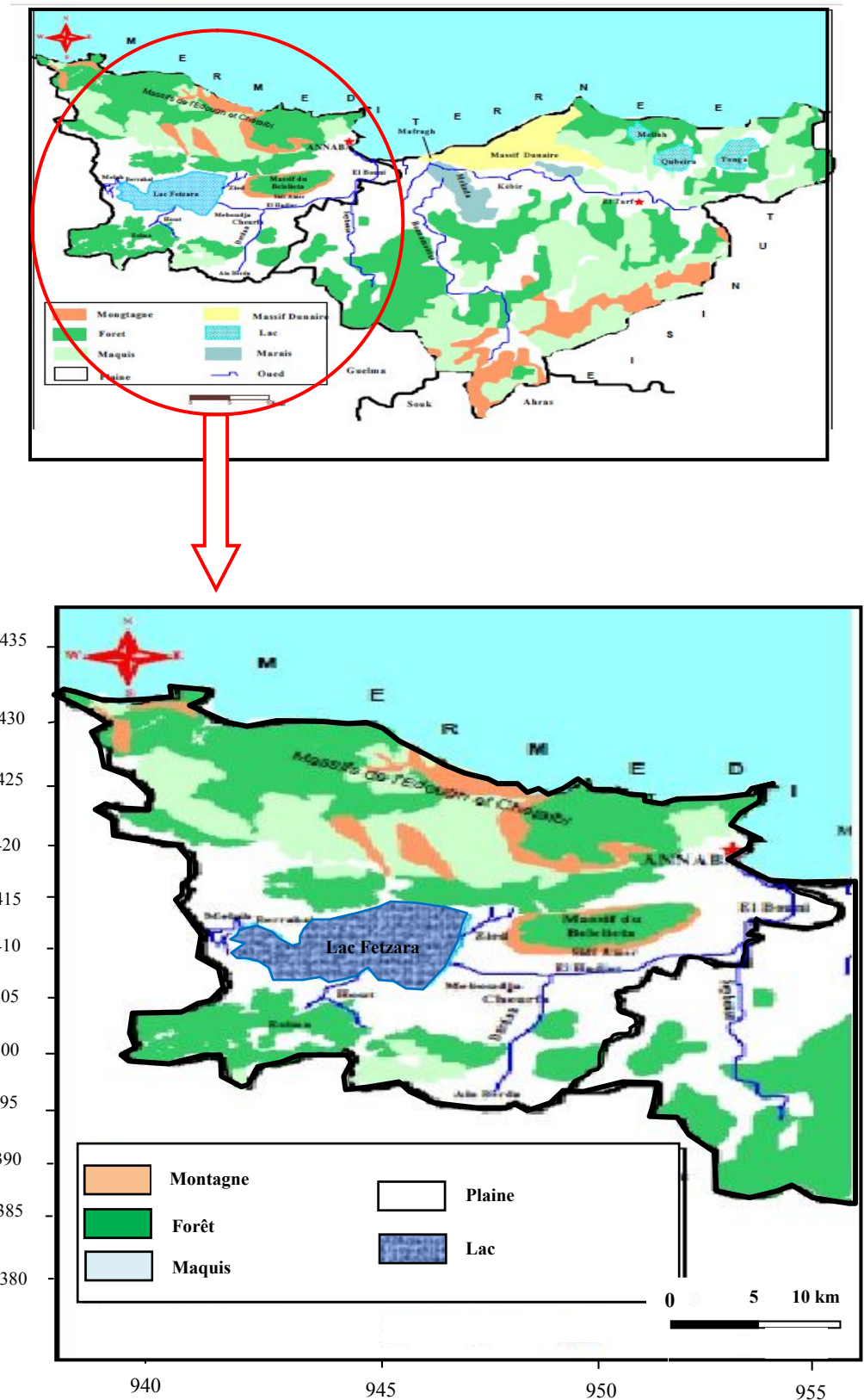


Fig.03 : Les unités morphologiques dans la région d'Annaba (Direction des forêts -Annaba -)
Saadali, 2007 (légèrement modifiée)

1.3. Le réseau hydrographique

La zone d'étude comprend un réseau hydrographique dense et ramifié à écoulement torrentiel temporaire. Il se compose par quatre principaux cours d'eau, à savoir: Oued Bouhdid, Oued Boudjemâa, Oued Seybouse et Oued Meboudja qui constituent en aval un cours d'eau unique : la Seybouse qui se jette directement à la mer méditerranée (Fig.04).

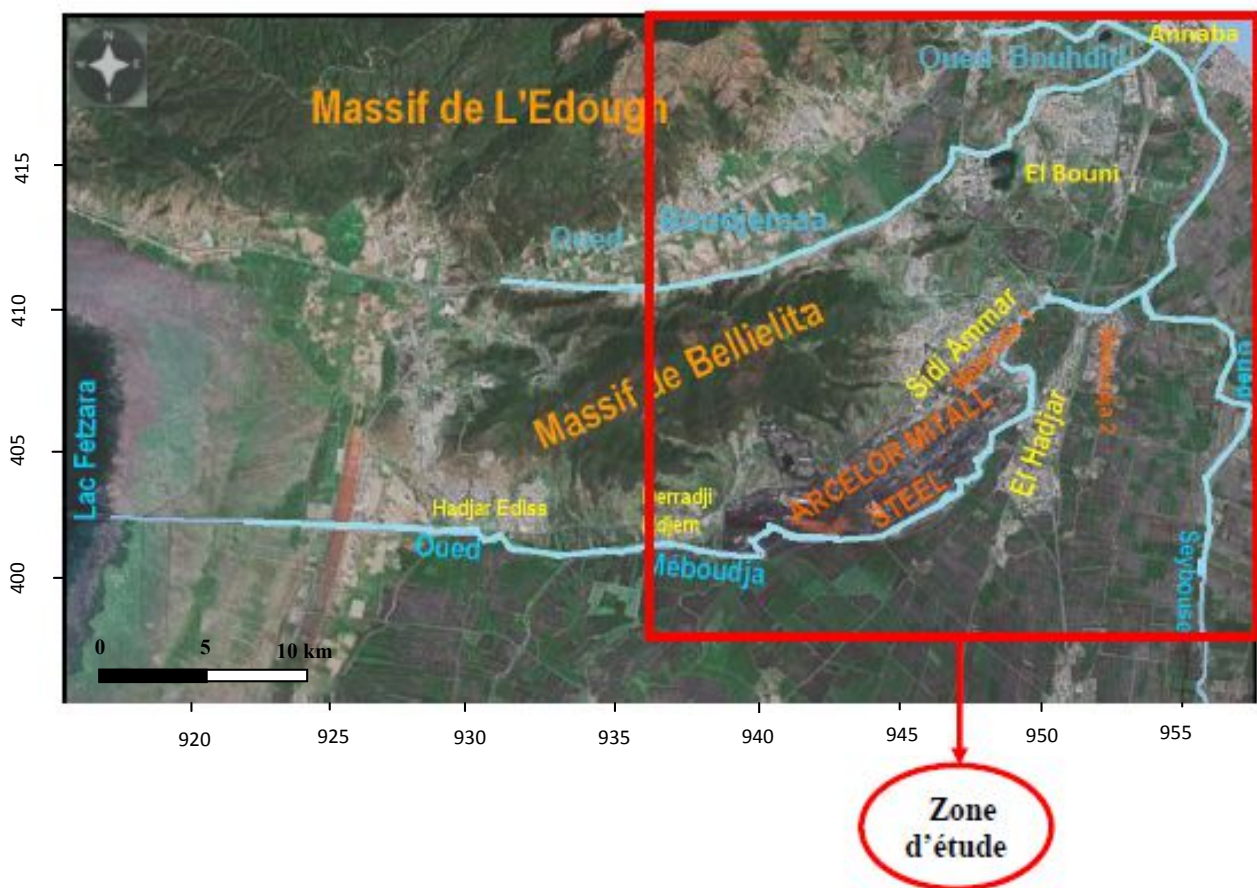


Fig. 04: Image satellite de la localisation des oueds dans la zone d'étude (Mourdi, 2011)

La zone d'étude révèle les principaux oueds suivant :

1.3.1. Oued Bouhdid

C'est un affluent de l'Oued Ed-Hab, il a un sous bassin de 2,182 ha.

1.3.2. Oued Boudjemâa

C'est un oued principal qui comporte plusieurs affluents, il est situé dans un sous bassin de 4,68 ha. Il reçoit les eaux du canal de Kef N'Sour à la hauteur de l'agglomération de Bouhamra et avant sa déviation, cet Oued passait au pied du massif de Kef N'Sour puis sous la butte de la basilique Saint Augustin pour se jeter à la mer.

1.3.3. Oued Seybouse

C'est le second oued après Chélif, il se situe au Nord - Est de l'Algérie et s'étend vers le Sud jusqu'à la fin de l'Atlas Saharien d'où il prend naissance dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua sur une hauteur de 800 à 1000 m, se dirige vers le Nord pour se termine dans la plaine littorale d'Annaba et se jette finalement dans la mer méditerranée.

Cet oued présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 km² et s'étend sur une distance de 240 km passant par les territoires de la wilaya de Souk-Ahras, Guelma, Annaba et El-Taref. Il se déverse dans la mer avec une moyenne de 416 000 à 5 000 000 m³.

1.3.4. Oued Meboudja

C'est le dernier affluent de l'oued Seybouse, il prend naissance à partir du lac Fetzara par le canal de dessèchement et rejoint l'oued Seybouse à environ 8 km de son embouchure dans la mer méditerranée (In Hamdaoui 2000). Il traverse la partie intercommunale de Sidi Amar, El Hadjar et El Bouni, il a un mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Arcelor Mitall) avec une croissance importante des mauvaises herbes.

Le débit de l'oued Méboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation de son débit par jaugeage au flotteur pendant la période de Février-Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassant pas les 20 m³/s; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (fortes pluies) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations. En été, le débit de cet oued ne dépasse pas 5 m³/s, il est essentiellement assuré par les rejets industriels et urbains.

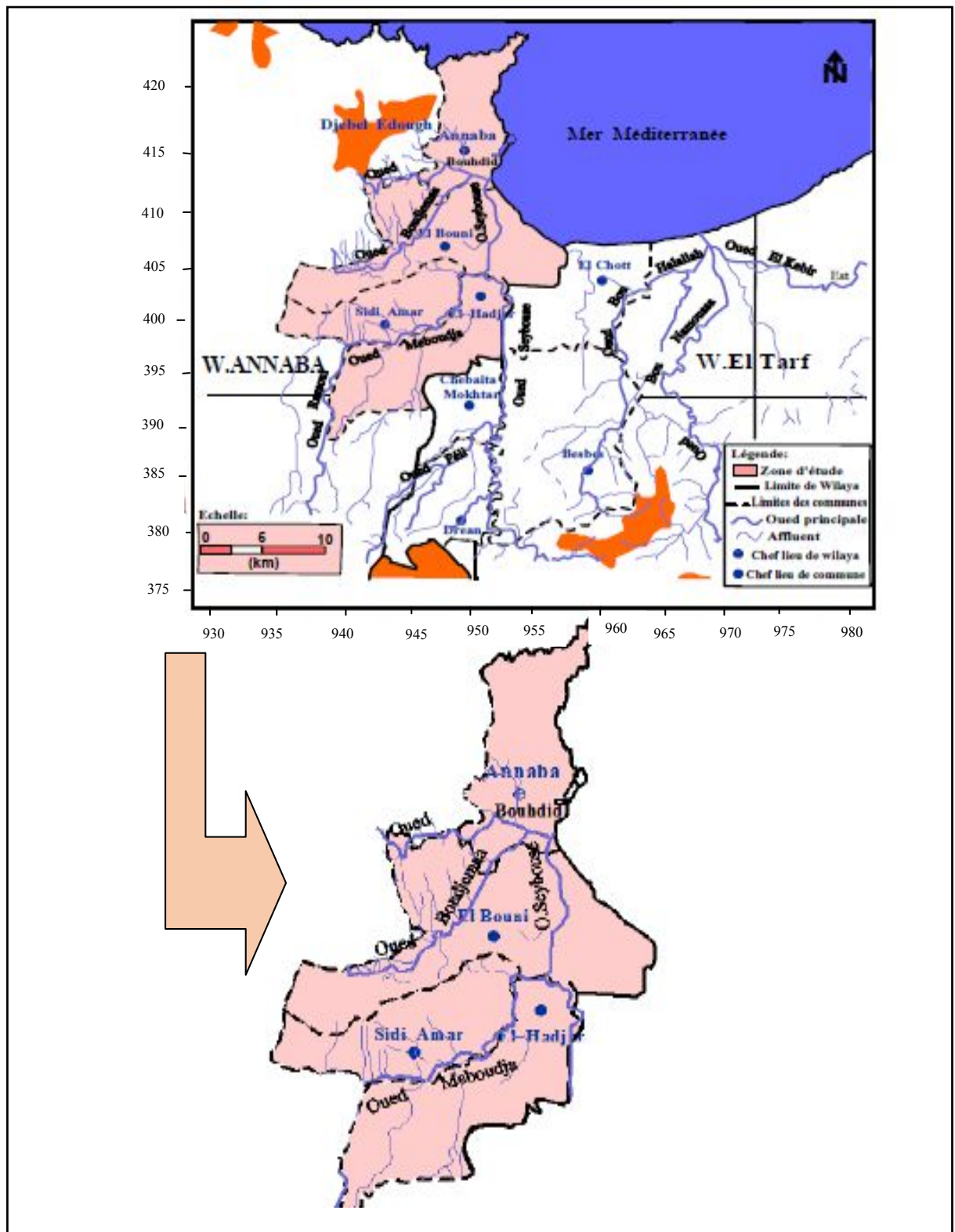


Fig. 05 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (Mourdi, 2011)

1.4. La végétation et l'agriculture

Le couvert végétal est un facteur important dont il faut tenir compte. La zone d'étude se caractérise par une végétation naturelle, un reboisement et des zones culturales; ils se situent en dehors des zones urbanisées.

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'oeil nu, les maquis sur les niveaux plus au moins hauts et les forêts sur les niveaux de haute altitude.

Parmi les espèces végétales les plus répandues du maquis sont les Cistes, Bruyères, Lentisques, Myrtes arbousiers, Diss, Guendouls et les oliviers nains. Alors que les espèces végétales caractérisant les forêts sont les chênes lièges, Pins maritimes, Eucalyptus, Chênes Zeens, Cèdres, Maquis et autres ... (tableau N°02).

Tableau N°01 : Les superficies des différents types de végétation caractérisant les forêts de la région d'étude :

Essence	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Chêne liège	5,02	2
Pin maritime	40,7	16,24
Eucalyptus	42,4	16,92
Chêne Zeen	79,8	31,84
Chêne Zeen et chêne liège	30,9	12,33
Chêne liège et Pin maritime	83	33,12
Cèdre	01	0,39
Macquis	6,23	2,48
Autre (terrains de cultures...)	2,23	0,88
Total	250,57	100 %

Source : Direction des forêts (2015)

Les sols alluvionnaires se caractérisent par une végétation pastorale occupant les zones basses de la région, c'est une végétation continue et très dense au niveau des marécages et représente une réserve de fourrage pour le cheptel de la région.

L'agriculture de la région est basée surtout sur les maraîchères, céréales, vignobles, cultures industrielles (tomate industrielle) et arboricultures fruitières.

L'irrigation de ces cultures est assurée par les pluies efficaces pendant la période humide, alors qu'elle est basée sur les eaux des oueds et des puits domestiques pendant la période sèche à l'aide d'un réseau d'irrigation. La figure N°06 montre la superficie des différentes cultures irriguées de la zone d'étude (Selon la DSA 2015).

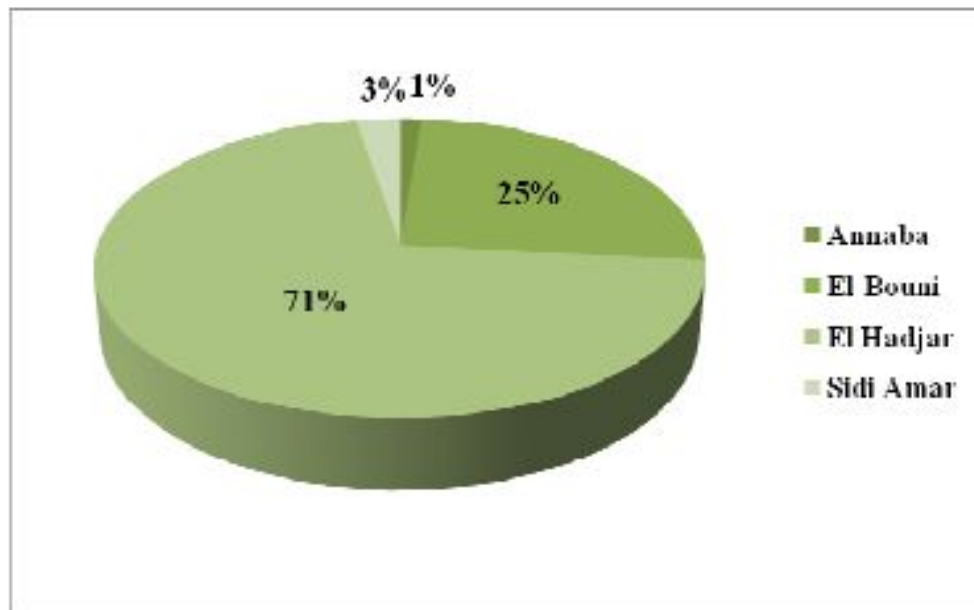


Fig. 06 : Superficie des cultures irriguées dans la zone d'étude

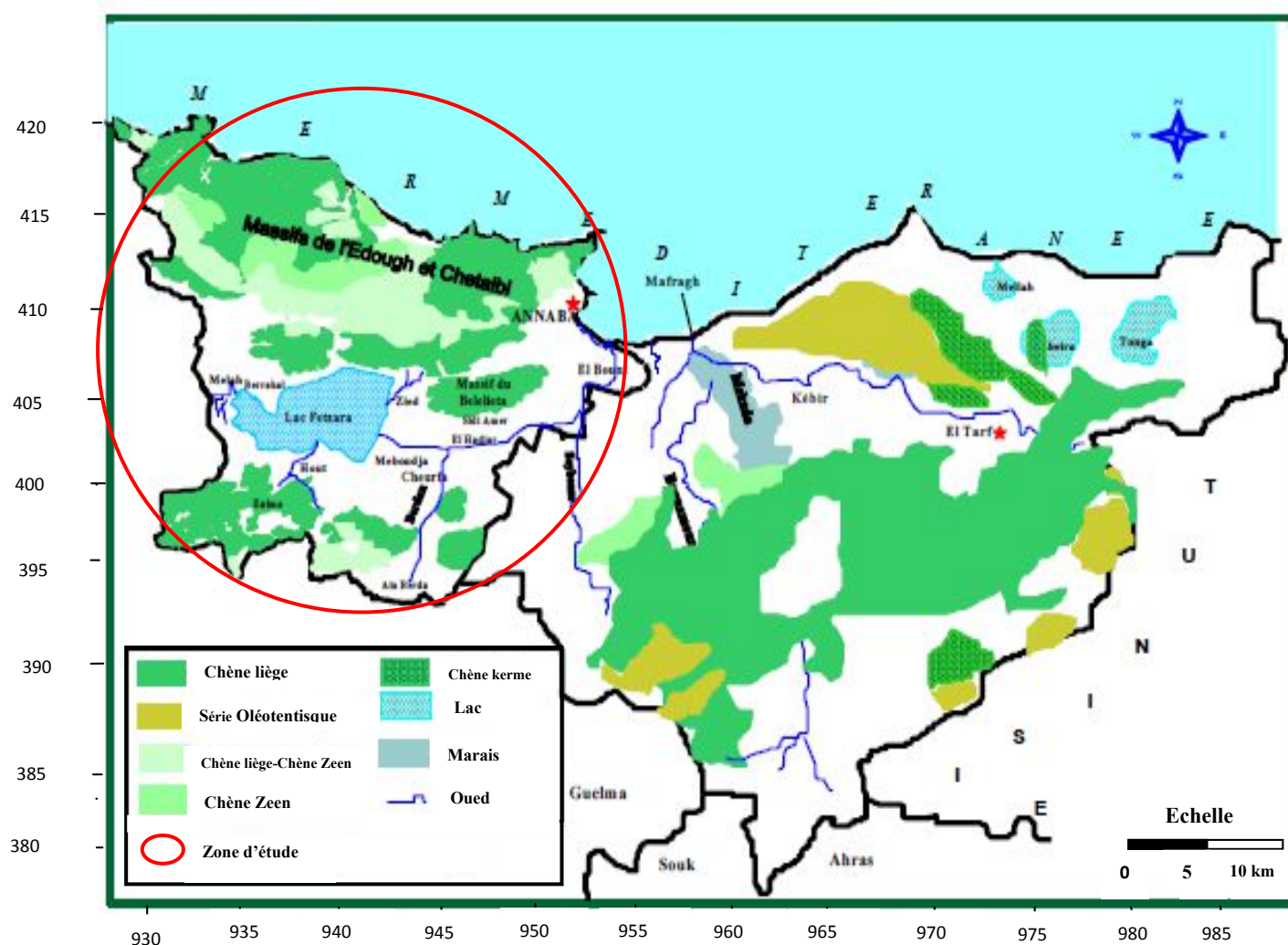


Fig. 07: Carte du couvert végétal d'Annaba (Direction des forêts d'Annaba-In Saadali B. 2007, modifiée 2009)

2. Aspect socio-économique

2.1. Contexte démographique

L'étude démographique de la wilaya d'Annaba est essentiellement fondée sur les données chiffrées issues du dernier Recensement Général de la Population et l'Habitat de l'année 2008. Celui-ci nous a permis de réaliser une analyse démographique « évolution globale de la population, distribution de la population par commune sur l'ensemble du territoire de la wilaya de Annaba. Ainsi les comparé avec les recensements antérieurs 1966, 1977, 1987 et 1998.

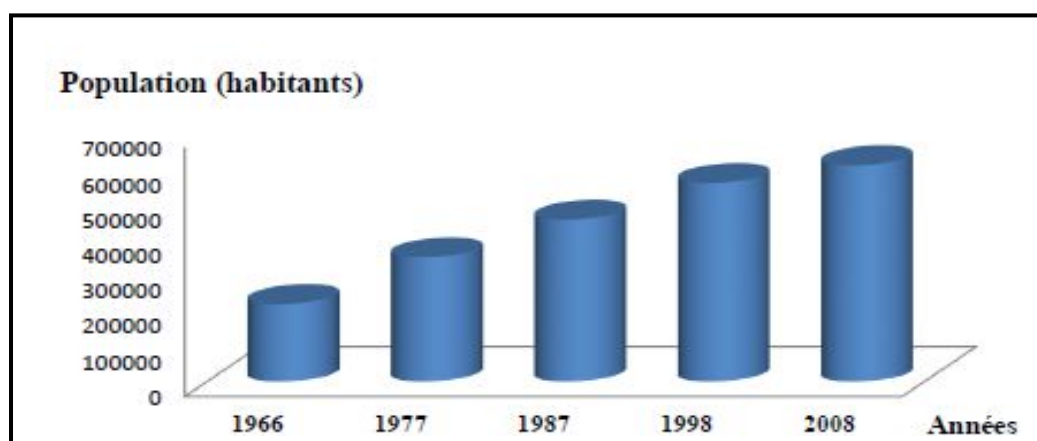


Fig. 08 : Evolution de la population de la wilaya d'Annaba (Période 1966-2008)

La population d'Annaba a connue une augmentation continue durant ces dernières années, avec des moyennes variantes d'un recensement à un autre.

L'augmentation de la population remarquée (Fig.08) entre 1966 et 1977 est de 131 262 habitants, ce qui représente un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 4,44%. Entre 1977 et 1987, la population de la wilaya a connu une augmentation moins forte (+ 105 988 personnes), soit un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 2,65%.

Entre 1987 et 1998, la population a connu une autre augmentation relativement moins forte que la période précédente (+ 104 008 personnes), soit un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 1,52%. Alors que entre 1998 et 2008, la population a continué de croître mais d'une façon plus modérée (+ 49 603 personnes), soit un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 0,9%.

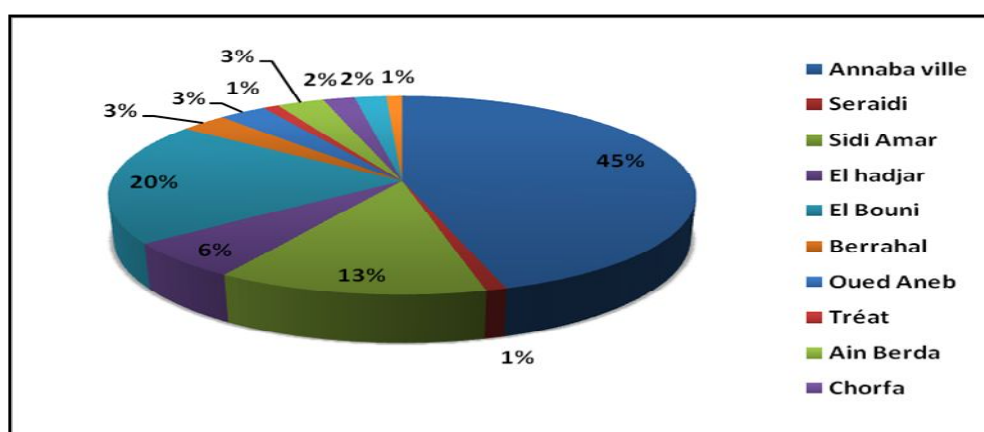


Fig. 09 : Distribution par commune de la population de la wilaya d'Annaba (Période 1966-2008)

La figure ci-dessus (Fig.09) montre que la croissance démographique des communes de la plaine (Sidi Amar, El hadjar, El Bouni et Annaba) s'est ralentie durant ces dernières décennies comparativement aux périodes précédentes (1977-1987 et 1978-1998). Ceci est expliqué par la saturation de ces communes urbaines, d'autre part elle présente une évolution assez forte (+1,7% et 2%) dans les communes de la zone de piémonts (El Eulma, Ain Berda, Tréat, Oued El Aneb et Berrahal).

Tableau 02. Données des populations des communes de la région d'étude (Années 1998 et 2008)

Communes	Nombre de population (hab) année 1998	Nombre de population (hab) année 2008	Nature de population	Taux d'accroissement (%)
Annaba ville	240 190	269 309	Urbaine-supérieur	1,84
El Hadjar	23 777	38 436	Sub-urbaine	1,4
El Bouni	30 153	130 568	Urbaine supérieur	1,28
Sidi Amar	40 706	81 313	Sub-urbaine	1,23

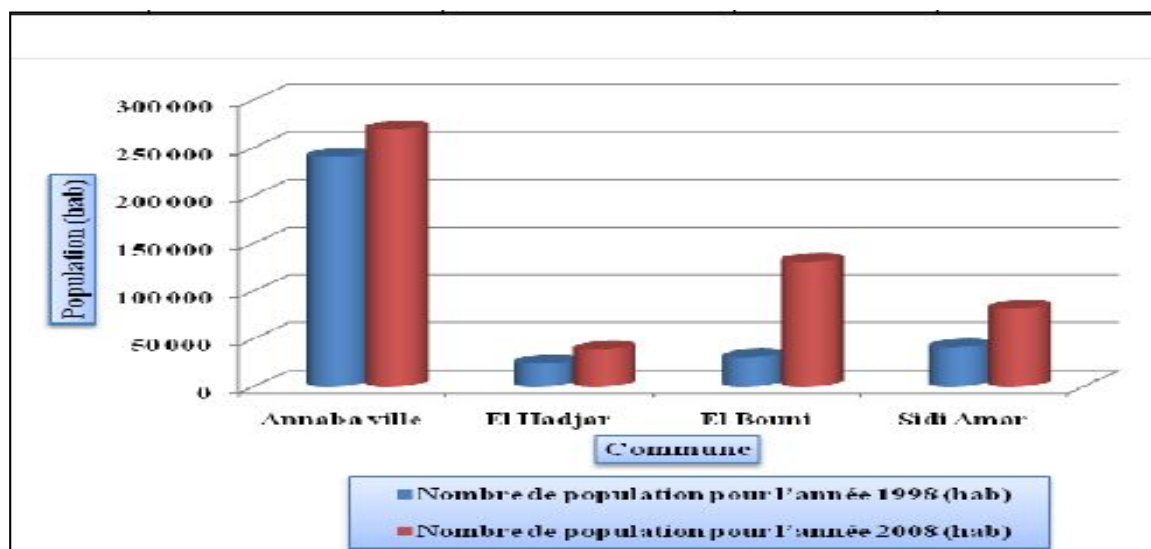


Fig. 10 : Populations des communes de la région d'étude, recensement 1998 et 2008

(Mourdi, 2011)

Les valeurs des populations des communes (Tableau.01 et Fig.10) montrent que la majeure population se condense au niveau d'Annaba ville avec 240 190 habitants en 1998 et 269 309 habitants pour le dernier recensement de 2008.

2.2. Contexte industriel

L'activité industrielle dans la région d'Annaba est très développée dominée par un pôle très important à l'échelle nationale et internationale, surtout le complexe de Sider situé dans la région d'El Hadjar, la zone industrielle entre El-Hadjar et El-Bouni et la zone industrielle le long du port d'Annaba ville (Asmidal, Naftal,...). Trois secteurs d'industries sont observés :

- Industries Sidérurgique avec Arcelor Mittal-Algérie
- Industrie des engrais phosphatés et azotés (Fertial) ;
- L'industrie agro-alimentaire représentée par de petites entreprises telles que la Laiterie de l'Edough.
- Et enfin près de 260 PME/PMI dans les domaines de la sous-traitance et de l'agro-industrie.

Les tableaux (03, 04 e 05) et la figure 11 illustrent bien la situation industrielle dans la région de Annaba.

Tableau 03. Localisation des zones industrielles par communes, wilaya d'Annaba

(Source: PATW, 2010; In Sayad L. 2015)

Communes	Dénomination de la Z.I	Nombre de lots	Superficie (Ha)	Dont viabilisées	Occupée (Ha)	Nombre d'unités industrielles
El-Hadjar	Pont Bouchet	55	116	116	116	51
Sidi Amar	Meboudja	53	62,5	62,5	62,5	44
Berrahal	Berrahal	77	122	122	122	60
El Bouni	Min	62	50,7	50,7	50,7	61
Total wilaya	04	247	351,20	351,20	351,20	216

Tableau 04. Localisation des grandes unités industrielles au niveau de la wilaya d'Annaba
(Source : PATW, 2010 ; In Sayad L. 2015)

Dénomination	Lieu d'implantation	Nombre	Effectifs employés	Dont étrangers
Arcelor Mital	Sidi Amar	01	8530	37
Sider	Sidi Amar	01	3601	-
Fertial	El Bouni	01	1056	04
Ferrovial	El Bouni	01	503	/
Promech	El Hadjar	01	502	/
Protuil	Berrahal	01	91	/
SATPAP	El Hadjar	01	453	/
Laiterie Edough	El Bouni	01	144	/
Algéro-Turk du fer	El Hadjar	01	375	25
Total	/	09	15255	66

Tableau 05. Localisation des zones d'activités commerciales au niveau de la wilaya de
Annaba (Source : PATW, 2010 ; In Sayad L. 2015)

Communes	Dénomination de la Z.A.C	Nombre de lots	Superficie (Ha)	Dont viabilisées (Ha)	Occupée (Ha)	Nombre d'unités
El Bouni	Sidi Salem	81	11,6	11,6	11,6	59
Ain Berda	Mdjez Rassoul	176	13,5	13,5	13,5	125
El Hadjar	El Hadjar	27	02	02	02	25
Oued Aneb	Draa-Rich	44	9,8	9,8	9,8	21
El Eulma	El Eulma	01	05	05	05	01
Sidi Amar	Derradji Rdjem	03	10,3	10,3	10,3	01
Total wilaya	06	332	52.20	52.20	52.20	232

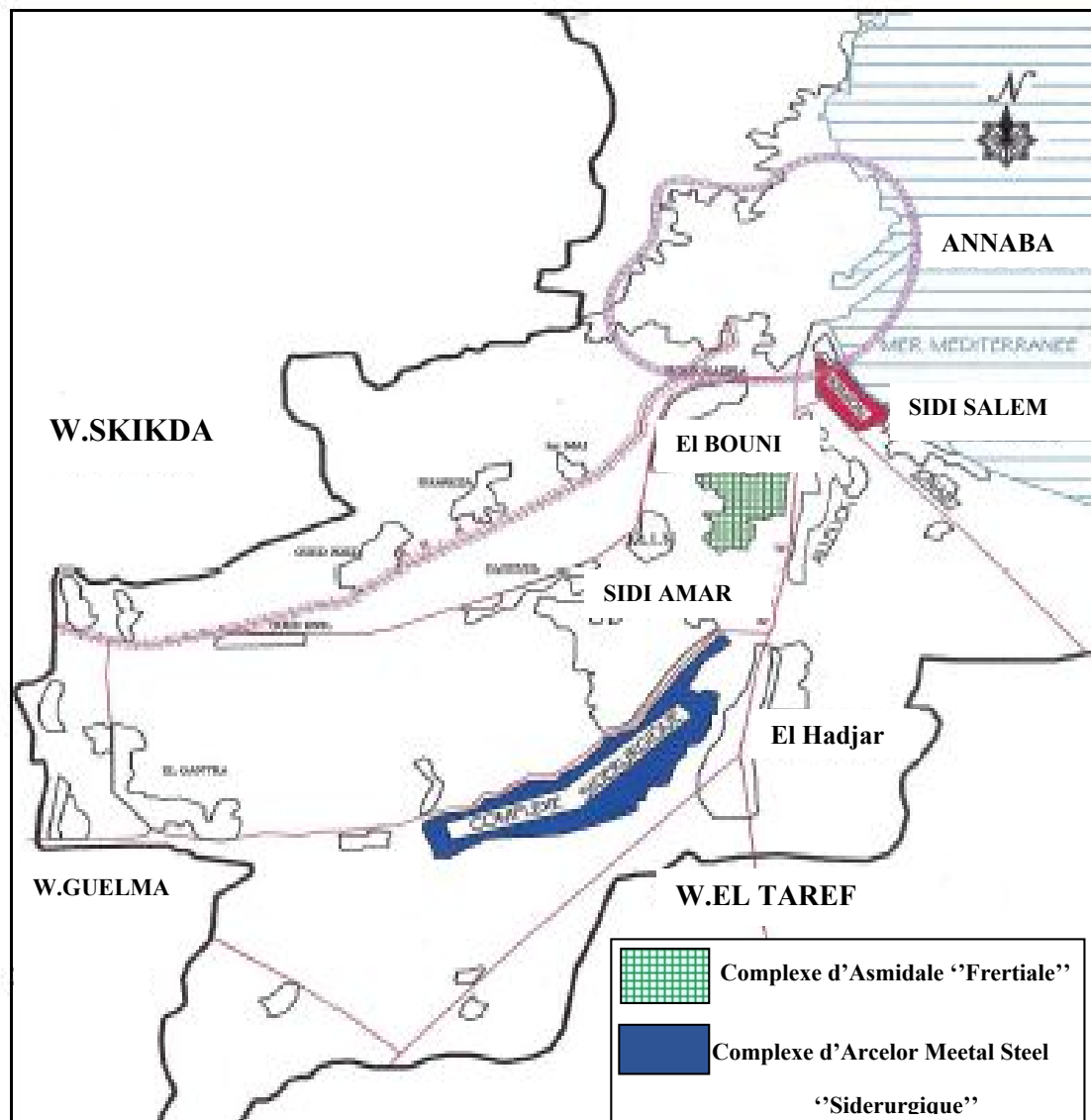


Fig. 11: Localisation des complexes industriels d'Annaba (In Sayad, 2015), légèrement modifiée

Conclusion

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba et comporte une population de l'ordre de 519 626 habitants selon le dernier recensement (2008).

L'étude géomorphologique menée dans la région concernée montre l'existence de trois formes morphologiques: La plaine d'Annaba, le cordon dunaire d'origine éolienne et marine et les montagnes.

Le réseau hydrographique est dense et ramifié, il se compose par quatre principaux cours d'eau: Oued Bouhdid, Oued Boudjemâa, Oued Méboudja et Oued Seybouse.

Le couvert végétal dominant se caractérise par une végétation naturelle, un reboisement et des zones culturelles; ils se situent en dehors des zones urbanisées.

L'activité industrielle existante dans cette région est une industrie lourde (ARCELOR MITTAL, SIDER...), chimique (FERTIAL) et multitude d'entreprise agroalimentaire tel que la laiterie de l'Edough.

CHAPITRE 2

Contexte géologique

1. Introduction

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à toute étude hydrogéologique ou hydrogéochimique. Elle permet d'identifier les matériaux et les structures des formations géologiques susceptibles d'être aquifères et qui conditionnent l'écoulement des eaux souterraines et superficielles. Les travaux de géologie effectués dans la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère, 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992) font ressortir deux types de formations différentes : le complexe métamorphique de l'Edough et les formations sédimentaires d'âge Secondaire-Tertiaire (Fig.14).

2. Stratigraphie

Selon la chronologie stratigraphique, la région d'étude révèle des terrains géologiques d'âges différents allant du Primaire au Quaternaire récents, renfermant à la fois des formations métamorphiques et sédimentaires.

2.1. Le Paléozoïque

Il est constitué essentiellement par des gneiss ceinturés et des micaschistes (Hilly, 1962 ; Caby, 1992 ; Ahmed-Said, 1993) qui affleurent à l'ouest dans les massifs de l'Edough, Belilieta et Boukhadra. On peut distinguer les trois séries superposées suivantes :

- La série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, constituant le coeur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;
- La série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'oeil nue. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns ;
- La série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss oeillés, schistes satinés, micaschistes, grenats et amphibolites.

Les accidents tectoniques connus jusqu'à ce jour dans le massif de l'Edough permettent de déceler deux familles d'accidents :

- Une première famille, dont l'orientation est NW-SE. La direction la plus fréquente de ces accidents varie du N 120° E à N 150°E.
- La seconde famille, qui semble être conjuguée à la première, est dirigée NE-SW. (Hani, 2003).

Ces trois séries du point de vue hydrogéologique sont peu importantes, sauf pour le gneiss altérés ou le cipolin fissuré qui peuvent constituer le siège d'une nappe d'eau souterraine.

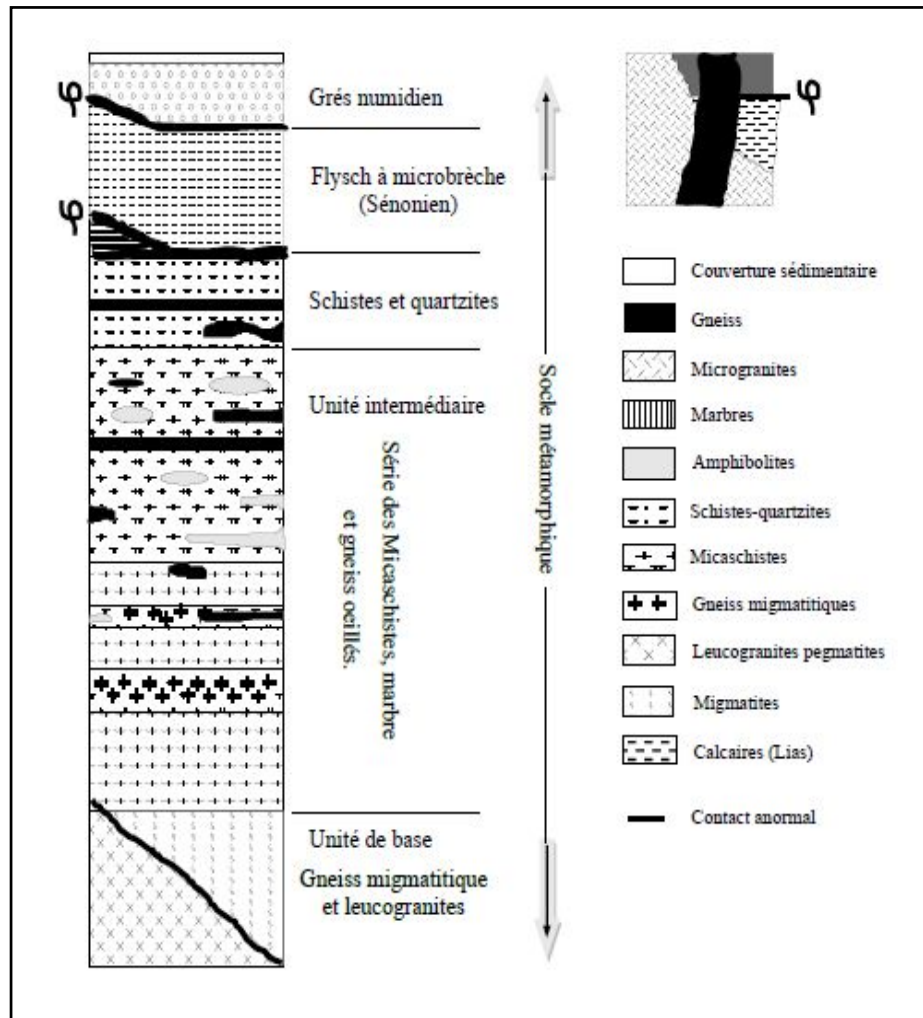


Fig.12 : Colonne lithologique du massif de l'Edough (Aissa D.E, 1985)

2.2. Le Mésozoïque

Il affleure au sud en dehors de la zone d'étude à une quarantaine de km (la région de Guelma et Bouchegouf). Il est constitué par :

- Le Trias, représenté par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse ;
- Le Jurassique, formé par des dolomies noires et des schistes calcaireux ;
- Le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes. Seul le Crétacé supérieur (Sénonien) est représenté au sud de la région, il occupe presque la totalité des monts de la Chaffia. Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux. Parfois il s'agit aussi d'un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de microbrèches épais de 5 à 10 cm.

2.3. Le Cénozoïque

Il est représenté par :

2.3.1. L'Eocène inférieur: Représenté par une série transgressive formée par des calcaires massifs à faciès épinéritique ;

2.3.2. L'Oligocène : qui comporte des niveaux d'argiles numidiennes rencontrées dans toute la partie Sud de la région d'étude (Monts de la Chaffia), au Sud-Est de Bouteldja et dans les djebels Koursi, Bourdim et Oum El-Agareb. Ce faciès argileux, de couleur verdâtre, brunâtre ou bleu sombre, comprend parfois des intercalations de lentilles gréseuses pouvant aller d'un cm à 30 cm d'épaisseur. Localement, quartziteux et renfermant parfois de petits nodules de pyrite, l'ensemble des formations peut atteindre plus de 100 m d'épaisseur. Ces argiles forment la base de la série numidienne, ont été datées de l'Oligocène moyen à supérieur (Lahondère, 1987). Au-dessus de ces formations argileuses viennent se superposer les grès numidiens en position allochtone d'âge Aquitanien (Rouvier in Ramdani, 1996), à grains hétérométriques allant du grain grossier au grain fin. Ces grès, épais de près de 150 m, sont bien représentés au Sud de la région d'étude, à l'Est dans le djebel Bourdim et au Nord-Est dans le djebel Koursi. Ils ceinturent les formations alluvionnaires et surtout dunaires.

2.3.3. Le Mio-Pliocène : représenté par les faciès suivants :

- *Faciès marin (Plaisancien)* : caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires ;
- *Faciès continental* : caractérisé par des conglomérats des grès et des argiles qui sont liés aux dépôts des fosses d'effondrement et qui constituent le réservoir de la nappe captive des plaines d'Annaba – Bouteldja.
- *Faciès fluvatile* : bien développé dans la plaine d'Annaba, il est formé essentiellement de galet, de sable et d'argile le long des Oueds ;

En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (Sonatrach, 1969 ; Strojexport, 1975) qui sont limitées par des failles à très forts pendages (60° à 80°) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale.

- La fosse de Ben-Ahmed : Un graben N-S sous la plaine de la Seybouse.
- La fosse de Ben-M'hidi : Un graben SSW-NNE à WSW-ENE sous celle de l'Oued Kébir et le massif dunaire oriental.

2.4. Le Quaternaire

Les formations dunaires et alluvionnaires d'âge Quaternaire constituent la roche réservoir de l'aquifère de Annaba. On y distingue :

- Les formations des hautes terrasses : correspond à la nappe superficielle dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers et de conglomérats de petite taille dominant cette formation.
- Les formations la moyenne terrasse est représentée par des terrasses alluvionnaires des oueds de 20 m, correspond aussi à la terre cultivable (terre, argile, sable).
- Les formations de la basse terrasse sont formées par des alluvions du niveau des eaux actuelles des oueds.

Ces terrasses sont plus limoneuses que sableuses et sont parsemées de marécages.

Les formations alluvionnaires sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Le cordon dunaire représenté par un massif constitué essentiellement de sable d'origine marine. Il affleure largement entre le village de Chatt et la ville d'El-Kala.

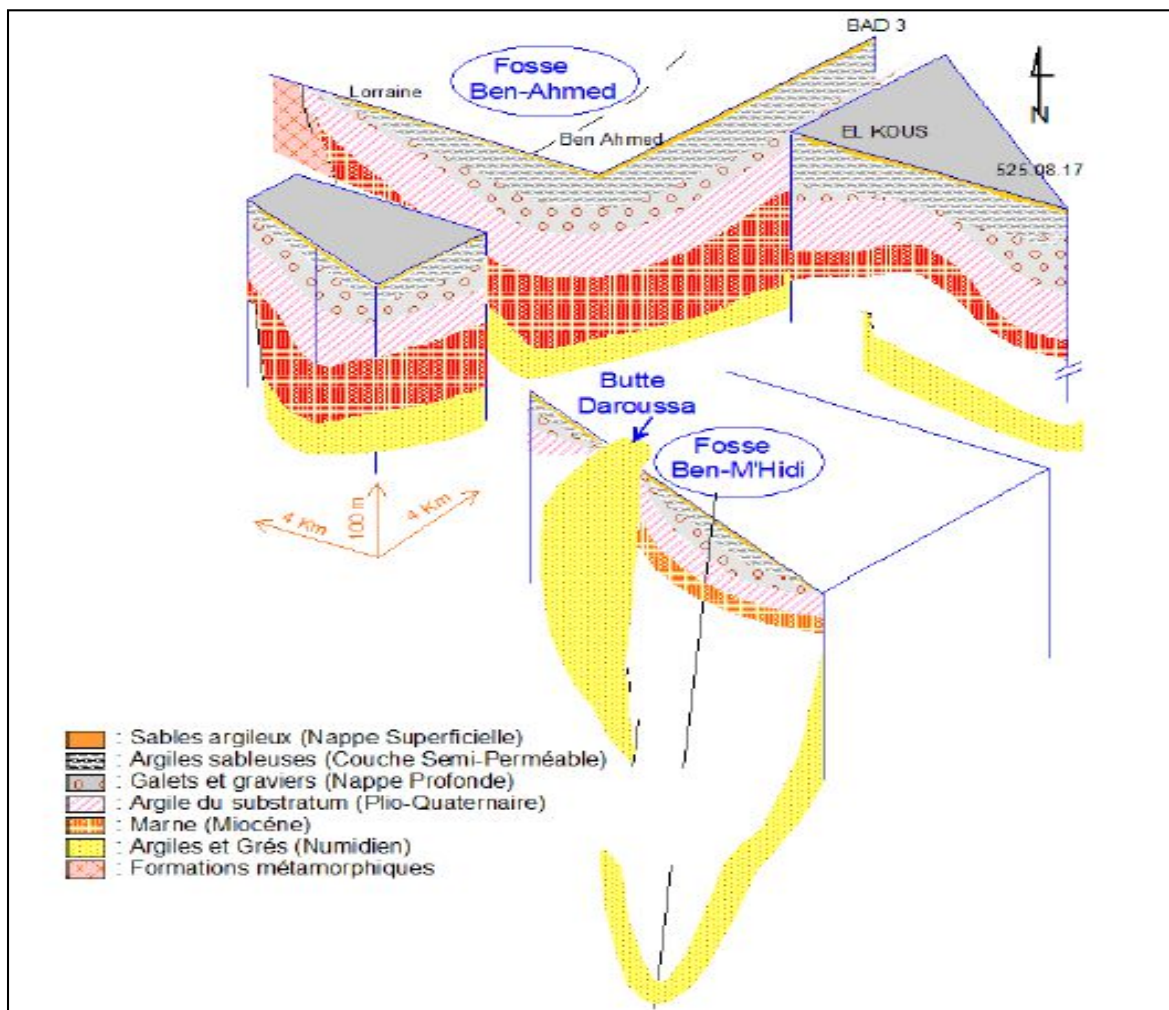


Fig. 13: Bloc diagramme au travers de la plaine d'Annaba (Hani, 2003, modifié)

3. Tectonique

La zone d'étude peut être subdivisée en deux grandes unités structurales (d'après J.M.Vila, 1977).

3.1. Les monts de Cheffia

Ce sont des formations grés-argileuses occupant la partie Sud de la région et se présentent comme une ride tectonique marquée par des anticlinaux, parfois faillés à noyaux argileux.

3.2. La plaine d'Annaba

Elle a subi deux événements tectoniques distincts :

- Un enfoncement progressif des grès numidiens qui est dû à des mouvements tectoniques, conséquence de la deuxième phase Alpine, cet enfoncement s'est produit durant le Miocène inférieur et s'est continué jusqu'au Miocène supérieur. Par la suite un remplissage d'âge Plio-Quaternaire par des matériaux détritiques (formations continentales) s'est déclenché. Pendant le Néogène (Miocène inférieur), l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques qui ont donné naissance aux plis Numidiques et à un isolement complet du massif de l'Edough et au Sud par un anticlinal principal de la chaîne Numidique.
- Un effondrement déclenche des processus de formations et de comblement des deux fosses (la fosse de Ben-Ahmed et la fosse de Ben-M'hidi qui sont apparues au cours du Mio-Pliocène).

4. Etude structurale et paléogéographique**4. 1. Etude structurale**

L'ultra tellien occupe une position au Nord du domaine tellien.

- Au Mésozoïque (du Barrémien à l'Albien), la série néritique s'est sédimentée sur un système de haut fond appelé domaine Néritique Constantinois.
- Au Nord-Ouest dans le sillon tellien s'est déposée une formation tellienne sombre. Vers le Burdigalien supérieur, les formations du domaine tellien externe ont été écaillées, probablement au Lauguien inférieur, les nappes telliennes et leur couverture du Numidien ont glissé par gravité dans le sillon des Sellaoua.
- Au Nord- Est la teinte des affleurements devient plus claire, c'est le domaine ultra-tellien à matériel Crétacé ou Paléogène.

Pendant l'Eocène moyen, les unités ultra-telliennes sont mises en place sur le domaine tellien externe sous forme de diverticules.

Le début du Crétacé se caractérise par une mer peu profonde au Barrémien, elle s'est approfondie en formant un géosynclinal. Pendant cette période, les formations sont affectées par des failles perpendiculaires et longitudinales expliquant l'apparition des travertins. A la fin de l'Eocène moyen se produisent les mouvements internes, la direction des plissements est Est-Ouest et Sud-Ouest. Sur cette région plissée revient une mer peu profonde d'où émergent quelques îlots Crétacés, Eocènes et où se déposent les flysch Numidiens. Une nouvelle phase orogénique à la fin de l'Oligocène plissera le flysch Numidien et le charriera sur les formations précédentes. Le Trias de Nador-N'Bails constitue la limite occidentale de la zone des diapirs.

Les séries Jurassiques montrent l'existence d'une sédimentation carbonatée de plate-forme assez ouverte dans la région de Hammam N'Bails et d'un faciès Néritique à l'Ouest (nord de Guelma), qui se raccorde au domaine Néritique constantinois.

4.2. Etude paléogéographique

La distinction des différents domaines paléogéographiques peut être esquissée, dépôts argilo-gréseux dans le sillon atlasique, marnes à quartz dans le sillon des Sellaoua, argiles et marnes dans le sillon tellien et au Nord des dépôts rythmiques argilo-gréseux du domaine des flyschs.

Après la régression de la mer vers le Miocène moyen une phase d'érosion intense a affecté les montagnes récentes en plus de l'érosion, la région a été l'objet d'une tectonique d'effondrement.

La période du Mio-Pliocène a été également marquée par les manifestations diapiriques intenses du Trias, surtout pendant le Pliocène.

L'oued Seybouse issu des formations gréseuses et carbonatées traverse des séries triasiques salifères pour aborder des étendues plates des dépôts Mio-Plio-Quaternaires. Le cadre géologique étant maintenant broussé nous allons voir qu'il influence la géomorphologie du vaste bassin l'oued Seybouse.

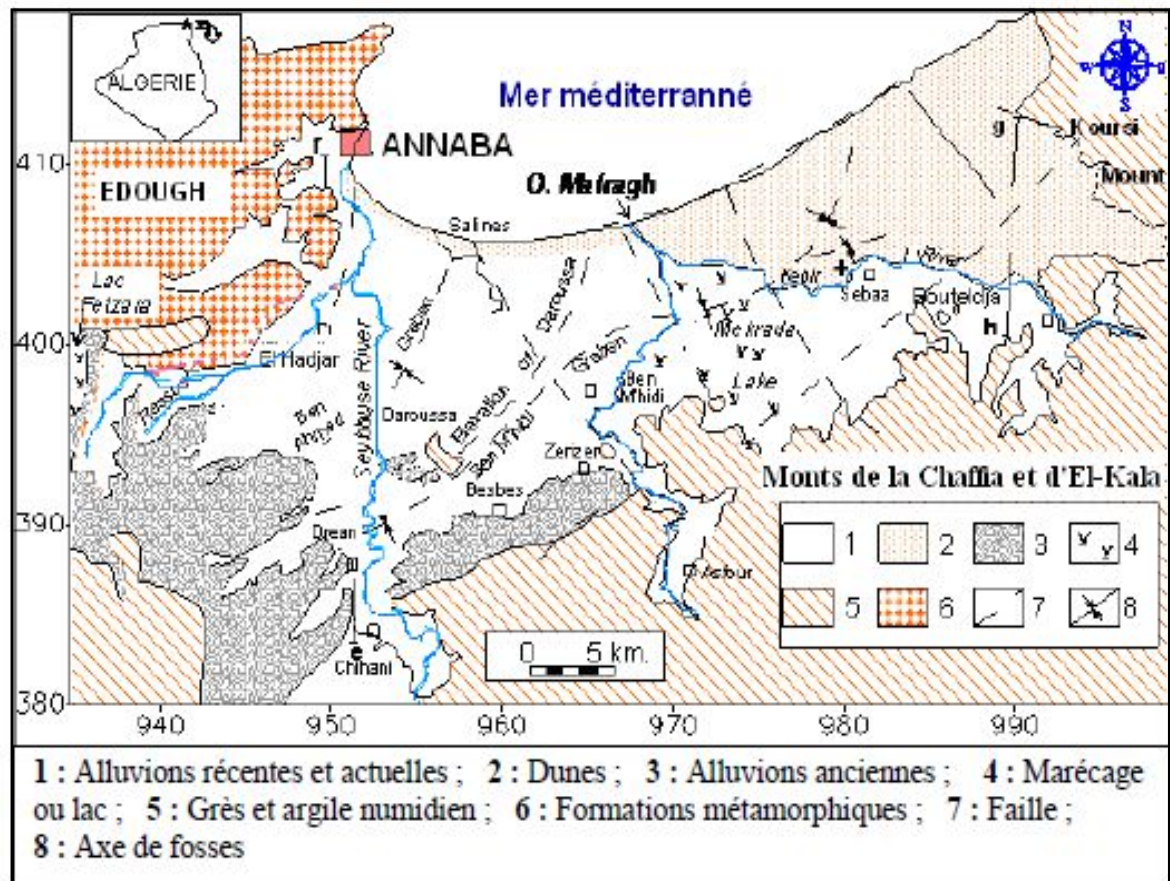


Fig.14: Situation géologique des plaines de la région d'Annaba – Bouteldja d'après STROJEXPORT, 1975. (In Hani, 2003 légèrement modifiée)

Conclusion

La plaine de Annaba fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental, elle est caractérisée par des formations allant du Primaire au Quaternaire présentant des terrains métamorphiques constituant la bordure Ouest, des terrains sédimentaires caractérisant la majeure partie de la région et les flyschs.

La géologie de la plaine est constituée par des sédiments Mio-Plio-Quaternaires peuvent constituer des réservoirs d'eau importants par contre, les formations du Primaire et celles du Tertiaire (Eocène inférieur et Oligocène) qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées d'évaluer les principaux termes du bilan et d'appréhender l'hétérogénéité de la répartition spatiale et temporelle de la recharge des nappes.

Les travaux réalisés dans la région ont montré qu'il existait deux fosses séparées par un haut-fond qui porte la butte de Daroussa : celle de Ben Ahmed orientée Sud-Nord et celle de Ben M'Hidi orienté Sud-Ouest - Nord-Est.

CHAPITRE 3

Etude hydroclimatologique

L'analyse des données climatiques reste primordiale pour mener à bien toute étude hydrogéologique, elle permet de mettre en évidence l'importance des facteurs climatiques intervenant dans les écoulements et d'approcher les termes du bilan qui sont les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement.

Cette étude est basée essentiellement sur les données météorologiques concernant les précipitations et les températures.

1. Introduction

La région d'étude bénéficie d'un climat continental froid et pluvieux durant l'hiver, chaud et sec durant l'été. Elle enregistre des précipitations appréciables dont la moyenne annuelle varie entre 350 et 500 mm. Les neiges recouvrent les cimes des hauts plateaux durant la saison d'hiver.

2. Les stations de mesures

Les stations les plus représentatives et qui révèlent des données complètes de la zone d'étude sont celles de Pont Bouchet, Les Salines, Séraïdi et Berrahal.

Les données sont observées durant des périodes s'étalant sur 32 ans à la station des salines, 31 ans à la station de Pont Bouchet, 28 ans à la station de Berrahal et 27 ans à la station de Séraïdi. Le tableau N°06 récapitule quelques indications sur les stations de mesures (coordonnées Lambert, périodes d'observations...).

Tableau 06. Coordonnées géographiques des stations de mesures.

Coordonnée Station	Code	X (km)	Y (km)	Z (m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
Les Salines	60360	955,80	403,8	03	07°49'E	36°50'N	1985- 2016
Pont Bouchet	360	950,25	402,8	06	07°45'E	36°58'N	1984 - 2016
Berrahal	031302	923,205	403,423	33	07°45'E	36° 84'	1984- 2012
Séraïdi	31406	923.00	412.50	07°40'	36°55'	840	1980 – 2007

Source ANRH, CONSTANTINE



Fig.15: Localisation des stations météorologiques dans la région d'Annaba

3. Etude des paramètres climatiques

Les paramètres climatiques, jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eaux, de ce fait il est important de connaître leurs comportements spatio-temporels.

3.1. Précipitations

Les précipitations sont un facteur essentiel caractérisant le climat d'une région et un élément principal du bilan hydrique. Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines pour constituer à moyen terme des ressources mobilisables non négligeables.

3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d'années donne un aperçu sur les variations mensuelles pluriannuelles des précipitations. Le tableau N°07 donne un aperçu sur la répartition des précipitations moyennes mensuelles au niveau de quatre stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraidi) sur une période d'observation bien défini.

Tableau 07. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles des 04 stations
(Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi)

Station \ Mo	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total (mm)	Moyenne (mm)
Les Salines	41,4	52,9	90,6	109,0	97,9	77,7	72,2	54,4	38,4	11,9	3,7	8,9	659,00	54,91
Pont Bouchet	42	57,8	95	110	96,7	82,4	65,9	48,9	28,4	8,5	1,5	5,4	642,50	53,5
Berrahal	42,4	56,1	86,6	101,9	91,2	75,5	65	51,6	48	16,6	7,1	11	653,00	54,41
Seraïdi	59,0	11,4	171,3	208,1	185,9	131,8	109,4	100,3	53,0	15,7	7,3	19,0	1072,2	89,35

Ce tableau (N°07) montre que les moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans ces stations avec un maximum de l'ordre de 208,1 mm qui s'observe au mois de décembre au niveau de la station de Seraïdi, 110 mm au niveau de la station de Pont Bouchet, 109 mm pour la station des Salines, 101,9 mm pour la station de Berrahal.

Les minimums sont enregistrés au mois de juillet avec 1,5 mm, 3,7 mm, 7,1 mm et 7,3 mm respectivement à Pont Bouchet, Les Salines, Berrahal et Seraïdi. La figure 16 élaborée en utilisant les données recueillies au niveau des 04 stations, met en évidence les variations mensuelles décrites.

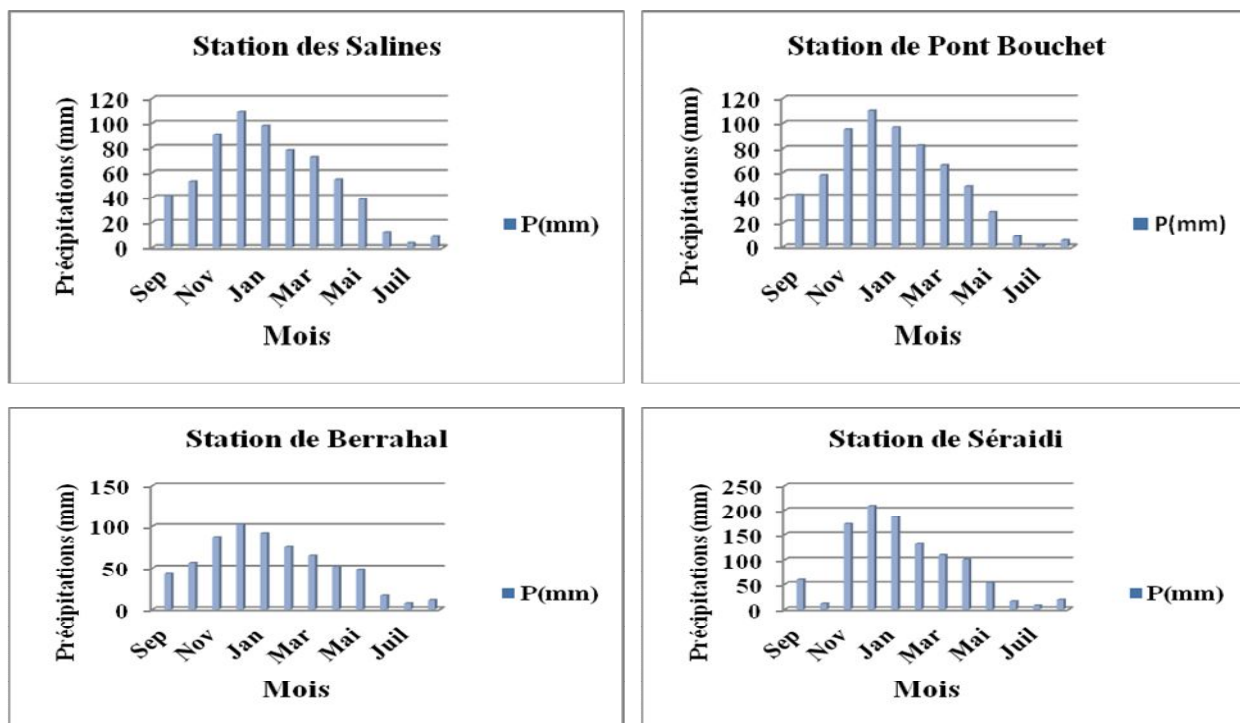


Fig.16: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles pour les 04 stations
(Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi)

3.1.2. Précipitations moyennes annuelles

La variation interannuelle des précipitations durant les périodes mentionnées ci-dessous pour les quatre stations est représentée sur le graphe de la figure 17 et dans le tableau N°08.

- **La station des Salines** : la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 527,8 mm en (1994 /1995) à 866,8 mm en (1997/1998). Tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 659 mm.

- **La station de Pont Bouchet** : le maximum des précipitations a été observé en (2007 /2008) avec 906,9 mm alors que le minimum est de 360,3 mm en (2000 / 2001), par conséquent un faible module pluviométrique interannuel égal à 638,75 mm.

- **La station de Berrahal** : la hauteur annuelle des précipitations varie de 1028,5 mm en (2002 /2003) à 227,1 mm en (2012/2013) avec un module pluviométrique interannuel de l'ordre de 673,55 mm.

- **La station de Seraïdi** : le maximum de la pluviosité a été observé en (1990 / 1991) avec 1558,5 mm, alors que le minimum est de 737,8 mm enregistré en (1995 / 96). Le module pluviométrique interannuel est égal à 1138,75 mm.

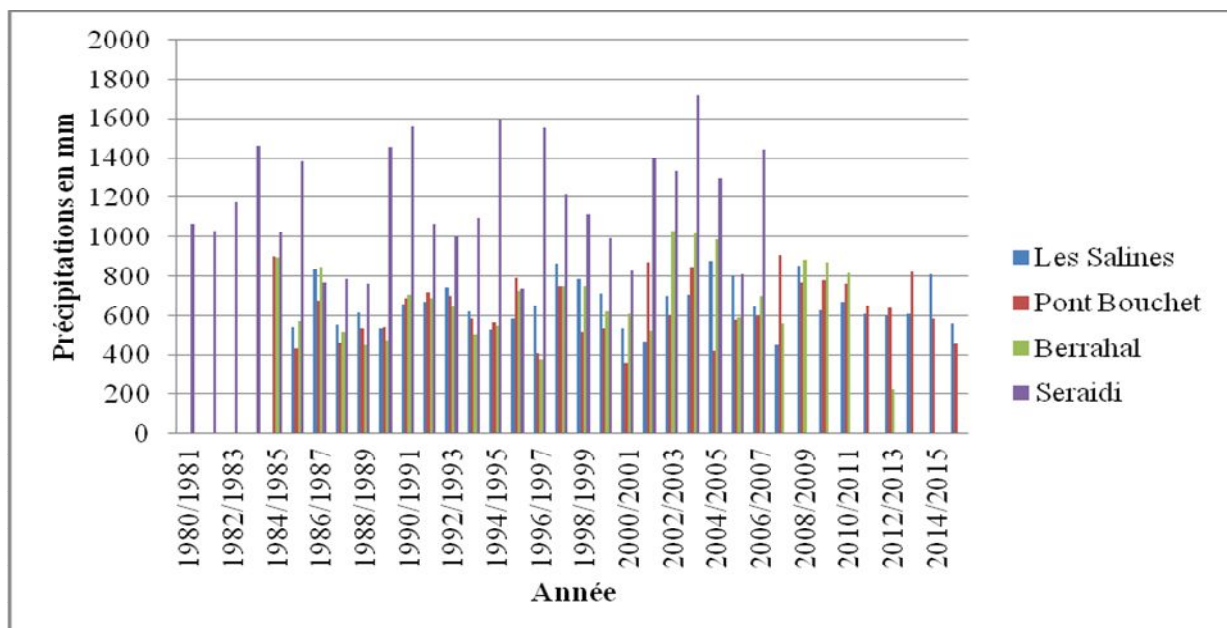


Fig.17: Précipitations moyennes inter- annuelles pour les 04 stations
(Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Séraïdi)

Tableau 08. Répartition interannuelle des précipitations pour les 04 stations

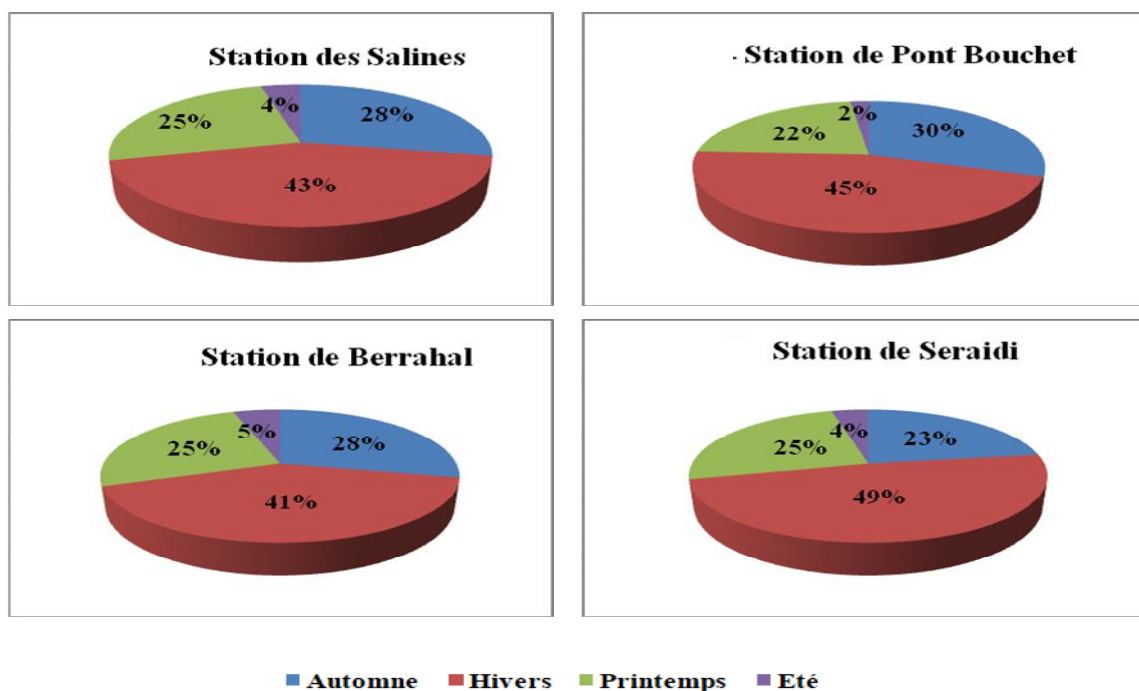
Années	Les Salines (P en mm)	Pont Bouchet (P en mm)	Berrahal (P en mm)	Seraidi (P en mm)
1980/1981	/	/	/	1066,8
1981/1982	/	/	/	1027,9
1982/1983	/	/	/	1176,4
1983/1984	/	/	/	1458,9
1984/1985	/	900,2	896	1024,1
1985/1986	542,2	433,7	573,9	1381
1986/1987	835,7	677,4	847	763,6
1987/1988	555	464,7	519	786
1988/1989	615,2	533,2	448,4	760,2
1989/1990	536,8	541,9	473,7	1453,4
1990/1991	654,8	690,4	704,9	1558,5
1991/1992	666,4	716,8	687,9	1067,7
1992/1993	743,5	701,7	643,4	996
1993/1994	619,8	581,4	502,2	1095
1994/1995	527,8	566,1	547,6	1597,1
1995/1996	584,4	790,4	722,4	737,8
1996/1997	648,8	408,7	377,5	1553,6
1997/1998	866,8	747,7	749,5	1216,6
1998/1999	787,8	519,5	748,1	1113
1999/2000	710,2	537,1	622,9	992
2000/2001	533,6	360,3	605,1	827,1
2001/2002	470	872,6	521,6	1401
2002/2003	700	599,5	1028,5	1331,3
2003/2004	707,2	845,9	1015,4	1714,9
2004/2005	877,7	420,3	988,2	1294,2
2005/2006	804,5	576	590,8	807,3
2006/2007	647	596,2	698,5	1444,9
2007/2008	450,9	906,9	557,7	/
2008/2009	853,2	764	879,8	/
2009/2010	627	776,4	867,6	/
2010/2011	672	759,2	814,8	/
2011/2012	609,4	648,8	0	/
2012/2013	604,1	641,4	227,1	/
2013/2014	609,5	821,5	/	/
2014/2015	811,1	584,2	/	/
2015/2016	558,6	456,2	/	/

3.1.3. Répartition saisonnière des précipitations

Le tableau N°09 et la figure 18 montrent que le maximum pluviométrique est observé en hivers d'où la saison la plus arrosée pour les 04 stations, avec 284,6 mm (43%) pour la station des Salines, 289,1 mm (45%) pour la station de Pont Bouchet, 268,6 mm (41%) pour la station de Berrahal et 525,8 mm (49%) pour la station de Seraidi. Tandis que l'été représente la saison la plus sèche avec un minimum de 15,4 mm (2 %) pour la station de Pont Bouchet, 24,5 mm (4 %) pour la station des Salines, 34,7 mm (5 %) pour la station de Berrahal et 42 mm (4%) pour la station de Seraidi.

Tableau 09. Répartition saisonnière des précipitations pour les 04 stations

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total annuelle
Salines	Automne			Hivers			Printemps			Eté			
	41,4	52,9	90,6	109	97,9	77,7	72,2	54,4	38,4	11,9	3,7	8,9	100 %
	184,9 mm			284,6 mm			165 mm			24,5 mm			659 mm
	28%			43%			25%			4%			100 %
Pont Bouchet	42	57,8	95	110	96,7	82,4	65,9	48,9	28,4	8,5	1,5	5,4	
	194,8 mm			289,1 mm			143,2 mm			15,4 mm			642,5 mm
	30%			45%			22%			2%			100 %
	42,4	56,1	86,6	101,9	91,2	75,5	65	51,6	48	16,6	7,1	11	
Berrahal	185,1 mm			268,6 mm			164,6 mm			34,7 mm			653 mm
	28%			41%			25%			5%			100 %
	59,0	11,4	171,3	208,1	185,9	131,8	109,4	100,3	53,0	15,7	7,3	19,0	
	241,7 mm			525,8 mm			262,7 mm			42 mm			1072,2 mm
Séraidi	22%			49%			25%			4%			100 %

**Fig.18.** Répartition saisonnière des précipitations pour les 04 stations

3.1.4. Coefficient pluviométrique

Les valeurs des précipitations moyennes annuelles permettent de caractériser la pluviosité de chaque année. La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des

années excédentaires et déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée. Il est exprimé par la formule suivante :

$$CP = P/P'$$

Avec :

CP : Coefficient pluviométrique.

P : Hauteur des pluies annuelles (mm).

P' : Moyenne annuelle pluviométrique (mm)

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie, nous avons deux cas :

- $CP > 1$: année excédentaire (AE).
- $CP < 1$: année déficitaire (AD).

Le calcul du coefficient pluviométrique durant les périodes d'observation (tableau N° 10) met en évidence les années déficitaires et excédentaires pour les 04 stations.

L'étude de l'évolution interannuelle des précipitations des quatre stations pour les périodes indiquées, a mis en évidence :

- * 18 années déficitaires et 13 années excédentaires à la station des salines,
- * 17 années déficitaires et 15 années excédentaires à Pont Bouchet,
- * 14 années déficitaires et 14 années excédentaires à Berrahal ;
- * 14 années déficitaires et 13 années excédentaires à Seraïdi.

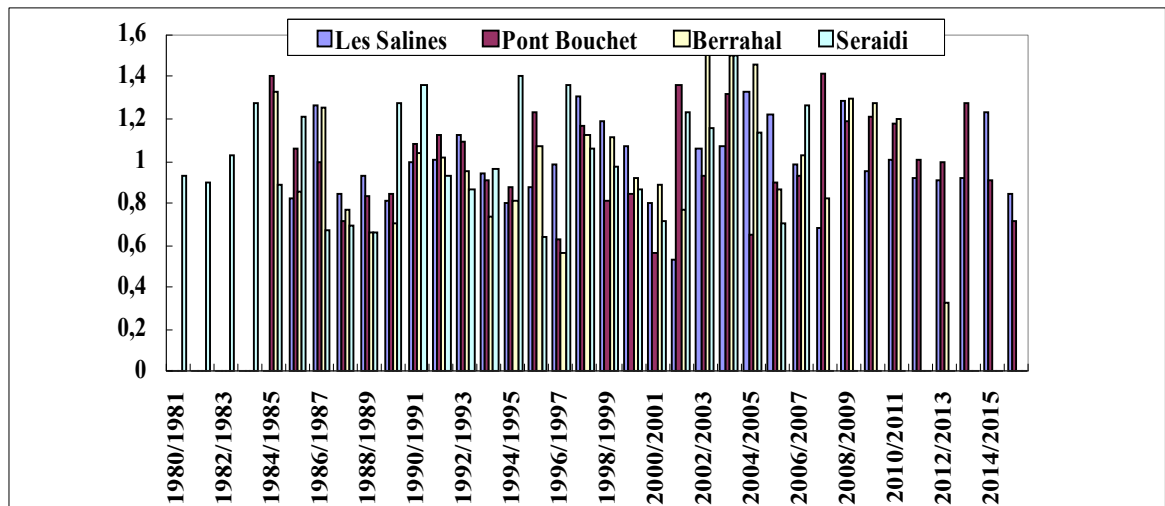


Fig.19: Les variations du coefficient pluviométrique pour les 04 stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi) durant des périodes différentes.

Tableau 10. Coefficient pluviométrique et observation pour les 04 stations (Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi)

Année	Coefficient pluviométrique (CP= P/P')											
	Les Salines (P' = 659 mm)		Observ	Pont Bouchet (P' = 638,75 mm)		Observ	Berrahal (P' = 673,55 mm)		Observ	Seraïdi (P' =1138,75 mm)		Observ
	P	CP = p/p'		P	CP = P/P'		p	CP= p/p'		p	CP= p/p'	
1980/1981	/			/		/	/		/	1066,8	0,93	AD
1981/1982	/			/		/	/		/	1027,9	0,90	AD
1982/1983	/			/		/	/		/	1176,4	1,03	AE
1983/1984	/			/		/	/		/	1458,9	1,28	AE
1984/1985	/			900,2	1,40	AE	896	1,33	AE	1024,1	0,89	AD
1985/1986	542,2	0,82	AD	433,7	1,06	AE	573,9	0,85	AD	1381	1,21	AE
1986/1987	835,7	1,26	AE	677,4	1,00	AE	847	1,25	AE	763,6	0,67	AD
1987/1988	555	0,84	AD	464,7	0,72	AD	519	0,77	AD	786	0,69	AD
1988/1989	615,2	0,93	AD	533,2	0,83	AD	448,4	0,66	AD	760,2	0,66	AD
1989/1990	536,8	0,81	AD	541,9	0,84	AD	473,7	0,70	AD	1453,4	1,27	AE
1990/1991	654,8	0,99	AD	690,4	1,08	AE	704,9	1,04	AE	1558,5	1,36	AE
1991/1992	666,4	1,01	AE	716,8	1,12	AE	687,9	1,02	AE	1067,7	0,93	AD
1992/1993	743,5	1,12	AE	701,7	1,09	AE	643,4	0,95	AD	996	0,87	AD
1993/1994	619,8	0,94	AD	581,4	0,91	AD	502,2	0,74	AD	1095	0,96	AD
1994/1995	527,8	0,80	AD	566,1	0,88	AD	547,6	0,81	AD	1597,1	1,40	AE
1995/1996	584,4	0,88	AD	790,4	1,23	AE	722,4	1,07	AE	737,8	0,64	AD
1996/1997	648,8	0,98	AD	408,7	0,63	AD	377,5	0,56	AD	1553,6	1,36	AE
1997/1998	866,8	1,31	AE	747,7	1,17	AE	749,5	1,11	AE	1216,6	1,06	AE
1998/1999	787,8	1,19	AE	519,5	0,81	AD	748,1	1,11	AE	1113	0,97	AD
1999/2000	710,2	1,07	AE	537,1	0,84	AD	622,9	0,92	AD	992	0,87	AD
2000/2001	533,6	0,80	AD	360,3	0,56	AD	605,1	0,89	AD	827,1	0,72	AD
2001/2002	470	0,53	AD	872,6	1,36	AE	521,6	0,77	AD	1401	1,23	AE
2002/2003	700	1,06	AE	599,5	0,93	AD	1028,5	1,52	AE	1331,3	1,16	AE
2003/2004	707,2	1,07	AE	845,9	1,32	AE	1015,4	1,50	AE	1714,9	1,50	AE
2004/2005	877,7	1,33	AE	420,3	0,65	AD	988,2	1,46	AE	1294,2	1,13	AE
2005/2006	804,5	1,22	AE	576	0,90	AD	590,8	0,87	AD	807,3	0,70	AD
2006/2007	647	0,98	AD	596,2	0,93	AD	698,5	1,03	AE	1444,9	1,26	AE
2007/2008	450,9	0,68	AD	906,9	1,41	AE	557,7	0,82	AD	/	/	/
2008/2009	853,2	1,29	AE	764	1,19	AE	879,8	1,30	AE	/	/	/
2009/2010	627	0,95	AD	776,4	1,21	AE	867,6	1,28	AE	/	/	/
2010/2011	672	1,01	AE	759,2	1,18	AE	814,8	1,20	AE	/	/	/
2011/2012	609,4	0,92	AD	648,8	1,01	AE	0	0	/	/	/	/
2012/2013	604,1	0,91	AD	641,4	1,00	AE	227,1	0,33	AD	/	/	/
2013/2014	609,5	0,92	AD	821,5	1,28	AE	/		/	/	/	/
2014/2015	811,1	1,23	AE	584,2	0,91	AD	/		/	/	/	/
2015/2016	558,6	0,84	AD	456,2	0,71	AD	/		/	/	/	/

3.2. Les températures

Les températures sont un facteur climatique très important qui régit directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation,...etc) et biogéographiques, le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Pour l'étude des températures, nous avons utilisée les données disponibles qui sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des stations des Salines (1985/2016) et de Berrahal (1984/2012). Les valeurs sont portées dans le tableau N°11 et la figure N°20.

Tableau 11. Températures moyennes mensuelles à la station des Salines (1985-2016) et Berrahal (1984/2012)

Mois T(°C) des stations	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moy
Les Salines	23,1	20,4	16	13,2	11,9	11,9	13,4	15,4	18,6	22,3	25	25,5	18,05
Berrahal	23,2	19,9	15,3	12,2	11,2	11,5	13,1	15,1	18,3	22	25	25,5	17,69

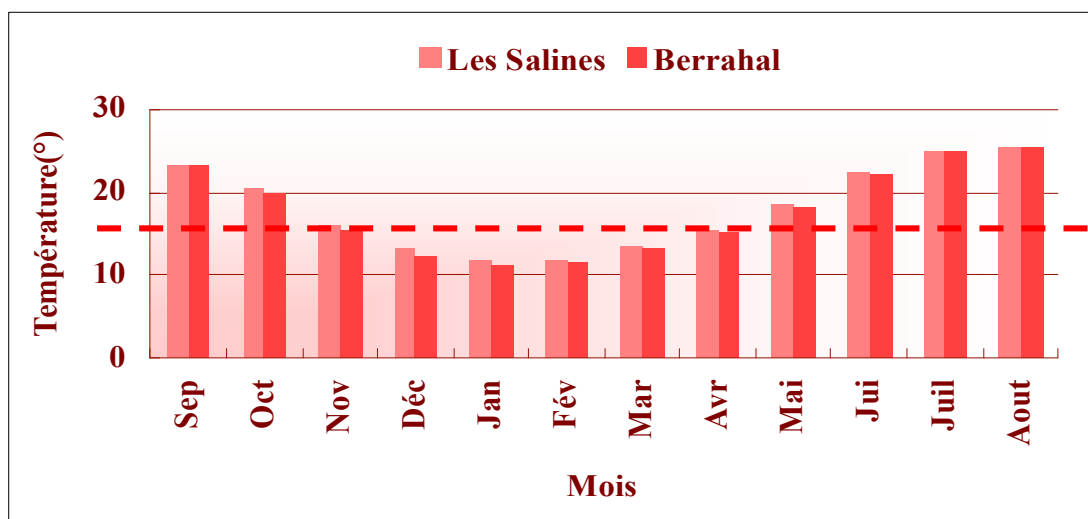


Fig. 20: Températures moyennes mensuelles pour les stations des Salines et Berrahal : Périodes (1985-2016) et (1984/2012) respectivement.

Les données obtenues aux deux stations de mesures, nous donnent un schème oppose à celui des précipitations. La variation de l'allure de l'histogramme prend cependant la forme d'un (U) ou les minimums sont enregistrés pendant les mois de Janvier et Février.

Pour Les Salines atteignant 11,9° et pour Berrahal atteignant 11,2 °C, alors que les maximums sont alors remarquables pendant le mois d'Août d'une même valeur pour les deux stations.

3.3. Le diagramme ombrothermique (H.Gaussen et F. Bagnouls)

Ce diagramme permet de déterminer le type du climat régnant dans la région. Un mois sec se définit, selon (F.Bagnouls et H.Gaussen, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$). Cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des diagrammes ombrothermiques traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes (température et précipitation). Elle est appliquée pour les quatre stations (Fig.21, 22, 23 et 24): Les Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraïdi).

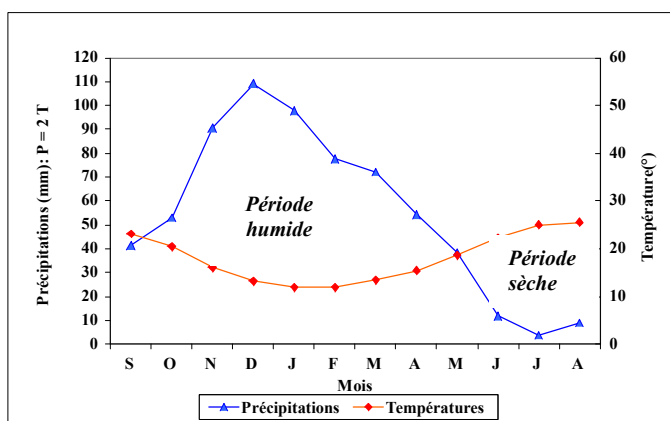


Fig.21 : Diagramme ombrothermique de la station des Salines

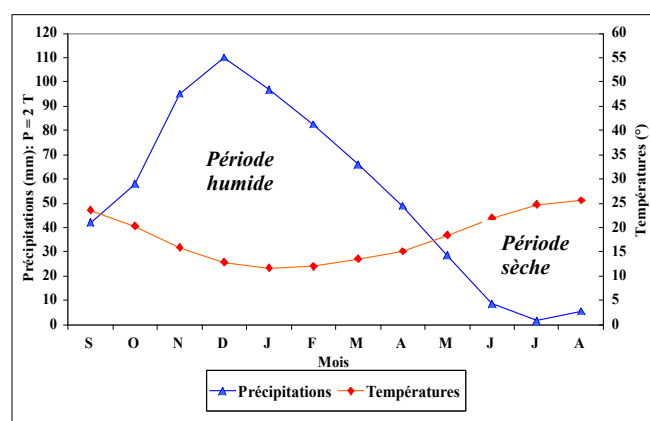


Fig.22 : Diagramme ombrothermique de la station de Pont Bouchet

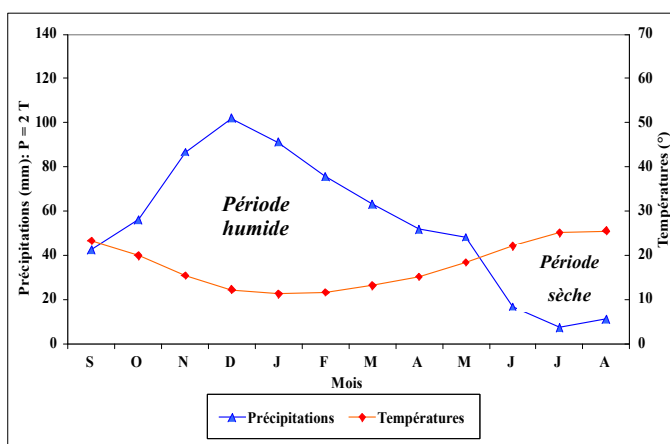


Fig.23 : Diagramme ombrothermique de la station de Berrahal

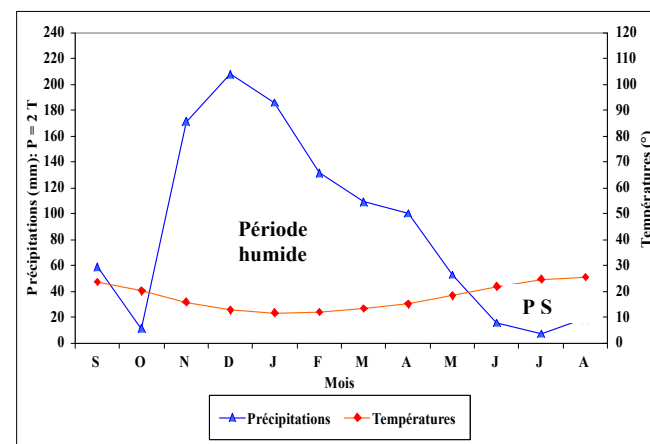


Fig.24 : Diagramme ombrothermique de la station de Seraïdi

L'allure des diagrammes ombrothermique établis au dessus sont semblables et - montrent l'existence de deux saisons bien distinctes:

- Une saison sèche et chaude qui s'étend du mois de Mai jusqu'au mois de septembre pour les 04 stations avec une température maximale atteignant 25,5°C au mois d'Aout (Les Salines et Pont Bouchet).

- Une saison hivernale humide plus longue qui dure environ sept mois débutant de la fin du mois d'Octobre jusqu'au début du mois de Mai avec une forte pluviométrie atteignant 109 mm, 110 mm, 101,9 mm, 208,1 mm respectivement pour les stations des Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraidi pendant le mois de Décembre.

3.4. L'humidité

Ce paramètre est remarquablement particulier pour la région. Les formations marécageuses et la proximité de la mer et la présence d'une couverture forestière intense entretiennent une humidité considérable. L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Le tableau N°13 et la figure 24 montrent que l'humidité maximale est de 79,57 % observée au mois de Janvier alors que l'humidité minimale est de 70,91 % observée au mois Décembre.

Tableau 12. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines
(1984/2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Moyenne Humidité (%)	72,39	75,78	76,68	70,91	79,57	76,87	75,76	75,32	76,34	74,28	72,00	72,25

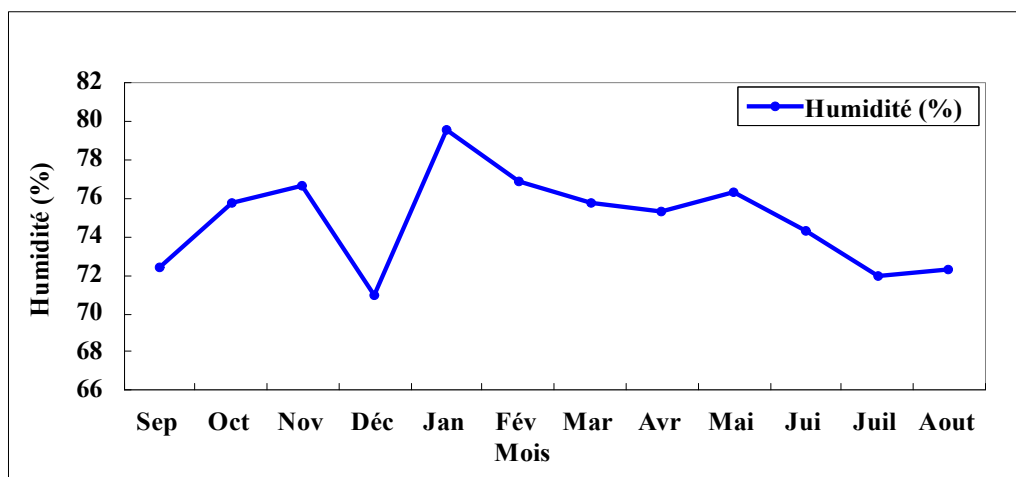


Fig. 25: L'humidité moyenne mensuelle à la station des Salines :
(Période 1984/2013)

3.5. Le vent

Les vents dominant du Nord-Ouest avec une vitesse moyenne de 3,35 m/s, véhiculent les précipitations les plus importantes venues de l'atlantique, a l'oppose les vents Sud-est (le Sirocco) assèchent l'atmosphère et favorise avec les températures élevées les incendies des forêts. La région d'étude est prédominée par des vents de direction NW-SE (Tableau N°13).

Tableau 13. Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1974-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Vitesse des Vents (m/s)	3,68	2,74	2,58	3,23	3,34	3,56	3,51	3,51	3,26	3,06	3,45	3,40

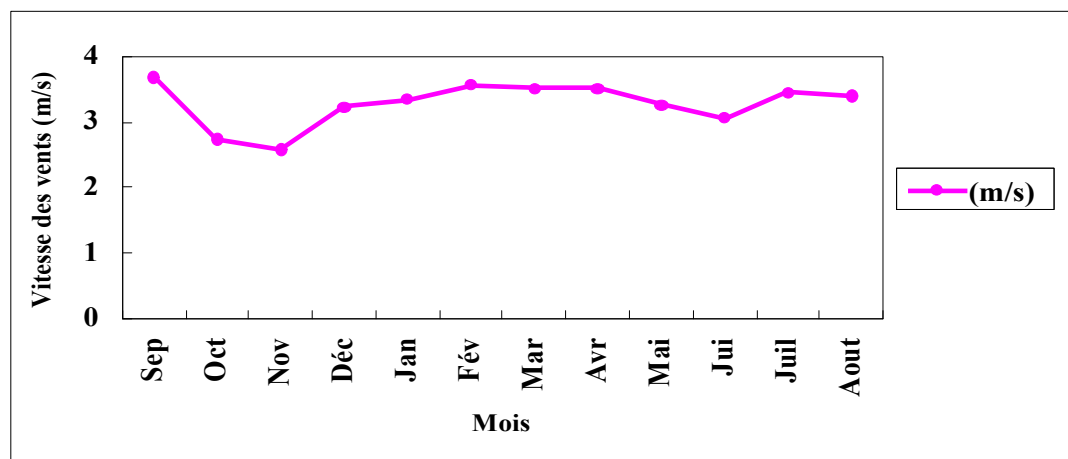


Fig. 26: Les vitesses moyennes mensuelles du vent à la station des Salines : (Période 1974-2013).

Les vitesses du vent atteignent son maximum au mois de Septembre avec 3,68 m/s. Cependant, le minimum des vents est enregistré en Novembre avec 2,58 m/s (Fig.26).

4. Le bilan hydrique

L'objectif d'étudier un bilan hydrique d'une région est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, écoulement et évapotranspiration). Le bilan hydrique est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière tient compte de la température, la pluie, l'ETP et la RFU, selon la formule suivante:

$$P = ETR + I + R$$

D'où:

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm) ;

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm) ;

I : Infiltration moyenne annuelle (mm) ;

R : Ruissellement moyen annuel.

4.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations. Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes ; l'évaporation (processus physique) et la transpiration (phénomène biologique), on distingue :

▪ **L'évapotranspiration potentiel (ETP)** : est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante.

▪ **L'évapotranspiration réelle (ETR)** : correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée pour une surface donnée et une période définie.

4.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentiel et l'évapotranspiration réelle

4.1.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants. Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » utilisable pour les climats sub-humides et semi-arides, selon la formule suivante :

$$\text{ETP} = 16 \times \left(\frac{10 T}{I} \right)^a \cdot K$$

D'où:

$$\begin{cases} I = \sum_{i=1}^{12} i & i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.5} \\ a = \frac{1,6}{100} I + 0,5 \end{cases}$$

Avec:

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm ;

T : température moyenne mensuelle en °C ;

I : somme des indices thermiques mensuels i ;

K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée ;

a : exposant climatique.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU) et on admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau qui pourrait être reprise par l'ETP.

4.1.1.2. L'évapotranspiration réelle

Elle est estimée par les formules suivantes :

4.1.1.2.1. Formule de C.W. Thornthwaite

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux principaux cas :

- **1^{er} cas : Si : $P - ETP > 0$; c.-à-d. : $P > ETP$** , dans ce cas $ETR = ETP$, donc il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.
- **2^{ème} cas : Si : $P - ETP < 0$; c.-à-d : $P < ETP$** , ce cas est caractérisé par les deux cas suivants :
 - Si : $P + RFU > ETP \implies ETR = ETP$
 - Si : $P + RFU < ETP \implies ETR = P + RFU$.

4.1.1.2.2. Formule de Turc

La formule de Turc consiste à évaluer directement l'évapotranspiration réelle à partir de la hauteur moyenne de la pluie et de la température moyenne annuelle et qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

D'où : $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

T : La température moyenne annuelle en °C.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle (ETR), calculées par cette formule sont reportées dans le tableau ci-dessous (N°15).

Tableau 14. Résultats de l'ETR obtenus par la méthode de Turc pour les 04 stations

Paramètre Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Les Salines	659,00	18,05	1045,28	578,57
Pont Bouchet	638,75	18,05	1045,28	566,26
Berrahal	673,55	17,69	1019,04	582,65
Seraidi	1138,75	18,05	1045,28	788,60

4.1.1.2.3. Formule de Coutagne

Cette formule fait appel à deux paramètres indispensables (précipitation et température) selon la relation suivante :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

D'où :

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

N.B : Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition suivante : $\frac{1}{8} \lambda < P < 2 \lambda$

Tableau 15. Résultats de l'ETR obtenus par la méthode de Coutagne pour les 04 stations :

Paramètre Station	P (mm)	P (m)	T (°C)	λ	ETR (mm)
Les Salines	659,00	0,659	18,05	0,300	528,71
Pont Bouchet	638,75	0,63875	18,05	0,300	516,37
Berrahal	673,55	0,67355	17,69	0,305	535,18
Seraidi	1138,75	1,13875	18,05	0,300	749,72

4.2. Le ruissellement (R)

Le ruissellement est la quantité d'eau au cours d'une précipitation échappée à l'infiltration et l'évaporation, il a pour but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

Il est calculé par la formule de « TIXERONT BERKALOFF » suivante:

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^3} \quad \text{Si : } P < 600 \text{ mm}$$

La formule de « TIXERON-BERKALOFF » modifiée par « ROMANTCHOUK (1974) » lorsque $P > 600$ mm, selon la formule suivante:

$$R = \frac{P^3}{3}$$

Avec :

R : Ruissellement en mm ;

P : Précipitation moyenne annuelle en mm/an ;

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle en mm ;

*Les 04 stations de mesure ont une pluviosité supérieure à 600 mm, donc le calcul du ruissellement est obtenu par la formule de « ROMANTCHOUK » selon le tableau suivant :

Tableau 16. Ruissellements obtenus par la formule de «ROMANTCHOUK»
pour les 04 stations

Paramètres Stations	P (mm)	R (mm)
Les Salines	659,00	95,39
Pont Bouchet	638,75	86,87
Berrahal	673,55	101,85
Seraidi	1138,75	492,25

4.3. L'infiltration (I)

L'infiltration est un paramètre très important du bilan hydrique, elle est définie comme la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany 1982). Elle dépend de

plusieurs facteurs, dont :

- ❖ La nature du sol (texture et composition granulométrique).
- ❖ La perméabilité et la porosité.
- ❖ La couverture végétale.
- ❖ L'état hygroscopique initial du sol.

L'infiltration est déduite de la formule fondamentale du bilan hydrique ;

On a:
$$P = ETR + R + I$$

Donc:

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

Avec :

I : L'infiltration en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

R : Ruissellement en mm.

N.B:

Si : $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.

Si : $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Tableau 17. Estimation de l'infiltration en mm pour les 04 stations

Paramètres Stations	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Les Salines	659,00	95,39	470,2	93,41
Pont Bouchet	638,75	86,87	453,5	98,38
Berrahal	673,55	101,85	485,7	86,00
Seraidi	1138,75	492,25	478,7	167,80

4.4. La réserve facilement utilisable (RFU)

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- ❖ La nature, la composition lithologique et l'épaisseur du sol ;
- ❖ La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;
- ❖ Le climat de la région ;
- ❖ Le type de la couverture végétale.

Dans notre cas, on admettant que la RFU égale à 100 mm.

4.5. Calcul du bilan hydrique

Les tableaux ci-dessous résument les bilans hydriques pour les 04 stations, établies selon la méthode de Thornthwaite.

Tableau 18. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,
Station des Salines, période (1985-2016)

Mois Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P(mm)	41,1	52,9	90,6	109	97,9	77,7	72,2	54,4	38,4	11,9	3,7	8,9	658,7
t (°C)	23,1	20,4	16	13,2	11,9	11,9	13,4	15,4	18,6	22,3	25	25,5	/
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	10,1	8,4	5,8	4,3	3,7	3,7	4,4	5,5	7,3	9,6	11,4	11,8	86,2
ETP	105,0	78,3	44,0	28,9	25,5	24,9	37,7	52,3	82,1	116,4	146,7	142,5	884,4
ETR	41,1	52,9	44,0	28,9	25,5	24,9	37,7	52,3	82,1	68,2	3,7	8,9	470,2
BH	-63,9	-25,4	46,6	80,1	72,4	52,8	34,5	2,1	-43,7	-104,5	-143,0	-133,6	-225,7
RFU	0,0	0,0	46,6	100	100	100	100	100	56,3	0,0	0,0	0,0	/
EX	0,0	0,0	0,0	26,8	72,4	52,3	34,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	188,5
DA	63,9	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,3	143,0	133,6	414,2

Tableau 19. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,
Station de Pont Bouchet, période (1984-2016)

Mois Paamètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	42	57,8	95	110	96,7	82,4	65,9	48,9	28,4	8,5	1,5	5,4	642,5
t (°C)	23,1	20,4	16	13,2	11,9	11,9	13,4	15,4	18,6	22,3	25,0	25,5	/
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	10,1	8,4	5,8	4,3	3,7	3,7	4,4	5,5	7,3	9,6	11,4	11,8	84,7
ETP	105,0	78,3	44,0	28,9	25,5	24,9	37,7	52,3	82,1	116,4	146,7	142,5	884,4
ETR	42,0	57,8	44,0	28,9	24,9	37,7	37,3	52,3	82,1	51,3	1,5	5,4	453,5
BH	-63,0	-20,5	51,0	81,1	71,2	57,5	28,2	-3,4	-53,7	-107,9	-145,2	-137,1	-241,9
RFU	0,0	0,0	51	100,0	100,0	100,0	100,0	96,6	42,8	0,0	0,0	0,0	/
EX	0,0	0,0	0,0	10,4	73,3	35,0	19,6	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	145,0
DA	63,0	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	145,2	137,1	430,9

Tableau 20. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,
Station de Berrahal, période (1984-2012)

Mois Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P(mm)	42,4	56,1	86,6	101,9	91,2	75,5	65	51,6	48	16,6	7,1	11,0	682,18
t (°C)	23,2	19,9	15,3	12,2	11,2	11,5	13,1	15,1	18,3	22,0	25,0	25,5	17,7
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	10,2	8,1	5,4	3,9	3,4	3,5	4,3	5,3	7,1	9,4	11,4	12,8	83,9
ETP	107,3	76,2	41,6	25,8	23,7	24,3	37,4	52,0	81,4	115,3	148,3	143,9	877,2
ETR	42,4	56,1	41,6	25,8	23,7	24,3	37,4	52,0	81,4	82,8	7,1	11,0	485,7
BH	-64,9	-20,1	45,0	76,1	67,5	51,2	27,6	-0,4	-33,4	-98,7	-141,2	-132,9	-194,5
RFU	0,0	0,0	45,0	100	100	100	100	99,6	66,2	0,0	0,0	0,0	/
EX	0,0	0,0	0,0	21,1	67,5	51,2	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	167,3
DA	64,9	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	141,2	132,9	391,6

Tableau 21. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,
Station de Seraidi, période (1980-2007)

Mois Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P(mm)	59,0	11,4	171,3	208,1	185,9	131,8	109,4	100,3	53	15,7	7,3	19	1072,2
t (°C)	23,1	20,4	16	13,2	11,9	11,9	13,4	15,4	18,6	22,3	25,0	25,5	/
K	10,1	8,4	5,8	4,3	3,7	3,7	4,4	5,5	7,3	9,6	11,4	11,8	86,2
i	9,1	8,1	5,5	4,3	3,6	3,5	4,3	5,4	7,4	9,8	11,5	12,1	84,7
ETP	105,0	78,3	44,0	28,9	25,5	24,9	37,7	52,3	82,1	116,4	146,7	142,5	884,4
ETR	59,0	11,4	44,0	28,9	25,5	24,9	37,7	52,3	82,1	86,6	7,3	19,0	478,7
BH	-46,0	-66,9	127,3	179,2	160,4	106,9	71,7	48,0	-29,1	-100,7	-139,4	-123,5	-187,8
RFU	0,0	0,0	100	100	100	100	100	100	70,9	0,0	0,0	0,0	/
EX	0,0	0,0	27,3	179,2	160,4	106,9	71,7	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0	593,5
DA	46,0	66,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,9	139,4	123,5	405,7

4.5.1. Représentation graphique du bilan hydrique

Afin de visualiser les résultats obtenus des bilans hydriques pour les 04 stations, les représentations graphiques ci- dessous (Fig.27, 28, 29 et 30) illustrent bien la situation.

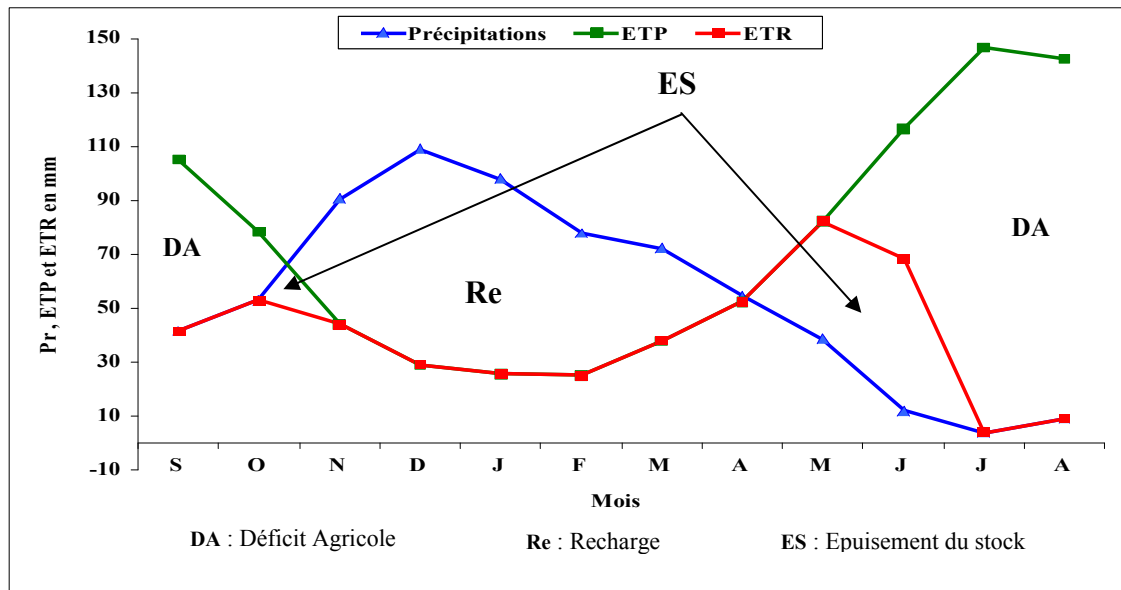


Fig. 27: Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station des Salines, période (1985-2016)

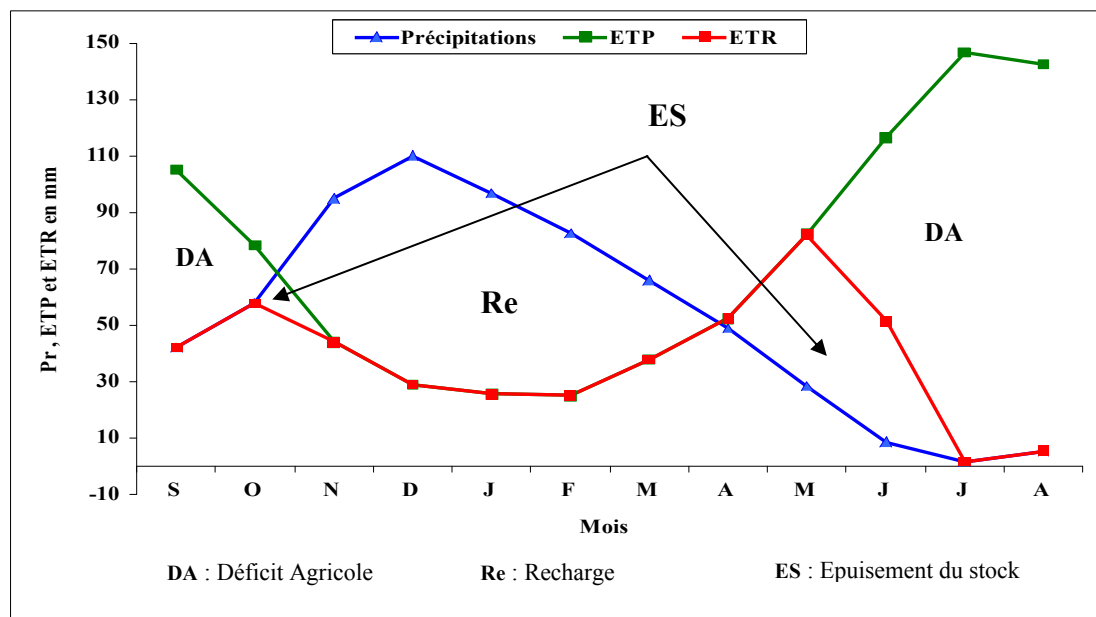


Fig. 28: Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Pont Bouchet, période (1984-2016)

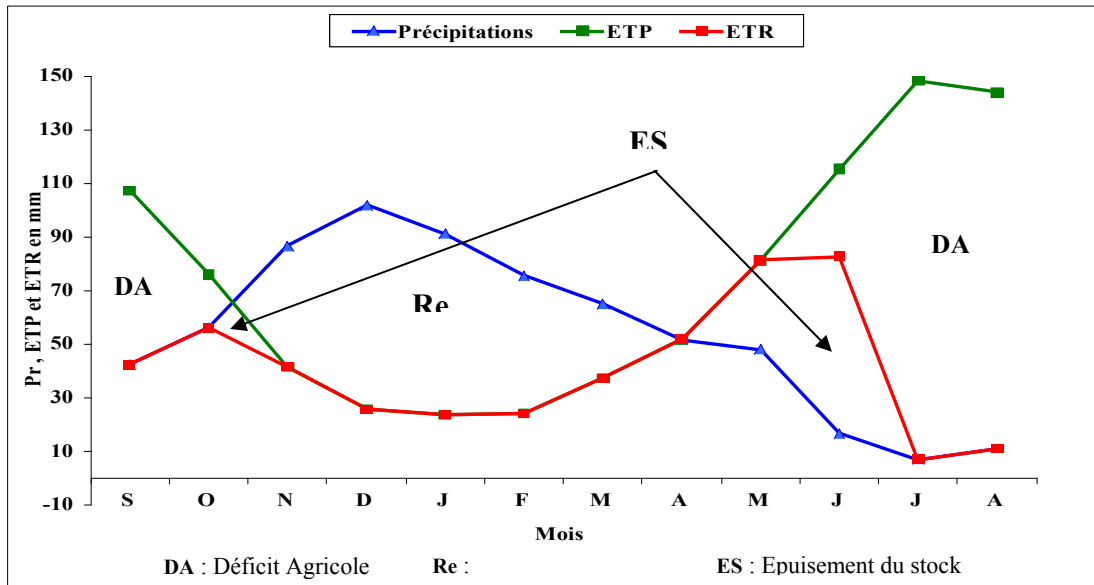


Fig. 29: Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Berrahal, période (1985-2012)

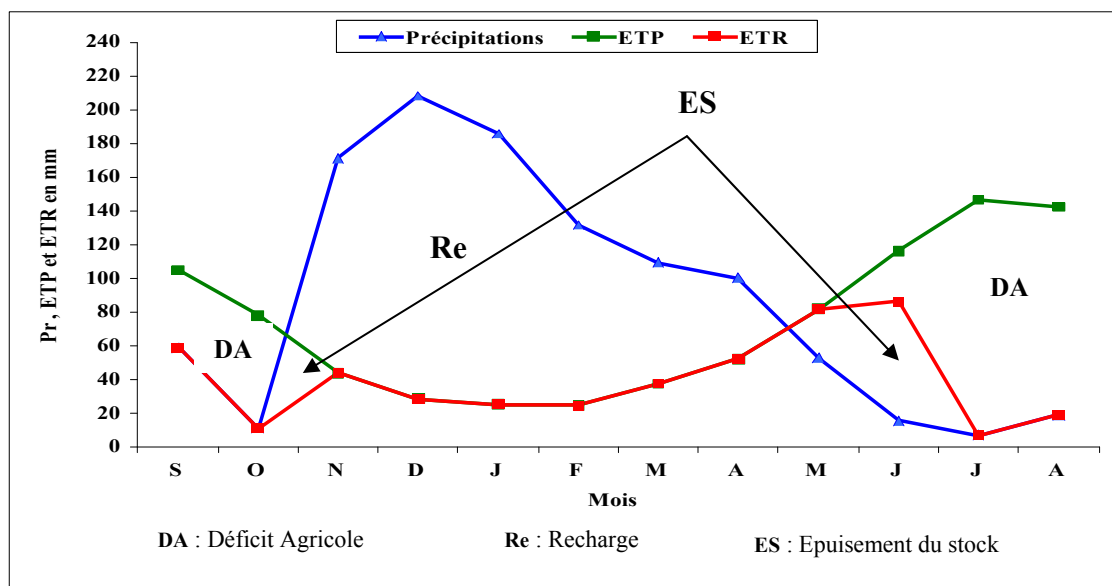


Fig. 30: Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Seraidi, période (1980 - 2007)

4.5.2. Interprétation du bilan hydrique

L'interprétation du bilan hydrique calculée par la méthode de Thornthwaite pour les quatre stations, nous a permis les observations suivantes:

- Des précipitations importantes atteignant 1072,2 mm au niveau de la station de Seraïdi. L'évapotranspiration est de l'ordre de 884,4 mm au niveau de trois stations (Les Salines, Pont Bouchet et Seraïdi) et 877,2 mm à Berrahal.
- La reconstitution du stock se fait à partir du mois d'octobre et l'écoulement se manifeste à partir du mois de décembre et se poursuit jusqu'au mois d'avril. Durant cette période, la quantité écoulée est égale à 209,49 mm à la station des Salines, 168,36 mm à Pont Bouchet et 237,8 mm à Berrahal.
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18,05°C observé au niveau de la station des Salines et 17,69°C au niveau de Berrahal.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois de juillet (148,5mm) et le minimum au mois de février (24,1mm), alors que le total est de l'ordre de 880,8 mm pour les deux stations.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) : le total est de l'ordre de 458,6 mm pour la station de Pont Bouchet, alors qu'il est de 469,8 mm pour celle des Salines.
- La réserve facilement utilisable (RFU) commence à se reconstituer à partir du mois d'octobre pour les salines et le mois de novembre pour les autres stations, il atteint son maximum (100 mm) au mois de décembre jusqu'au mois d'avril. La RFU décroît à partir du mois de mai jusqu'à l'épuisement totale du stock au mois de juin d'où l'apparition du déficit agricole (DA) qui s'étale jusqu'à la fin du mois d'octobre pour la station des Salines.

Conclusion

La région d'étude, compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie, elle est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par une période sèche et chaude et l'autre froide et humide.

Elle reçoit des précipitations moyennes annuelles qui varient de 638,75 mm, 659 mm, 673,55 mm à 1138,75 mm (respectivement pour les stations Pont Bouchet, les Salines, Berrahal et Seraïdi).

La température moyenne annuelle varie de 18,05°C à 17,69°C mesurée au niveau des stations des Salines et Berrahal.

L'établissement et la représentation du bilan hydrique nous donnent les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 884,4 mm (Les Salines, Pont Bouchet et Seraïdi) et 877,2 mm (Berrahal).

- L'évapotranspiration réelle est de 470,2 mm, 453,5 mm, 485,7 mm et 478,7 mm (respectivement pour les stations des Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraidi)
- La réserve facilement utilisable (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre, pour atteindre son maximum 100 mm jusqu'au mois de Mai, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de 188,5 mm (Les Salines), 145 mm (Pont Bouchet), 167,3 mm (Berrahal) et 593,5 mm (Seraidi). A partir du mois de Juin, la RFU s'est épuisée et reste nulle jusqu'au mois d'Octobre, période qui traduit un déficit agricole.

CHAPITRE 4

Aperçu hydrogéologique

L'étude hydrogéologique a pour but de déterminer le rôle des matériaux constituant le sous sol ; définir la structure et la géométrie des nappes et d'envisager les échanges souterrains (écoulement, transfert de polluant,...). Elle se résume en la détermination des caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité (K), transmissivité (T), coefficient d'emmagasinement (S), le sens d'écoulement et la variation du gradient hydraulique.

1. Introduction

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

Selon les études effectuées antérieurement dans la région (cartes géologiques, hydrogéologiques...), on peut distinguer de haut en bas, un ensemble de remplissage Mio-Plio-Quaternaire formé par une alternance de sables argileux, de sables, de graviers et de travertins constituant deux types d'aquifères d'importances quantitative inégales vis-à-vis de l'étendue :

- Aquifère superficiel exploité en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Aquifère profond reconnu par les forages profonds.

2. Description des différents aquifères**2.1. Aquifère superficiel**

Cet aquifère est représenté par des alluvions argilo-limoneuses. Il couvre la majorité de la plaine d'une superficie de 320 km² et s'étend sur tous les systèmes alluvionnaires des principaux oueds (oued Seybouse, oued Méboudja et oued Zied). L'épaisseur moyenne de l'aquifère varie de 5 à 15 mètres, la transmissivité est très faible (10^{-6} à 10^{-4} m²/s) (GAUD, 1976) ; exceptée dans les zones en bordure immédiate des oueds et au niveau du cordon dunaire, où elle est de l'ordre de 10^{-2} m²/s. La perméabilité moyenne est comprise entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2 % (Saaidia, 1992).

La description des différentes formations hydrogéologiques a montré que le système aquifère englobe quatre nappes dont l'épaisseur et l'extension varie d'un secteur à l'autre :

La nappe des gneiss altérés, la nappe du cordon dunaire, la nappe des cailloutis des terrasses et la nappe des alluvions récentes et actuelles.

2.1.1. Nappe des gneiss altérés

Les gneiss altérés ont été reconnus par des sondages effectués en bordure des massifs de Bouhamra et Béllielita ; leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 m, en moyenne elle est de 10 à 15 m.

La nappe qui s'y trouve est peu importante, elle est exploitée par des puits de faible débit (0,5 à 1,5 l/s). Les gneiss constituent surtout une zone de faible alimentation pour la nappe phréatique et la nappe profonde des graviers.

2.1.2. La nappe du cordon dunaire

Elle est située entre Annaba et la Mafragh. C'est une nappe limitée sur une bande littorale de 0,5 à 2 km de largeur, constituée de sables fins à moyens et alimentée directement par les eaux de pluie. Elle joue le rôle d'une barrière qui protège la nappe phréatique de la plaine d'Annaba de l'invasion des eaux salées marines (GAUD, 1976). La porosité efficace est de l'ordre de 10 % (Khérici, 1993) et la perméabilité vaut 10^{-4} à 10^{-2} m/s tandis que la transmissivité est comprise entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s. L'épaisseur moyenne est d'environ 20 m.

2.1.3. La nappe des cailloutis et des terrasses

Elle est localisée sur la bordure Sud Sud-Ouest de la plaine de Annaba, entre Ain Breda à l'Ouest et Zérizer à l'Est et contenue dans les cailloutis et les galets. D'après GAUD (1976), la transmissivité de cette nappe est faible variant de 10^{-5} à 10^{-4} m²/s. Cette nappe est exploitée par des puits pour l'agriculture.

2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles (nappe phréatique)

Cette nappe couvre la majorité de la plaine avec une superficie d'environ 320 km² et contenue dans les alluvions récentes et actuelle à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse associée à quelques lentilles de sables de porosité efficace de 2 % (GAUD, 1976). Son épaisseur moyenne est de 10 m, tandis que sa transmissivité oscille entre 10^{-6} et 10^{-3} m²/s.

Tableau N°22: Variation de la transmissivité selon la texture des alluvions d'après (N.Khérici.1993, DHW El-Taref)

	Texture	T (m ² /s)
Annaba	Sablo-argileuse	10^{-4} à 10^{-3}
	Limono-argileuse	10^{-6} à 10^{-3}
	Argileuse	7.10^{-8} à 7.10^{-6}

2.2. Aquifère profond

Cet aquifère se situe en dessous de l'aquifère superficiel, il est surmonté par une couche argileuse dont l'épaisseur varie de 15 à 25 m. Généralement, on note deux nappes d'importances inégales. Du point de vue lithologique cet aquifère est constitué par :

- Des formations conglomératiques et graveleuse résultant de l'altération des formations métamorphiques ;
- De cipolin et gneiss fortement fissurés.

La plupart des forages implantés dans cet aquifère sont artésiens, cet artésianisme peut être expliqué par une alimentation à partir des massifs de l'Edough et de Bellelieta situé respectivement au Nord et au Sud de la plaine de Kherraza, qui présente un réseau de faille (In Kiniouar, 2006) à l'origine d'une fissuration pouvant favoriser l'infiltration des eaux superficielles. Cet aquifère comprend généralement deux nappes d'importance inégales, celle des cipolins et celle des graviers.

2.2.1. La nappe des cipolins

Elle est localisée au Nord-Ouest dans les massifs métamorphiques de Bouhamra et de Béllielita et contenue dans les cipolins fissurés. Elle est formée essentiellement par des lentilles de calcaires fissurées qui sont toujours aquifère à une côte correspondant au drainage de la plaine. Sa profondeur varie de 12 à 80 m. Ses forages ont des débits d'exploitation qui varient de 0,3 l/s à 15 l/s avec une transmissivité comprise entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s et une perméabilité entre 10^{-6} et 10^{-4} m/s.

2.2.2. La nappe des graviers

Elle est présentée sur toute l'étendue de la plaine et est contenue dans des graviers, des sables et des galets Plio- Quaternaires et encaissée dans un bassin d'effondrement. Son toit est perméable à semi-perméable, il disparaît complètement et laisse place à une nappe libre entre Chihani et Dréan, c'est la nappe la plus exploitée,

- Dans la région de Dréan la transmissivité de l'aquifère varie entre ($T = 3.10^{-3}$ et $3,5.10^{-3}$ m²/s).

- Dans la région d'Annaba la transmissivité varie entre $4,6.10^{-3}$ et 5.10^{-3} m²/s témoignant ainsi de l'hétérogénéité des formations aquifères. Les coefficients d'emménagement sont parfois très faibles de l'ordre de 10^{-4} dans les zones où la nappe est captive et atteignent 10^{-2} dans les zones où elle est libre. La perméabilité de cette nappe varie entre 10^{-4} et 10^{-5} m/s.

3. Le mode d'alimentation des nappes

3.1. Pour les alluvions récentes et actuelles (la nappe phréatique)

Son alimentation s'effectue à partir des pluies efficaces tombantes directement sur l'extension de la surface pendant la période humide où par les eaux d'irrigation pour la période sèche ; de la nappe captive par drainance à partir du réseau hydrographique (les oueds

principaux et ces affluents) ; des nappes de bordure (nappe des hautes terrasses, nappe des gneiss altérés).

3.2. Pour la nappe profonde des graviers

Son alimentation s'effectue à partir des débits de fuites des nappes secondaires avoisinantes ; de la nappe phréatique par drainance ; des oueds, dans le cas où les cours d'eau principaux pouvant exister en amont des vallées et la mer au Nord à cause de l'inversion des gradients hydrauliques ce qui induirait une avancé du front salé.

Les études antérieures (Nafâa, 1985) montrent que la nappe des graviers est tantôt alimentée partiellement par une drainance (indiqué au dessus) à partir de la nappe superficielle de la région qui s'étale entre El Hadjar et Allélik. Par fois elle peut alimenter verticalement la nappe superficielle qui se trouve entre Allélik et la mer. Le débit de drainance a été estimé à 4,75 l/s au Nord d'El Hadjar et 9,85 l/s dans la région d'El Hadjar.

4. Les profils hydrogéologiques

En vue de mieux comprendre le système hydrogéologique, et de mettre en évidence l'extension des formations aquifères de la plaine alluviale d'Annaba, des profils hydrogéologiques ont été réalisés à partir des colonnes stratigraphiques et lithologiques des forages. Parmi eux, celui d'une orientation Sud-Nord (Fig.31) traversant les forages occupant la région, le substratum est une argile de Numidie ou du Paléocène, il est surmonté par une couche de galets et graviers. Cette dernière est recouverte d'une couche d'argile détritique du Plio-quaternaire, qui s'épaissit en allant vers le Nord. Le niveau piézométrique est proche du sol et à ce niveau, la nappe est composée essentiellement d'argile limoneuse avec des passées sableuses. Le sens d'écoulement est du Sud vers le Nord.

La seconde coupe traverse la nappe avec une direction NW-SE (Fig.32) recoupant un certain nombre de forage occupant la région. On observe que la partie Nord-Ouest contient une formation métamorphique ensuite vers le Sud-Est et au niveau de la fosse de Ben Ahmed, on a une couche de galets et de graviers surmontés par une couche d'argile limoneuse avec passées sableuses. Au niveau de Koudiat Bouzenzel et Daroussa, on a une formation épaisse d'argile de Numidie ou du Paléocène surmonté par une couche mince de galets et graviers et s'étend au niveau de la fosse de Ben M'hidi d'où apparaisse une couche d'argile détritique du Plio-quaternaire surmontant la couche de galets et graviers. Au niveau de Koudiat Bedjourn, on rencontre une formation d'argile de Numidie ou du Paléocène.

Le niveau piézométrique est proche du sol et se manifeste au niveau de la couche d'argile limoneuse du coté Nord-Ouest et à celle d'argile détritique du coté Sud-Ouest.

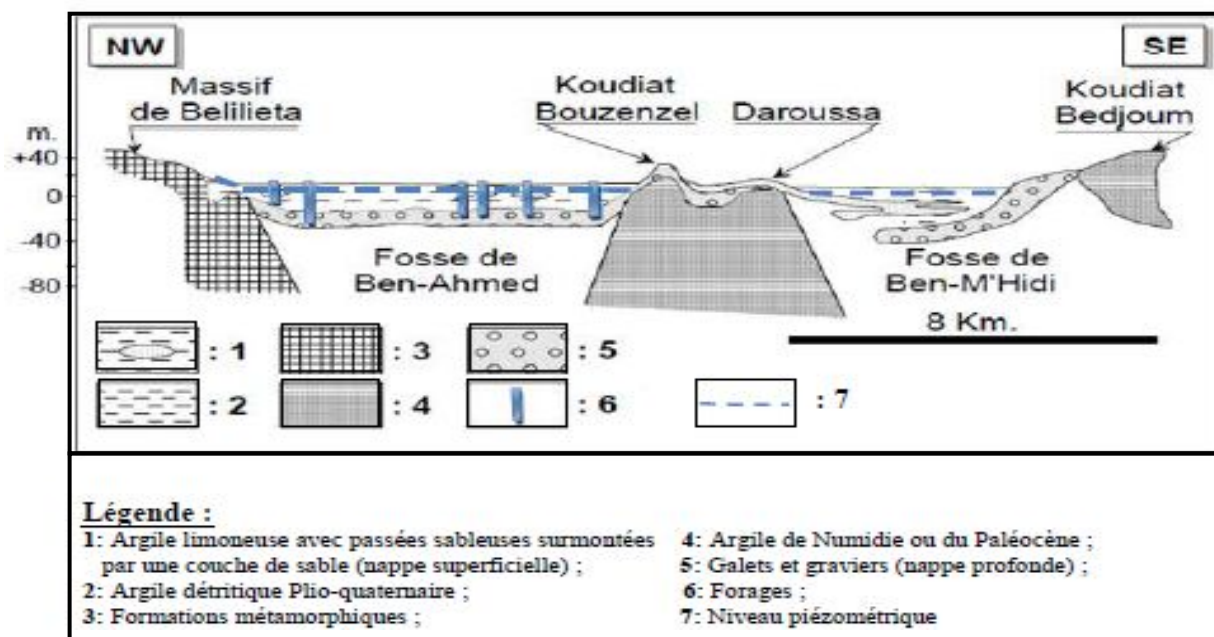


Fig. 31: Profil hydrogéologique schématique de la plaine d'Annaba (In A. Hani 2003, modifié par Mourdi, 2011).

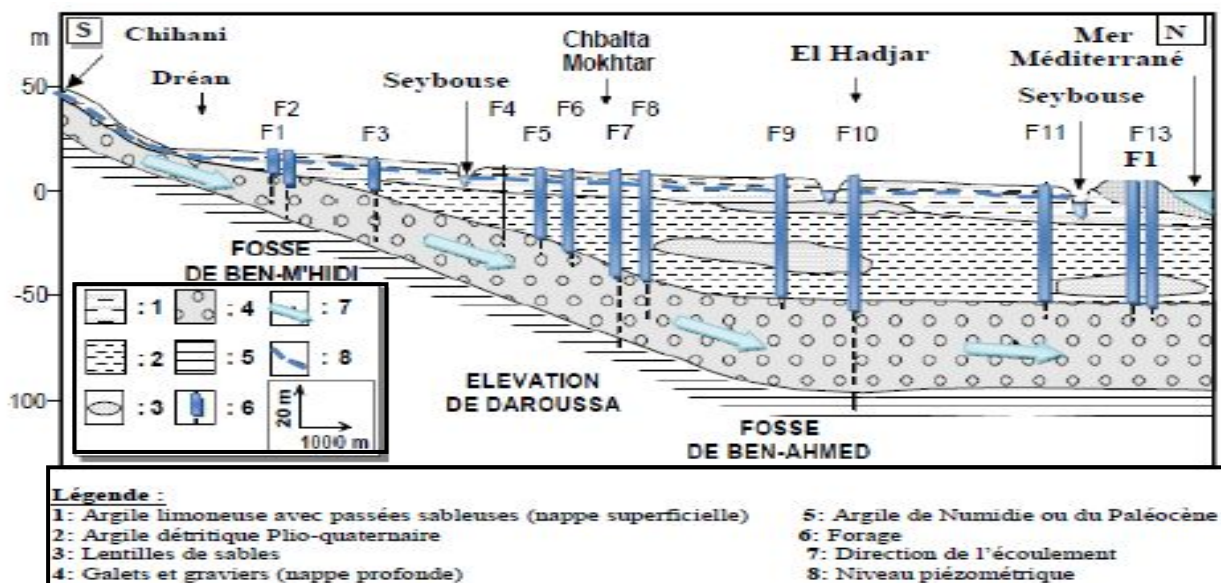


Fig. 32: Profil hydrogéologique schématique de la plaine d'Annaba (In A. Hani 2003, modifié par Mourdi, 2011).

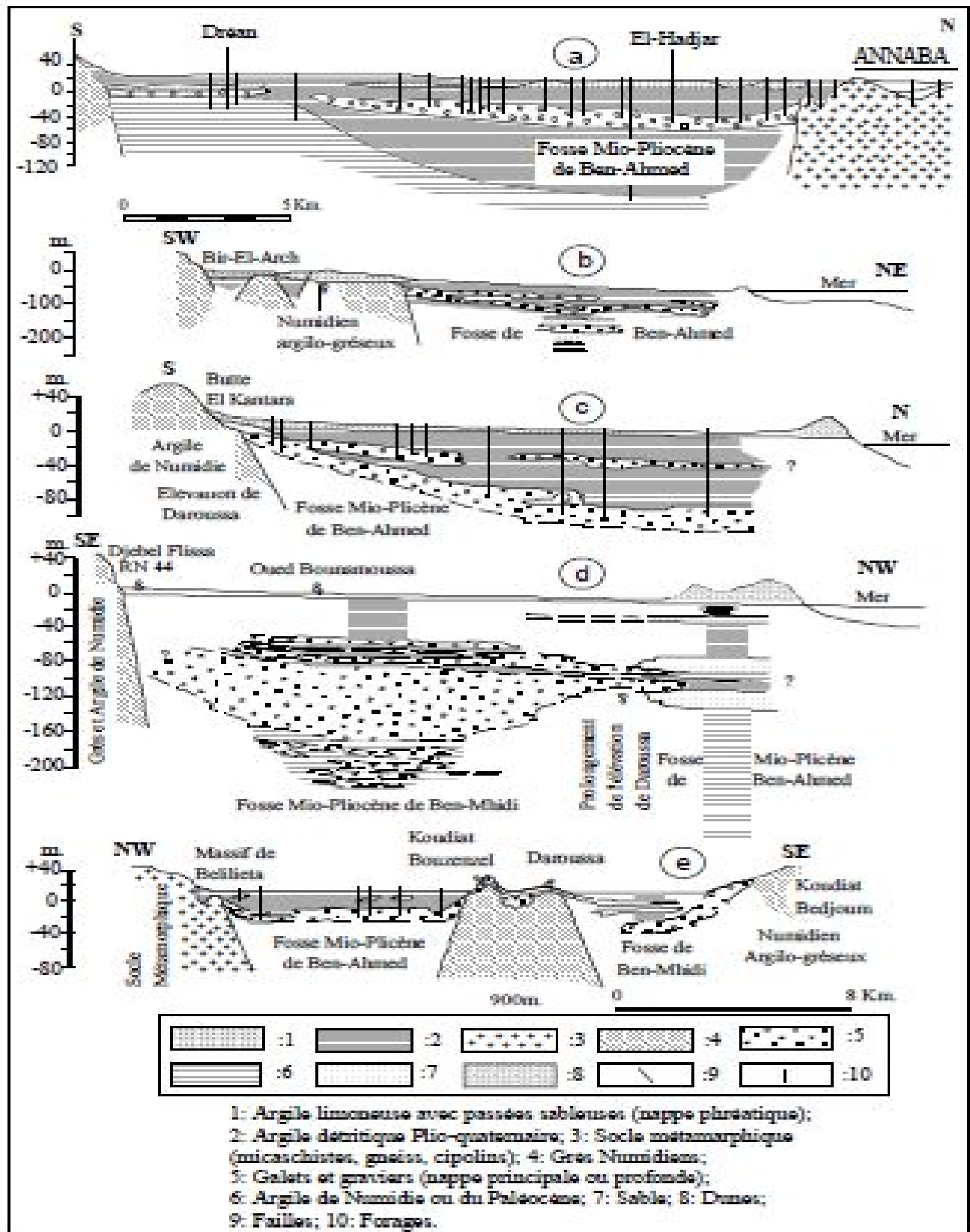


Fig. 33 : Coupes montrant la nature lithologique des aquifères de Annaba (zone Est)

(In A. Hani 2003).

5. La piézométrie de l'aquifère

L'étude de la circulation des eaux souterraines est basée sur l'analyse de la surface piézométrique. La carte piézométrique permet de déterminer le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe. Ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

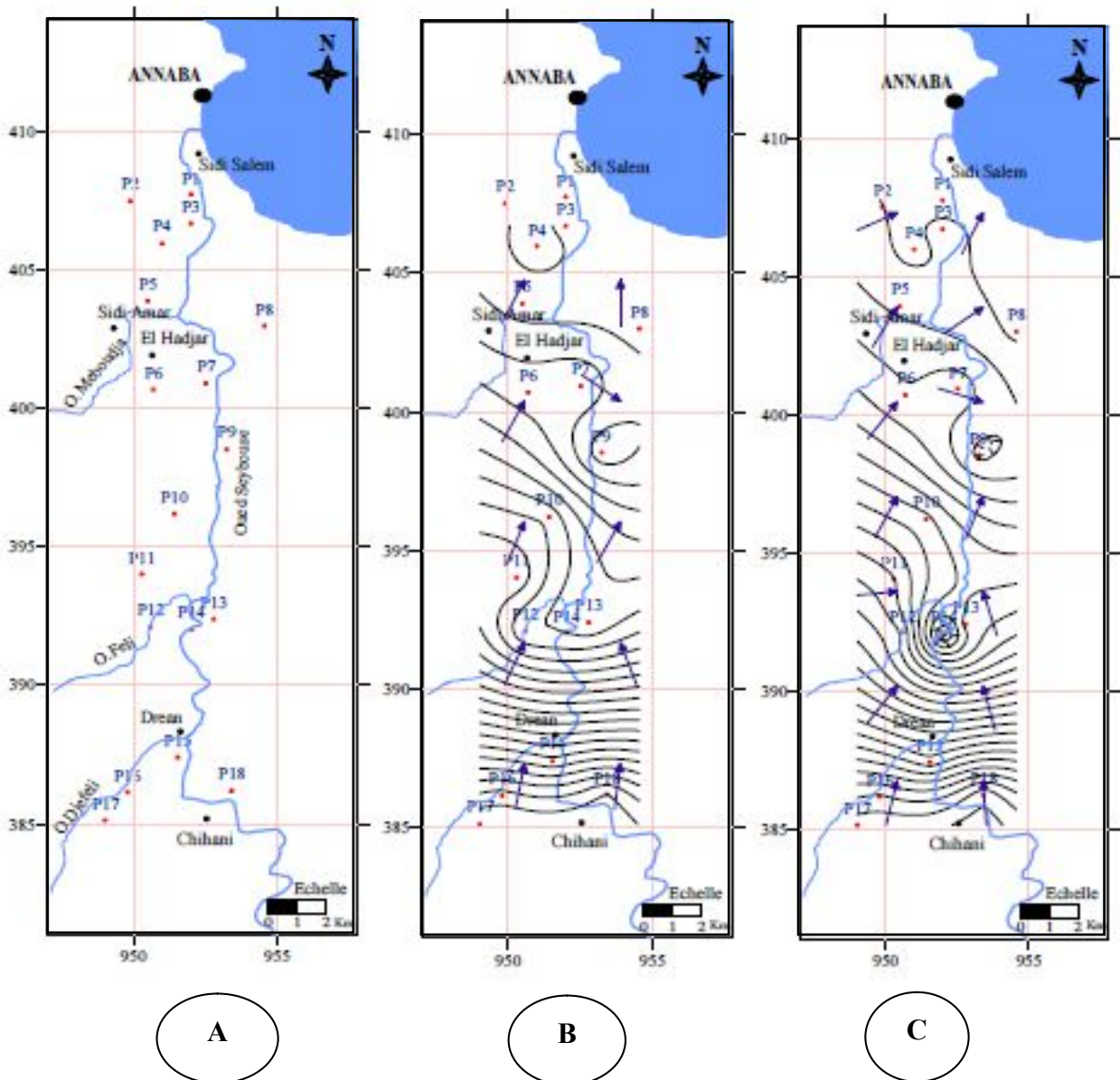
5.1. Etablissement des cartes piézométriques :

Les deux cartes piézométriques (B et C) sont globalement identiques, avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux, l'examen des courbes isopièzes montre une surface piézométrique assez régulière.

La direction générale de l'écoulement est SW-NE et l'espacement des courbes augmente progressivement dans cette direction due à la topographie.

On constate une convergence des lignes de courants vers l'oued ce qui indique une alimentation de la Seybouse par la nappe, et une zone d'alimentation de la nappe par l'oued au niveau de la confluence de l'oued Seybouse et l'oued Meboudja.

Les courbes piézométriques sont serrées dans la partie amont de la région traduisant un fort gradient hydraulique ($1,6.10^{-2}$), il marque un écoulement rapide dû à la pente et une perméabilité faible. Vers la partie aval de la basse Seybouse, les courbes sont plus espacées avec un gradient hydraulique faible de $3,5.10^{-3}$ ce qui indique une forte perméabilité et un écoulement lent.



A : Fig. 34: Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe superficielle (In.N. Bechiri ; 2009)

B : Fig. 35: Carte piézométrique des hautes eaux de la nappe superficielle (In N. Bechiri ; février 2009)

C : Fig. 36: Carte piézométrique des basses eaux de la nappe superficielle (In N.Bechiri ; juillet 2009).

Conclusion :

La plaine d'Annaba est constituée par des sédiments du Mio-Plio-Quaternaire qui comportent plusieurs horizons aquifères. Ces formations sont très variées tant par la dimension des grains que par la géométrie des couches conférant aux matériaux des propriétés hydrauliques différentes dans l'espace. Dans ce remplissage hétérogène on distingue :

- Un aquifère superficielle englobe : la nappe des gneiss altéré, des cailloutis et des terrasses, du cordon dunaire et celle des alluvions récentes et actuelles ;
- Un aquifère profond comporte la nappe des cipolins et celle des graviers.

L'alimentation de ces horizons est assurée par l'infiltration des pluies efficaces, les nappes avoisinantes par drainance, les oueds et les débits de fuites.

L'interprétation des cartes piézométriques (hautes et basses eaux) nous laisse dire que l'écoulement dans son ensemble se fait du Sud vers le Nord (la mer méditerranée) présentant des cônes d'alimentation de la nappe ; les deux oueds Seybouse et Méboudja drainent la nappe dans la partie sud, alors que dans l'extrémité Nord avant et juste après la confluence des deux oueds il s'agit d'une zone de dépression où il s'effectue l'inverse, c'est-à-dire la nappe alimente les oueds.

PARTIE II

Qualité des eaux et de l'air, impact des particules fines et leurs conséquences sur l'homme et l'environnement

Cette partie comprend les 04 chapitres suivants :

- Qualité des eaux et Hydrochimie**
- Pollution atmosphérique : Sources et dispersions**
- Etude épidémiologique**
- Impact des polluants atmosphériques et des particules fines sur l'environnement**

CHAPITRE 5

Hydrochimie et qualité des eaux

L'étude de la qualité des eaux et l'hydrochimie des eaux souterraine et superficielles (forages, puits et barrage de Mexa) permet de déterminer la répartition spatiale et temporelle des éléments majeurs dissous dans les eaux de forages et puits de la plaine et de suivre l'évolution temporelle des eaux de barrage Mexa. Ainsi que suivre le chimisme de ces eaux par la caractérisation du faciès chimique à partir de diagramme de Piper et voir l'aptitude de ces eaux à l'irrigation.

1. Introduction

L'objectif principal de cette étude est de mieux caractériser la qualité des eaux souterraines (forages et puits) et de surface (barrage Mexa) de la zone d'étude (région Annaba), ses variations dans l'espace et dans le temps afin de contribuer à la connaissance du système de point de vue pollution anthropique et naturelle.

Du fait que la plaine d'Annaba se caractérise par une vocation agricole et surtout industrielle, elle compte de nombreuses sources de pollution qui peuvent dégrader sa qualité de l'eau. Cette situation préoccupante a fait l'objet de plusieurs études dont celles: (Khérici N. 1993, Djemai R. 1993, Djabri L. 1996, Zenati N.E. 1999, Belhamra A. 2001, Debièche 2002, Hani A. 2003, Habes 2006...).

Dans le cadre de ce travail notre étude est faite pour suivre l'évolution physico-chimique des eaux souterraines (forages et puits) et superficielles (eaux traitées de barrage Mexa).

2. Les eaux souterraines

2.1. Échantillonnage et méthode d'analyse

Une campagne de prélèvement à été effectué en Septembre 2017 réalisée sur 09 forages et 02 puits (Fig. 37). Les analyses effectuées sont faites au niveau du laboratoire central de l'ADE (SEATA) et ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivants :

- **Les paramètres physiques** : la température ($T^{\circ}\text{C}$), le pH, la conductivité électrique et le TDS (Totale solide dissous).

- **Les paramètres chimiques** : se sont les éléments majeurs ; cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} et anions : Cl^{-} , SO_4^{-} et HCO_3^{-} , et les paramètres organiques (NH_4 , NO_2 et NO_3). Ainsi qu'un seul élément métallique qui est le fer total (Fe^{2+}).

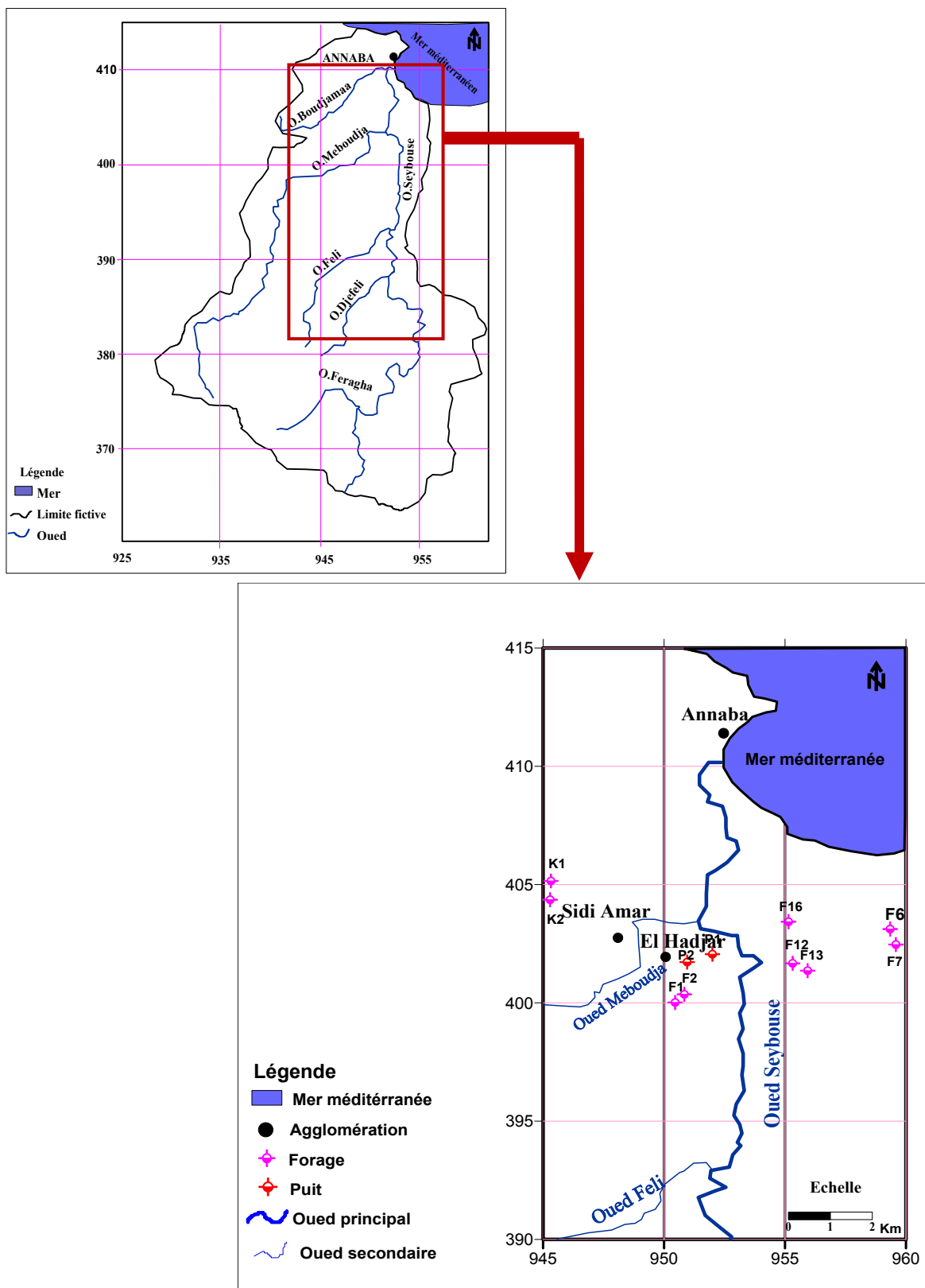


Fig. 37 : Carte d'inventaire des points de prélèvement : forages et puits (Sept. 2017)

2.2. Mesures in situ

2.2.1. Les paramètres physiques

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ* après le prélèvement des échantillons (Température, pH, conductivité électrique et salinité).

2.2.1.1. La température

La température de l'eau (°C) est un paramètre d'une grande utilité pour le diagnostic hydrogéologique et hydrochimique. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, autrement dit, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). Elle fournit des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère.

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées (Fig.38) oscillent entre 22,8°C au niveau de forage K1 et 27,4°C au niveau de forage K2.

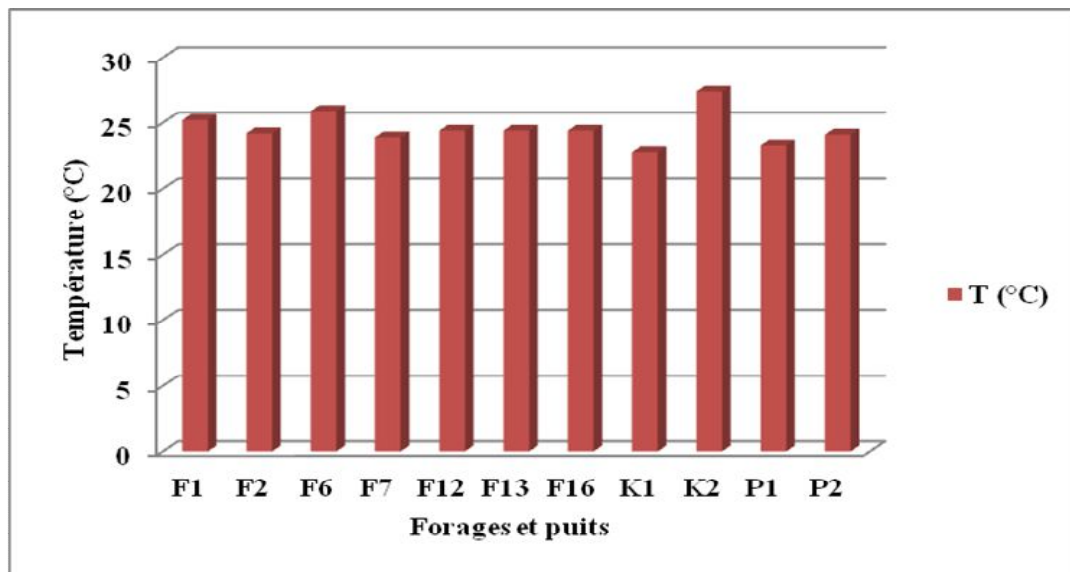


Fig. 38: Variation de la température dans les forages et puits (Sept. 2017)

2.2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (PH)

Le Potentiel d'Hydrogène mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 et 7 étant le pH de neutralité (Fig.39). Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Castany, 1977).

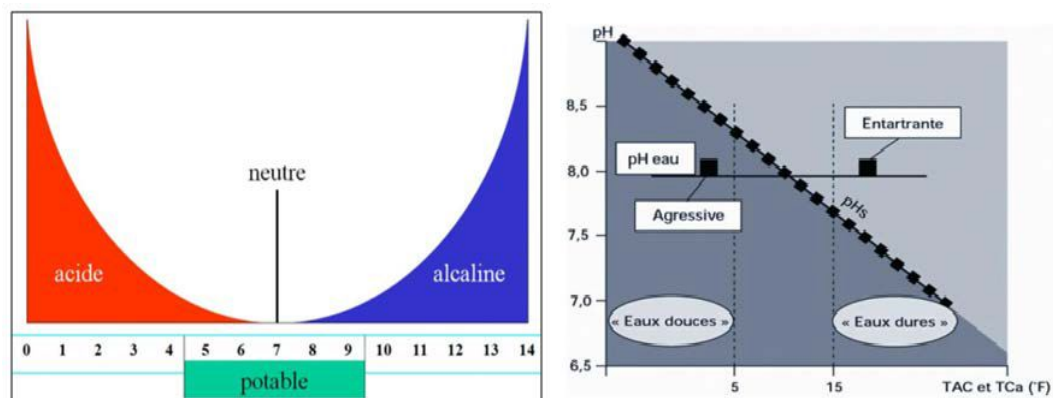


Fig. 39: Caractéristique de l'eau en fonction du pH

Les valeurs des échantillons analysés (Fig.40) présentent un pH oscillant entre 6,9 et 7,53 donc presque neutre.

2.2.1.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (Fig.41) permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. Pour l'eau d'alimentation la valeur guide est de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La plus faible valeur de la conductivité est marquée au niveau du forage K1 avec 423 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (eau de bonne qualité) et elle devient très élevée (3610 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au niveau du forage F6. Ces différences sont dues aux apports pluvieux qui diluent les concentrations et à l'effet de la dissolution des évaporites.

2.2.1.4. Salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium ...etc.). Les salinités mesurées au niveau des forages et puits (Fig.42) varient de 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,66 ‰) au niveau de P1 à 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1,8 ‰) au niveau de F6.

2.2.1.5. Solide total dissous (TDS)

L'origine du TDS est liée à la présence de certains éléments : Cl^- et Na^+ présentant des concentrations variables. Les valeurs de TDS (Fig.43) durant le mois varient de 665,5 mg/l (F1) à 1805 mg/l (F6).

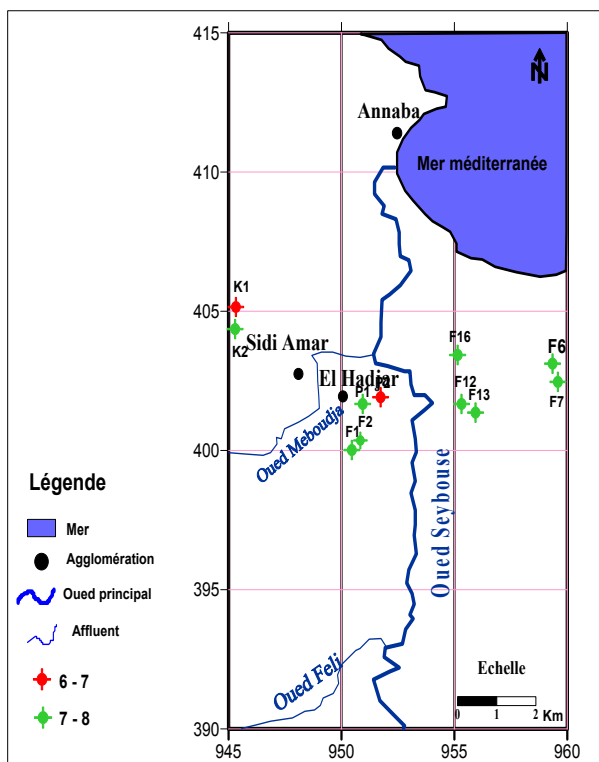


Fig. 40: Carte de la distribution spatiale du pH
(Forages et puits, Septembre 2017)

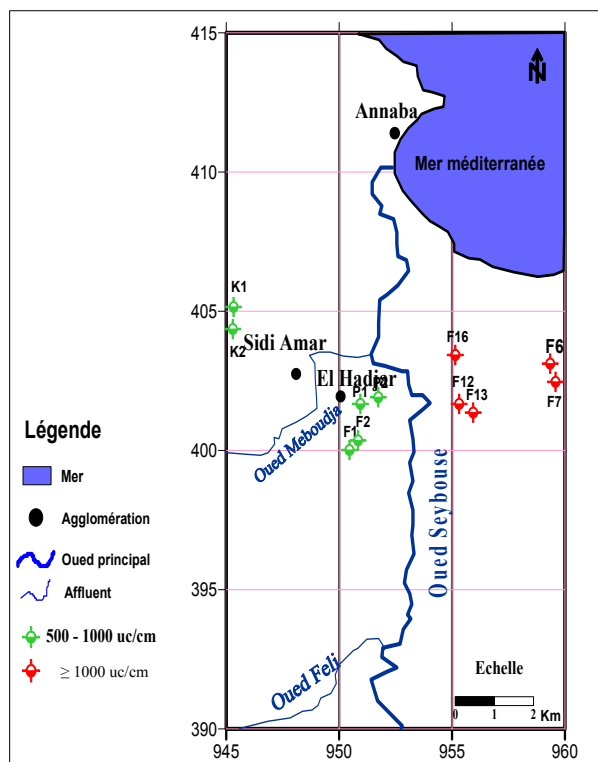


Fig. 41 : Carte de la distribution spatiale de la CE
(Forages et puits, Septembre 2017)

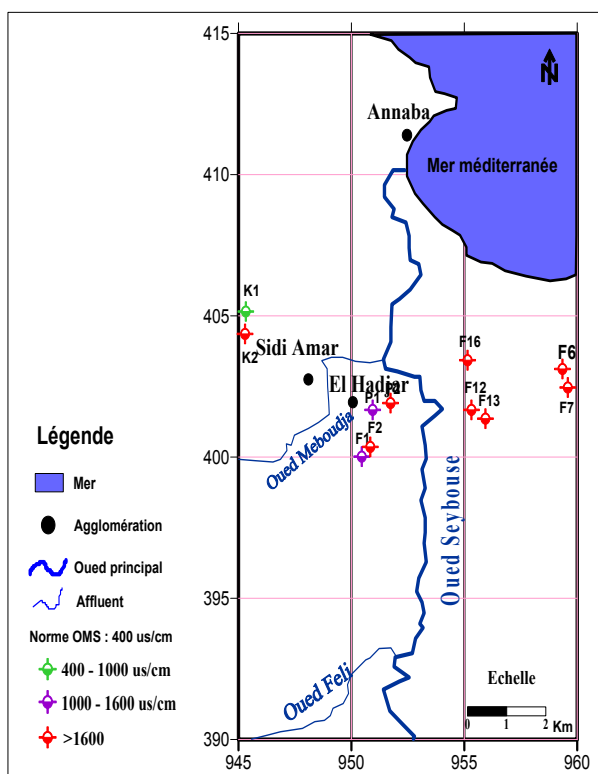


Fig. 42 : Carte de la distribution spatiale de la salinité
(Forages et puits, Septembre 2017)

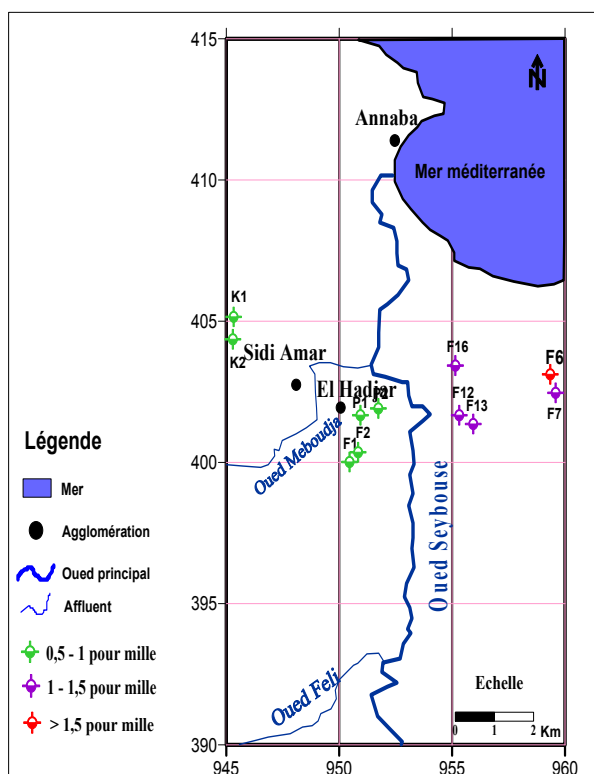


Fig. 43 : Carte de la distribution spatiale du total solide dissous
(Forages et puits, Septembre 2017)

2.3. Analyses aux laboratoires

2.3.1. Eléments majeurs

2.3.1. 1. Cations

2.3.1.1.1. Calcium (Ca^{2+})

Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées (CaCO_3) ou gypseuses (CaSO_4). La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Les fortes valeurs (Fig.44) sont remarquées au niveau du forage F12 (165,35 mg/l), alors que les faibles teneurs se trouvent au niveau de forage K1 (40,08 mg/l). Ces teneurs dépassent la valeur guide de l'OMS (50 mg/l) en raison des engrais agricoles ou du lessivage des formations métamorphiques (cipolins).

2.3.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})

Second élément intervenant dans la dureté totale de l'eau, le magnésium a des origines semblables à celles du calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées (calcaires dolomitiques, magnésites, dolomites, etc) en présence du gaz carbonique mais sa mise en solution nécessite un temps de contact plus long avec la roche. Le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. En effet, ces forages et puits (Fig.45) présentent des teneurs en magnésium inférieures à 200 mg/l (norme OMS) et elles sont relativement faibles par rapport à celles du calcium. Ces teneurs varient de 55,48 mg/l (F16) à 123 mg/l (F7).

2.3.1.1.3. Sodium (Na^+)

Mis à part la dissolution des couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- Du lessivage des formations riches en Na Cl (argiles, marnes, etc).
- De la décomposition des sels minéraux comme les Silicates (argiles).
- Des rejets d'eau usée d'origine industrielle et domestique.
- De l'invasion des eaux marines dans les régions côtières.

Le pic pour cet élément (Fig.46) est enregistré au niveau du forage F16 (405,3 mg/l), alors que le minimum est remarqué au niveau du forage F1 (60 mg/l).

Dans notre cas l'origine du sodium est liée principalement suivant les trois premières origines citées ci-dessus.

2.3.1.1.4. Potassium (K^+)

C'est l'ion le moins abondant des cations. Il peut provenir du lessivage des terrains argileux par l'altération des Feldspaths, des Micas, etc.

Dans notre terrain ses teneurs (Fig.47) dépassent rarement la norme (12 mg/l), elles sont enregistrées au niveau des forages K1 (15 mg/l) et K2 (16,3 mg/l) situés à l'Ouest de la plaine.

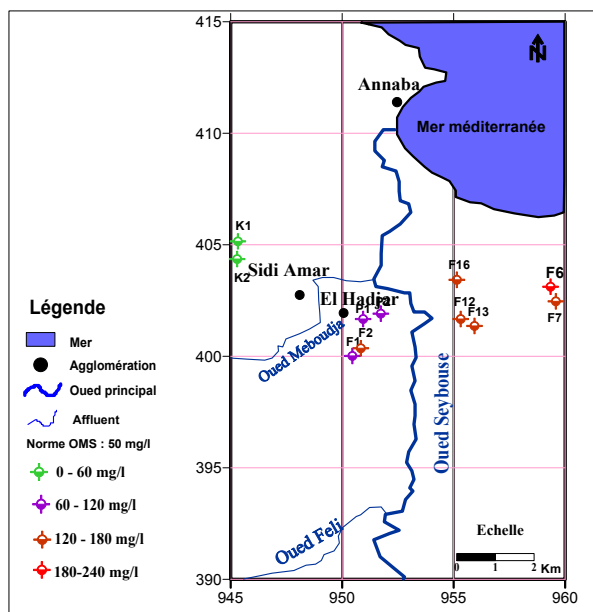


Fig. 44 : Carte de la distribution spatiale de calcium
(Forages et puits, Septembre 2017)

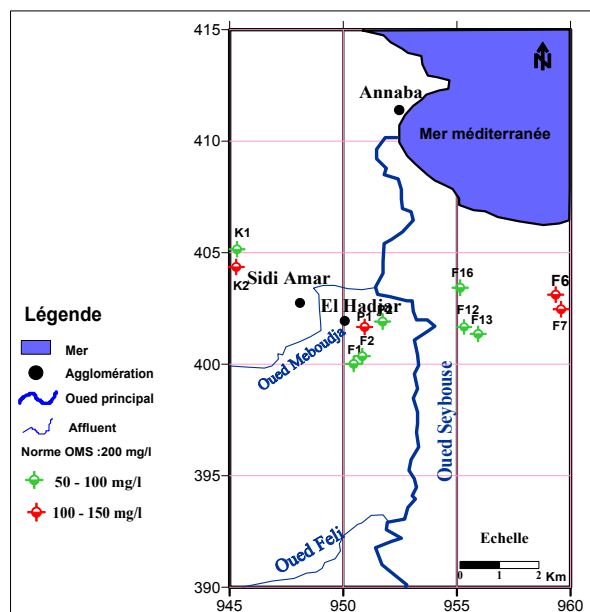


Fig. 45 : Carte de la distribution spatiale de magnésium
(Forages et puits, Septembre 2017)

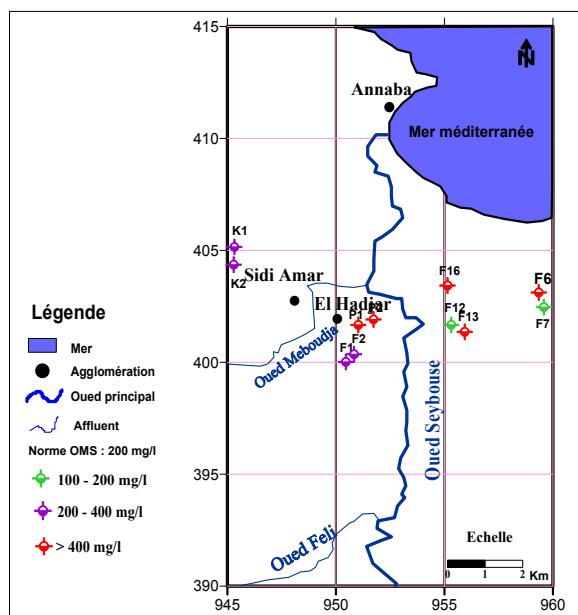


Fig. 46 : Carte de la distribution spatiale de sodium
(Forages et puits, Septembre 2017)

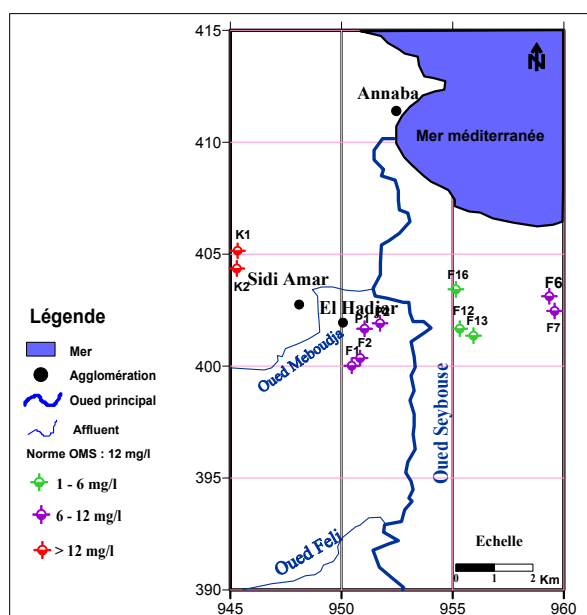


Fig. 47: Carte de la distribution spatiale de calcium
(Forages et puits, Septembre 2017)

2.3.1.2. Les anions

2.3.1.2.1. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures peuvent provenir soit :

- De la dissolution des formations salifères ;
- De l'intrusion marine (biseau salé) ;
- D'une contamination par les eaux usées domestiques et industrielles ;
- Ils proviennent aussi de l'évaporation intense qui provoque l'augmentation des concentrations en ions Cl⁻ et se produit dans les régions où le niveau statique est proche de la surface du sol (Labar, 2003).

Les valeurs des chlorures (Fig.48) s'étalent entre 150,33 mg/l (F2) et 493,5 mg/l (F16).

2.3.1.2.2. Sulfates (SO₄⁻²)

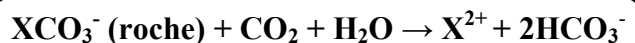
Les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Ils peuvent provenir:

- De la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses (CaSO₄, 2H₂O).
- Du lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe.
- De l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (ex: la pyrite FeSO₄).
- Des eaux usées industrielles qui contiennent souvent des sulfates divers ainsi que l'acide sulfurique (H₂SO₄).
- De l'eau de la pluie par l'oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse.
- De la matière organique végétale.
- De l'utilisation des engrais chimiques en agriculture.

Les teneurs les plus élevées (Fig.49) sont observées au niveau du forage F12 (196 mg/l) alors que les teneurs les plus faibles sont observées au niveau du forage F2 (96 mg/l).

2.3.1.2.3. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Leur concentration dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau.
- Le pH de l'eau.
- Tension du CO₂ dissous.
- Concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés.

Dans notre terrain, les valeurs les plus élevées en bicarbonates (Fig.50) se situent au niveau du forage « F16 » avec une teneur qui dépasse les 250 mg/l atteignant 256,68 mg/l et la teneur minimum est observée au niveau du forage K2 avec 85,57 mg/l.

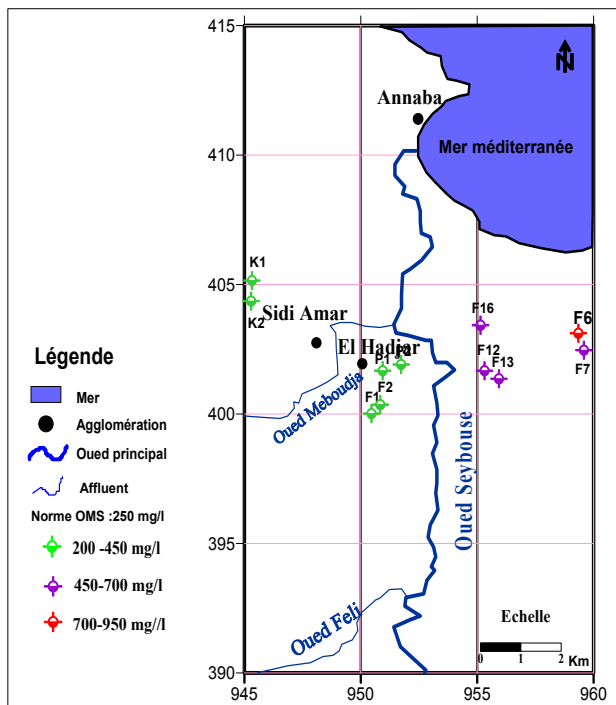


Fig. 48: Carte de la distribution spatiale des chlorures (forages et puits, Septembre 2017)

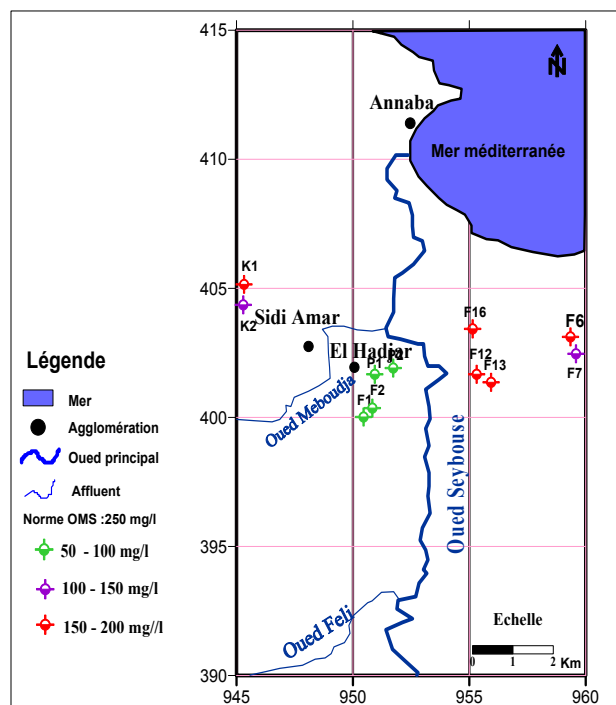


Fig. 49 : Carte de la distribution spatiale des sulfates (forages et puits, Septembre 2017)

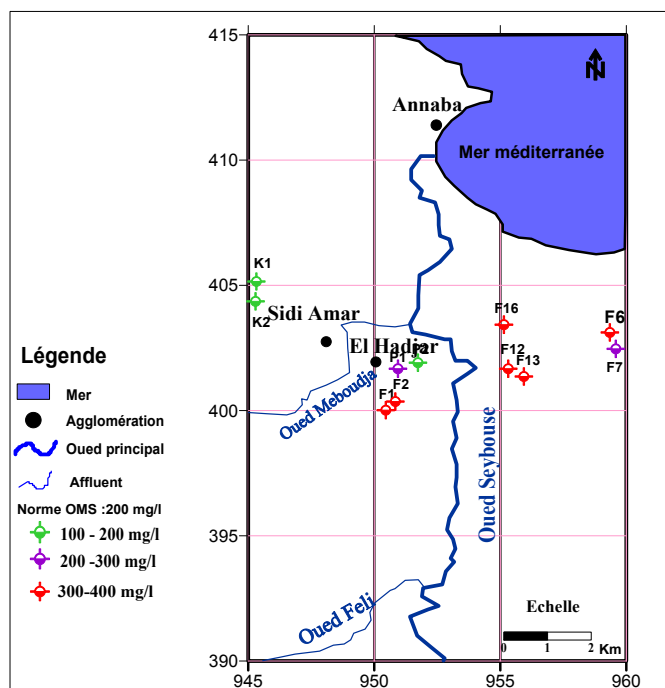


Fig. 50: Carte de la distribution spatiale de bicarbonate (Forages et puits, Sept. 2017)

2.3.1.3. Le cycle d'azote

Les ions nitrites et nitrates se rencontrent dans la nature où ils font partie du cycle de l'azote. L'ion (NO_3^-) est la forme la plus stable de l'azote dans les composés contenant du dioxygène ; bien que chimiquement inerte, il peut être réduit par certains micro-organismes.

La présence des nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle (Ahonon, 2011). Dans les régions industrielles, la teneur en nitrates de l'eau de pluie peut atteindre 5 mg/l. Dans les régions rurales, les teneurs sont un peu plus faibles. Normalement la teneur en nitrates des eaux de surface est faible (0-18 mg/l). Cette teneur varie souvent avec la saison et peut augmenter lorsque les rivières sont alimentées par des aquifères riches en nitrates.

2.3.1.3.1. Nitrates (NO_3^-)

On remarque (Fig.51) que la teneur maximale (5,57 mg/l) des nitrates est enregistrée au niveau de forage F13, comme la valeur minimale (1,01 mg/l) est enregistrée au niveau du forage F1. Ces valeurs sont faibles par rapport à la valeur limite pour les eaux potable (50 mg/).

2.3.1.3.2. Nitrites (NO_2^-)

Les teneurs en nitrate (Fig.52) varient de 0,018 mg/l à 0,11 mg/l durant toute l'année, ces concentrations restent faible et ne dépassent pas la valeur limite pour les eaux potable (0,2 mg/l). Ces faibles valeurs indiquent que l'eau des forages et puits est bien oxygénée et la dégradation de la matière organique est plus ou moins complète.

2.3.1.3.3. Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et kimstach, 1996). Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation. Cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO_2 et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau (Belhadj, 2006).

On remarque que les valeurs d'ammonium mesurées au niveau des forages et puits (Fig.53) varient entre 0,02 mg/l et 0,86 mg/l.

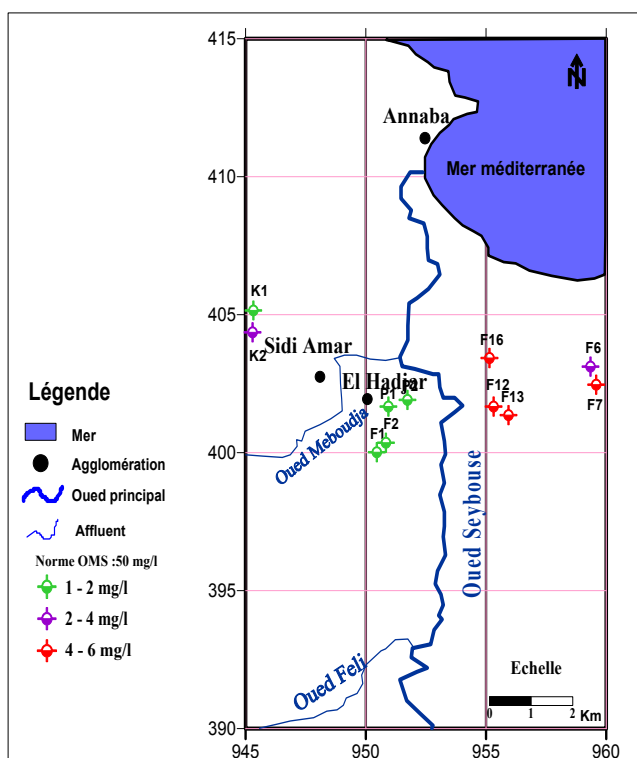


Fig. 51: Carte de la distribution spatiale des nitrates

(Forages et puits, Septembre 2017)

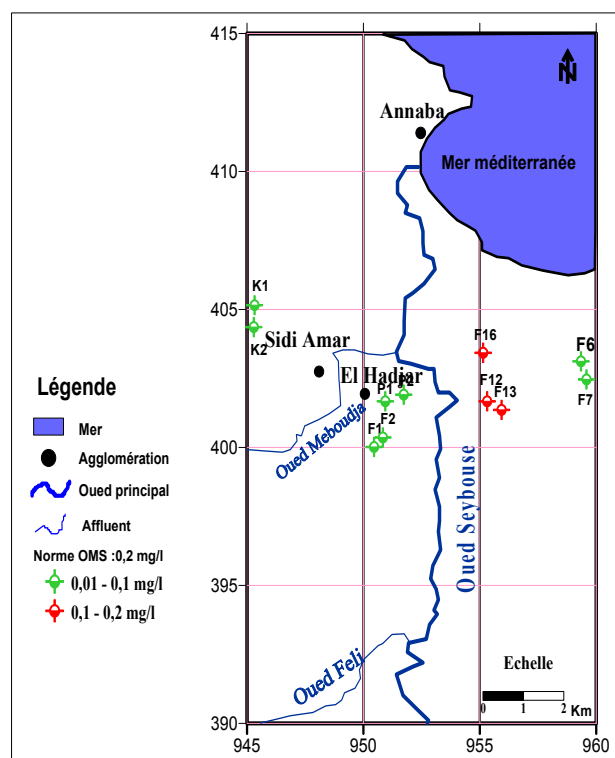


Fig. 52: Carte de la distribution spatiale des nitrites

(Forages et puits, Septembre 2017)

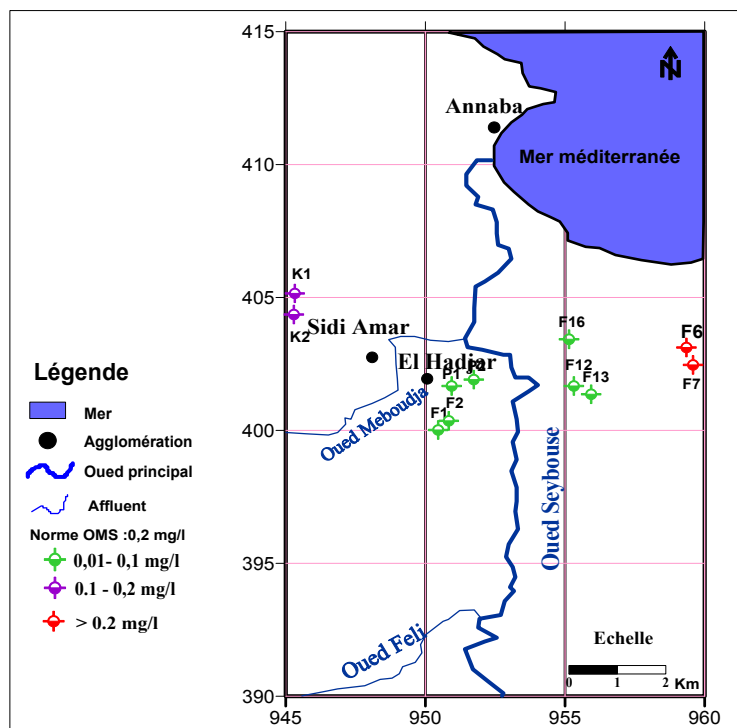


Fig. 53: Carte de la distribution spatiale de l'ammonium (Forages et puits, Septembre 2017)

2.3.2. Les éléments métalliques traces (Fe^{2+})

Seul le fer total parmi les ETM est analysé (Fig.54). Les concentrations du fer total varient de 0,01 mg/l (F6) à 5 mg/l (F2). La majorité de ces forages représente de fortes concentrations en fer total (dépassant la norme de l'OMS: 0,2 mg/l) indiquant la présence d'une pollution par se dernier, ils sont situés au niveau d'El Hadjar à proximité des rejets industriels (ARCELOR MITTALL et SIDER) et d'autres industries. Seuls quelques forages (F6, F12, F13 et F16) qui se situent loin des industries représentent des valeurs faibles.

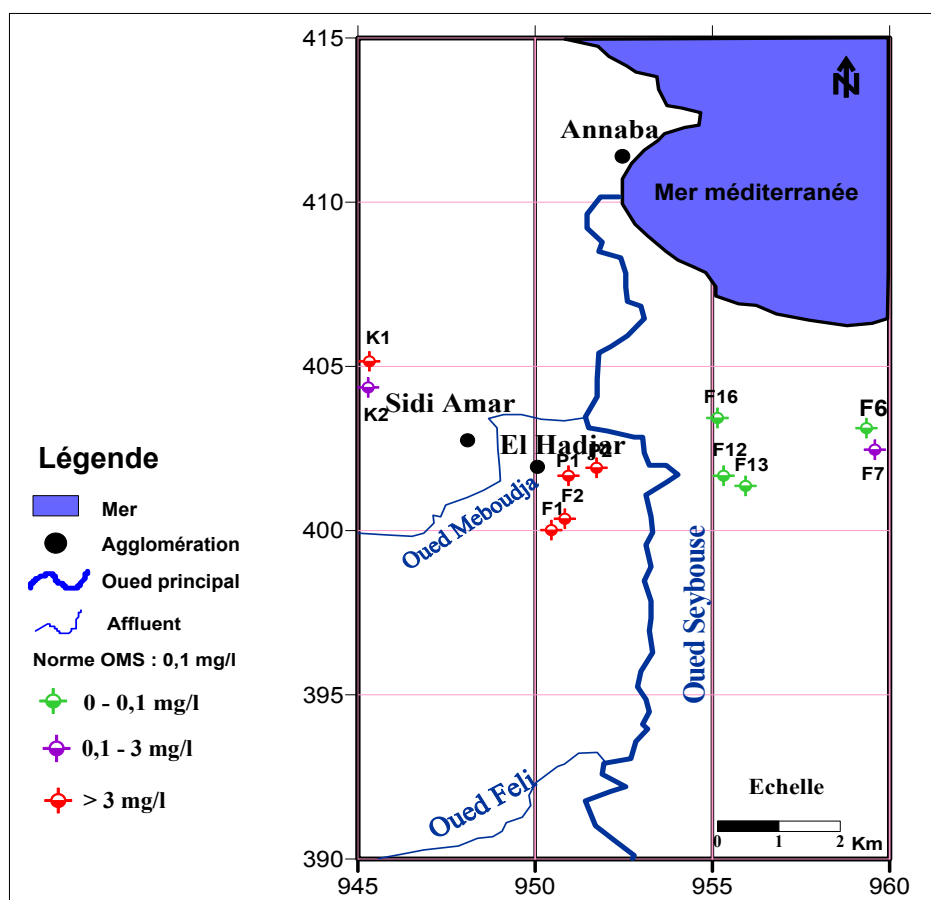


Fig. 54: Carte de la distribution spatiale du fer (Forages et puits, Septembre 2017).

2.4. Le faciès chimique

L'interprétation des résultats des analyses chimiques révèle que le faciès chloruré - calcique (F2, F6, F7, F12, F13, F16, P1 et P2) est le plus dominant, ensuite le chloruré – magnésien (K1, K2) et enfin le bicarbonaté-calcique (F1).

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

Tableau 23. Classification des eaux souterraines (Septembre 2017) selon la formule caractéristique de Stabler.

Point d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
F1	$\text{HCO}_3 \geq \text{Cl} \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté - Calcique
F2	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré - Calcique
F6	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
F7	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
F12	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
F13	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
F16	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
K1	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Mg}^{2+} \geq \text{Ca}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Magnésien
K2	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Mg}^{2+} \geq \text{Ca}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Magnésien
P1	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique
P2	$\text{Cl} \geq \text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$ $\text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+} \geq (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré-Calcique

D'après cette classification, on a pu réaliser une carte de faciès chimiques concernant les eaux souterraines (Fig.55) pour la période de septembre 2017, qui permet de visualiser la localisation du faciès sur la plaine et l'évolution chimique des eaux souterraines.

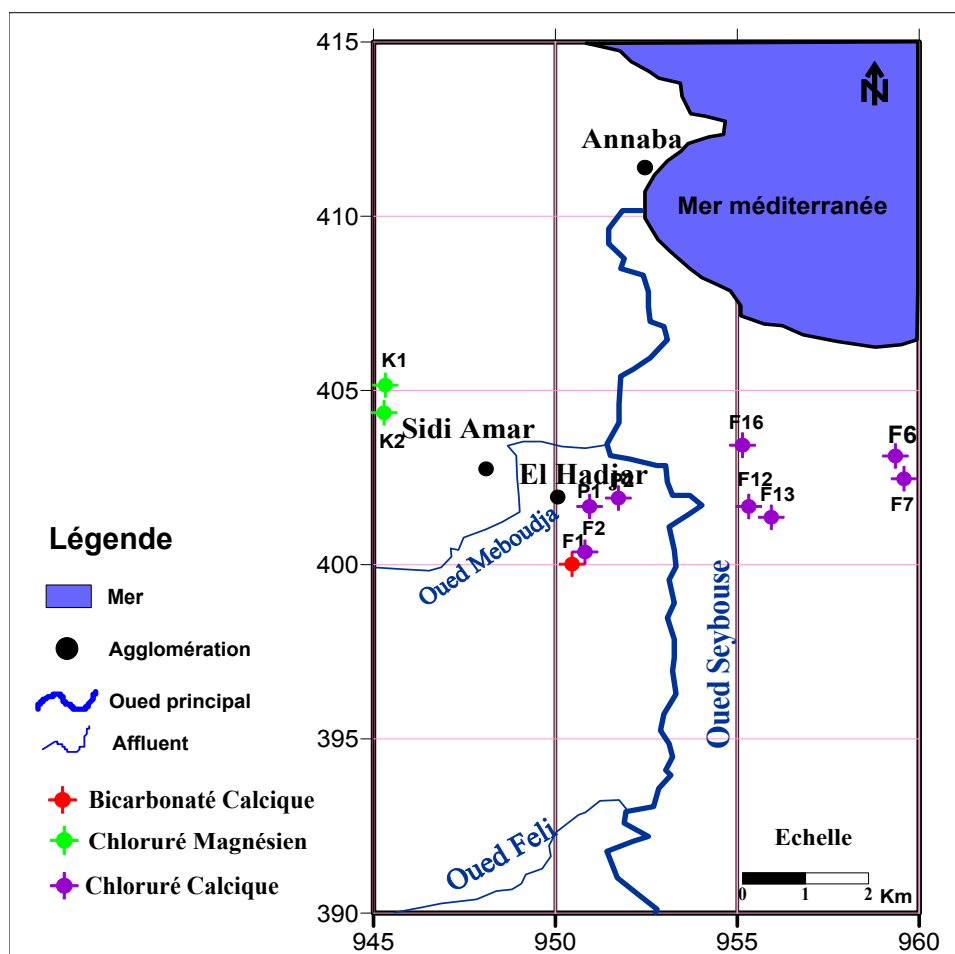


Fig. 55 : Carte de faciès chimiques (Forages et puits, Septembre 2017).

2.4.1. Représentation graphique des analyses chimiques

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté ces derniers sur les diagrammes de Piper et Richards.

2.4.1.1. Diagramme de Piper

Pour une bonne visualisation des résultats, on a représenté les concentrations des éléments chimiques des différents points d'eau (forages et puits) sur le diagramme de Piper (Fig.56) durant la période de Septembre 2017. L'interprétation des résultats montre que la majorité des échantillons coïncide avec les pôles caractérisant les faciès Chloruré Calcique et magnésien. Il indique une dissolution des roches évaporitiques riches en sels et en gypses. Le losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs (cations et anions s'explique comme suit :

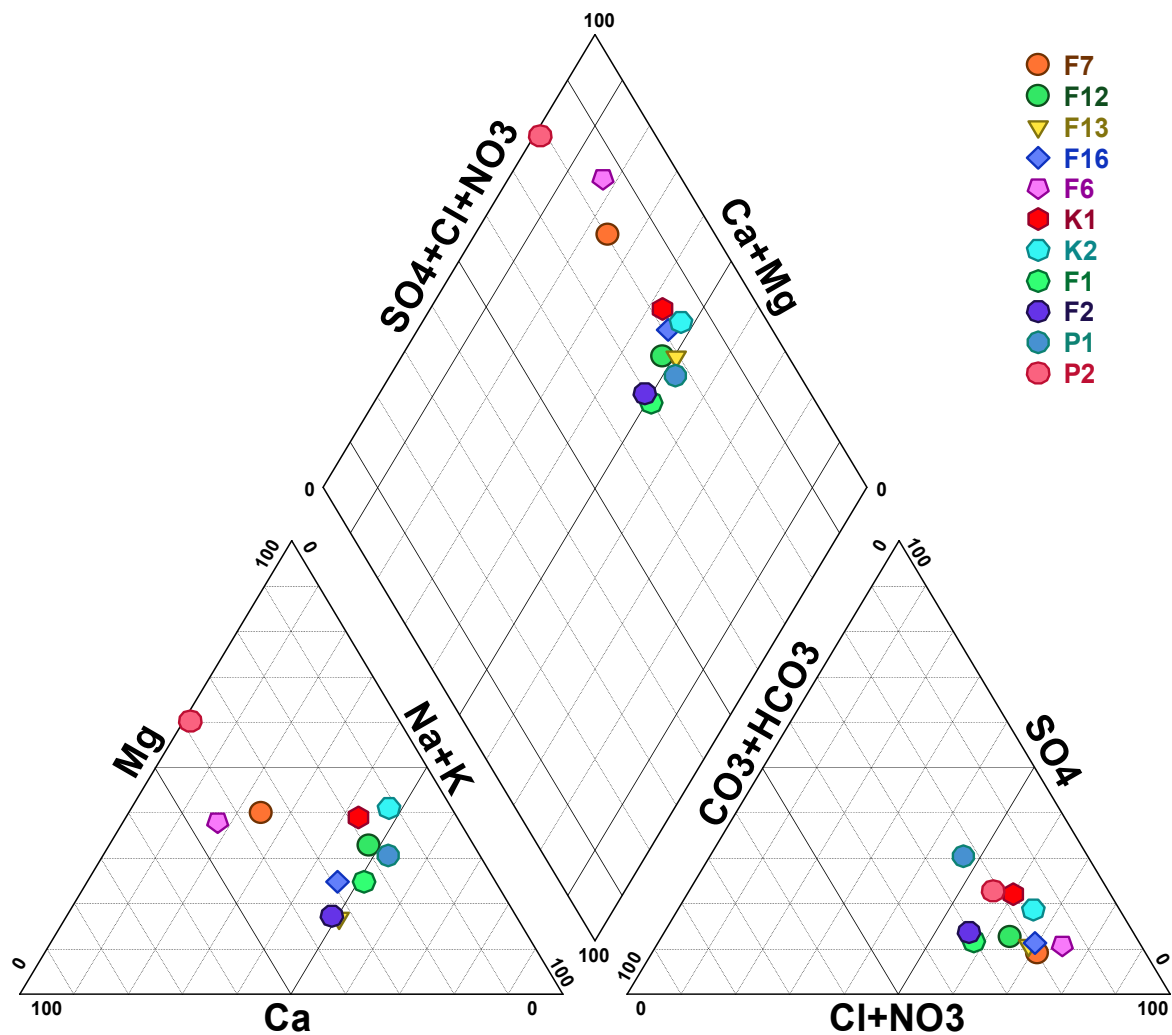


Fig. 56: Représentation de diagramme de Piper (Forages et puits, Septembre 2017)

2.4.1.2. Aptitude des eaux à l'irrigation (diagramme de Richards)

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

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

D'où : Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en méq/l.

Les valeurs de SAR sont représentées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, cette dernière permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est exprimée en $\mu S/cm$. Les résultats obtenus par le diagramme de Richards (Fig.57) nous montrent que

toutes les valeurs se trouvent dans la classe $C_0 S_1$, indiquant une eau de faible salinité, elle convient à l'irrigation sans danger.

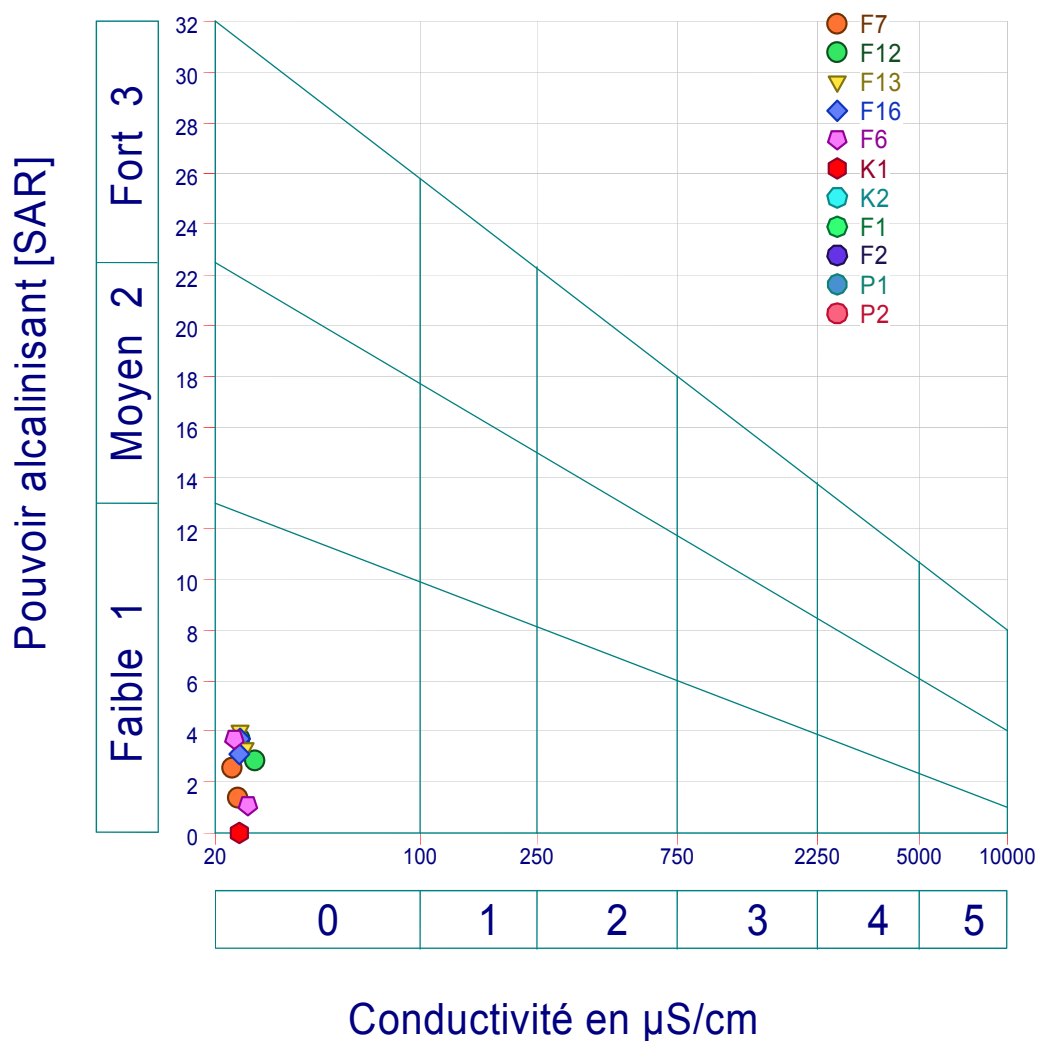


Fig. 57: Représentation de diagramme de Richards (Forages et puits, Sept. 2017)

3. Les eaux superficielles (Eaux de barrage Mexa)

3.1. Représentation du barrage Mexa

Le barrage Mexa appartient à la wilaya d'El Tarf sur l'oued kébir - Est à l'endroit connu comme la Gorge de Mexa à 3 km environ, en amont du pont sur la route nationale N°44.

Le barrage joue un double rôle d'où:

- Il assure l'alimentation en eau potable de la ville d'Annaba et celle d'El Tarf ville et ses environs (Souarahekh, El Aioun, Ramel Souk, Dréan, Besbes, Ben M'hidi, El Chatt, Ben Amar, Ain Assel).

- Il régularise les crues de l'oued kébir et réduit les inondations vers les plaines d'El Tarf.

3.2. Qualité des eaux de barrage Mexa

Pour avoir une idée sur la variation temporelle de la qualité des eaux traitées du barrage Mexa, on a jugé utile d'étudier l'évolution de la qualité de ces eaux. On a pris en considération les résultats des analyses chimiques effectuées par le laboratoire central de l'ADE (Annaba). Des données mensuelles retenues dans notre étude, représentent les valeurs mensuelles enregistrées durant la période de septembre 2017.

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

3.3. Résultats des analyses physico-chimiques

3.3.1. Composition chimique

Pour avoir une idée sur la chimie de l'eau traitée du barrage Mexa, on a réalisé un diagramme radial (Fig.58) à partir des éléments majeurs analysés en mg/l pendant l'année 2017. Ce diagramme montre que ces eaux ont des teneurs :

- Elevées en : Potassium
- Moyennes en : Magnésium, Calcium et bicarbonate;
- Faibles en : Sodium et Chlorure.

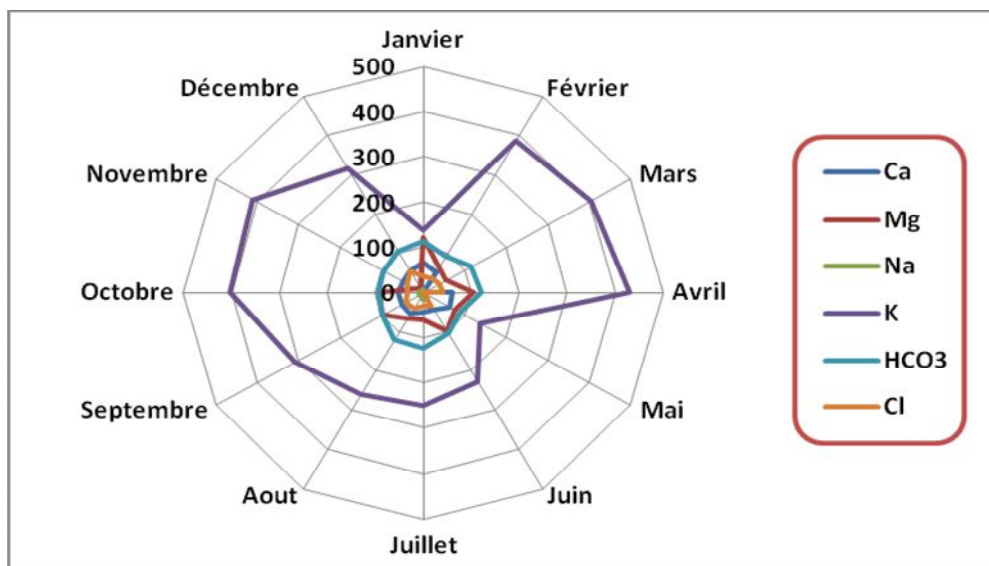


Fig. 58: Composition chimique des eaux traitées du barrage Mexa (2017)

3.3.2. Diagramme de Piper :

L'interprétation de diagramme de Piper (Fig.59) montre que les eaux traitées du barrage sont classées en trois faciès chimiques dominants :

- Chloruré-magnésien ;
- Sulfaté-calcique ;
- Chloruré Sodique et Potassique.

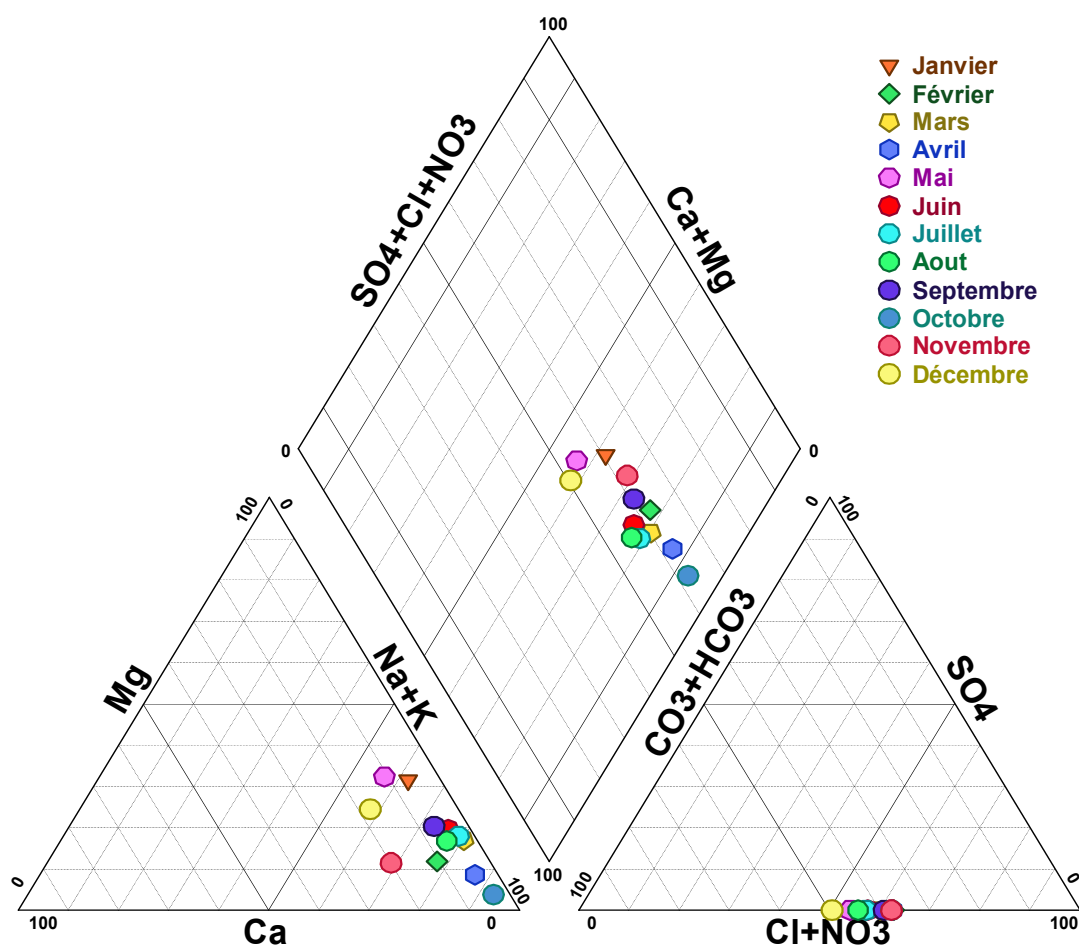


Fig. 59: Représentation de diagramme de Piper (Barrage Mexa, 2017)

3.3.3. Diagramme de Stiff :

Le diagramme de Stiff (Fig.60) donne une interprétation claire sur les faciès chimiques. En plus cette représentation permet un archivage graphique des analyses chimiques.

Par ailleurs on aperçoit une forte extension des ions (SO_4^{2-}), (Cl^-), (Ca^{2+}), (HCO_3^-) et (Na^+) du polygone représentant les analyses des mois.

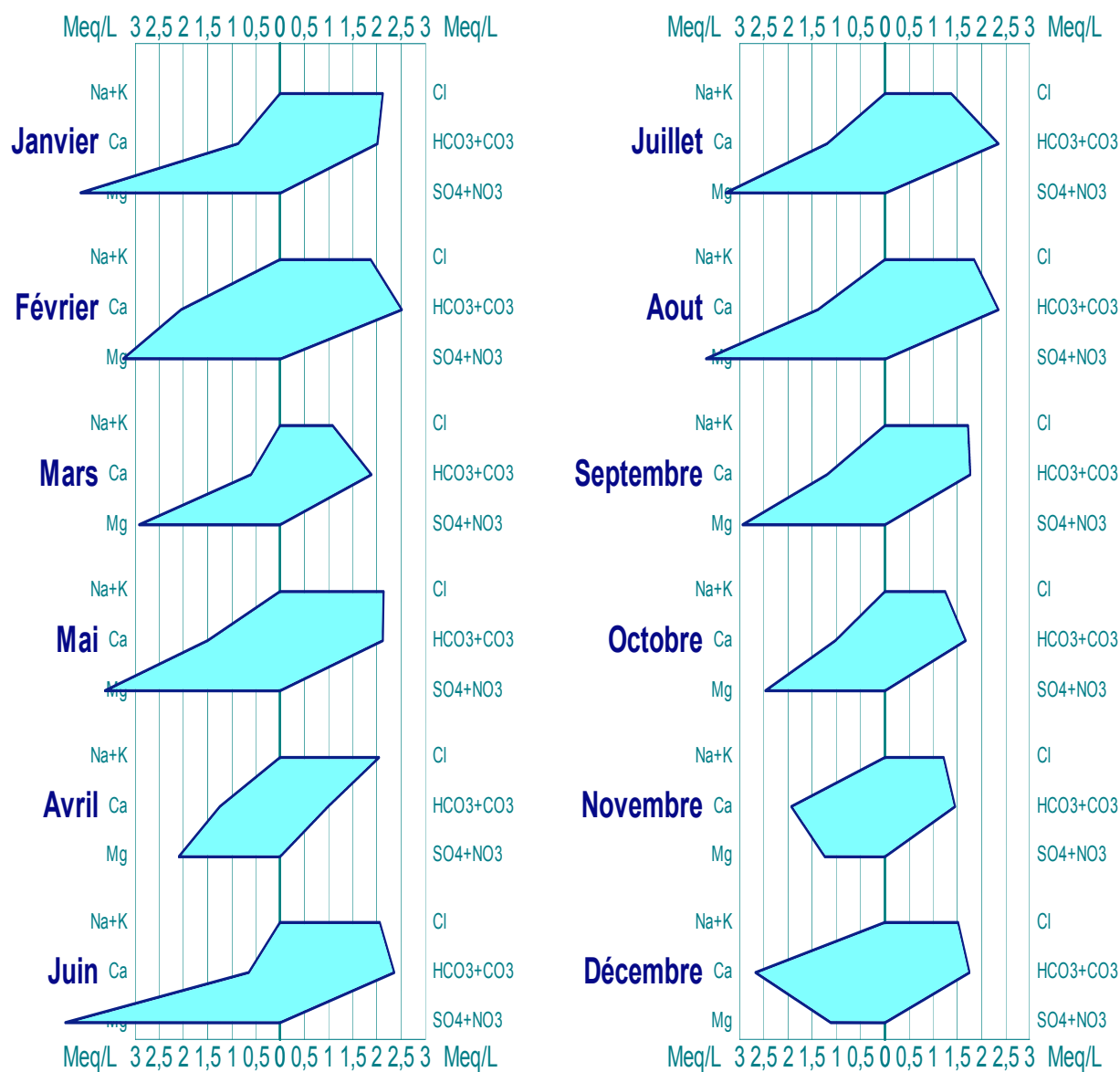


Fig. 60: Représentation de diagramme de Stiff (Barrage Mexa, 2017)

3.3.4. Evolutions des paramètres physico-chimiques

3.3.4.1. Les paramètres physiques

3.3.4.1.1. La température

Généralement les eaux du barrage Mexa (Fig.61) présentent des valeurs de la température ne dépassent pas la norme de potabilité qui est de l'ordre de 25°C durant toute l'année, à l'exception du mois de juillet (27,9 °C) et Aout (26,4°C).

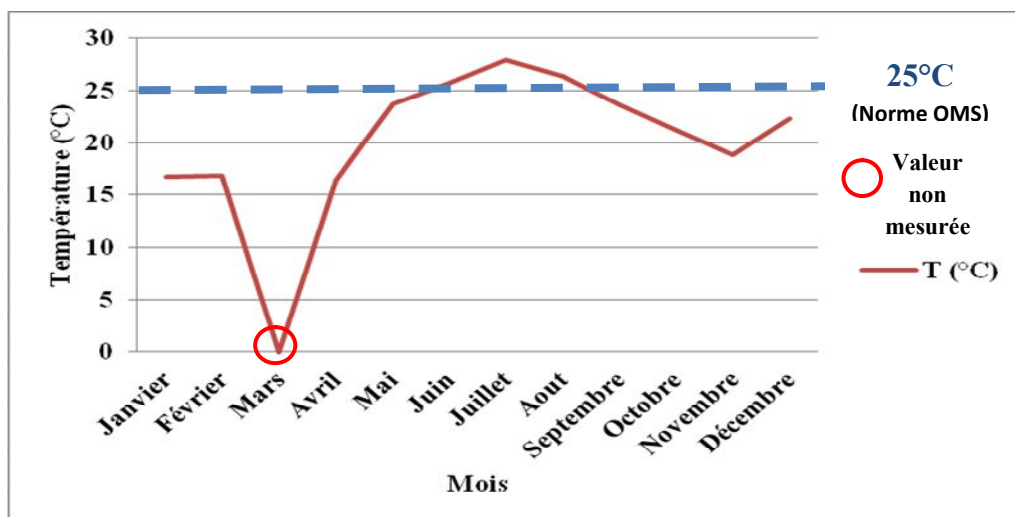


Fig. 61: Variations mensuelles des températures (Eaux de barrage Mexa, année 2017)

3.3.4.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

La courbe (Fig.62) montre que les eaux traitées du barrage Mexa ont un pH qui ne dépasse pas la norme de potabilité ($6,50 < \text{pH} < 8,50$). Ils oscillent autour de 6,78 (décembre) et 7,65 (janvier).

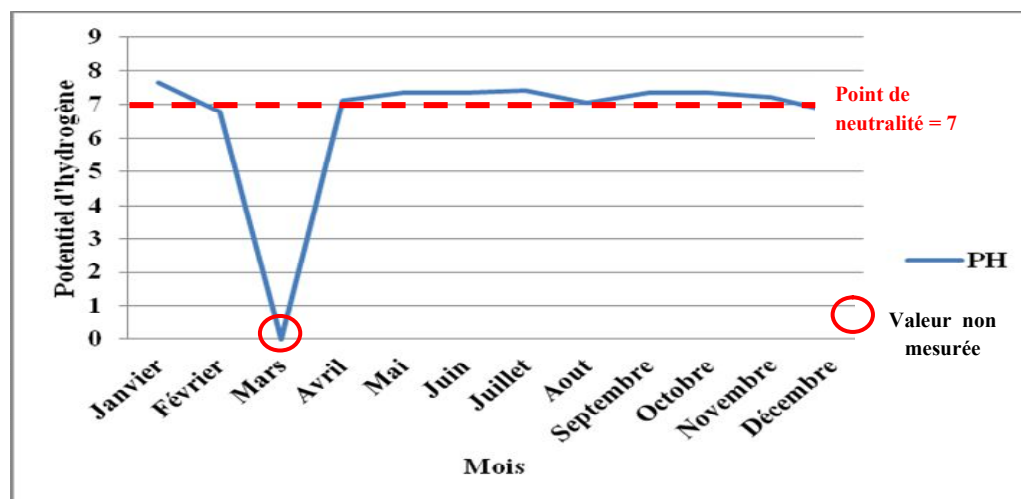


Fig. 62: Variations mensuelles du potentiel d'hydrogène (Eaux barrage Mexa, année 2017)

3.3.4.1.3. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux du barrage (Fig.63) varient de 391 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (février) à 547 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (novembre) d'où les faibles valeurs sont marquées pendant les mois les plus pluvieux (février, mars et avril) à cause de la dilution. Alors que les fortes

teneurs sont marquées au mois de septembre, octobre et novembre avec successivement (488 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 498 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 547 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à cause de la concentration des minéraux dans les eaux après l'évaporation.

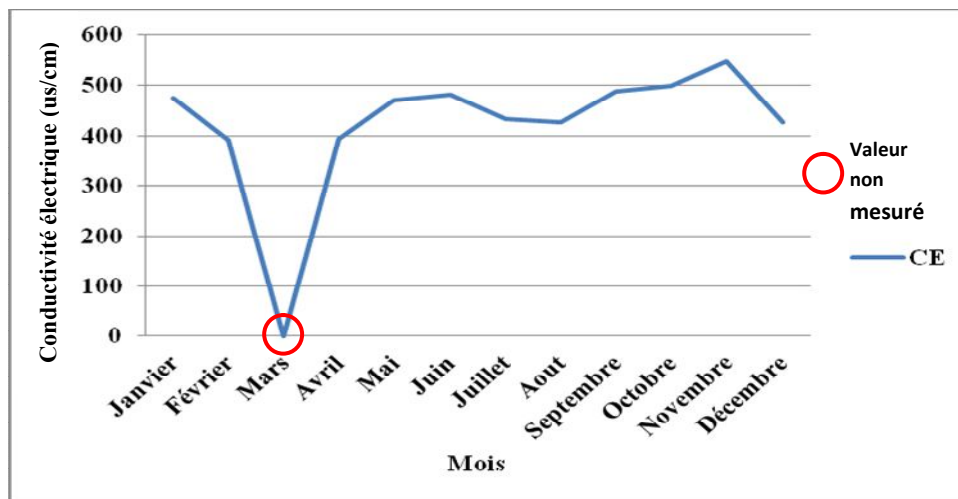


Fig. 63: Variations mensuelles de la conductivité électrique (Eaux barrage Mexa, 2017)

3.3.4.1.4. La salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium ...etc.). Les valeurs de la salinité observées (Fig.64) sont en variation mensuelles d'où elles passent de 0,15 ‰ (Juillet) à 0,28 ‰ (novembre).

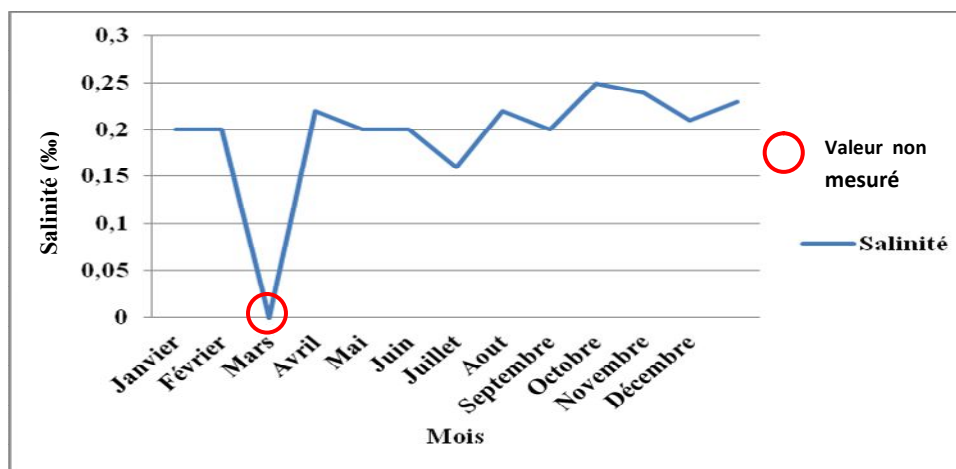


Fig. 64: Variations mensuelles de la salinité (Eaux de barrage Mexa, 2017)

3.3.4. 1.5. La turbidité

Les concentrations de la turbidité (Fig.65) sont plus au moins élevées durant toute l'année et atteint son maximum au mois d'octobre (634 NTU). Les valeurs les plus faibles sont observées au mois de septembre (33,6 NTU).

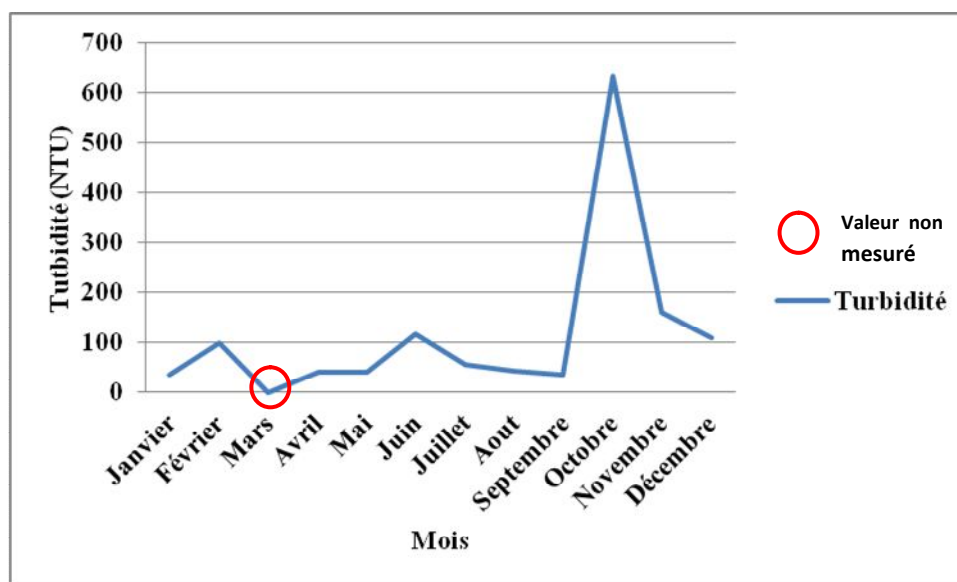


Fig. 65: Variations mensuelles de la turbidité (Eaux de barrage Mexa, 2017)

3.3.4.2. Les éléments chimiques :

3.3.4.2.1. Les cations

3.3.4.2.1.1. Calcium (Ca^{2+})

Les concentrations enregistrées pour cet élément (Fig.66) sont plus au mois variable durant toute l'année d'où elles dépassent les valeurs indicatives algériennes d'eau potable parus dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine au mois de janvier, février, avril, mai, aout, septembre et décembre.

3.3.4.2.1.2. Magnésium (Mg^{2+})

Sa concentration (Fig.67) est variable dans le temps avec une légère augmentation qui commence en janvier (121 mg/l) et diminue au fur et à mesure avec le temps pour atteindre sa plus faible concentration au mois de décembre (13,61 mg/l).

3.3.4.2.2. Les anions

3.3.4.2.2.1. Chlorures (Cl)

Les concentrations des chlorures sont en variation brusque durant toute l'année avec des valeurs qui ne dépassent pas la valeur indicative des eaux de potabilité (Fig.68). Elles varient de 28,71 mg/l (juillet) à 54,11 mg/l (décembre).

3.3.4.2.2.2. Bicarbonates (HCO_3^-)

Dans le barrage Mexa, les valeurs en bicarbonates (Fig.69) ne dépassent pas la norme durant toute l'année d'où elles varient de 88,08 mg/l (mai) à 123,1 mg/l (juillet).

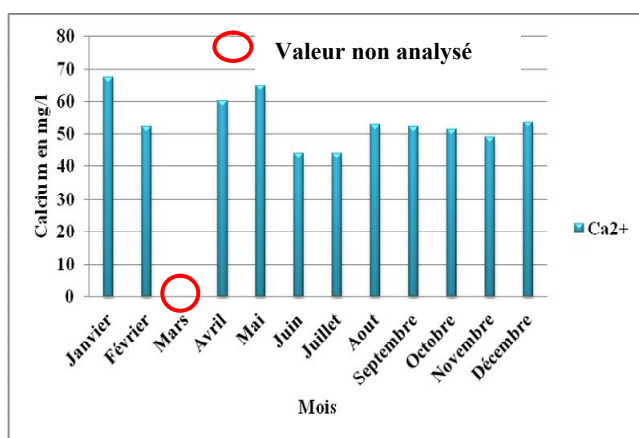


Fig. 66: Evolution mensuelle de calcium
(Barrage Mexa, année 2017)

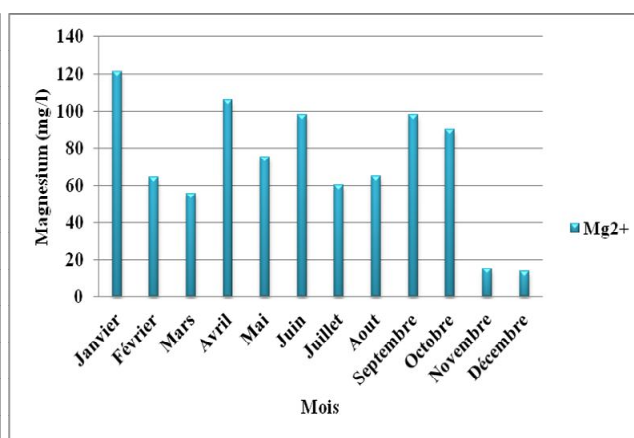


Fig. 67: Evolution mensuelle de magnésium
(Barrage Mexa, année 2017)

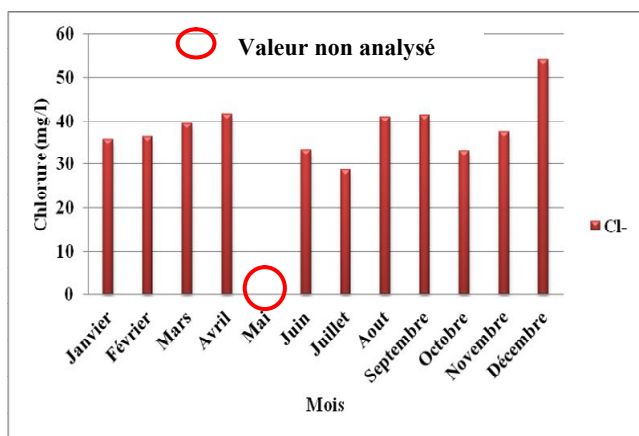


Fig. 68: Evolution mensuelle des chlorures
(Barrage Mexa, année 2017)

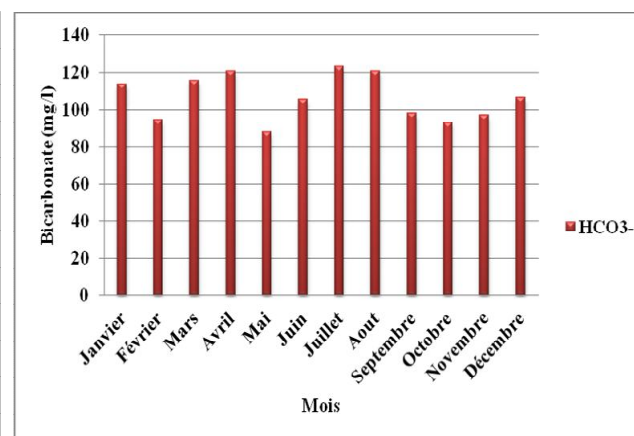


Fig. 69: Evolution mensuelle des bicarbonates
(Barrage Mexa, année 2017)

3.3.4.3. Les nutriments

3.3.4.3.1. Nitrates (NO_3^-)

Les concentrations pour cet élément (Fig.70) donnent une information sur l'oxydation de la matière organique. Les teneurs de nitrate varient de 0,42 mg/l (avril) à 1,5 mg/l (juillet).

Ces concentrations sont faibles durant toute l'année et ne dépassent pas la norme (50 mg/l). Ces faibles valeurs indiquent que l'eau du barrage Mexa est bien oxygénée et la dégradation de la matière organique est plus ou moins complète.

3.3.4.3.2. Nitrites (NO_2^-)

Dans les eaux de barrage Mexa (Fig.71), les teneurs en nitrites sont faibles durant toute l'année. Elles varient de 0,02 mg/l (janvier) à 0,11mg/l (septembre).

3.3.4.3.3. Ammonium (NH_4)

Les concentrations les plus élevées d'ammonium (Fig.72) sont observées au mois d'octobre (0,25 mg/l) alors que les plus faibles sont observées au mois de juillet (0,06 mg/l). Généralement, les concentrations par cet élément sont inférieures à la valeur indicatif des eaux potable.

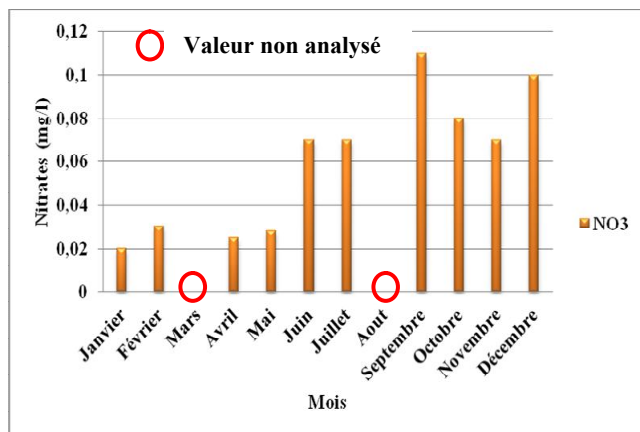


Fig. 70: Evolution mensuelle des nitrates
(Barrage Mexa, année 2017)

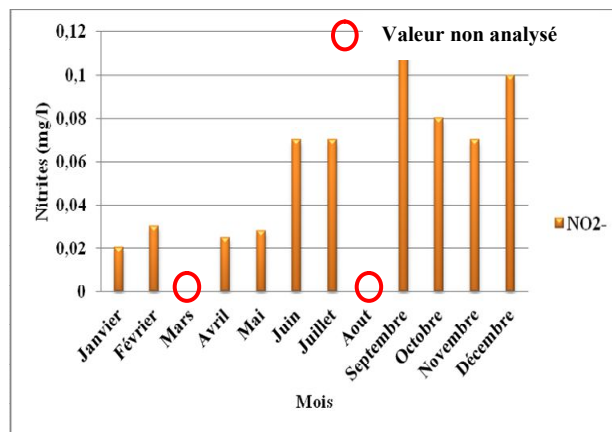


Fig. 71: Evolution mensuelle des nitrites
(Barrage Mexa, année 2017)

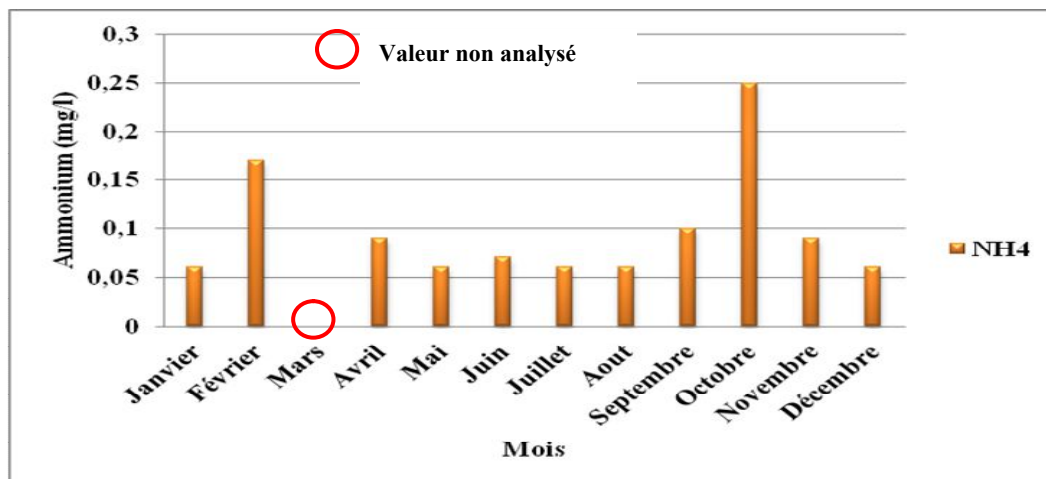


Fig. 72 : Evolution mensuelle de l'ammonium (Barrage Mexa, année 2017)

3.3.4.4. Les métaux lourds

3.3.4.4.1. Fer (Fe^{2+})

Seul le fer total qui était analysé ; la plus forte concentration par cet élément (Fig.73) est enregistrée au mois de juin (1,21 mg/l) et dépasse largement la valeur indicative de l'eau potable. Sa concentration diminue jusqu'à 0,01 mg/l (avril et décembre), 0,015 mg/l (mars) et 0,017 mg/l (mai).

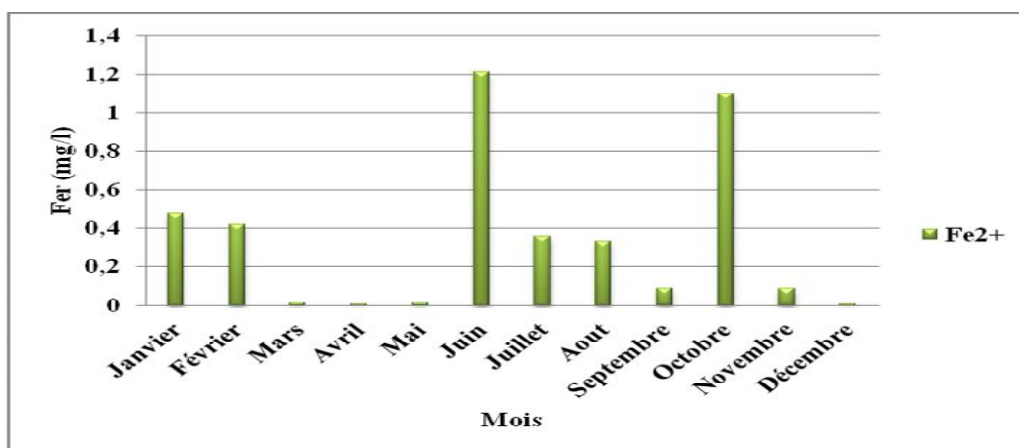


Fig. 73: Evolution mensuelle du fer (Barrage Mexa, année 2017)

4. Analyse en composante principale (ACP) pour les eaux souterraines (Forages et puits)

L'analyse en composante principale (A.C.P) est une méthode descriptive ayant pour objet la description des données contenues dans un tableau d'individus à caractères numériques (P), ces caractères sont mesurés sur (n) individus. Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre des caractères permettant une représentation géométrique des individus et des caractères. Cette réduction ne sera possible que si les (P) caractères initiaux ne soient pas indépendant et ont des coefficients de corrélation non nuls.

4.1. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation (Tableau 24) des eaux souterraines fait ressortir plusieurs corrélations très significatives notamment entre NO_2 et NO_3 ($r = 0.86$), CE et Ca^{2+} ($r = 0.92$), CE et Cl^- ($r = 0.87$), Ca^{2+} et Cl^- ($r = 0.85$), ce qui peut être dû à l'origine commun de ces éléments qui est le lessivage des engrais chimiques et les pesticides et la dissolution des évaporites ainsi que le lessivage des formations carbonatés. Pour le Mg^{2+} , K^+ , Na^{2+} , HCO_3^- et SO_4 , il n'y a pas un lien significatif entre eux et les autres éléments chimiques.

Tableau 24. Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques

	CE	NO_2	NO_3	PO_4	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO_3	SO_4
CE	1,00										
NO_2	0,44	1,00									
NO_3	0,69	0,86	1,00								
PO_4	0,28	0,36	0,29	1,00							
Ca	0,92	0,41	0,64	0,27	1,00						
Mg	0,12	-0,58	-0,14	-0,32	0,03	1,00					
Na	0,17	0,01	0,02	-0,36	0,09	0,23	1,00				
K	0,51	-0,25	-0,05	0,19	0,46	0,45	0,21	1,00			
Cl	0,87	0,56	0,760	0,46	0,85	0,08	0,15	0,57	1,00		
HCO_3	0,62	0,66	0,60	0,50	0,77	-0,56	-0,17	0,04	0,61	1,00	
SO_4	0,27	0,58	0,49	-0,08	0,34	-0,16	0,46	0,12	0,51	0,28	1,00

Le cercle de corrélation (Fig.74) F1-F2 totalise 67,38 % de la variance cumulée.

Le facteur F2 représentant 21,43 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points.

Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant la conductivité, les chlorures, le calcium et les sulfates cependant la partie positive est caractérisée par les nitrites, les nitrates, les bicarbonates et les phosphates et s'oppose au premier nuage de points.

L'axe F2 regroupe donc les chlorures, la conductivité électrique d'un côté et les s'opposent aux bicarbonates et les nutriments peut donc dire que c'est un axe représentant les eaux chloruré calcique, sulfaté calcique et polluées.

Le facteur F1 représentant 45,95 % de la variance totale montre dans sa partie positive, un point qui est le magnésium et l'autre partie négative regroupent le sodium, le potassium, les sulfates et d'autres. Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux souterraines qui sont le chloruré - sodique, le chloruré - calcique et le chloruré-magnésien, avec l'influence de la conductivité électrique et les sulfates.

La projection des individus selon le plan F1-F2 montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-magnésien. Dans le sens négatif un deuxième nuage de points s'oppose au premier et il est caractérisé par les faciès chloruré- calcique, et sodique et potassique. L'axe F1 a donc regroupé les individus présentant le même faciès chimique.

L'axe F3 quand à lui regroupe dans son sens positif les individus présentant des teneurs élevés en bicarbonate, les nutriments (NO_2 et NO_3) et les phosphates, dans son sens négatif, il individualise les forages F6 et F7 présentant de forte teneurs en chlorures, sulfates, sodium, potassium et calcium.

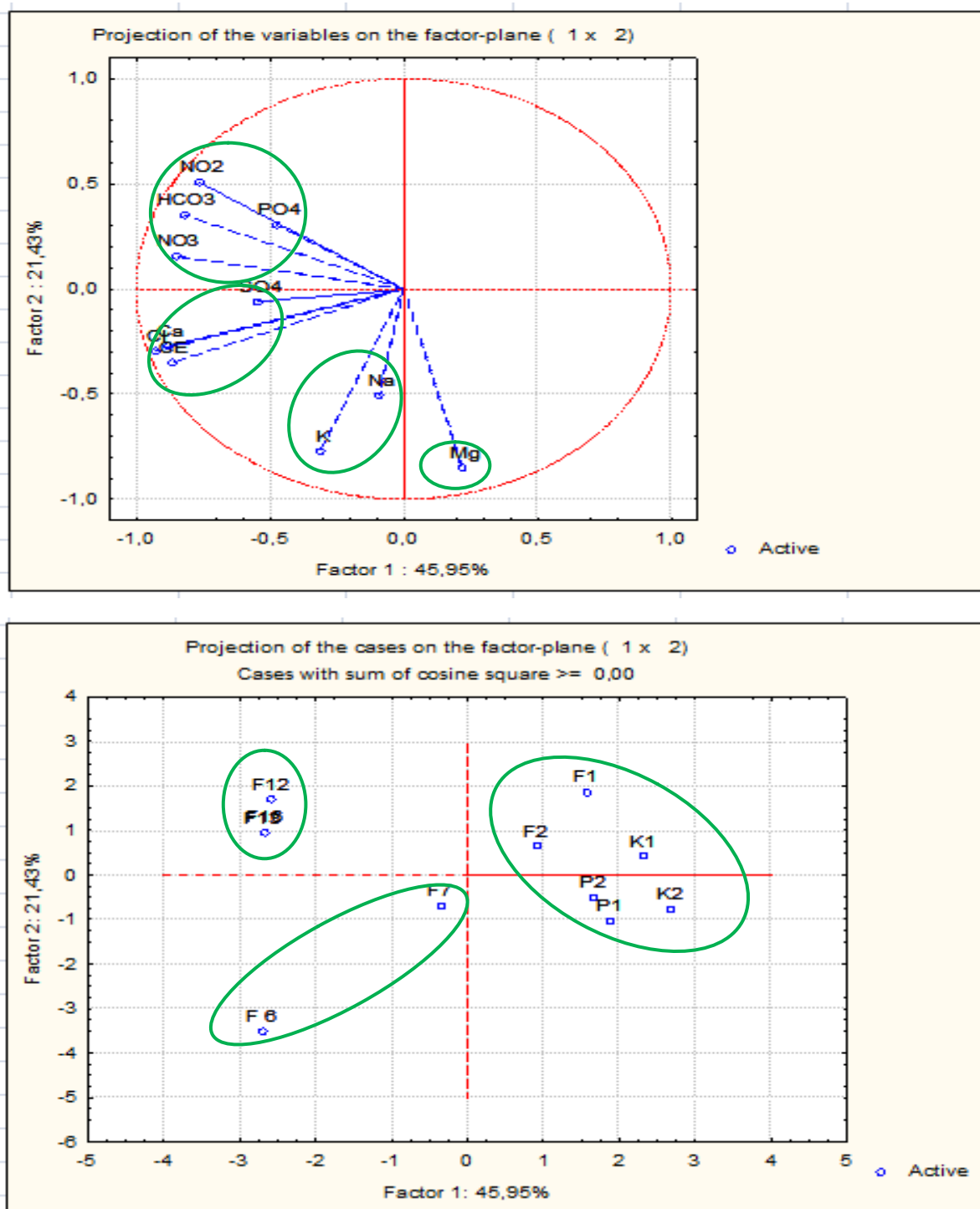


Fig. 74. Représentation graphique de l'A.C.P selon les axes F1 et F2

Conclusion

L'application des outils graphiques (cartographie, diagrammes, courbes de variations, diagramme de Piper, Richards...) et analyse en composante principale (ACP) sur les eaux souterraines (forages et puits) et superficielles (barrage Mexa) de la région d'Annaba nous laisse dire que :

-La nappe profonde (forages et puits) est soumise à plusieurs effets de contamination naturelle par l'existence des lentilles gypseuses, argileuses, salifères, la dissolution des formations carbonatées ainsi que l'influence des engrais chimiques et les pesticides (zone agricole au niveau d'El Hadjar) d'où la présence de ces éléments : Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, Fe.T, NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺.

Les eaux de surface (barrage Mexa) sont également affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine, agricole et l'oxydation de la matière organique étant donné qu'elles constituent le premier réceptacle des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Ca, Mg, Cl, SO₄.

Les eaux traitées du barrage Mexa sont caractérisées par trois faciès chimiques dominant : le chloruré - magnésien, le sulfaté - calcique et le chloruré sodique et potassique.

Les représentations graphiques de diagramme de Piper et celui de Stiff sur les résultats des analyses chimiques montrent le même résultat.

Du point de vue chlorures, sulfates, conductivité électrique, salinité et turbidité, les eaux traitées du barrage Mexa correspondent aux bonnes eaux.

Pour les nitrates, les nitrites et l'Ammonium sont présentes en faible quantité ce que montre que les eaux traitées du barrage Mexa sont excellentes et que la dégradation de la matière organique est totale, alors que le fer présente une grande quantité durant presque toute l'année à l'exception du mois de mars, avril, mai et décembre, ce que indique que ces eaux sont moyenne à passable qualité.

CHAPITRE 6

Pollution atmosphérique: Sources et dispersion

La pollution atmosphérique obéit à des mécanismes qui font que les polluants émis subissent une dispersion due aux conditions météorologiques ainsi que des transformations chimiques. L'intensité du trafic routier et le développement industriel sont les deux principales sources de la pollution atmosphérique.

1. Introduction

La pollution atmosphérique peut être définie par la présence de polluants (gazeux ou particules) dans l'atmosphère, pouvant provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé (Arquès, 1998). Les sources de cette pollution peuvent être soit naturelles (feu de forêt, éruption volcanique,...), soit anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité humaine (Mayer, 1999). Dans ce dernier cas, la pollution est souvent le résultat direct des progrès industriels de ces derniers siècles, comme par exemple l'émission continue et parfois sans précaution des polluants associés aux processus de combustion (véhicules automobiles, installations industrielles, production d'énergie par combustion...). Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien entre la dégradation de l'environnement et de la santé humaine, et la présence de ces polluants dans l'atmosphère (Monk, et al, 2009) (Anderson, 2009) (Kulkarni, et al, 2008) (FNORS, Septembre 2008). Ainsi, la pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ 800 000 décès prématurés chaque année dans le monde.

Annaba est considéré la capitale industrielle de l'Est Algérien et cela à cause de ces unités industrielles: le complexe d'El Hadjar «ARCELOR MITTAL», le complexe des engrais phosphaté «FERTIAL» et multitude d'entreprises implantées dans la région.

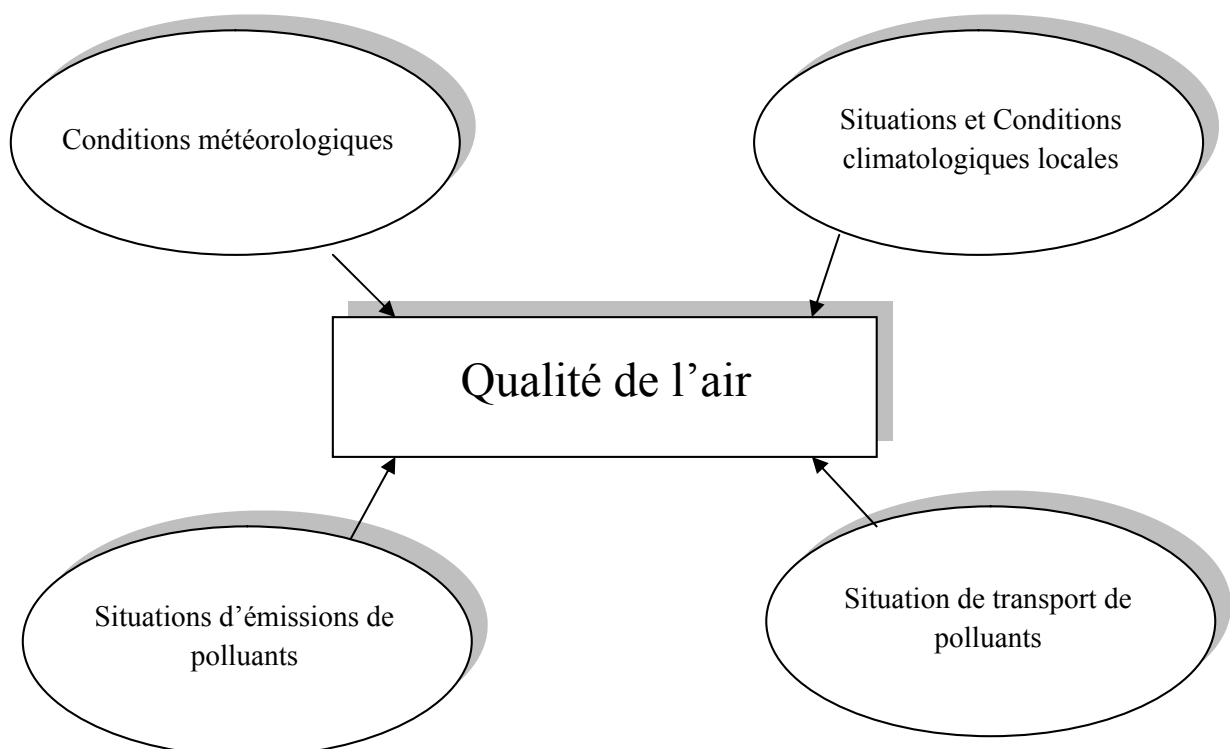


Fig. 75: Paramètres qui conditionnent la qualité de l'air d'une zone
(Ponche, 2003 in François S, 2004)

2. Les niveaux de la pollution Atmosphérique

On distingue trois niveaux de pollution :

2.1. Pollution globale (macro échelle)

C'est une pollution à l'échelle planétaire où les émissions atmosphériques d'origine anthropique tendent à accentuer certains processus naturels. Cette augmentation des émissions de gaz à effet de serre, tels que l'ozone et le dioxyde de carbone est fortement accentuée par le phénomène naturel d'effet de serre et le réchauffement climatique (à environ + 0,6°C au cours du XXème siècle,) (*Pereira et al, 2013, Michelot., 2014 et Goodowitch et al, 2015*).

Plusieurs pays industriels sont responsables de cette situation, dont les Etats-Unis considérés comme le premier pollueur au monde : ils produisent 25% des émissions mondiales de gaz (monoxyde et dioxyde de carbone) et 36 % de celles des pays industrialisés (*Delsey, 2002 et California Air Resources Board, 2014*).

2.2. Pollution régionale (méso échelle)

Elle est due à la dilution spatiale des gaz. Leur action s'étend sur une plus grande zone, elle ignore les frontières et dépend du régime météorologique. En agglomération urbaine, la perception de cette pollution, par le public est très aiguë (*Leunget al, 2012, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013 et Vodonos et al, 2014*). D'ailleurs de nombreuses études ont montré qu'un nombre important de décès est causé par le pic de pollution (*Backes et al, 2013, Ward-Caviness et al, 2014 et Chen et al, 2015*).

2.3. Pollution locale

Elle est constatée à proximité immédiate des sources de pollution; Elle correspond à la pollution localisée, par exemple sur une rue mal ventilée. Les polluants mis en jeu sont principalement le monoxyde de carbone, l'ozone, les hydrocarbures non méthaniques et les composé organiques volatiles (*Neuberger et al. 2004 et Pervez et al., 2012, Saxena et al. 2014 et Rivera et al., 2015*).

La transformation photochimique de ces gaz principalement émis par les automobiles particulièrement les moteurs diesel, représente une autre source de pollution localisée. La population reçoit cette pollution de façon réelle : odeurs, irritation, fumées noires et dégradation des façades (*Faugère, 1989, Hamilton,1992, Glomsrod et al., 1996, Emenius et al., 2004, Saud et al., 2011, Davy et al., 2012 et Dieudonne et al., 2013*).

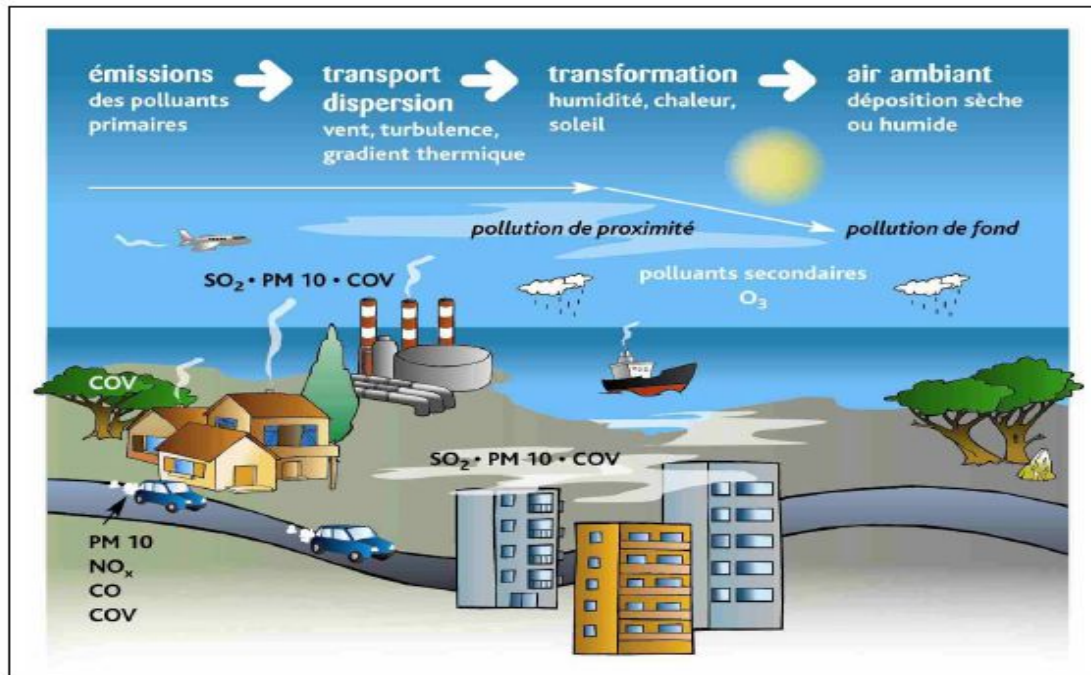


Fig. 76: Mécanismes de la pollution atmosphérique

Source : Association de surveillance de la qualité de l'air – AIRFOBEP

3. Les sources de pollution atmosphérique

Les principales sources de pollution atmosphérique peuvent être regroupées en deux catégories:

3.1. Pollution d'origine naturelle

Ce sont essentiellement le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ces composés proviennent principalement des éruptions volcaniques, des décompositions organiques, des feux de forêt, ainsi que des océans (*Elichegaray, 1989, Carslaw et al, 2005, Grundstrom et al, 2011, Lu et al, 2012 et Gibson et al, 2013*).

Des particules en suspension sont également présentes dans l'atmosphère du fait des émissions volcaniques et des transports de poussières en provenance du désert du Sahara, par exemple (*Goyal et al., 1998, Dalstein-Richier et al., 2005, Carrega et al., 2010 et Adeniran et al., 2015*). Elle peut être aussi d'origine: marine, extraterrestre, minérale, animal, végétale ou microbienne.

3.2. Anthropiques

Les émissions anthropiques sont celles qui sont dues à des activités uniquement humaines. Elles sont particulièrement importantes en milieu urbain où la plus grande part, a pour origine les transports (notamment le trafic automobile) et les industries, mais aussi le chauffage en hiver. Ce sont les sources d'émissions majoritaires en intensité, même si leur emprise spatiale est relativement limitée (*Coria et al, 2013*). Les principaux polluants gazeux émis par

l'utilisation de combustibles fossiles sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO, NO₂, NO_x), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspensions (PS), le méthane et les composés organiques volatiles COV (Gunawardena et al.2012, Cristofaneli et al., 2013, Russo et al., 2014 et Mukerjee et al., 2015).

3.2.1 Pollution due aux procédés industriels

L'activité industrielle crée des polluants très variés, ceux-ci sont constitués de façon générale des produits faisant l'objet d'une fabrication, des produits primaires ou intermédiaire de cette fabrication ou encore des produits de décomposition des produits précipités.

3.2.2 Pollution due à la combustion

Elle est générée par les foyers domestiques, foyers fixes, centrales thermiques et incinération.

3.2.3. Pollution due aux véhicules

Les véhicules sont actuellement un des secteurs les plus importants d'émission de polluants notamment pour les NO_x et les COV qui sous l'effet de l'ensoleillement, produisent une pollution photochimique (mesurée par l'Ozone), source majeure de pollution en zone urbaine et périurbaine.

4. Les types des polluants

4.1. Les polluants primaires

Les polluants peuvent être classés comme primaires ou secondaires. Par définition, les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, tels que le monoxyde de carbone provenant des processus de combustion et présent dans les gaz d'échappement des voitures, le dioxyde de soufre provenant de l'industrie (Mayer, 1999)... Les polluants secondaires ne sont pas émis directement par des sources connues et identifiées. Au contraire, ils se forment dans l'air à la suite de réactions mettant en jeu les composés émis par les sources primaires, notamment lors d'épisodes météorologiques particuliers. Un exemple majeur de polluant secondaire est l'ozone troposphérique, un des nombreux polluants secondaires qui forment le smog photochimique, mais on peut citer aussi les NPA (Nitrates de Peroxyacétyle) ou encore les COV (composé organiques volatiles) dits « COV secondaires ».

4.1.1. Le monoxyde de carbone (CO) : il résulte de la combustion incomplète des combustibles fossiles (charbons, fuels, ...). Ce gaz est toxique (pour les êtres vivants) et peut causer des asphyxies mortelles à hautes concentrations. Il est considéré comme l'un des composés principaux dans la problématique de la qualité de l'air intérieur, l'AFSSET4 a introduit une valeur guide de 100 mg/m³ pour une exposition de 15 min en CO comme une valeur limite de cette espèce au sens de la qualité de l'air intérieur. Pour ce qui concerne l'air

extérieur, la Directive Européenne 2008/50/CE indique une valeur limite de 10 mg/m^3 pour un maximum journalier sur 8 heures (C.E., 2008). On trouve ce gaz en abondance dans les villes et aux abords des autoroutes à cause des véhicules à moteurs à combustion. Cela en fait un des traceurs de la pollution atmosphérique de type trafic.

4.1.2. Le dioxyde de soufre (SO_2) : ce gaz est produit naturellement par les volcans, il peut également être produit par différents procédés industriels comme les industries métallurgiques et les raffineries de pétrole. Ce gaz, toxique pour tous les êtres vivants, aide à la création des particules (aérosols sulfuriques) qui empêchent les rayons solaires d'atteindre la terre, ainsi il joue un rôle de refroidissant de la planète (Pascal, 2009). Conformément aux directives européennes, une surveillance des principales installations industrielles a été mise en place au cours des années 80 et la mise en œuvre de disposition de réduction à la source a permis une baisse drastique des émissions du SO_2 dans l'atmosphère..

4.1.3. Les oxydes d'azote (NO_x) : ils comprennent notamment le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ce sont des gaz fortement toxiques qui résultent de l'oxydation de l'azote de l'air par l'oxygène à température élevée, phénomène qui se produit généralement lors des processus de combustion en particulier dans les moteurs à combustion interne et les centrales thermiques (Arquès, 1998). C'est dans les zones ayant une forte circulation automobile que nous observons de fortes concentrations en NO et NO_2 . De plus, NO peut réagir avec l'oxygène de l'air pour se transformer en NO_2 . Les NO_x pourraient constituer des traceurs de la pollution urbaine à l'échelle globale et plus ponctuellement de foyers importants de combustion comme les centrales de combustion urbaines et les trafics routiers.

4.1.4. Les composés organiques volatiles (COV) : leur définition est spécifiée dans la Directive Européenne 2008/50/CE. Il s'agit des « composés organiques provenant de sources anthropiques et biogènes, autres que le méthane, capables de produire des oxydants photochimiques par réaction avec des oxydes d'azote sous l'effet du rayonnement solaire ».

Une autre définition a été introduite par la directive 1999/13/CE: « tout composé organique, contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs des éléments suivants : hydrogène, halogène, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques, ayant une pression de vapeur de $0,01 \text{ kPa}$ ou plus à une température de $293,15 \text{ K}$ ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières ». L'émission anthropique des COV dans l'atmosphère provient de différentes sources, comme la combustion incomplète dans des moteurs ou des centrales thermiques, l'évaporation de produits raffinés, l'usage de solvants dans l'industrie et les peintures.

4.1.5. Les particules en suspension: ces particules notées « PM » en anglais pour « *Particulate Matter* » sont d'une manière générale les fines particules solides ou liquides en suspension dans l'air. Ces particules sont définies dans la directive 1999/30/CE comme « les particules passant dans un orifice d'entrée calibré avec un rendement de séparation de 50% pour un diamètre aérodynamique de 10 μm (cas des PM_{10}) ou de 2,5 μm (cas des $\text{PM}_{2,5}$) ». Ces particules proviennent de sources naturelles comme les éruptions volcaniques, la végétation (pollens...), les incendies de forêts... ou de sources anthropiques comme les émissions industrielles, la combustion des fossiles combustibles... On distingue 4 types de particules (C.E., 2008):

- **PM_{10}** particules en suspension dans l'air, d'un diamètre aérodynamique (ou diamètre aéraulique) inférieur à 10 μm ;
- **$\text{PM}_{2,5}$** dont le diamètre est inférieur à 2,5 μm , appelées « particules fines » ;
- **PM_1** dont le diamètre est inférieur à 1,0 μm , appelées « particules très fines » ;
- **$\text{PM}_{0,1}$** dont le diamètre est inférieur à 0,1 μm , appelées « particules ultrafines » ou nanoparticules.

Toutes ces particules sont dangereuses tant pour la santé des êtres humains, que pour la végétation. Par contre, seules les particules PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ sont réglementées et ciblées par les Directives Européennes. L'augmentation des concentrations en particules dans l'air est corrélée avec l'augmentation des maladies cardiovasculaires, des allergies, des cancers du poumon, ce qui conduit à une diminution de l'espérance de vie (Pascal, 2009).

4.2. Les polluants secondaires

Une fois émis dans l'atmosphère, les polluants primaires réagissent avec l'eau ou les autres constituants de l'atmosphère, éventuellement sous l'action du soleil, pour aboutir à la formation des polluants secondaires. Les principaux polluants secondaires sont l'ozone (O_3) et les aérosols acides.

- **L'Ozone** : dans la basse atmosphère et sous des conditions climatiques particulières (comme une augmentation de l'irradiation solaire), en zone urbaine, les émissions de précurseurs sont importantes : les hydrocarbures et les oxydes d'azote sont donc présents en grande quantité. Beaucoup d'ozone se formera mais, celui-ci réagira très vite, une fois formé, avec le monoxyde d'azote dont l'apport est constant. L'ozone sera donc en partie consommé au niveau des agglomérations et généralement présent en faible quantité. Comme pour tous les polluants secondaires, il est difficile de limiter la production d'ozone à partir de la mise en œuvre de

limitations des émissions. Bien que la concentration globale des autres polluants dans l'atmosphère tende à baisser, celle de l'ozone reste intacte ou parfois subit de légères augmentations au cours des dernières années. C'est dans les zones rurales proches des agglomérations que les concentrations en O_3 enregistrées sont généralement les plus élevées. Ces concentrations plus élevées s'expliquent par la cinétique de formation de ce polluant secondaire lors du vieillissement de la masse d'air considérée, transportée à partir des zones urbaines ou industrielles fortement émettrices en espèces primaires. Par ailleurs, dans les sites trafic, l' O_3 étant détruite par certains polluants primaires il est généralement absent sur ces sites très pollués.

Pour toutes ces raisons, l' O_3 est considéré comme le traceur majeur de la pollution photochimique.

5. Les sources de pollution atmosphérique dans la zone d'étude

5.1. Procédés industrielles

La région d'étude se caractérise par un tissu industriel important, ce qui produit une pollution de nombreux effluents liquides et gazeux qui sont rejetés dans l'atmosphère et dans l'eau.

Les deux complexes qui dominent dans la région d'étude sont: le complexe sidérurgie ISPAT «ARCELOR MITTAL» et le complexe d'engrais phosphatés «FERTIAL».

- Le complexe sidérurgique **ARCELOR MITTAL** rejette annuellement:

- 7 800 tonnes de poussières issues des hauts fourneaux
- 1 220 tonnes de matières organiques
- 660 tonnes de phénols
- 4 100 tonnes d'oxydes de soufre
- 6 000 tonnes de matières en suspension
- 650 t/an de CO_2 , CO, NO_x et poussières provenant des hauts fourneaux (HF2)
- 105 kg/jour de CO_2 , CO, NO_x provenant d'Aciérie à oxygène
- 25 kg/jour de CO_2 , CO, NO_x et poussières provenant de l'Aciérie électrique et 12 t/an de poussières provenant du laminoir à froid (DMI, 2004).

- Le complexe d'engrais phosphatés **FERTIAL** rejette une grande quantité de polluants estimés avant le projet de la banque mondiale à:

- 118 t/an de NO_x provenant de l'unité nitrique
- 2 291 t/an de NH_3
- 9 000 t/an de l'unité d'acide sulfurique
- 28 000 t/an de phosphogypse provenant de l'unité d'acide phosphorique

- 88 t/an de fluor provenant de l'unité NPK
- 4 300 t/an de poussières et 133 000 t/an de nitrate provenant de l'unité «Nitrate d'ammonium».

Après le projet de la banque mondiale, le complexe **FERTIAL** rejette théoriquement:

- 275 t/an de NO_x (unité d'acide nitrique)
- 45,6 t/an de NH_3 et 10,5 t/an de fluor.

Tandis que pour les autres filiales du groupe FERTIAL, les rejets sont estimés à 300 mg/m^3 de NO_x (unité d'acide nitrique), 50 mg/m^3 de poussières (unité d'engrais phosphatés).

Enfin, le groupe KAMAIL rejette 0,3 t/an de CO_2 (unité de production).

5.2. Intensité du trafic routier

L'importance de la position géographique d'Annaba et de son développement a la donné un trafic routier intense surtout autour d'Annaba centre et ses environs, principalement (Sidi Amar, El Bouni et El Hadjar) par rapport au reste de la wilaya.

5.2.1. Axes routiers de la région d'étude

Le réseau routier au niveau d'Annaba ville (Fig.77) est constitué d'environ 66 km, dont 45% sont des chemins de wilaya (CW), 35% sont des chemins communaux (CC) et seulement 20% sont des routes nationales (RN).

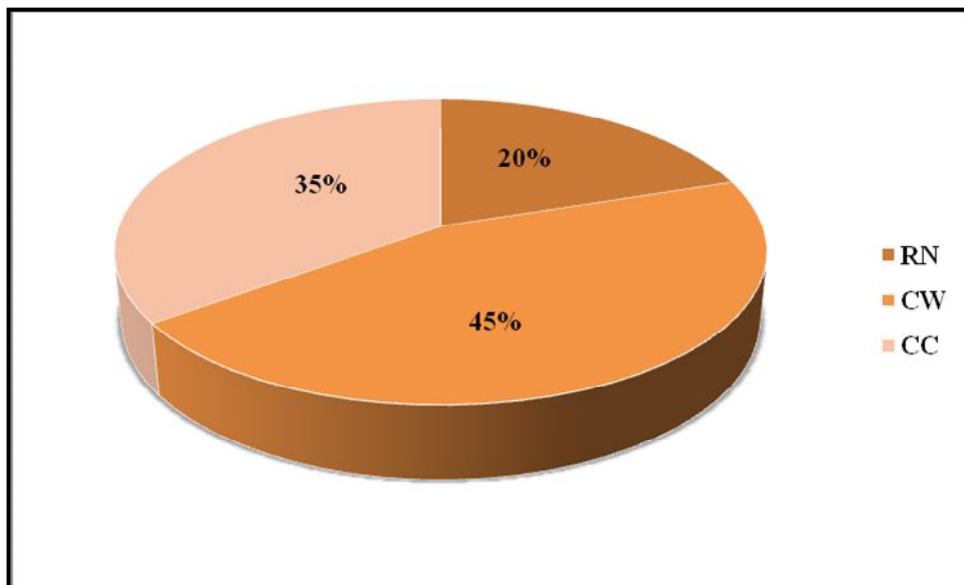


Fig. 77: Identification du réseau routier de la wilaya de Annaba (PATW, 2017)

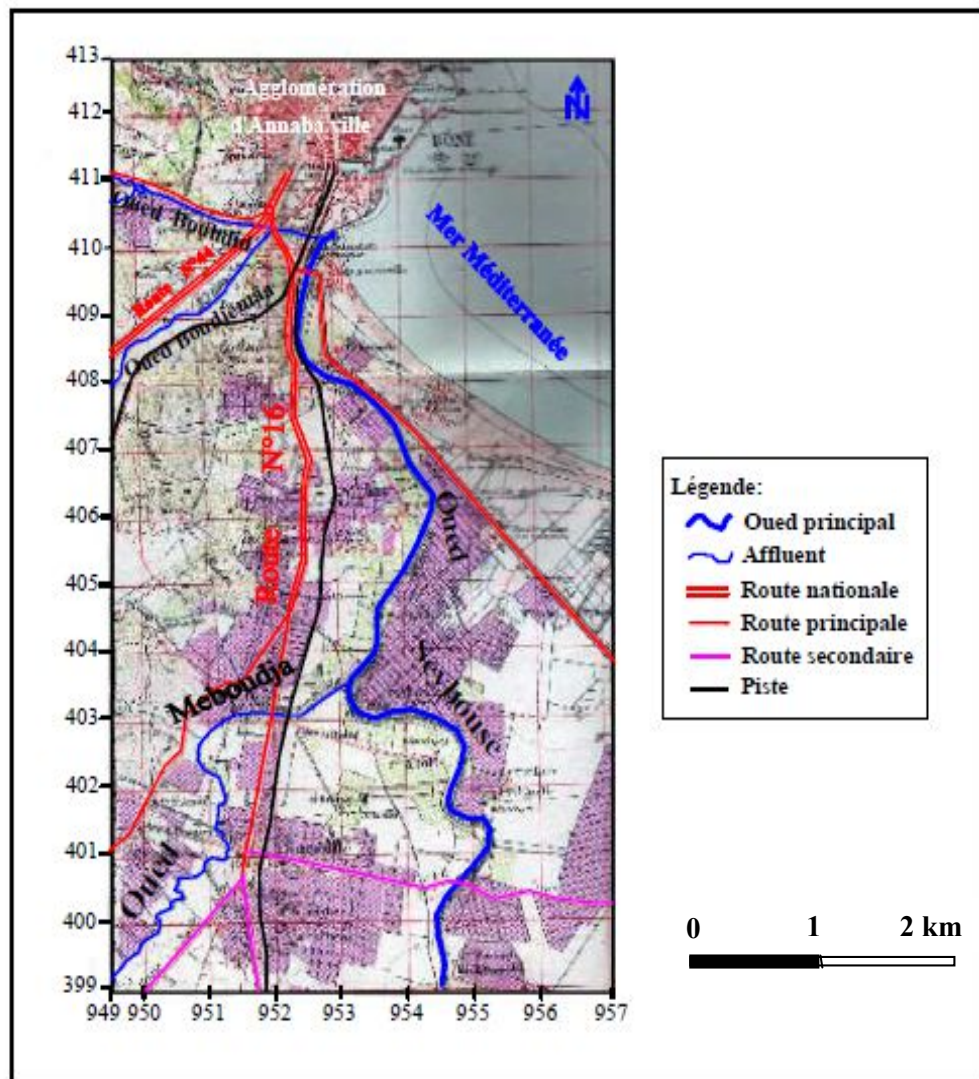


Fig. 78: Carte des axes routiers de la wilaya d'Annaba (Mourdi, 2011)

5.2.2. L'état du réseau routier

Les différents types des routes (Fig.79) occupant le territoire de la wilaya possèdent des vocations spécifiques ainsi que des caractéristiques techniques qui leur sont propres. Un taux de 31% du réseau global (RN, CW) constitue un très bon état et concerne principalement les routes nationales. Par contre, une grande partie du réseau (43%) est en état moyen et 25% est en mauvais état. L'état actuel du réseau assure des conditions de circulation relativement moyenne aux usagers.

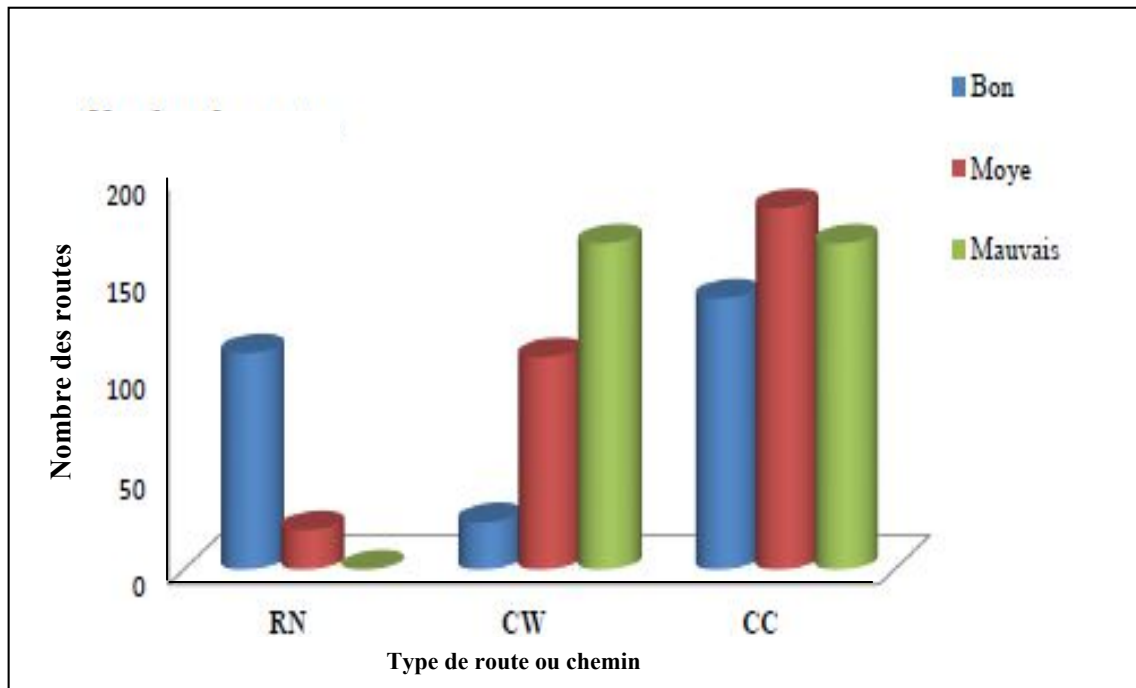


Fig.79: L'état du réseau routier au niveau de la wilaya d'Annaba (2014)

6. Le parc automobile

6.1. Comparaison du parc automobile avec les autres wilayas en Algérie

La ville d'Annaba est moins motorisée par rapport aux autres wilayas (Fig.80). En effet, on a enregistré que le parc roulant représente le $\frac{1}{8}$ de celui d'Alger, $\frac{1}{2}$ de celui d'Oran et seulement 3,14% du parc roulant global.

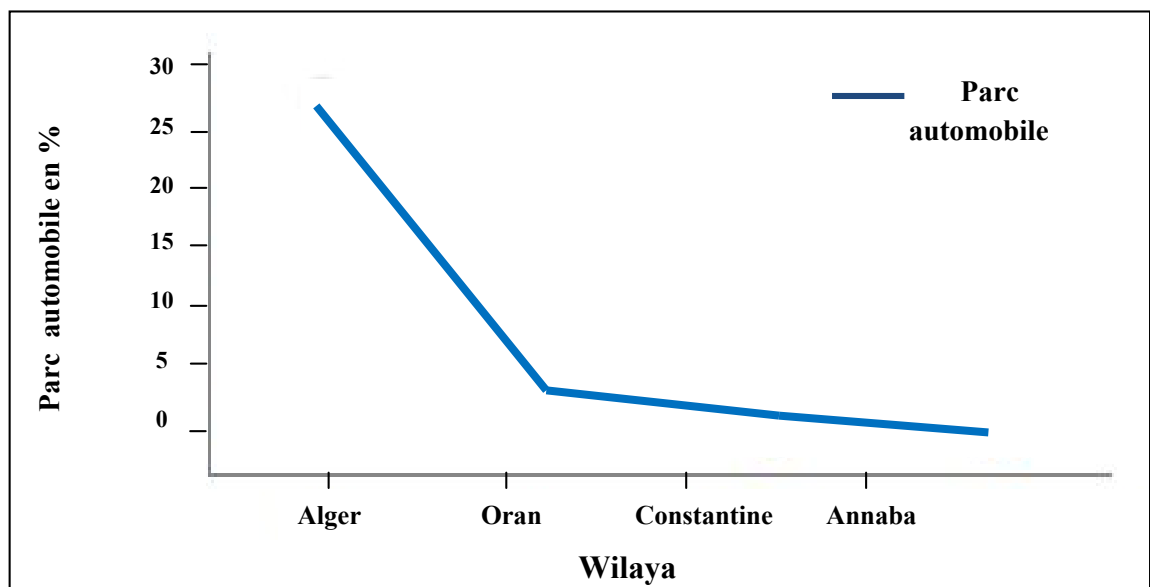


Fig. 80: Comparaison du parc automobile avec les autres wilayas en Algérie (2004-2014)

6.2. Les rejets liés au trafic routier : Ces polluants constituent la plus importante source de pollution des villes et ce quelque soit le type de moteur (essence ou diesel) (*Hivert, 1996 et Caserini et al., 2013*). L'importance de cette pollution est dépendante du régime du moteur, de la nature de la combustion et de l'absence ou de la présence de catalyseur. Parmi les polluants les plus importants et les plus toxiques on a le Pb et les NOx. En effet ils représentent près de 25% des gaz émis (*Borge et al., 2012 et Russo et al., 2014*).

Le tableau ci-dessous (N°25) illustre le rôle du trafic routier dans l'émission des particules polluantes (*O.F.E.S, 2013*).

Tableau. 25 : Apport du trafic routier dans l'émission de polluants atmosphériques
(*O.F.E.S, 2013*)

Elément Catégories	NO _x	CO	SO ₂	COV	PM ₁₀	CH ₄	CO ₂
Voitures particulières essence non catalysée	22%	46%	0%	31%	6%	34%	9,7%
Voitures particulières essence catalysée	4%	17%	0%	3%	10%	19%	18,3%
Voitures particulières diesel	19%	4%	37%	4%	1%	7%	28,0%
Véhicules utilitaires légers < 3.5 T essence	1%	5%	0%	2%	0%	2%	1,2%
Véhicules utilitaires légers < 3.5 T diesel	15%	3%	26%	2%	32%	2%	17,6%
Poids lourds > 3.5 T et bus	38%	3%	21%	8%	21%	9%	24%
Motocyclettes et motos < 50 cm ³	0%	3%	0%	11%	29%	6%	0,1%
Motos > 50 cm ³	1%	19%	0%	10%	1%	21%	1,1%
Evaporation d'essence	0%	0 %	0%	29%	0%	0%	0%
Autre (pneus, freins, chaussée)	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

6.3. Statistique annuel du park des véhicules de la zone d'étude

Selon le service de la réglementation générale de la wilaya d'Annaba (Avril 2018), on a pu recueillir des données concernant le nombre des différents véhicules durant une période de 30 ans (1984-2014) ainsi que le nombre de véhicules par type et par âges (2004 -2014), ils sont illustrés dans la figure N°81 et le tableau N°26 respectivement.

Tableau. 26: Nombre de véhicules par type et par âge, wilaya d'Annaba
(Inventaire 2014)

Type Age	Voiture (tourisme+ spécial)	Camion	Camionnette	Bus	Tracteur (Routier+ agricole)	Engins + remorque	Total
Inférieur à 5ans	806 537	36 792	232 765	12 915	12 510	17 570	1 119 089
De 05 à 10 ans	348 338	46 188	158 300	18 532	15 151	14 795	601 304
Supérieur à 10 ans	2 117 541	304 770	1 181 208	48 765	125 009	96 895	3 874 188
Total	3 272 416	387 750	1 572 273	80 212	152 670	129 260	5 594 581

6.3.1. Evolution annuel du nombre des véhicules de la zone d'étude (période 1984-2014)

La courbe (Fig.81) est en variation exponentielle ce qui exprime que le nombre de véhicules immatriculés est en augmentation exponentielle jusqu'à l'an 2014 d'où elle passe de 4294 véhicules (1984) à 20630 véhicules (2014). Pendant la période (2004-2008) on a enregistré un véhicule pour 9 personnes à Annaba ville, 17 et 23 personnes respectivement pour Sidi Amar et El Bouni. Alors que durant la période (2008 -2014), on a enregistré un véhicule pour 6 personnes, cela reflète l'incroyable augmentation du parc automobile durant ces dernières années.

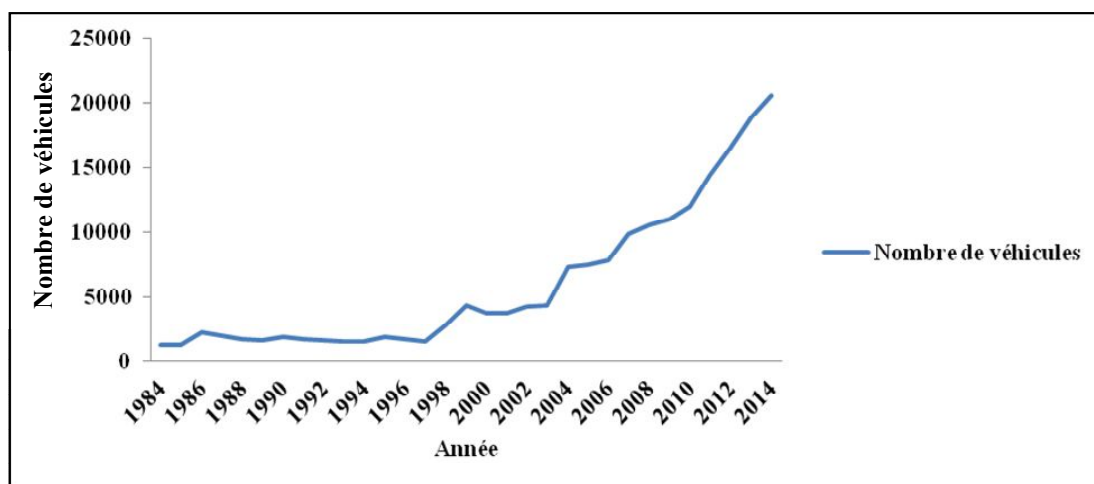


Fig. 81: Evolution temporelle du nombre de véhicule durant la période (1984-2014)

6.3.2. Estimation du dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) par les véhicules à essence et celles à diesel

6.3.2.1. Le principe de quantification de dioxyde de carbone (CO₂)

La quantité de CO₂ générée par un véhicule est directement proportionnelle à la quantité de carburant consommé. Le principe de quantifier du CO₂ dégagé par les véhicules est le suivant:

➤ Pour les véhicules à essence

Un litre d'essence pèse 750 grammes. L'essence est composée de 87% de carbone (C), ce qui correspond à 652 g de C par litre d'essence. Pour brûler ce C en CO₂, 1740 g d'oxygène sont nécessaires. La somme nous donne donc $652 + 1\,740 = \boxed{2\,392 \text{ g de CO}_2}$ par litre d'essence. Donc : Une voiture qui consomme 5 litre/100 km va émettre $5 \text{ litre/} 100 \text{ km} \times 2\,392 \text{ g/l} = 120 \text{ g CO}_2/\text{km}$.

➤ Pour les véhicules à diesel

Un litre de diesel pèse 835 grammes. Le diesel est composé à 86.2% de carbone (C), ce qui correspond à 720 g de C par litre de diesel. Pour brûler ce C en CO₂, 1 920 g d'oxygène sont nécessaires. La somme nous donne donc $720 + 1\,920 = \boxed{2\,640 \text{ g de CO}_2}$ par litre de diesel. Donc : une voiture qui consomme 5 litre/100km va donc émettre $5 \text{ litre/} 100 \text{ km} \times 2\,640 \text{ g/l} = 132 \text{ g CO}_2/\text{km}$.

6.3.2.2. Estimation du dégagement de CO₂ par les véhicules selon leurs âges durant la période (2004-2014)

6.3.2.2.1. Les véhicules à essence

La consommation d'essence est en relation avec l'âge du véhicule, d'où on a en moyenne:

- Les véhicules d'âge inférieur à 5 ans consomment 8 litres/100 km. Donc, elles dégagent : $8 \text{ litres/} 100 \text{ km} \times 23\,92 \text{ g/l} = 19\,136 \text{ g /} 100 \text{ km} = \mathbf{19,14 \text{ kg/} 100 \text{ km}}$.
- Les véhicules d'âge 5 à 10 ans consomment 10 litres/100 km. Donc, elles dégagent : $10 \text{ litres/} 100 \text{ km} \times 23\,92 \text{ g/l} = 23\,920 \text{ g /} 100 \text{ km} = \mathbf{23,92 \text{ kg/} 100 \text{ km}}$.
- Les véhicules d'âge supérieur à 10 ans consomment 12 litres/100 km. Donc, elles dégagent : $12 \text{ litres/} 100 \text{ km} \times 23\,92 \text{ g/l} = 28\,704 \text{ g /} 100 \text{ km} = \mathbf{28,70 \text{ kg/} 100 \text{ km}}$.

6.3.2.2.2. Les véhicules à diesel

La consommation de gasoil est en relation avec l'âge du véhicule, d'où on a en moyenne:

- Les véhicules d'âge inférieur à 5 ans consomment 12 litres/100 km. Donc, elles dégagent : $12 \text{ litres/} 100 \text{ km} \times 2\,640 \text{ g/l} = 31\,680 \text{ g /} 100 \text{ km} = \mathbf{31,68 \text{ k g/} 100 \text{ km}}$.

- Les véhicules d'âge 5 à 10 ans consomment 14 litres/100 km. Donc, elles dégagent :
 $14 \text{ litres/100 km} \times 2\,640 \text{ g/l} = 36\,960 \text{ g /100 km} = \mathbf{36,96 \text{ k g/100 km}}$.
- Les véhicules d'âge supérieur à 10 ans consomment 16 litres/100 km. Donc, elles dégagent :
 $16 \text{ litres/100 km} \times 2\,640 \text{ g/l} = 42\,240 \text{ g /100 km} = \mathbf{42,24 \text{ kg/ 100 km}}$.

On appliquant les méthodes ci-dessus (pour les véhicules à essence et celles à diesel selon leurs âges durant la période « 2004-2014 »), on obtient les résultats mentionnés dans le tableau N°27.

Tableau. 27: Estimation du dégagement de CO₂ par les véhicules à essence et à diesel selon leurs âge (Inventaire année 2014)

Type Age et CO ₂ dégagé	Véhicules essence (Voitures + camionnettes)	Véhicules diesel (Camions + Bus + Tracteurs + Engins)
Véhicule d'âge inférieur à 5 ans	1 039 302	67 277
Quantité estimé de CO ₂ dégagé (kg/100 km)	19 892 240,83	2 131 335,36
Véhicule d'âge de 5 à 10 ans	506 688	79 5151
Quantité estimé de CO ₂ dégagé (kg/100 km)	12 119 976,96	29 388 780,96
Véhicule d'âge supérieur à 10 ans	3 298 749	575 439
Quantité estimé de CO ₂ dégagé (kg/100 km)	94 674 096,3	24 306 543,36
Total estimé de CO ₂ dégagé (kg/100 km)	126 686 314,09	55 826 659,68
Total estimé de CO ₂ dégagé (tonne/100 km)	126 686,31	55 826,66

6.3.2.3. Estimation du dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) total pour l'année 2014 par les véhicules de la zone d'étude selon la distance

Le dégagement de CO₂ est en relation direct avec la distance parcourue d'où on a une augmentation de CO₂ dégagé (estimé) successive et exponentielle d'une distance à l'autre (la courbe de la Figure N°82 et le tableau N°28).

Tableau. 28: Estimation du dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) total durant la période (1984-2014) par tous les véhicules selon la distance

Distance (km) \ Type	CO ₂ dégagé par les véhicules essence (tonne)	CO ₂ dégagé par les véhicules diesel (tonne)
10 000	12 668 631	5 582 666
20 000	25 337 262	11 165 332
30 000	38 005 893	16 747 998
40 000	50 674 524	22 330 664
50 000	63 343 155	27 913 330
60 000	76 011 786	33 495 996
70 000	88 680 417	39 078 662
80 000	101 349 048	44 661 328
90 000	114 017 679	50 243 994
100 000	126 686 310	55 826 660

- La quantité de CO₂ dégagé (estimé) durant la période (1984-2014) par les véhicules à essence et celles à diesel est en relation avec la distance parcourue. D'où elle passe de 12 668 631 tonne pour une distance de 10 000 km à 126 686 310 tonne pour une distance de 100 000 km.

- La quantité de CO₂ dégagé par les véhicules à essence est plus forte que celle à diesel durant ces 30 ans, Cette élévation confirme que le nombre des véhicules à essence qui circule dans la zone d'étude est plus élevé à celui des véhicules à diesel.

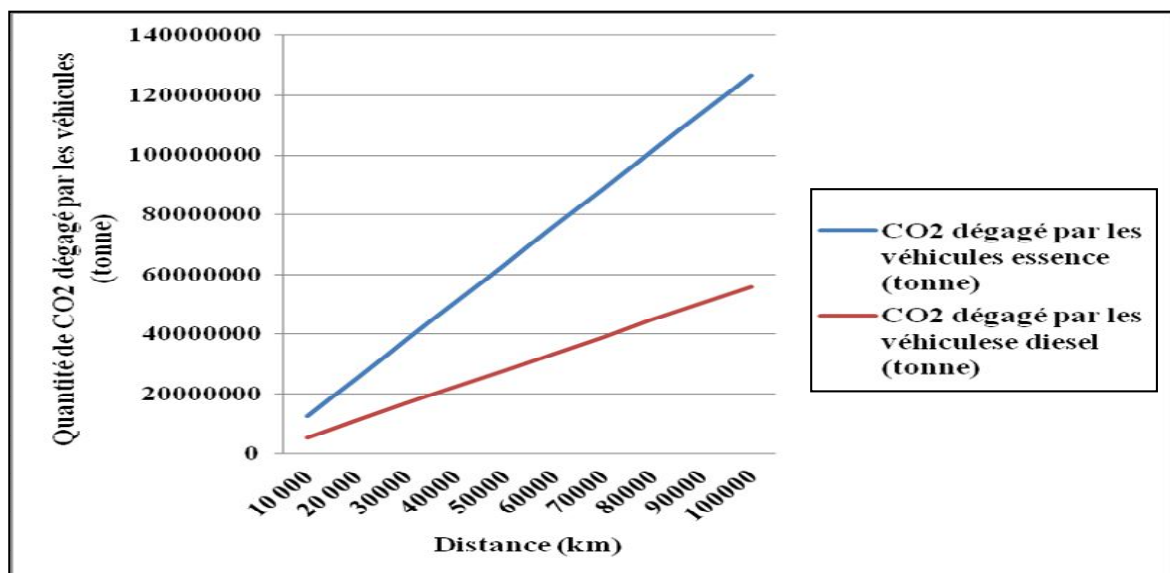


Fig. 82 : Variation du dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) estimé pour les véhicules à essence et à diesel selon la distance parcourue durant la période (1984-2014).

6.4. Distribution communale du parc automobile

On constate que le parc automobile (Fig.83) de la région d'étude est réparti comme suit : 60% pour Annaba ville, 17 % pour Sidi Amar et El Hadjar et 12% pour El Bouni. Cette distribution est liée à plusieurs facteurs dont la densité de la population et les conditions socioéconomiques de chaque commune.

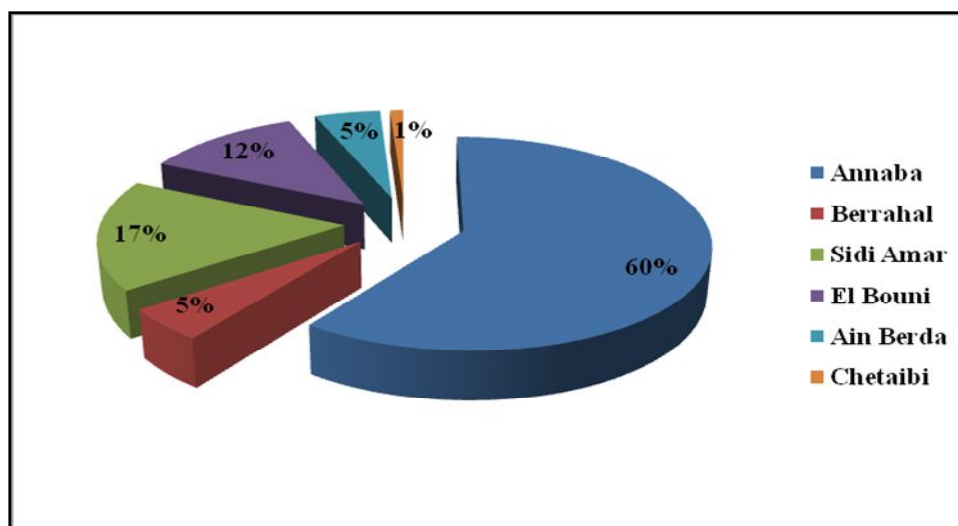


Fig. 83 : Distribution communale du parc automobile de la wilaya d'Annaba durant la période (2004 - 2014)

6.5. Parc automobile selon le carburant utilisé

On constate que 68 % des véhicules recensés (Fig.84) roulent à l'essence et que 32 % roulent au gasoil et sans plomb. Cela explique que la plupart des véhicules moderne marchent avec l'essence, donc, elle nous renseigne également sur la pollution attendue durant les années futures, surtout que le moteur diesel pollue plus que le moteur à essence (50 fois), (Marano, 1999).

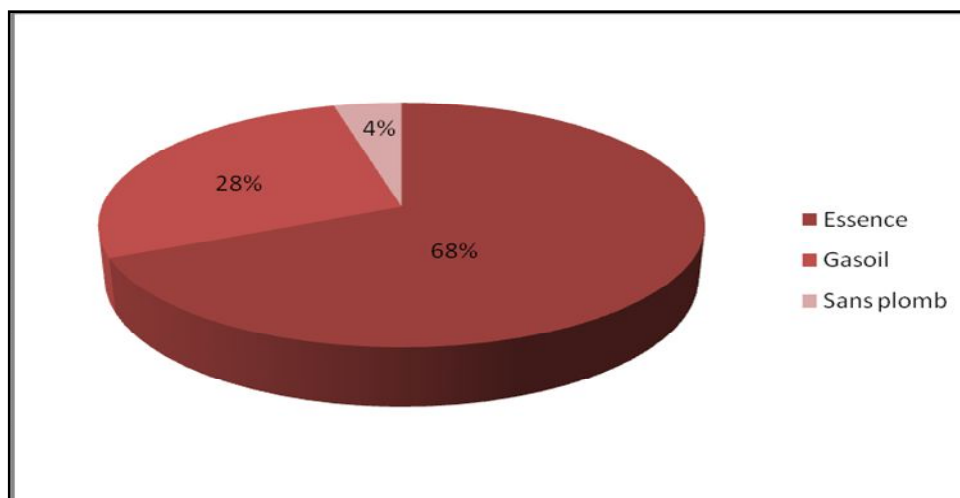


Fig. 84: Parc automobile de la wilaya d'Annaba selon le carburant utilisé durant la période (2004 - 2014)

6.6. Répartition du trafic routier selon le type de véhicule au niveau des communes de la région d'étude

6.6.1. Commune d'Annaba ville

Une prédominance des véhicules légers (Fig.85) par rapport aux autres types de véhicules avec un taux de 93,12%.

6.6.2. Commune d'El Bouni

Les véhicules légers prédominent (Fig.86) sont de 80% par rapport aux autres véhicules, les camionnettes à poids inférieur à 3,5 tonnes représentent 6,16%, les fourgonnettes sont de 4,48%, les camionnettes dont le poids est supérieur à 3,5 tonnes sont de 2,03% et les motocyclettes de 3%.

6.6.3. Commune de Sidi Amar

La commune de Sidi Amar (Fig.87) représente 78,37 % des véhicules légers, 5,83 % et 5,48 % respectivement pour les bus et les camionnettes dont le poids est supérieur à 3,5 tonnes.

Tandis que les fourgonnettes présente 4,69 % et les camionnettes dont le poids est inférieur à 3,5 tonnes est de 4,31 %.

6.6.4. Commune d'El Hadjar

Malheureusement les données concernant le type de véhicule au niveau d'El Hadjar ne sont pas obtenues.

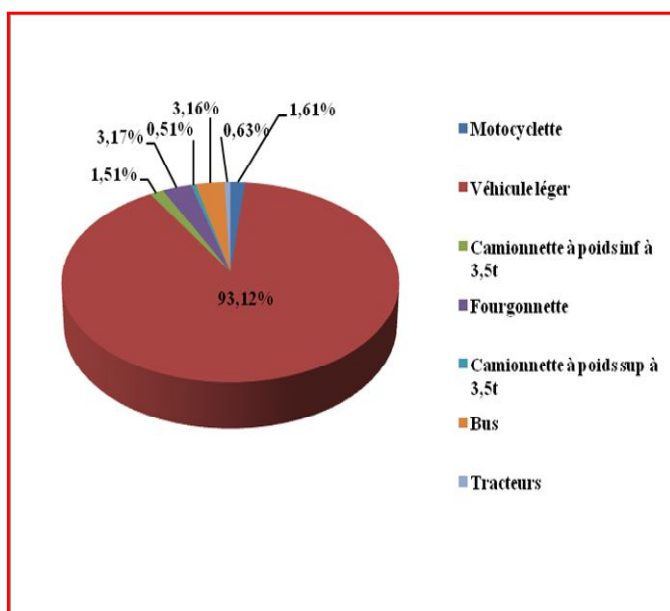


Fig. 85: Type de véhicule au niveau d'Annaba ville
(2004-2014)

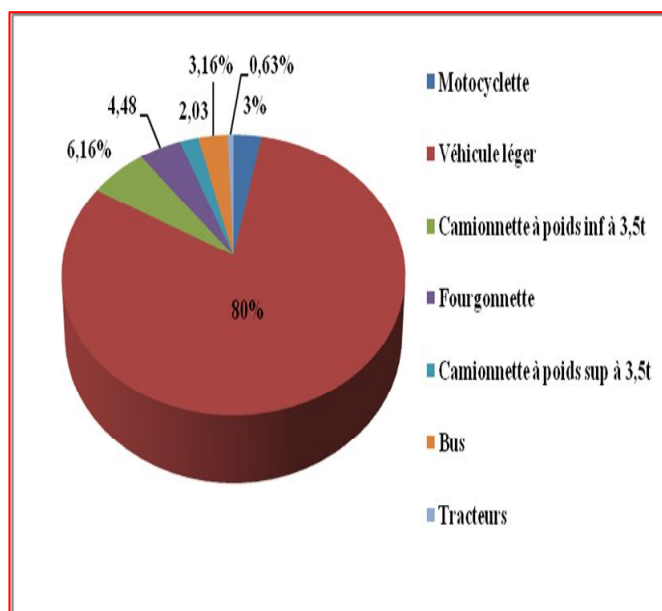


Fig. 86: Type de véhicule au niveau d'El Bouni
(2004-2014)

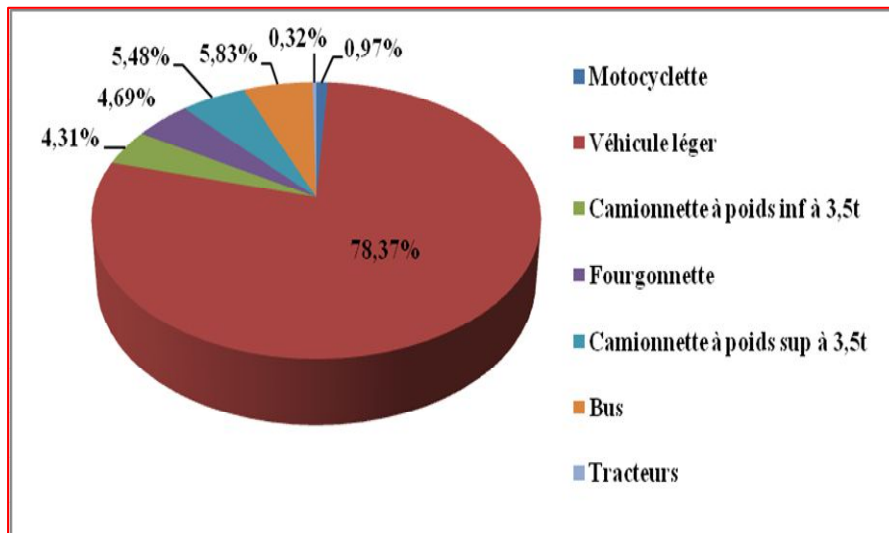


Fig. 87: Type de véhicule à Sidi Amar (2004-2014)

6.7. Variation temporelle du trafic routier durant la période (2004-2014) pour les trois communes (Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar)

On constate une pointe horaire comprise entre (08h - 09h) suivie par celle entre (14h- 15h), ce qui explique une saturation des routes et les situations d'embouteillages enregistrées sur l'ensemble des communes (Fig.88). Cependant, les taux du trafic routier enregistrés au niveau de la commune de Annaba représentent deux fois ceux de Sidi Amar et trois fois plus que ceux de la commune d'El Bouni.

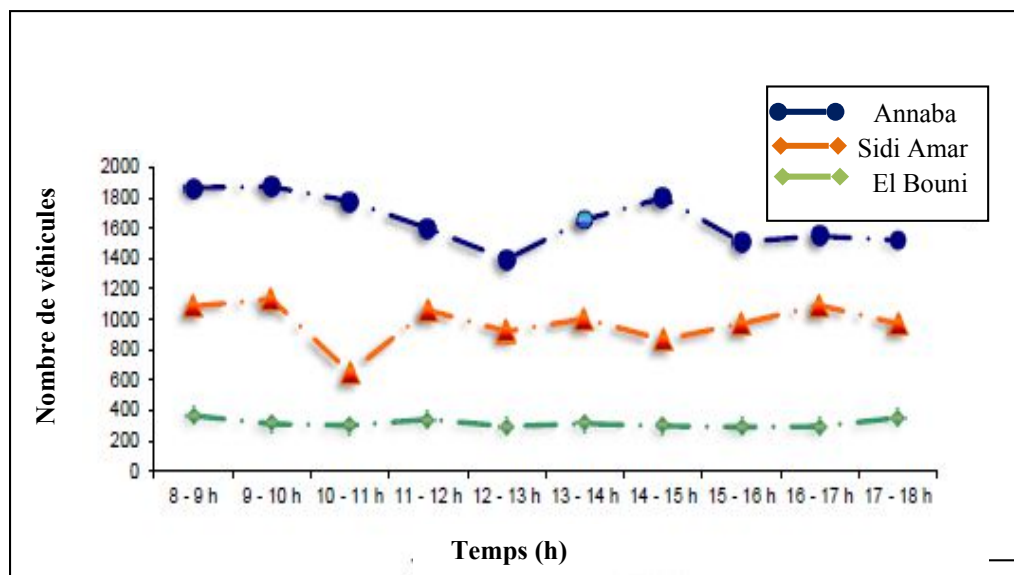


Fig. 88: Variations temporelles du trafic routier sur l'axe Annaba, Sidi Amar et El Bouni durant la période (2004- 2014)

7. La surveillance de la qualité de l'air**7.1. La station de contrôle de l'environnement**

La station de contrôle de l'environnement - Annaba - (ONEDD) a été mis en service à l'an 2002, elle est chargée de : contrôle des sites pollués et la surveillance de la qualité de l'air.

Les missions de la station sont données par l'organigramme présenté dans la figure N°89.

7.2. Description du réseau de mesure (surveillance)

L'évaluation de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba se fait par un suivi permanent à la faveur de la mise en place, d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'air qui est dénommé «Sama Safia» depuis juin 2002.

7.2.1. Installation du réseau de surveillance de la qualité de l'air

Le réseau a été mis en service au mois de mars 2002 pour une période d'essai de trois mois et a débuté l'exploitation réelle au mois de juin 2002 mais, il était arrêté en mai 2007 et il a repris ses mesures en 2012 jusqu'au 2014. Ce réseau est constitué de quatre stations définies dans le tableau N°29 et présenté dans la figure N°90.

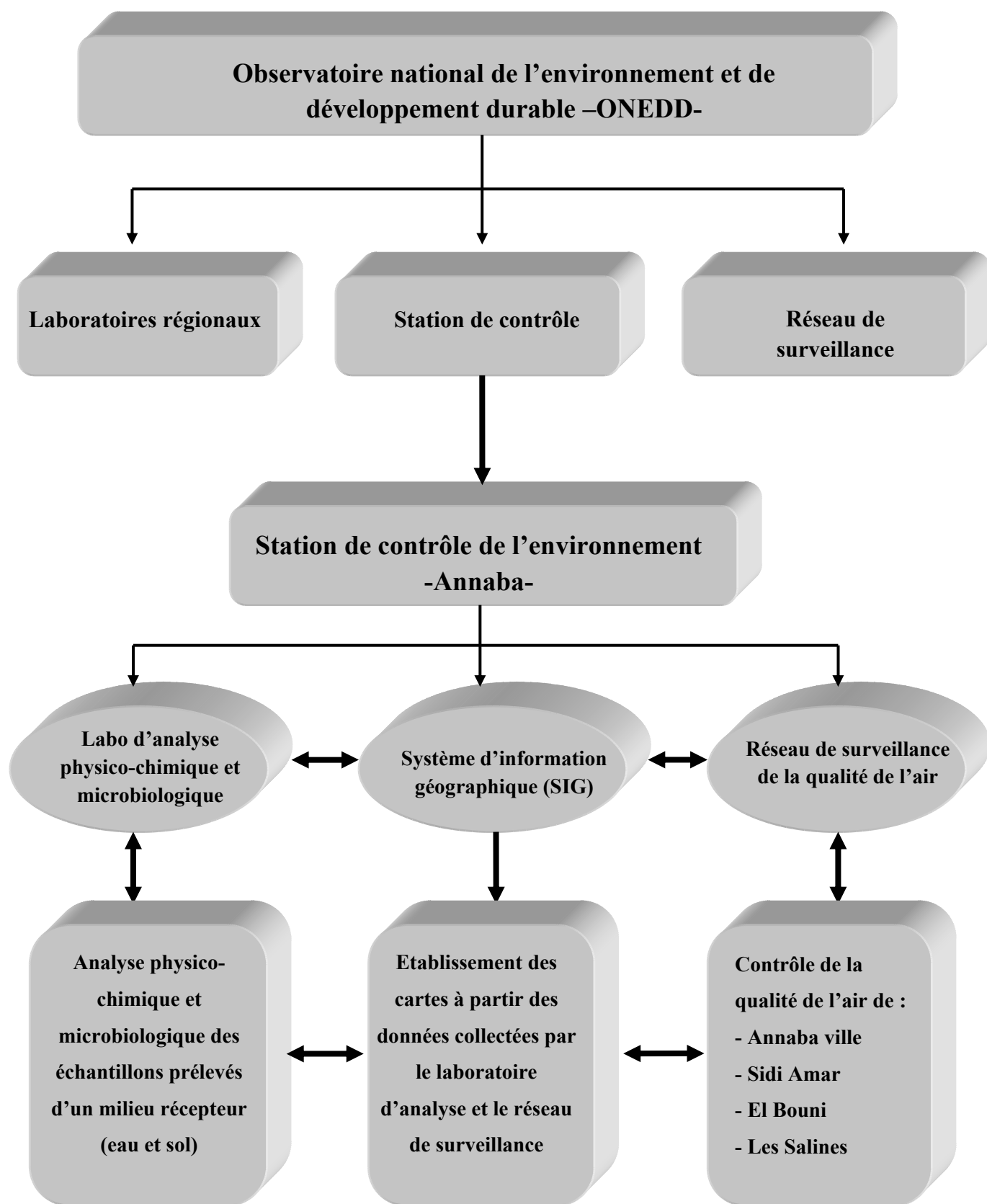


Fig. 89: Organigramme de la station de contrôle de l'environnement (ONEDD) - Annaba -

Tableau. 29: Les stations de surveillance de la qualité de l'air à Annaba

Station	Coordonnées			Type de station	Distance au Centre ville	Distance à la zone industrielle
	Latitude	Longitude	Altitude (m)			
Annaba ville	36°54'16''N	07°45'29''E	43	Base	0 km	10km au NE
El Bouni	36°51'25''N	07°44'25''E	53	Forte pollution	5km au S	4 km au NE
Sidi Amar	36°48'47''N	07°43'14''E	19	Forte pollution	10 km au SSW	1 km au NO
Les Salines	36°49'32''N	07°48'06''E	14	Référence	12 km au SE	9 km au NE

Remarque : Il y a une station de contrôle ou témoin est localisé au niveau de la commune de Seraïdi qui semble non polluée en raison de sa localisation loin de source de pollution (à une altitude d'environ 1000 m).

7.2.2. Implantation des stations de mesure

- **Station de type base d'Annaba ville (S₁)**

Cette station est destinée au suivi du niveau d'exposition moyen de la population au phénomène de pollution atmosphérique, générée principalement par l'activité urbaine (trafic routier, chauffage...)

- **Stations de type forte pollution d'El Bouni (S₂) et Sidi Amar (S₃)**

Ces deux stations sont destinées à l'évaluation de la pollution atmosphérique dans un périmètre affecté par l'émission à partir des sources industrielles fixes.

- **Station de type référence des Salines (S₄)**

Le site qui abrite cette station appelée communément station de référence est implanté loin des sources de pollution urbaine ou industrielle. Il a pour objectif, la surveillance de la pollution atmosphérique de fond et notamment la pollution photochimique (Ozone).

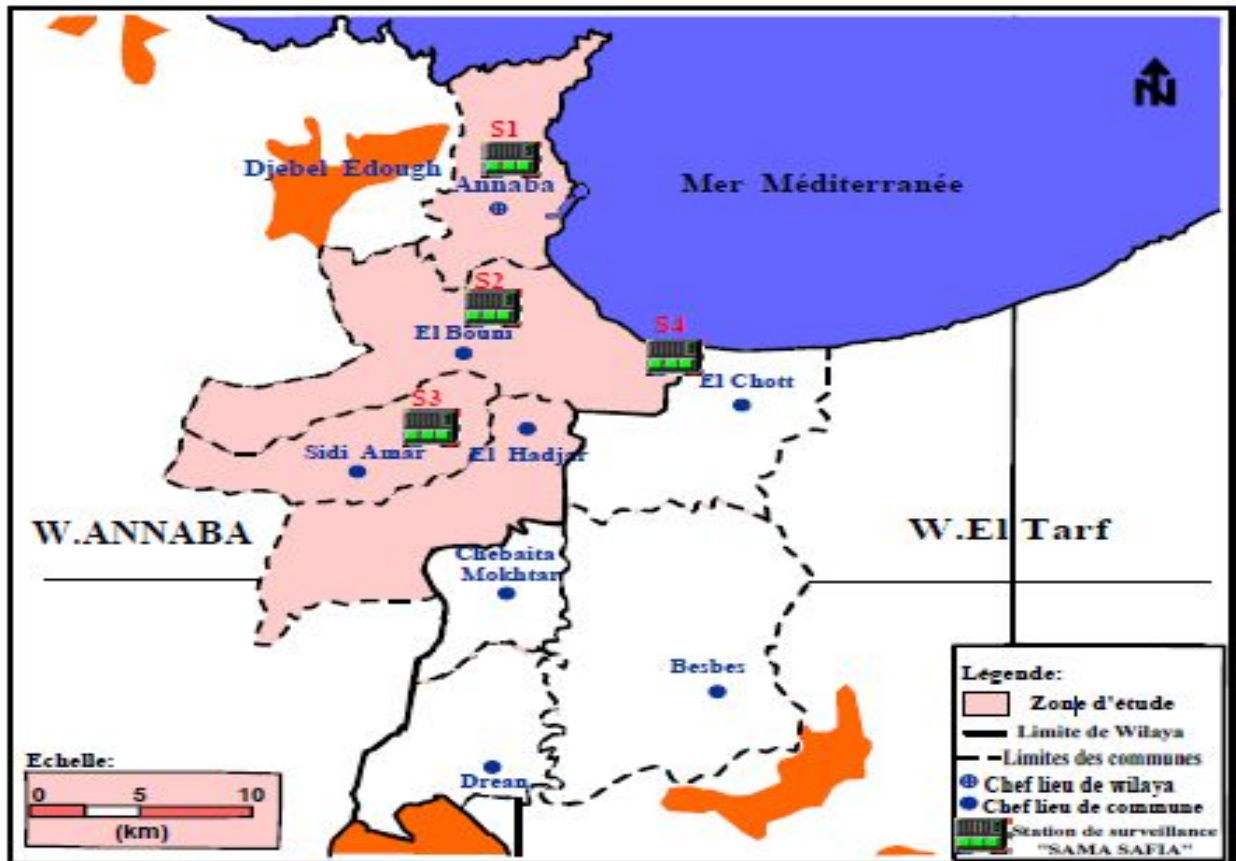


Fig. 90: Carte de localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air
- Sama Safia - (Mourdi, 2011)

7.3. Les objectifs du réseau de surveillance de la qualité de l'air

Ce réseau est pour but de :

- Surveiller en continue la qualité de l'air ambiant.
- Détecter les pics de pollution et les périodes d'occurrence correspondante.
- Alerter les autorités concernées, informer et sensibiliser la pollution durant les périodes critiques.
- Suivre la tendance d'évolution de la qualité de l'air dans le temps.
- Planifier les mesures à mettre en œuvre pour améliorer la qualité de l'air.
- Faire des prévisions de la qualité de l'air sur la zone concernée en utilisant les modèles existants.
- Servir d'appui à la recherche dans le domaine de la pollution atmosphérique.
- Prévoir les épisodes de pollution et les périodes critiques après établissement des modèles de dispersion et de comportement des polluants.

7.4. Fonctionnement du réseau de surveillance de la qualité de l'air

Le principe est donné dans l'organigramme ci-dessous (Fig.91):

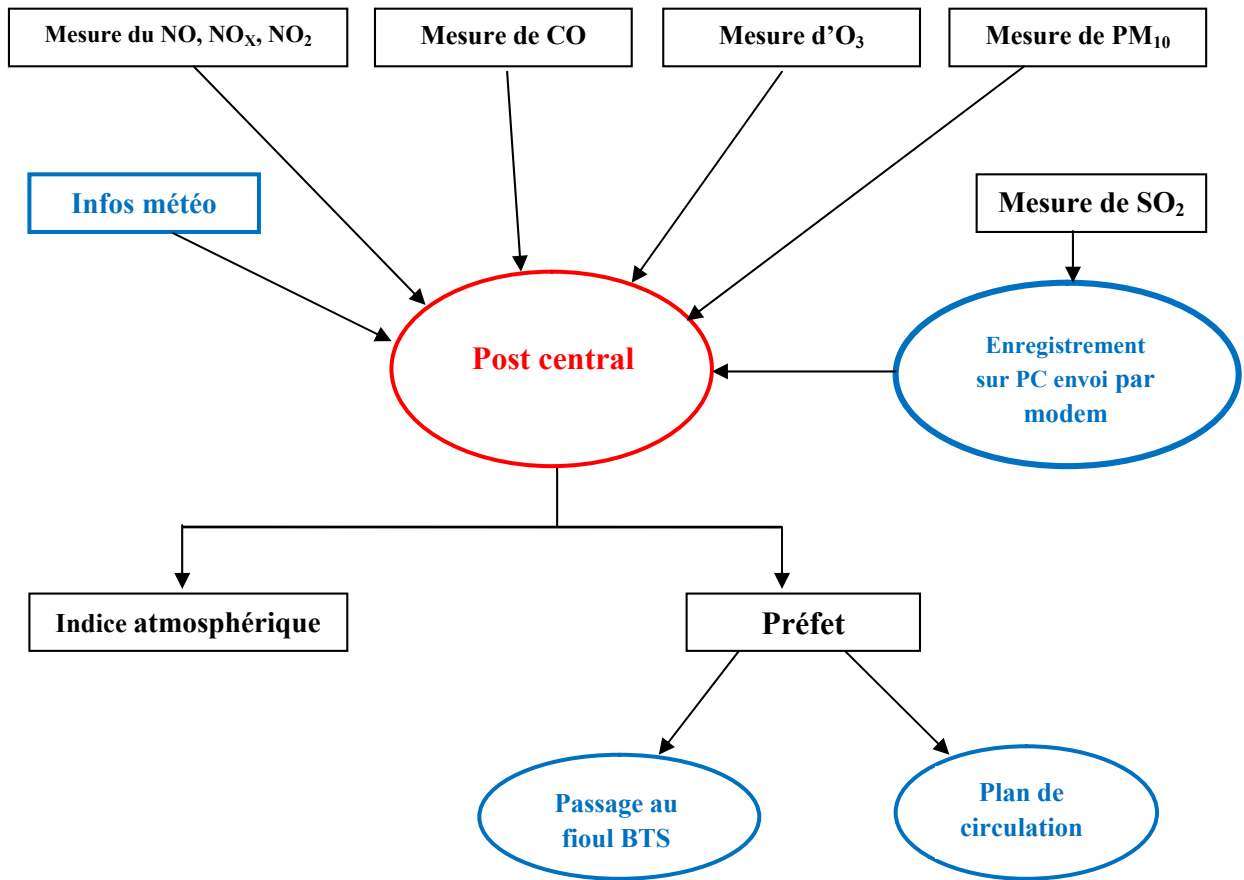


Fig. 91: Fonctionnement du réseau de surveillance de la qualité de l'air

8. La pollution atmosphérique

8.1. Les normes préconisées par l'OMS de quelques polluants atmosphériques

Les concentrations maximales dans l'air recommandées par l'OMS pour quelques polluants sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau. 30: Normes OMS de quelques polluants atmosphériques

Polluant	Concentration maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Durée d'exposition
SO₂	500	10 minutes
	125	24 heures
	50	1 an
NO₂	200	24 heures
	40	1 an
CO	10 000	8 heures
	100 000	15 minutes
Pb	0,5	1 an
O₃	100	Moyenne sur 8h
PM₁₀	50	A ne pas dépasser plus de 3 jours par an
PM_{2,5}	20	A ne pas dépasser plus de 3 jours par an

8.2. Les polluants mesurés par Sama Safia

8.2.1. Les polluants chimiques (identification)

Les stations de Sama Safia surveillent en temps réel la concentration des polluants suivants :

Tableau. 31: Les polluants mesurés par la station de surveillance Sama Safia

Polluant	Description
SO₂ : Dioxyde de soufre	Proviens généralement des combustions fossiles contenant du soufre (fuel, gasoil). Station de production de l'énergie et véhicule à moteur.
NO₂ : Dioxyde d'azote	Provient des installations de combustion (gaz naturel) et des véhicules automobiles.
CO : Monoxyde de carbone	Résulte de la combustion incomplète des combustibles fossiles (essence, fuel, charbon, bois).
O₃ : Ozone	Polluant secondaire provenant de la transformation de certains polluants (NO ₂ et hydrocarbure) sous l'action du soleil.
PM₁₀ : particulate matter	Poussière fines en suspension, émis par l'activité naturelles et humaines (moteur diesel, industrie.....etc).

Remarque : Malheureusement, les données concernant l'oxyde de carbone ne sont pas disponible au niveau des stations de mesure de sama safia.

8.2.2. Les paramètres météorologiques

Les paramètres météorologiques mesurés par les stations du réseau « Sama safia » sont:

- **La température de l'air:** L'énergie nécessaire aux réactions physicochimiques est fournie par le rayonnement de l'air, celui-ci à son entrée dans l'atmosphère, possède une énergie qui réchauffe l'air est appelée température de l'air.

- **Le vent :** C'est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluants. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent d'où un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants. La vitesse du vent augmente avec l'altitude.

- **L'humidité relative:** La présence d'une forte humidité dans l'air soit sous forme de vapeur d'eau soit sous forme d'eau condensée limite considérablement la diffusion des polluants, étant donné que le pouvoir de diffusion est tributaire de la masse volumique de l'air implicitement du libre parcours moyen. Une humidité élevée favorise l'accumulation et la concentration des impuretés.

8.2.2.1. Variations spatio-temporelles des paramètres météorologiques au niveau de quatre stations durant la période (2002-2007)

8.2.2.1.1. Variation annuelle de la température enregistrée au niveau de quatre stations

Les quatre courbes (Fig.92) représentent presque la même allure avec une variation légère se manifeste à la fin de ces courbes avec des valeurs maximales approximatives de 21,3°C, 20°C, 20,9°C, 18,8°C respectivement pour les stations d'Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et les Salines. Alors que les minimales s'observe pendant l'année 2005 avec des valeurs de 17,6°C (El Bouni) et 17°C (Les Salines), l'année 2006 avec 16,35°C (Annaba ville) et l'année 2004 avec 18,5°C (Sidi Amar).

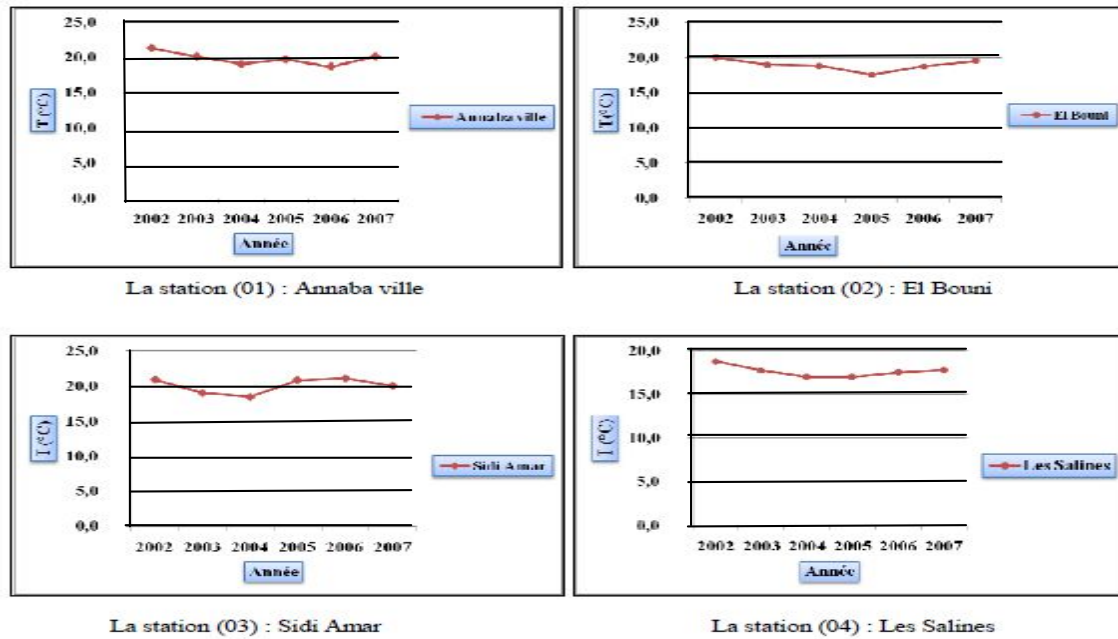


Fig. 92: Variation annuelle de la température de quatre stations 2002-2007 (Mourdi, 2011)

8.2.2.1.2. Variation spatio-temporelle de l'humidité enregistrée au niveau de quatre stations durant la période (2002-2007)

Les valeurs élevées (Fig.93) au niveau de quatre stations atteignent : 66% (Annaba ville), 69% (El Bouni), 68% (Sidi Amar) et 77% (Les Salines). Cette élévation revient à la présence de la mer qui favorise le déplacement des polluants dans l'atmosphère.

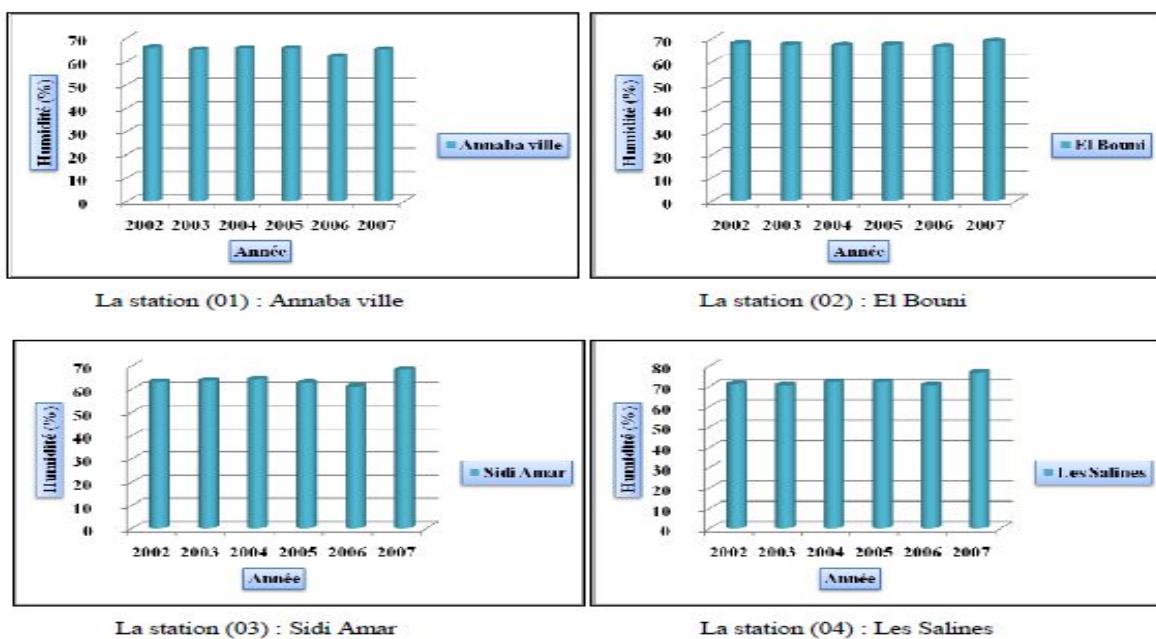


Fig. 93 : Variation annuelle de l'humidité de quatre stations 2002-2007 (Mourdi, 2011)

8.2.2.1.3. Les vents

La rose des vents (Fig.94) de la station des Salines montre que les vents dominants sont de direction NE à 15h vers la mer et SSW à 3h vers la terre durant la période (1970-2017).

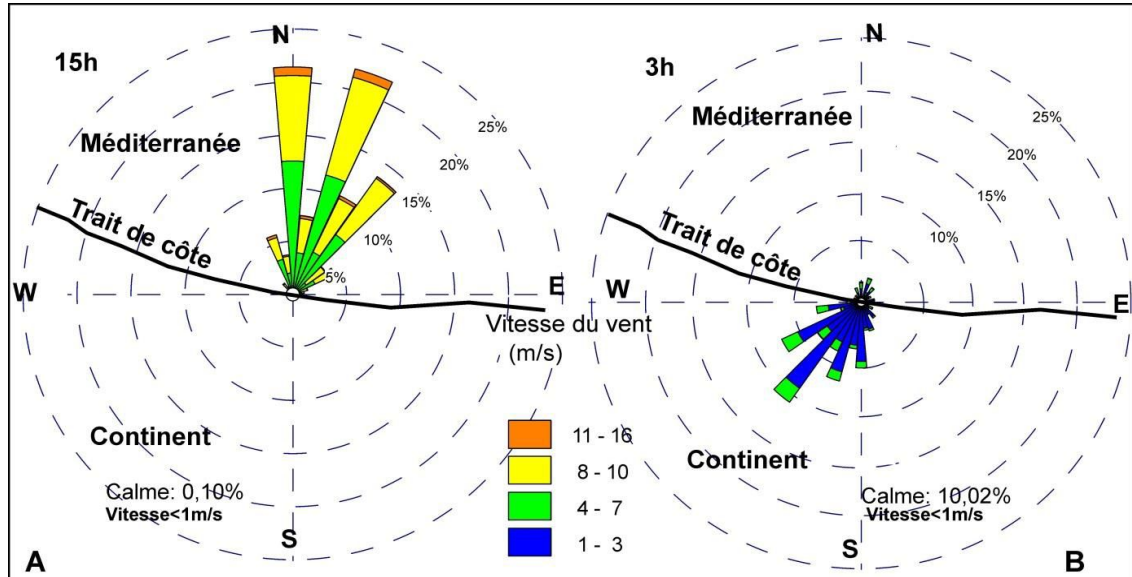


Fig. 94: Rose des vents enregistrés à 15 h (A) et 3 h (B) au niveau des salines pendant les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre (1970-2017); source des données : NOAA

La vitesse maximale de la brise de mer peut atteindre 10 m/s. La rose des vents (Fig.94) montre que 90 % de vent modéré vient de la mer, soit du NE enregistré à 15 h.

Le vent faible apparaît la nuit, il souffle du SW correspond à une brise de terre et/ou celle de montagne. Le vent inférieur à 1 m/s (calme) atteint environ 10 % à 3 h, soit 100 fois plus de cas par rapport à 15 h. Ce vent calme s'explique par l'installation d'une inversion thermique, ce phénomène est difficile à montrer à Annaba à cause de l'absence de radiosondage. Cependant, cette technique mise en place à l'aéroport de Tunis-Carthage (situé à environ 230 km à l'est d'Annaba) montre bien une augmentation de la température dans les premières dizaines de mètres, en été, durant les situations de brise de mer (Selon Saihia.A et Dahech. S 2017).

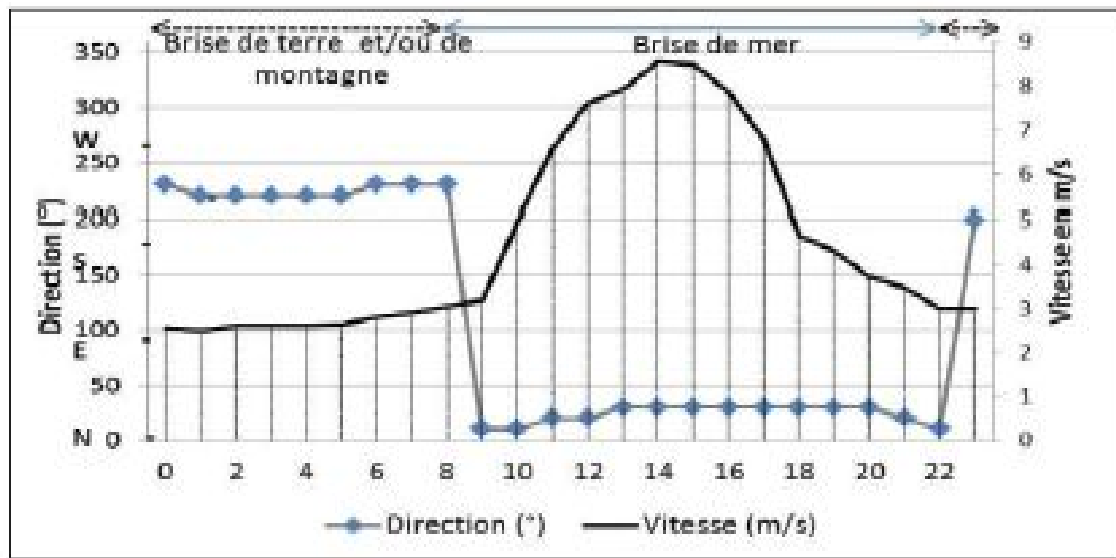


Fig. 95: Anémogramme du vent (direction et vitesse moyenne horaire) à Annaba
(In.Saihia et Dahech, 2017) - données NOAA (1970-2016) -

La brise de mer (Fig.95) se déclenche vers 9h situé à 2 km de la mer. Son arrivée est attestée par une impulsion de la vitesse du vent et une déviation brusque de sa direction. Au début de l'après-midi la brise souffle du NNE et atteint sa vitesse maximale qui avoisine 8 m/s.

Elle se couche vers 22h soit environ deux heures après le coucher du soleil. Cette brise de mer est succédée par une légère brise d'une vitesse d'environ 2,5 m/s venant du SW. Elle correspond à une brise de terre et/ou à une brise de montagne soufflant jusqu'à 8h.

8.3. Les polluants chimiques mesurés

8.3.1. Variations spatio-temporelles de dioxyde d'azote (NO_2)

8.3.1. 1. Pour la période (2012-2013)

Les taux de dioxyde d'azote (NO_2) enregistrés (Fig.96) au niveau de la station de Annaba ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont 4 fois plus élevés que ceux enregistrés au niveau des Salines, et trois fois plus élevé que ceux de Sidi Amar et deux fois plus élevés que ceux de la station d'El Bouni durant la période (2012-2013).

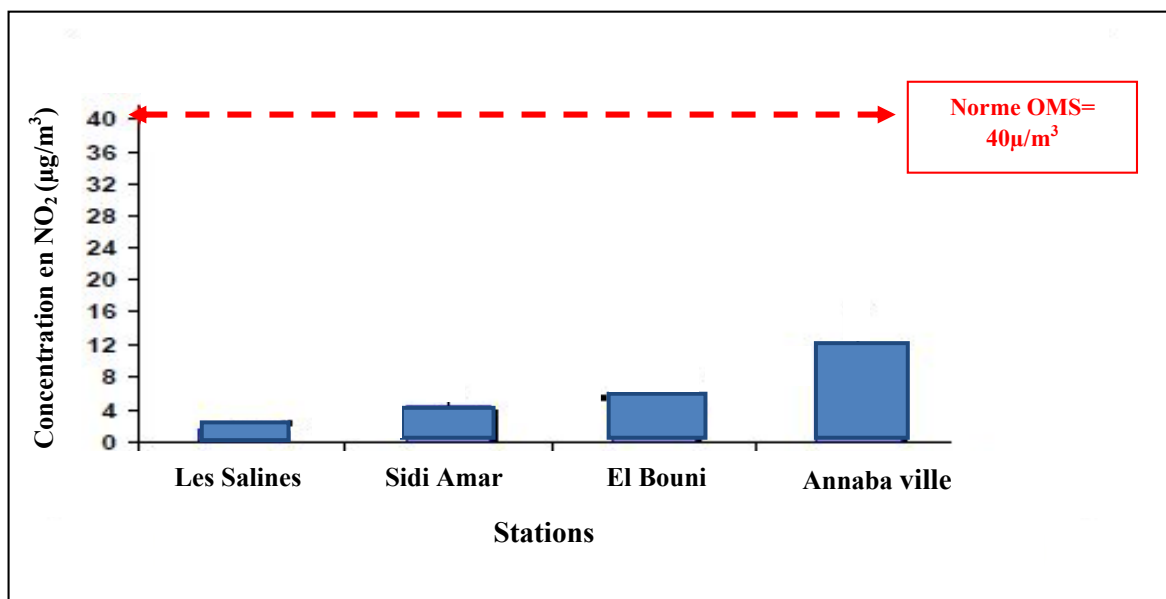


Fig. 96 : Variations spatiales de dioxyde d'azote NO₂ durant la période (2012-2013)

8.3.1.2. Pour la période (2013-2014)

La station d'Annaba (Fig.97) représente la concentration la plus élevée de NO₂ (11,75µg/m³), alors que celles les plus faible se manifestent au niveau de la station d'El Bouni et Sidi Amar avec des concentrations respectivement (5 µg/m³ et 3,33 µg/m³) durant la période 2013-2014.

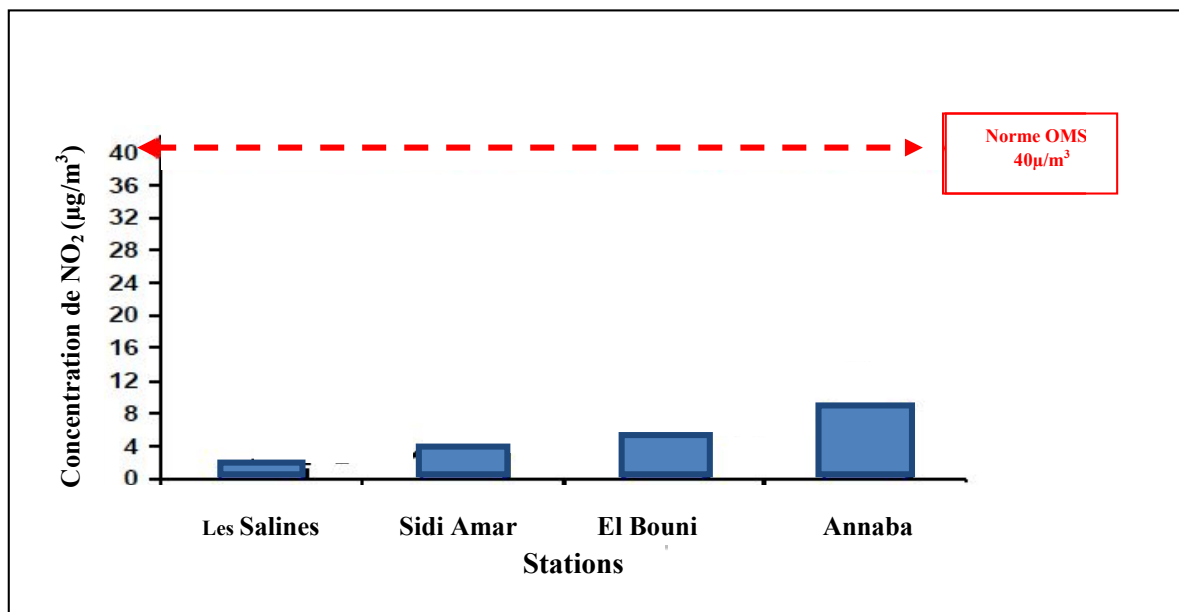


Fig. 97 : Variations spatiales de dioxyde d'azote (NO₂) durant la période (2013-2014)

Remarque : Les valeurs de dioxyde d'azote (NO₂) ne dépassent pas la valeur guide de l'OMS (40 µg/m³) pour les quatre stations et durant la période (2012-2014).

8.3.2. Variations spatio-temporelles des oxydes d'azote (NO_x)

8.3.2. 1. Pour la période (2012-2013)

Concernant la répartition des oxydes d'azote (NO_x) durant la période 2012-2013 au niveau de quatre stations (Fig.98), on remarque que les concentrations par cet élément sont en variations remarquable d'une station à l'autre d'où on a la plus faible valeur s'observe au niveau des Salines ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et augmente jusqu'à $22,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de la station d'Annaba. Ces valeurs sont faibles par rapport à celle de l'OMS ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

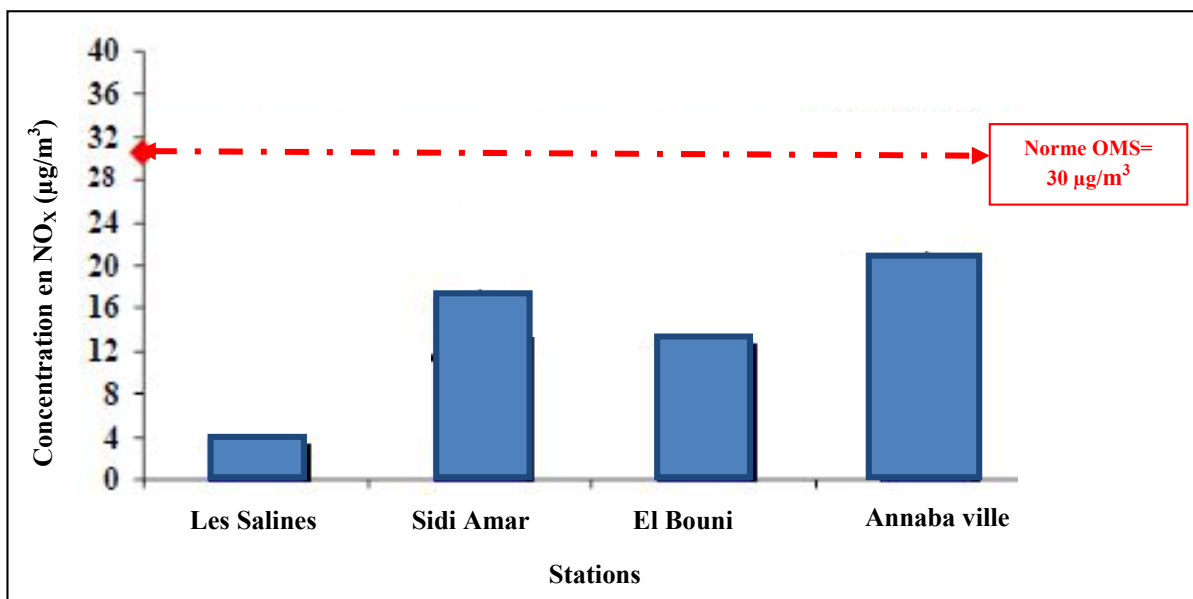


Fig. 98: Variations spatiales des oxydes d'azote (NO_x) durant la période (2012-2013)

8.3.2.2. Pour la période (2013-2014)

Les quatre stations (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et Les Salines) montrent que le taux de NO_x enregistré (Fig.99) durant la période 2013-2014 est en dessous de la norme préconisée par l'O.M.S ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cependant les fortes teneurs en NO_x sont observées au niveau de Annaba ville et El Bouni par rapport aux autres stations avec des valeurs respectivement de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

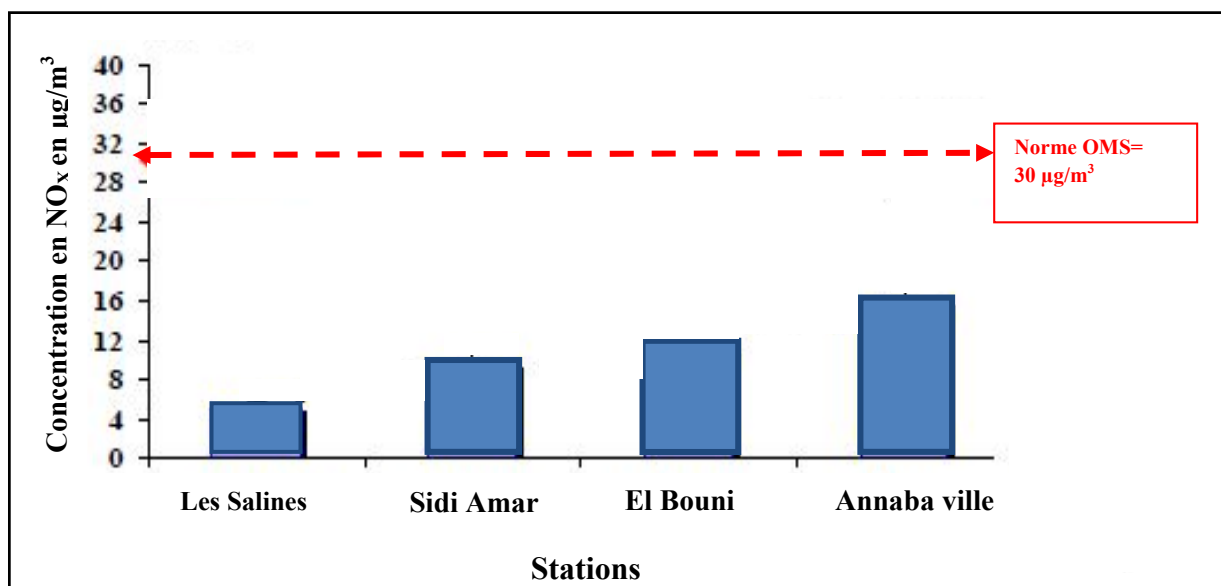


Fig. 99 : Variations spatiales des oxydes d'azote (NOx) durant la période (2013-2014)

8.3.3. Variation spatio-temporelle des poussières (PM₁₀)

L'OMS préconise une valeur moyenne quotidienne de 150 µg/m³ pour les PM₁₀ (OMS, 2006). Cette valeur a été choisie pour représenter la plus faible concentration des PM₁₀, au-delà duquel, des effets significatifs sur l'espérance de vie des patients ont été observés, dans une étude de l'American Cancer Society. Cette valeur se situe ainsi, en-dessous des niveaux moyens engendrant des effets significatifs sur la santé, selon les études récentes disponibles (AIRPARIF, 2008).

Tableau. 32: Les différentes normes de PM₁₀ (µg/m³)

	Valeurs limites (µg/m³)			
	Algérie	Europe	ES-EPA	OMS
	Poussières fines	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
Limite annuelle moyenne	50	20	25	n/p
Limite quotidienne moyenne	n/p	50	n/p	50
Jours de dépassement admissibles par année	n/p	7	n/p	15

8.3.3.1. Les stations d'Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar

Les concentrations des poussières (Fig.100, Fig.101 et Fig.102) sont plus au moins élevées en comparant avec la norme de l'OMS (50 µg/m³) du 09h jusqu'au 15h pour Annaba

ville et El Bouni et de 11h vers 15h pour Sidi Amar (moyennes des mois de Juillet, Aout et Septembre pour les années 2012, 2013 et 2014). Cette pollution particulière est d'origine d'une part de la circulation intense des véhicules durant cette période, et des activités industrielles à la limite de ces centres urbains. Ainsi que l'existence de la faible couverture du sol, entraînant le soulèvement des poussières au vent modéré et les conditions météorologiques favorisant l'apparition du sirocco pendant la période sèche. Et à partir de 16h jusqu'au 07h (lendemain pour Annaba et El Bouni) et jusqu'à 10 h (lendemain pour Sidi Amar), on a une faible concentration des poussières par rapport à celle de l'OMS.

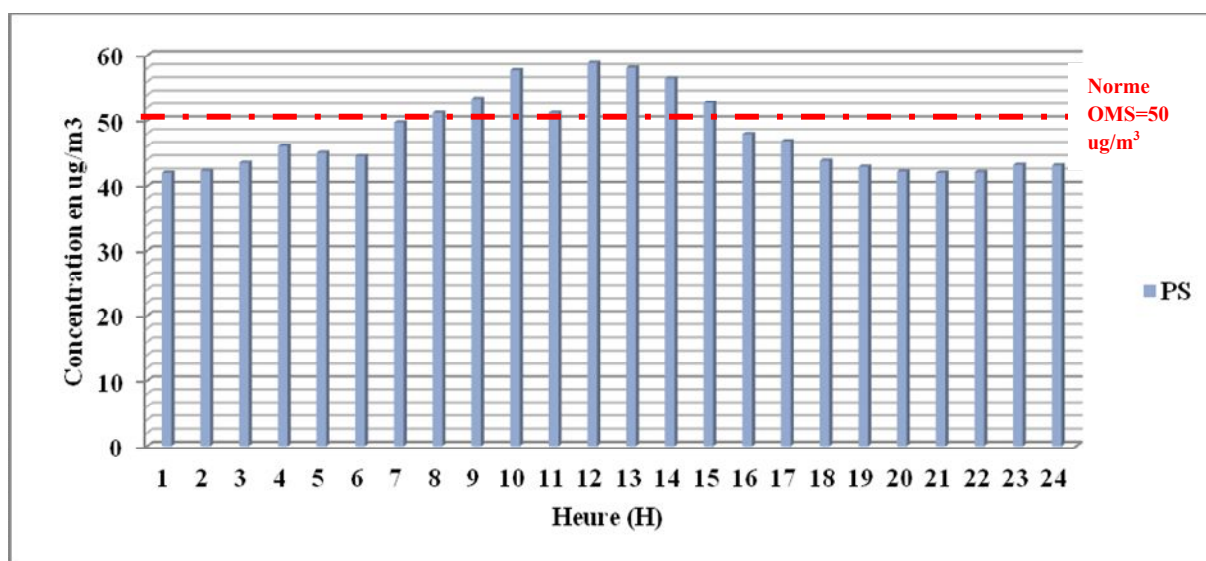


Fig. 100. Moyennes horaires des concentrations en poussières enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville

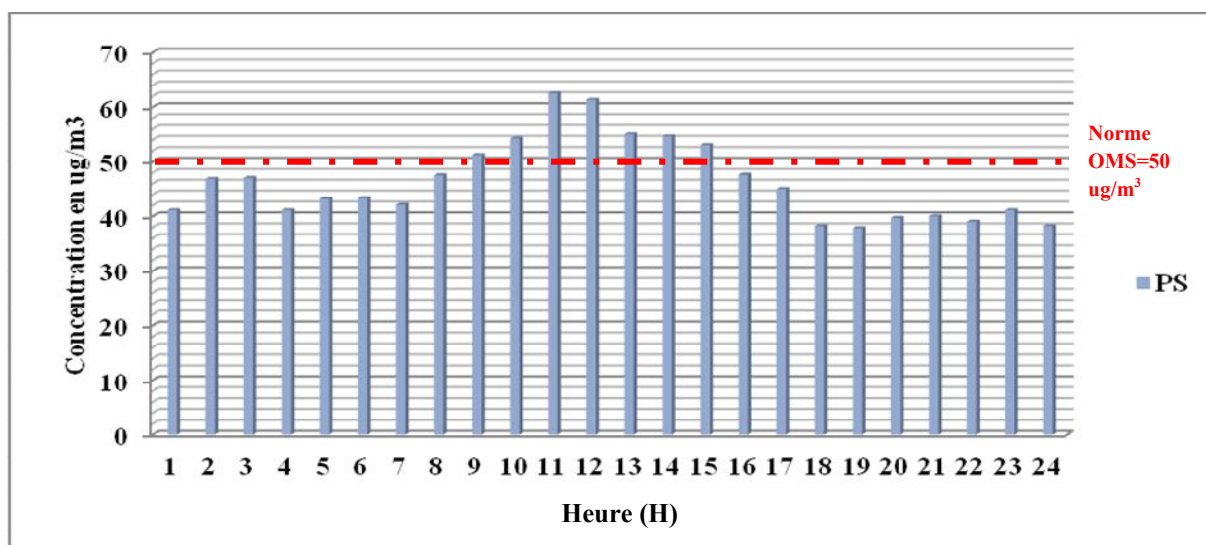


Fig. 101. Moyennes horaires des concentrations en poussières enregistrées en Juillet, Août et Septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni

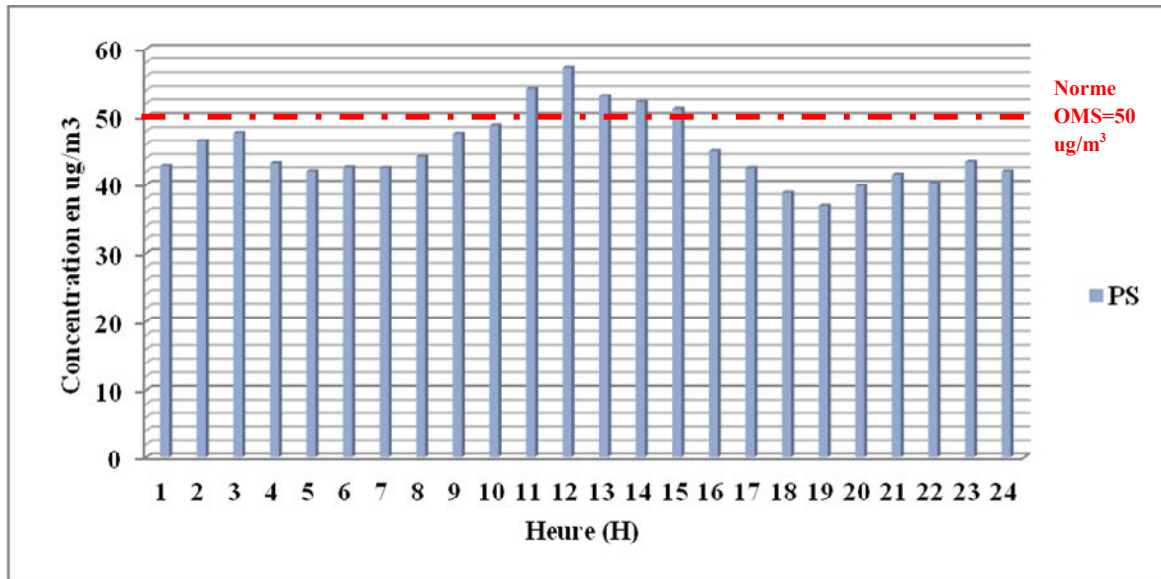


Fig. 102 : Moyennes horaires des concentrations en poussières enregistrées en Juillet, Août et Septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar

8.3.3.2. La station des Salines

Cette station (Fig.103) enregistre des concentrations moins élevées que celles de Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar et ne dépassent plus la norme de l'OMS recommandé (50 ug/m^3). Cette faible pollution par Les poussières (plus forte valeur = 49 ug/m^3) indique l'éloignement de cette station des sources de pollution.

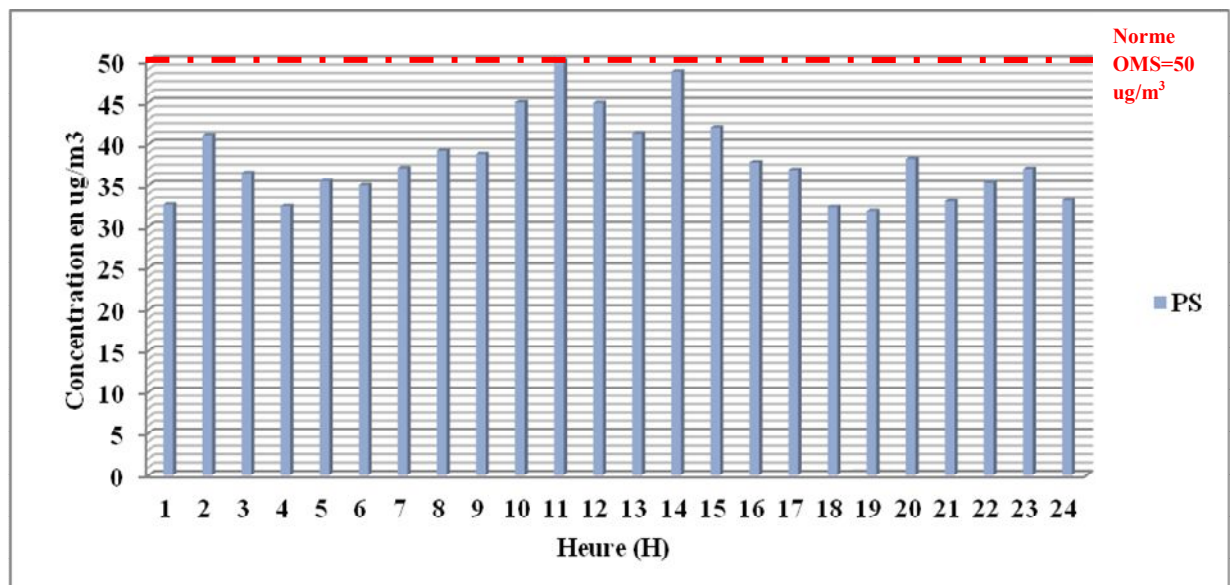


Fig. 103: Moyennes horaires des concentrations en poussières enregistrées en Juillet, Août et Septembre (Années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines

8.3.4. L'Ozone

L'ozone connaît une variabilité dans le temps et dans l'espace à différentes échelles, rythmée entre autres par la situation météorologique et par les caractéristiques topographiques (Martin et Carrega, 2007). Le rôle joué par l'ozone dans le réchauffement climatique n'est pas négligeable puisqu'il se caractérise par un forçage radiatif 1200 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone et par une durée de vie allant jusqu'à un mois et avec un transport sur de longues distances (GIEC, 2015). La comparaison de l'ozone mesuré au niveau de quatre stations (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et Les Salines) montre une forte variabilité spatio-temporelle.

Pour les quatre stations, on constate :

8.3.4.1. La station de Annaba ville

Le minimum des concentrations d'ozone au niveau de la station de Annaba ville (Fig.104) est observé la matinée (entre 4h et 7h) avec une valeur de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se manifeste au mois de Juillet, alors que le maximum est observé l'après midi jusqu'à la soirée (entre 13h et 18h) avec une valeur de $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (septembre). Ceci est en relation directe avec l'ensoleillement.

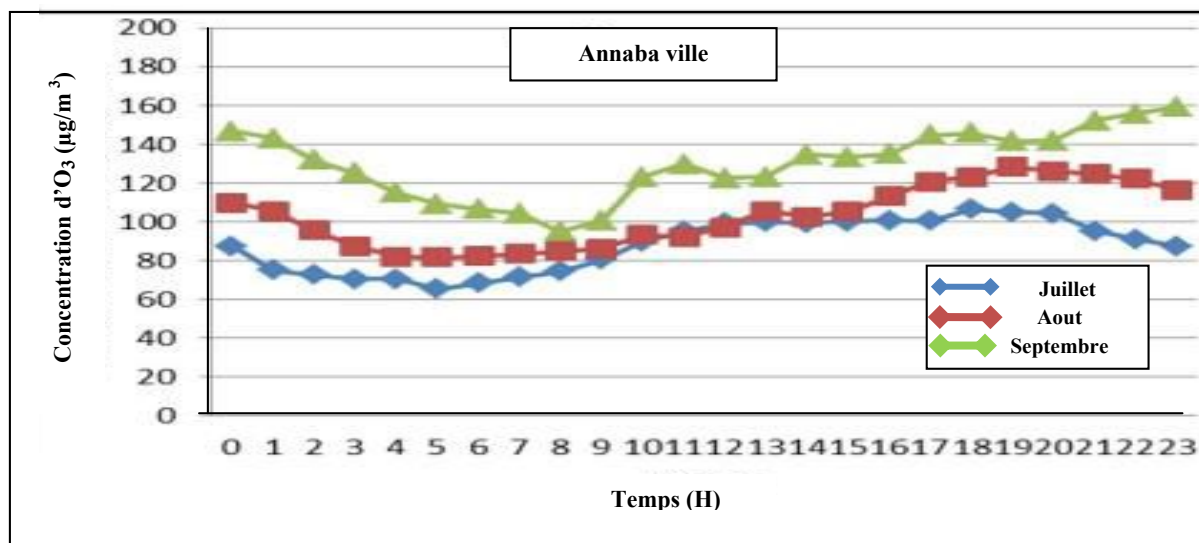


Fig. 104: Moyennes horaires des concentrations en ozone enregistrées en juillet, août et septembre (Années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville

8.3.4.2. La station de Sidi Amar

Cette station (Fig.105) présente une concentration minimale d'Ozone observé la matinée (entre 4h et 8h) avec une valeur de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se manifeste au mois de Septembre et le maximum est observé la soirée (entre 14h et 18h) avec une valeur de $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mois d'août). Tout est lié directement avec l'ensoleillement.

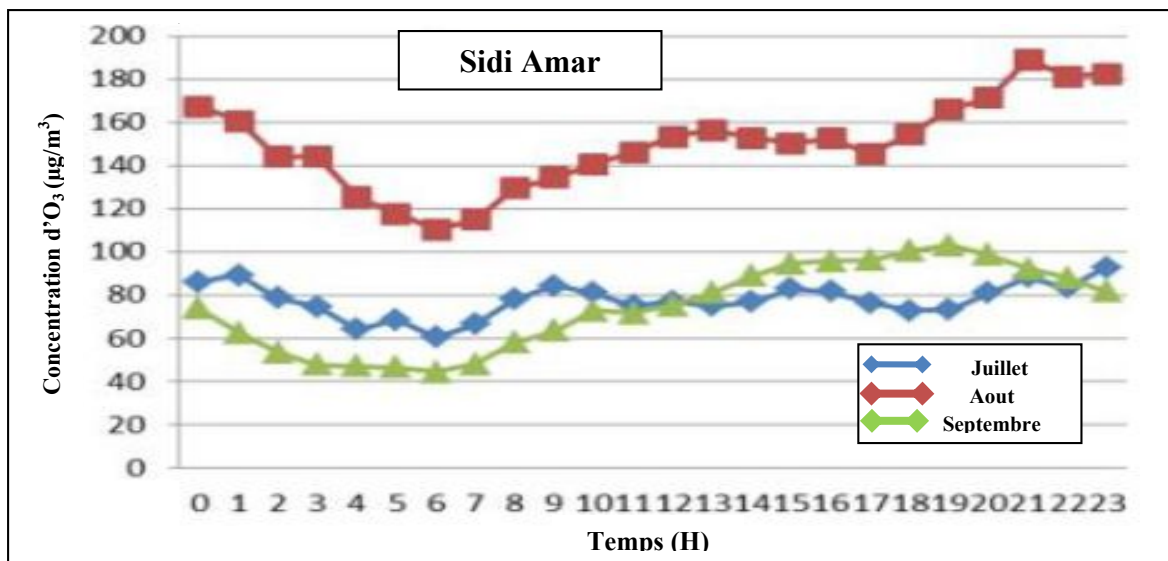


Fig. 105: Moyennes horaires des concentrations en ozone enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar

8.3.4.3. La station d'El Bouni

La concentration minimale d'ozone au niveau de la station d'El Bouni (Fig. 106) est observée entre 4h et 8h (la matinée) avec une valeur de 39,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mois de juillet) et celle maximum est observée l'après midi jusqu'à la soirée (entre 14h et 20h) avec une valeur de 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mois d'août). Tout est lié avec le temps d'ensoleillement et le mois le plus ensoleillé (août pour cette période).

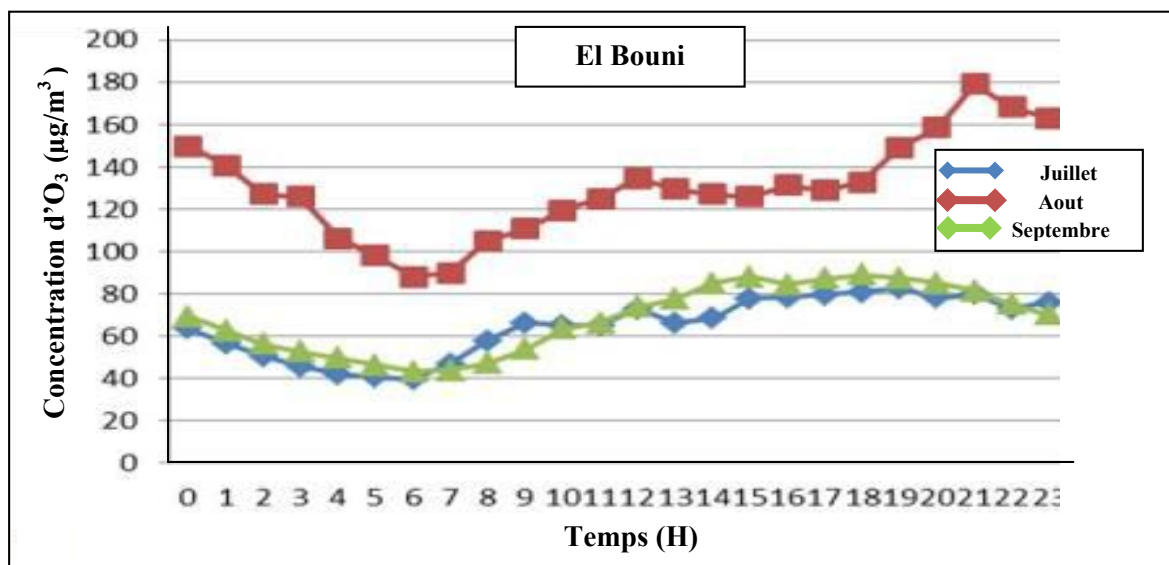


Fig. 106: Moyennes horaires des concentrations en ozone enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni

8.3.4.4. La station des Salines

Le minimum est observé la matinée entre 5h et 8h atteignant $39,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mois de juillet) au niveau de la station des Salines (Fig.107) puis une augmentation entre 13h et 16h avec une valeur maximale atteignant $100,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en d'août. Cette augmentation est due principalement au rayonnement solaire.

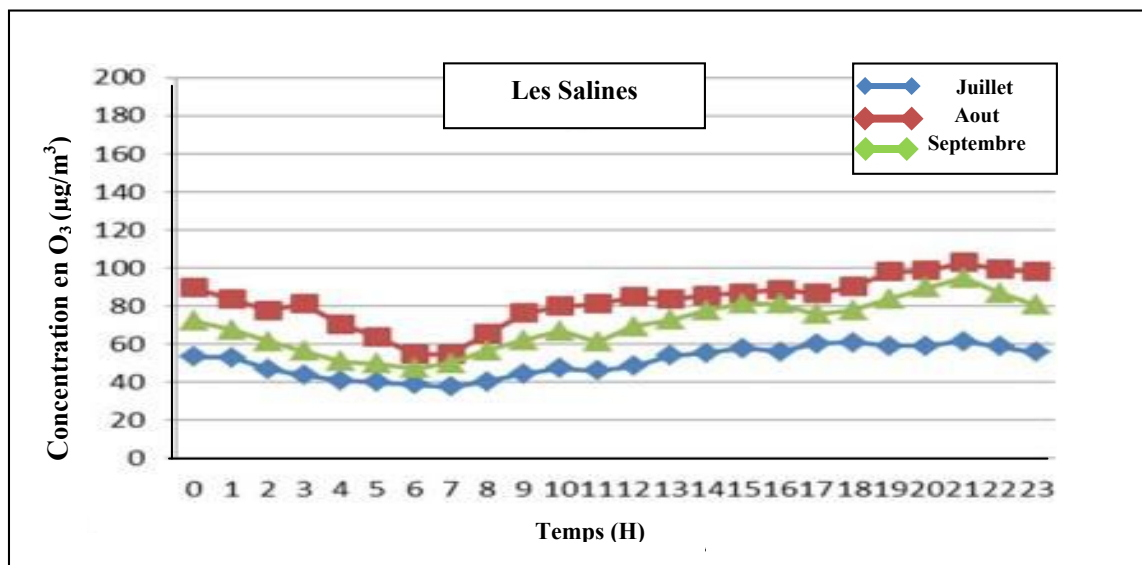


Fig. 107: Moyennes horaires des concentrations en ozone enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines

8.3.5. Le dioxyde de soufre (SO_2)

L'accumulation des polluants primaires (SO_2) est favorisée par certaines conditions tels que : la nuit, l'inversion thermique, la faible vitesse de la brise de terre ou de montagne. Ces derniers, qu'ils soient émis la nuit ou le jour, sont réacheminés par la brise nocturne vers la mer après avoir parcouru la région.

8.3.5.1. Stations d'Annaba ville

Cette station (Fig.108) marque des concentrations plus élevées en SO_2 par rapport aux autres stations à cause de l'accumulation des émissions issues du trafic routier, de l'activité portuaire et industrielle (Ghazi, 2012). La concentration maximale atteint $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et s'observe à 20 h (mois de septembre). Les deux autres courbes (mois de juillet et août) sont presque identiques avec une variation légère et présentent des valeurs faibles par rapport à celle du mois de septembre.

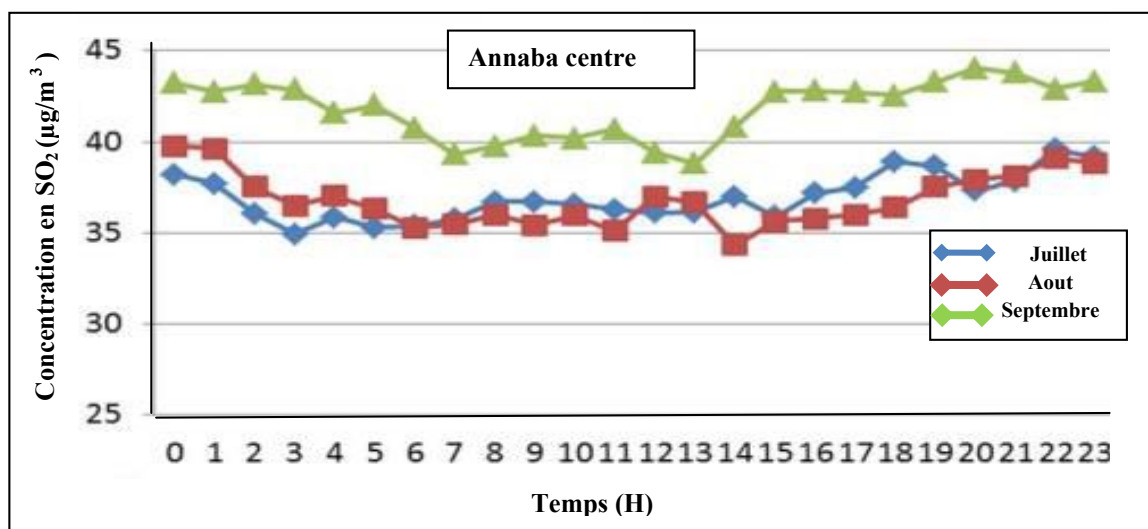


Fig. 108: Moyennes horaires des concentrations en dioxyde de soufre enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'Annaba ville

8.3.5.2. Stations de Sidi Amar et El Bouni

Les concentrations de dioxyde de soufre sont plus élevées au niveau de ces deux stations (Fig.109 et Fig.110) à cause de l'industrialisation (Arcelor Mital) atteignant 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sidi Amar) et 36,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (El Bouni) au mois de juillet. Néanmoins, les faibles concentrations sont observées au mois d'août durant la nuit et une autre légère diminution l'après midi. Cette baisse du dégagement de cet élément durant ce mois confirme que le complexe d'El Hadjar Arcelor Mittal est en arrêt pendant le mois d'août (selon la presse locale ; <https://urlz.fr/c4Ix>).

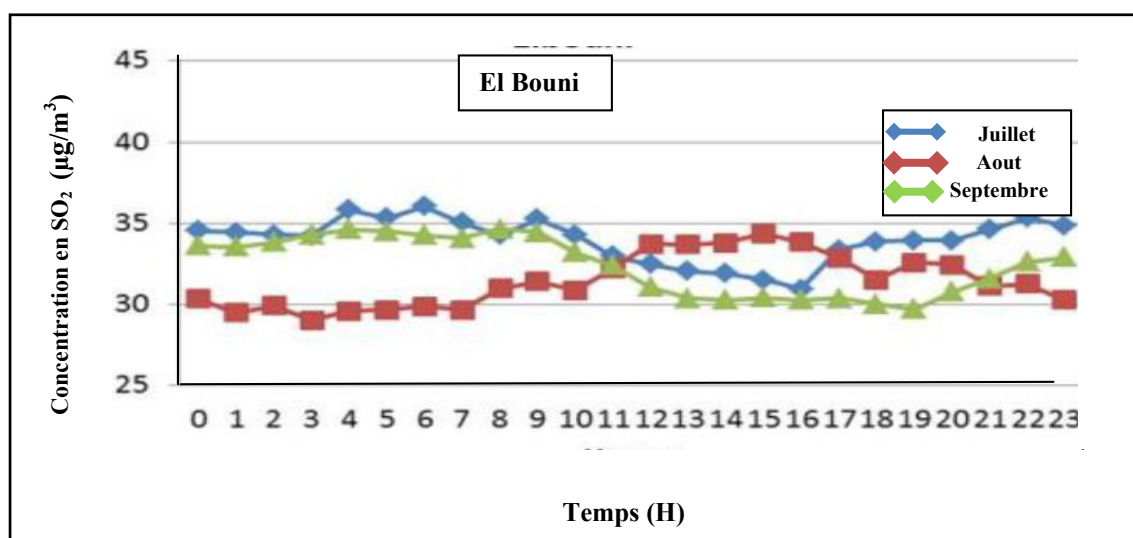


Fig. 109 : Moyennes horaires des concentrations en dioxyde de soufre enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station d'El Bouni

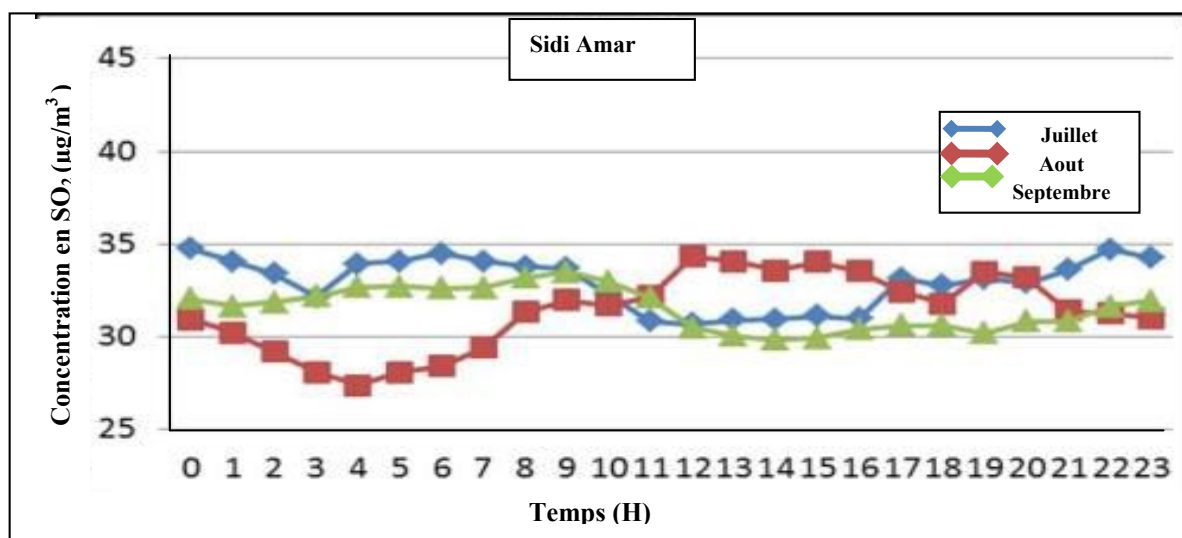


Fig. 110: Moyennes horaires des concentrations en dioxyde de soufre enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station de Sidi Amar

8.3.5.3. Stations Des Salines

Les deux courbes (Fig.111) pendant les mois de juillet et août présente presque la même allure avec une variation brusque se manifeste à partir de 18 h jusqu'à minuit. Les fortes valeurs (mois de septembre) sont observées la matinée jusqu'à 09h et la soirée à partir de 18 h avec une valeur maximale atteignant 35,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant les faibles valeurs (mois de septembre) s'observent à partir de 09h jusqu'à 18h avec un minimum de 28,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (s'observe à 12h). Ceci s'explique par l'inversion thermique, la nuit (absence d'ensoleillement ce qui favorise la dispersion des polluants).

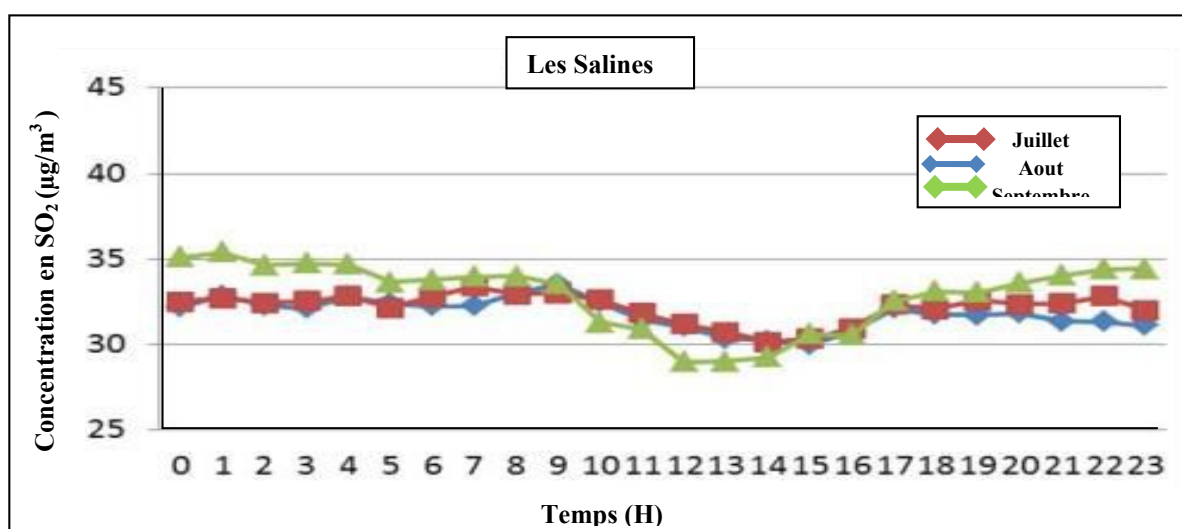


Fig. 111 : Moyennes horaires des concentrations en dioxyde de soufre enregistrées en juillet, août et septembre (années 2012, 2013 et 2014) pour la station des Salines

8.4. Bilan sur la qualité de l'air pour Annaba et ses agglomérations

8.4.1. Paramètres de calcul de l'indice de la qualité de l'air

L'indice de la qualité de l'air concerne toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants et il est calculé quotidiennement pour les quatre stations du réseau de mesure. Les polluants utilisés pour la détermination des indices de la qualité de l'air sont : le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, les poussières PM₁₀ et l'ozone.

Le principe de calcul est établi en fonction des concentrations enregistrées suivantes :

SO₂ : Moyenne des maximums horaires de la journée.

NO₂ : Moyenne des maximums horaires de la journée.

O₃ : Moyenne des maximums horaires de la journée.

PM₁₀ : Moyenne des moyennes de la journée.



Fig. 112 : Grille de couleurs des paramètres de calcul de l'indice de la qualité de l'air ; Source : atmo-bfc.org-(Année 2000 révisé fin 2019 début 2020)

8.4.2. Echelle des valeurs attribuée aux sous-indices des polluants

Le tableau N°24 donne les sous indices qui correspondent à chaque niveau de concentration des polluants. L'indice global de la station correspond au sous indice le plus élevé.

Tableau. 33 : Echelle des valeurs attribuée aux sous indices des polluants

Indices	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Niveau PM ₁₀ (ug/m ₃)	0-9	10-19	20-29	30-39	40- 49	50-54	55-79	80-99	100-124	≥ 125
Niveau SO ₂ (ug/m ³)	0-39	40-79	80-119	120-159	160-199	200-249	250-299	300-399	400-599	≥ 600
Niveau NO ₂ (ug/m ³)	0-29	30-54	55-84	85-109	110-134	135-164	195-199	200-274	275-399	≥400
Niveau O ₃ (ug/m ³)	0-29	30-54	55-79	80-104	105-129	130-149	150-179	180-249	250-359	≥360

8.4.3. Niveaux des indices

Les niveaux des indices et ses qualités de l'air ainsi que la grille de couleur de l'indice atmosphérique sont représentés dans le tableau N°32 et la figure N°113 respectivement.

Tableau. 34 : Niveaux des indices et ses qualités de l'air

Niveau de l'indice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Qualité de l'air	Excellente	Très bonne	Bonne	Assez bonne	Moyenne	Médiocre	Très médiocre	Mauvaise	Très mauvaise	Exécrable

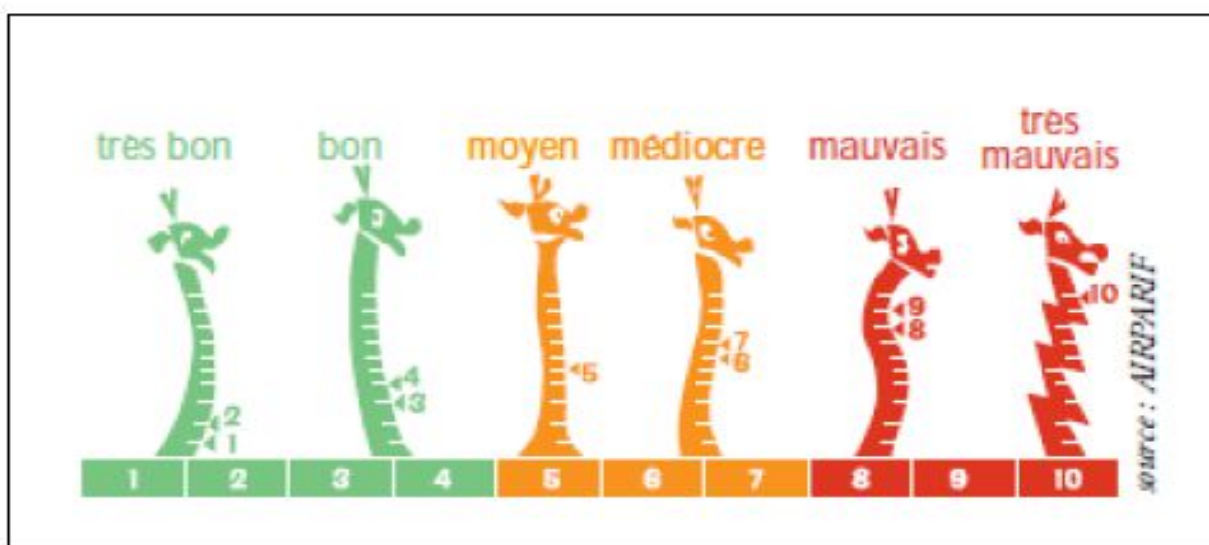


Fig. 113 : Grille de couleurs de l'indice atmosphérique ; Source : atmo-bfc.org-(Année 2000 révisé fin 2019 début 2020)

8.4.4. La qualité de l'air pour chaque station

Pour connaître l'état de la qualité de l'air au niveau de quatre stations (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et Les Salines), il est nécessaire de prendre en considération la plus grande valeur correspond au polluants utilisés pour la détermination des indices de la qualité de l'air (SO_2 , NO_2 , PM_{10} et O_3).

8.4.4.1. Station d'Annaba ville

La qualité de l'air au niveau de cette station (Fig.114) durant la période (2012-2014) pour les mois de juillet, aout et septembre se classe de bonne, très bonne à assez bonne. Alors que la qualité de l'air est rendu médiocre sur une période moyenne à cause de la présence de la poussière (PM_{10}) en grande quantité.

8.4.4.2. Station d'El Bouni

La qualité de l'air au niveau d'El Bouni (Fig.115) peut être qualifiée bonne, assez bonne à moyenne qualité durant la période 2012-2014 pour les mois de juillet, aout et septembre. Néanmoins, elle est rendue médiocre à très médiocre sur une période moyenne. La pollution par les poussières est la plus significative et celle d'ozone.

8.4.4.3. Station de Sidi Amar

La qualité de l'air de cette station (Fig.116) est qualifiée globalement assez bonne, bonne à moyenne pour la période de 2012-2014 et durant les mois de juillet, aout et septembre. Cependant la qualité de l'air a été, pour une période bien défini, affectée par une forte pollution par les poussières ce qui rend l'air médiocre.

8.4.4.4. Station des Salines (Aéroport)

La qualité de l'air au niveau des Salines (Fig.117) durant la période donnée (2012-2014) pour les mois de juillet, aout et septembre est qualifiée globalement très bonne, bonne à moyenne. Ce qui confirme que cette station est loin des sources de pollution d'origine urbaine (industries, intensité du trafic routiers,.....). A l'exception de certaine période présente une qualité de l'air médiocre à cause de la dispersion d'ozone en forte quantité.

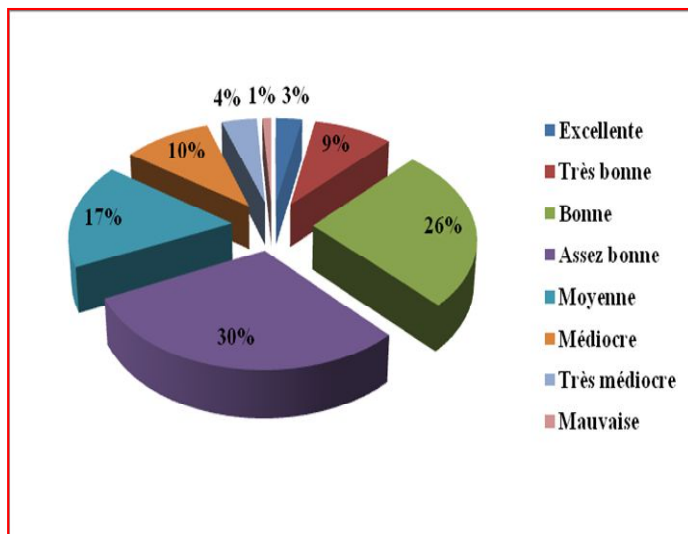
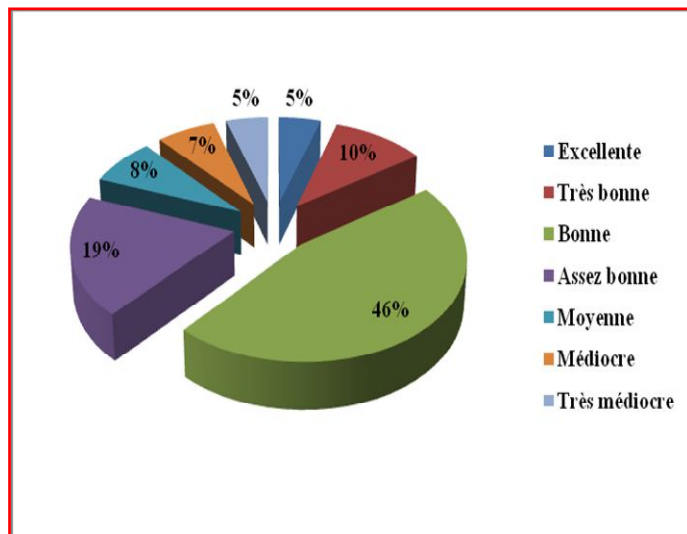


Fig. 114: La qualité de l'air au niveau d'Annaba ville (2012-2014) mois : juillet, aout et septembre (Source : station de contrôle d'environnement)

Fig. 115: La qualité de l'air au niveau d'El Bouni (2012-2014) mois : juillet, aout et septembre (Source : station de contrôle d'environnement)

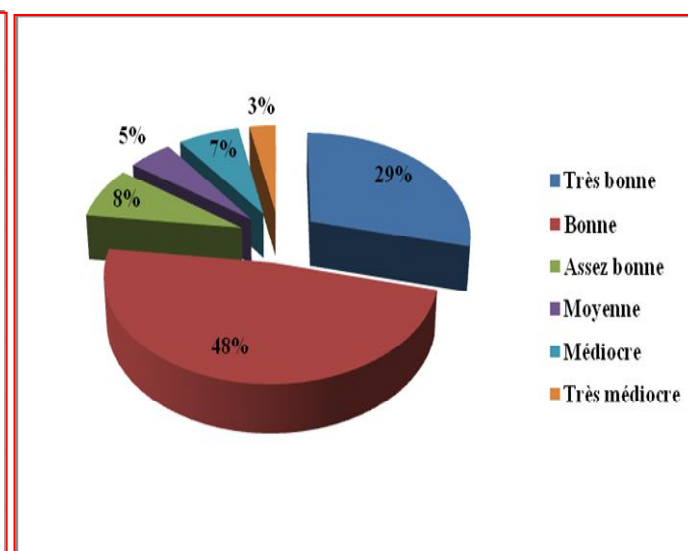
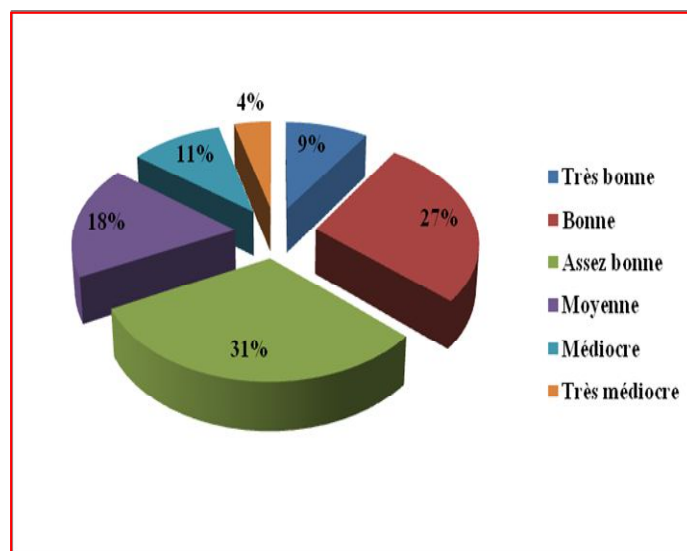


Fig. 116: La qualité de l'air au niveau de Sidi Amar (2012-2014) (mois : juillet, aout et septembre ; Source : station de contrôle d'environnement)

Fig. 117: La qualité de l'air au niveau des Salines (2012-2014) (mois : juillet, aout et septembre ; Source : station de contrôle d'environnement)

Conclusion

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air et son exploitation nous a permis de traiter les données potentielles de pollution dans les sites présélectionnées. La lecture des mesures données par le réseau fait apparaître le diagnostic suivant :

- La présence d'une pollution plus au moins remarquable issue de l'activité industrielle, du trafic routier et au manque de verdunisation.

- La pollution par les poussières et le dioxyde de soufre est plus élevé au niveau d'Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar.

- La pollution par l'Ozone enregistrée au cours de la période estivale est issue de l'ensoleillement favorisé par la présence des polluants primaires (NO_2 , SO_2 , CO ...).

Les situations de brises estivales sont responsables de variations spatio-temporelles significatives de l'ozone et du dioxyde de soufre.

La qualité de l'air à Annaba et ses environs peut être qualifiée globalement de bonne durant la période (2012-2014) pendant les mois juillet, août et septembre. Néanmoins, il faut noter l'existence d'une forte pollution due aux poussières et SO_2 .

CHAPITRE 7

Etude épidémiologique

L'Organisation de Coopération et de Développement Economique (O.C.D.E) définit la pollution de l'eau et celle de l'atmosphère comme « l'introduction par l'homme directe ou indirecte de substances ou d'énergie dans l'eau ou l'atmosphère qui entraîne des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine ».

1. Introduction

Même à des niveaux faibles, la pollution a des effets néfastes sur notre santé. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, "trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5% des 55 millions de décès annuels dans le monde.

Pour cette raison, de nombreuses études sont effectuées afin de déterminer la part réelle de la pollution urbaine sur la santé humaine. On sait depuis longtemps que les sujets les plus fragiles (enfants, vieillards, femmes enceintes et asthmatiques....) sont particulièrement touchés par les épisodes de la pollution soit atmosphérique ou celle des eaux. La fréquence des visites chez le médecin et l'admission aux urgences sont accrues lors de ces épisodes.

Néanmoins, il est difficile de chiffrer exactement la part des malades ou des décès prématurés c'est-à-dire qualitativement on est certains des effets néfastes, mais quantitativement rien n'est prouvé définitivement.

Dans ce chapitre on va s'intéresser à préciser les maladies et évaluer le nombre de malades affectant par les transmissions hydriques (MTH) et la pollution atmosphérique dans la région d'étude (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar).

2. Les maladies à transmission hydrique (MTH)

Les maladies hydriques sont toutes les maladies causées par la consommation d'eau contaminée par des fèces animales ou humaines, qui contiennent des microorganismes pathogènes ou qui sont liées au cycle de l'eau.

La pleine image des maladies associées à l'eau est complexe pour un grand nombre de raisons. Sur la dernière décennie, l'image des problèmes de santé relative à l'eau est devenue de plus en plus vaste, avec l'émergence de nouvelles maladies d'infection relatives à l'eau et la réémergence de certaines déjà connues. Les maladies à transmission hydrique ont toujours sévi à l'état endémique en Algérie. Des données sont disponibles pour certaines maladies relatives à l'eau et l'hygiène dont la fièvre typhoïde, l'hépatite virale « A » (Annaba et ses agglomérations) et plus les dysenteries et Les toxi-infections alimentaires collectives pour l'Algérie.

2.1. La toxicité des métaux lourds**2.1.1. Le Plomb (Pb)**

C'est un métal mou qui a eu beaucoup d'application dans l'industrie; c'est l'un des métaux les plus nocifs pour la santé. Ses effets apparaissent généralement après une période d'accumulation du métal dans l'organisme.

Le Plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre.

Les sujets les plus exposés à l'intoxication sont les enfants, même pour des concentrations minimales d'où l'empoisonnement par le Plomb se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, en particulier des poignets et des chevilles.

2.1.2. Le Fer total (Fe. T)

C'est le métal le plus utilisé dans l'industrie et l'ingestion d'une forte dose d'un sel de Fer peut produire une intense des muqueuses digestives se traduisant par des douleurs abdominales, de vomissement et une diarrhée souvent sanglante. Les intoxications sévères peuvent entraîner des complications hémorragiques, des brûlures chimiques de tube digestif pouvant conduire à la mort.

2.1.3. Le Cuivre (Cu)

Le Cuivre est un élément mou et ductile de couleur rouge, il est essentiel pour l'homme mais peut avoir des effets sur la santé à de très forte concentration. Une exposition à long terme à des poussières de Cuivre peut irriter les sinus, la bouche et les yeux et entraîner des maux de tête, des nausées et des diarrhées. Il peut aussi entraîner des dégâts au niveau du foie et des reins, voir même un décès. L'intoxication chronique est marquée par un amaigrissement et des difficultés respiratoires surtout pour les enfants en bas âge.

2.1.4. Le Nickel (Ni)

C'est un élément malléable et ductile de couleur blanche argentée et l'exposition répétée aux dérivées inorganiques de cet élément peut produire une irritation des voies respiratoires (des rhinites et ulcérations de la cloison nasale, bronchite chronique,...etc). Certains sels de Nickel sont irritants pour la peau et l'exposition des ouvriers à cet élément produit des dermatoses allergiques (Eczéma de contact).

Une longue exposition au Nickel peut provoquer des atteints et le cancer des poumons. Il est très toxique par ingestion et peut induire de graves maladies digestives.

2.1.5. Le Chrome (Cr)

Il existe deux formes du Chrome, trivalent et hexavalent d'où le Chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques alors que le Chrome hexavalent qui entraîne des inflammations muqueuses et des ulcères est cancérigène. On note également le risque de cancer important pour les embryons et les fœtus concernant le chrome VI. Les intoxications chromiques peuvent entraîner des altérations du tube gastro-intestinal. Le composé peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et dans la moelle osseuse.

2.2. Situation épidémiologique(MTH) en Algérie durant la période (2000-2015)

Les maladies à transmission hydrique (MTH) en Algérie sont toujours liées à l'état endémique. Les principales maladies à transmission hydrique qui existent en Algérie sont mentionnées dans le tableau N°35:

Tableau N°35: Présentation des différentes maladies à transmission hydrique et les séries d'observation en Algérie

Origine des maladies	Les différentes maladies	Série d'observation
Maladies d'origine bactérienne	- Le choléra (<i>vibrio cholerae</i>)	2000-2015
	- Les fièvres typhoïdes	2000-2015
Maladies d'origine virale	- Les hépatites virales A (virus de l'hépatite A)	2000- 015
Maladies d'origine alimentaire	- Toxi-infections alimentaires collectives (TIAC)	2000-2015

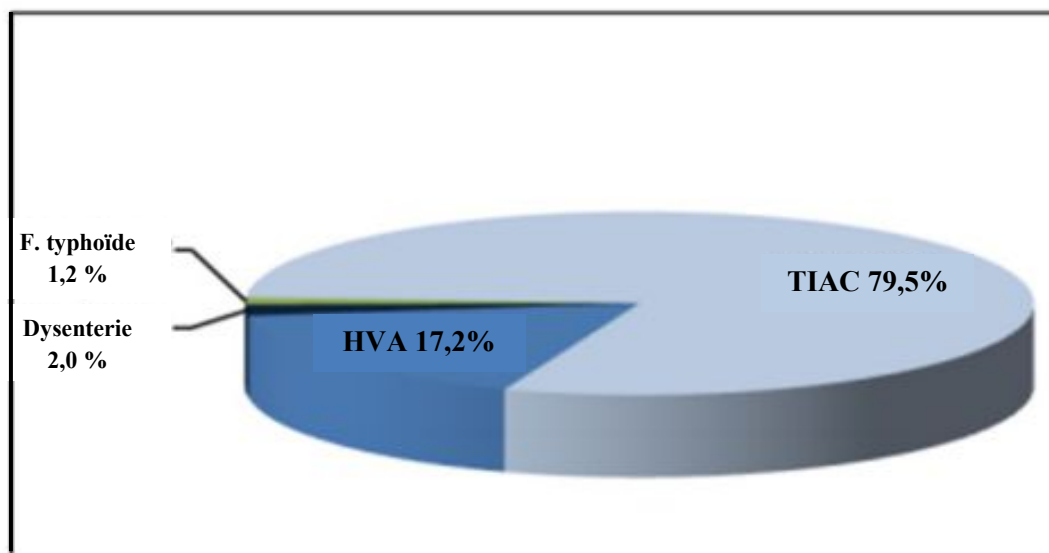


Fig. 118: Répartition des maladies à transmission hydrique en Algérie pour l'année 2015

(Source INSP 2015; in W. Kherifi et Bekiri, 2017)

- La situation épidémiologique (Fig.119) de la fièvre typhoïde en Algérie est en variation remarquable d'une année à l'autre avec un abaissement à partir de 2002 plus marquée en 2010 (atteint 01 cas pour 100.000 habitants).

- Pour celle des dysenteries, On observe la même tendance que celle de la fièvre typhoïde et on passe de 9 cas /100 000 habitants en 2001 à 1 cas/100 000 habitants en 2015.

- Par ailleurs, celle de l'hépatite virale «A» est en variation légère (entre 2 et 5 cas) pendant la période (2000, 2011).

Toutefois en note une augmentation de 4 cas pour 100.000 habitants en 2000 à 5 cas pour 100.000 habitant en 2010 après un infléchissement à 2 ou 3 cas pour 100.000 habitants pour la dernière période (2010-2014).

- Les toxi-infections alimentaires collectives présentent des valeurs qui est passé de 11 cas/100.000 habitants en 2000 à 15 cas 100.000 habitants en 2015 avec des excès comme c'est le cas de la wilaya de Chlef où il y a 148 cas d'intoxication alimentaire collective durant l'année 2007 dans différentes communes (Chenaoui.2008).

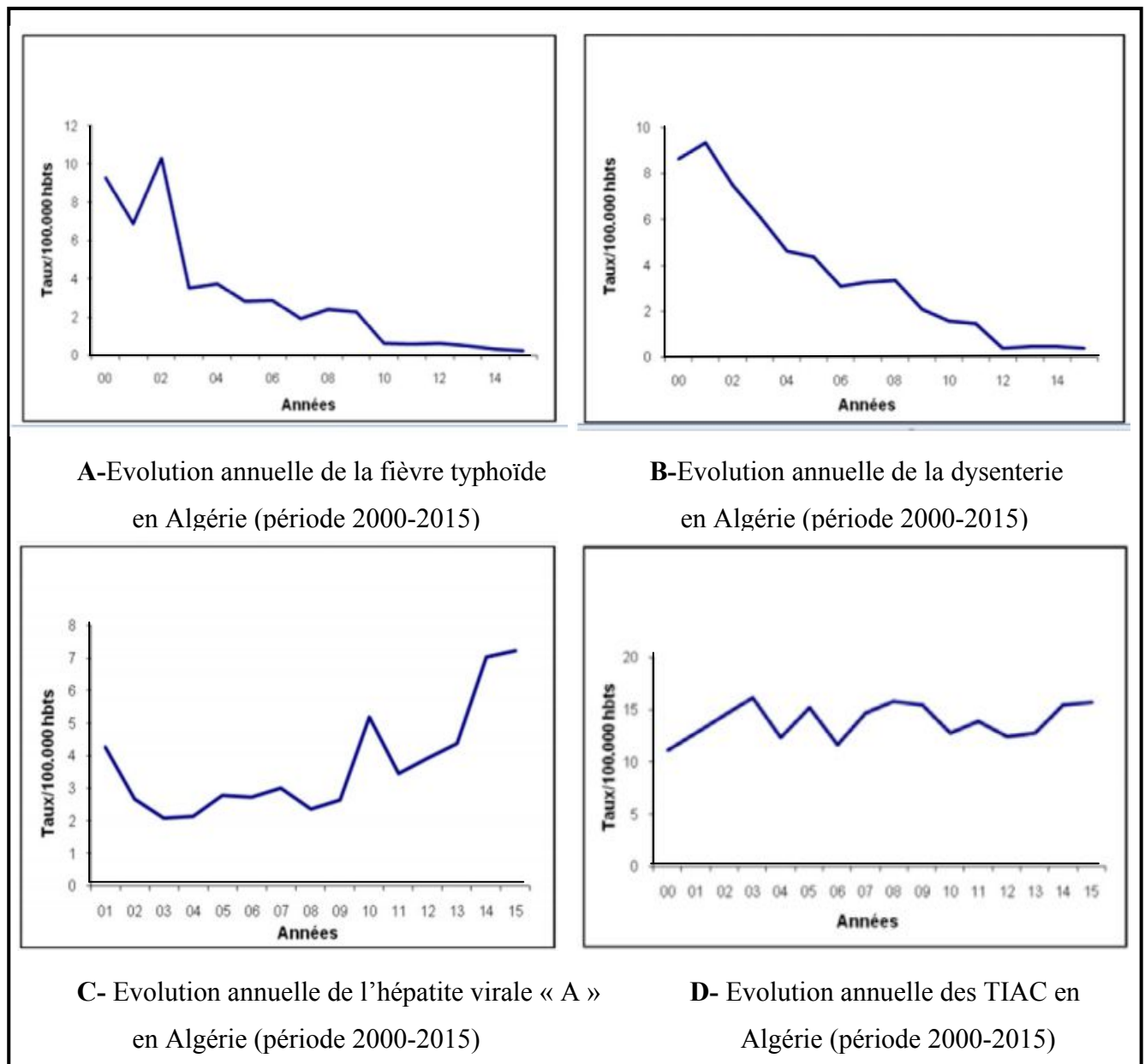


Fig. 119: Situation épidémiologique en Algérie durant la période (2000-2015)

(in Kherifi W., Bekiri F., 2017)

2.3. Situation épidémiologique dans la zone d'étude pendant la période (2007-2017)

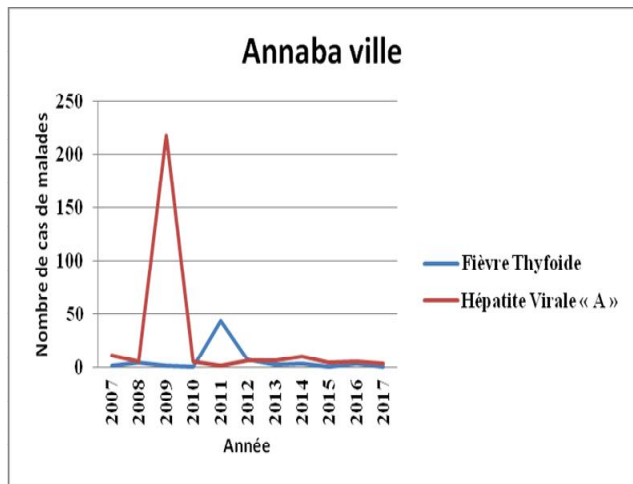
Selon le Service d'Epidémiologie et de Médecine Préventive (SEMEP) du secteur Sanit,mwaire d'Annaba, on a pu accueilli le nombre de malades affectant par la Fièvre Thyfoide et l'Hépatite Virale « A » pour les quatre communes de la zone d'étude durant la période (2007-2017). Ils sont illustrés dans le tableau N°36 et La figure 120.

Tableau N°36: Situation épidémiologique durant la période (2007-2017)

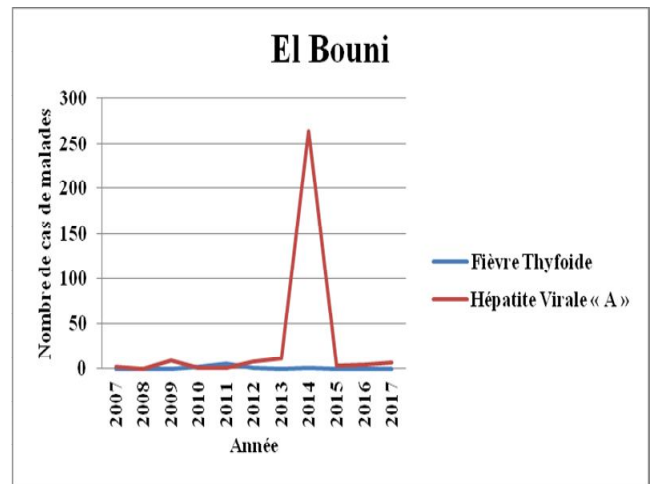
Commune	Année Type de maladie	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Annaba ville	Fièvre Tyhoïde	01 cas	04 cas	01 cas	05 cas	01 cas	03 cas	06 cas	10 cas	04 cas	05 cas	03 cas	43 cas
	Hépatite Virale « A »	11 cas	05 cas	219 cas	00 cas	43 cas	07 cas	02 cas	03 cas	00 cas	03 cas	00 cas	293 cas
El Bouni	Fièvre Typhoïde	00 cas	00 cas	/	01 cas	01 cas	08 cas	12 cas	264 cas	03 cas	04 cas	07 cas	300 cas
	Hépatite Virale « A »	02 cas	00 cas	09 cas	01 cas	02 cas	05 cas	01 cas	00 cas	00 cas	00 cas	00 cas	20 cas
Sidi Amar	Fièvre Typhoïde	02 cas	00 cas	00 cas	01 cas	01 cas	00 cas	02 cas	11 cas	00 cas	01 cas	00 cas	18 cas
	Hépatite Virale « A »	02 cas	00 cas	02 cas	01 cas	02 cas	03 cas	00 cas	00 cas	00 cas	00 cas	00 cas	10 cas
El Hadjar	Fièvre Typhoïde	02 cas	00 cas	02 cas	01 cas	01 cas	00 cas	00 cas	06 cas	00 cas	01 cas	00 cas	13 cas
	Hépatite Virale « A »	00 cas	00 cas	00 cas	00 cas	01 cas	00 cas	04 cas	01 cas	00 cas	00 cas	00 cas	06 cas

Source : SEMEP 2017

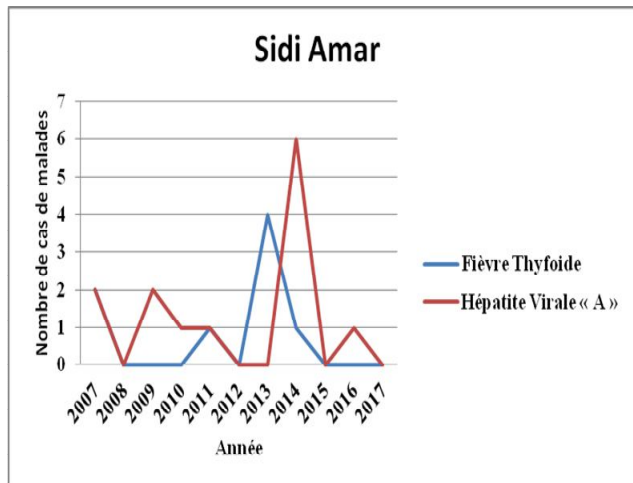
Selon le tableau N°36 ci-dessus et la figure 120 (A, B, C et D) ci-dessous, on remarque que généralement la zone d'étude ne présente pas de grand nombre de malades affectant par la fièvre typhoïde et l'hépatite virale « A » durant la période (2007-2017), à l'exception d'Annaba ville qui présente un nombre considérable de cas de malades affectant par la maladie d'hépatite virale « A » atteignant 219 cas durant l'année 2009 et la fièvre typhoïde atteignant 43 cas durant l'année 2011 ainsi qu'El Bouni présente 264 cas de malade affectant par l'hépatite virale « A » durant l'année 2014 ce qui indique une contamination des eaux de boisson par les eaux usées durant ces années (des fuites au niveau des conduites d'eau potable ce qui laisse les eaux de ces conduites se contaminent par les eaux usées).



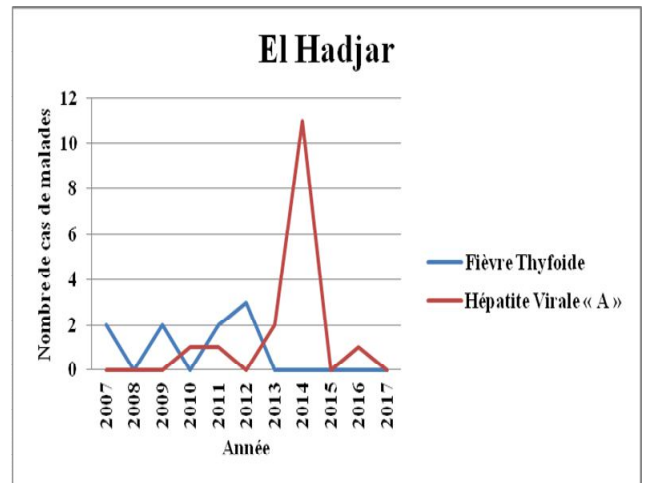
-A-



-B-



-C-



-D-

A : Fig. Situation épidémiologique pour la commune d'Annaba ville durant la période (2007-2017)

B : Fig. Situation épidémiologique pour la commune d'El Bouni durant la période (2007-2017)

C:Fig. Situation épidémiologique pour la commune de Sidi Amar durant la période (2007-2017)

D: Fig.. Situation épidémiologique pour la commune d'El Hadjar durant la période (2007-2017)

Fig. 120: Situation épidémiologique pour les quatre communes (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar) durant la période 2007-2017



Fig. 121: Les fuites d'eaux usées et crainte des maladies à transmission hydrique source :

<http://www.lestrepublikain.com/index.php/annaba/item/891>

2.4. Cartographie de la répartition spatiale des maladies à transmission hydrique (MTH) au niveau de quatre communes durant la période (2007-2017)

La distribution spatiale des maladies à transmission hydrique au niveau de quatre commune de la zone d'étude se répartie de la façon suivante :

2.4.1. La fièvre typhoïde : La figure 122 montre que le grand nombre de cas de malades affectant par la fièvre typhoïde se manifeste au niveau d'El Bouni avec un nombre de 300 cas durant la période 2007-2017, ensuite Annaba ville avec 43 cas ce que indique que les eaux potables de ces deux zones sont contaminées par les eaux usées durant cette période (soit des fuites au niveau des conduites des eaux potable ce que conduit à les mélanger avec les eaux usées, soit l'apport de la source d'alimentation est contaminé). Alors que Sidi Amar et El Hadjar présentent des valeurs faibles de cas de malades affectant par la fièvre typhoïde (18 et 13 cas successive).

2.4.2. L'hépatite virale A : La figure 123 montre que le grand nombre de cas de malades affectant par l'hépatite virale A se manifeste au niveau d'Annaba ville avec un nombre de 293 cas durant la période 2007-2017 ce qu'indique que les eaux potables de cette zone sont contaminées par les eaux usées durant cette période. Alors qu'El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar présentent des valeurs faibles de cas de malades affectant par l'hépatite virale A (20,10 et 06 cas successivement).

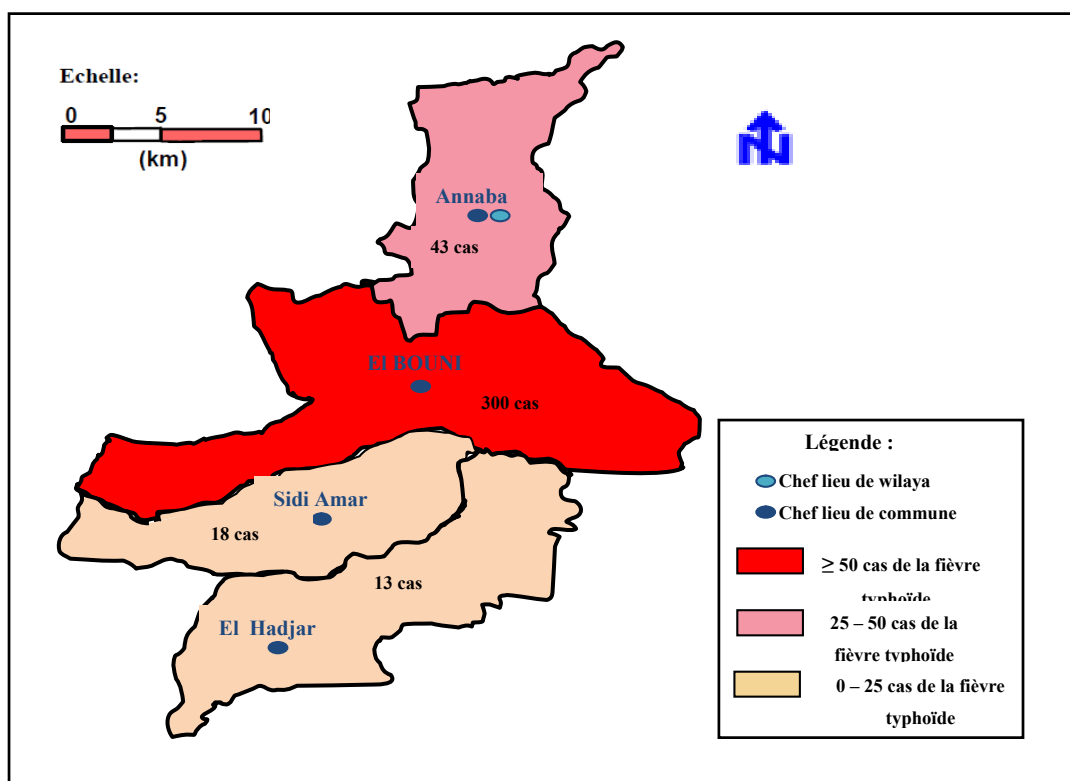


Fig. 122: Carte de la répartition spatiale de la fièvre typhoïde au niveau de quatre communes durant la période (2007-2017)

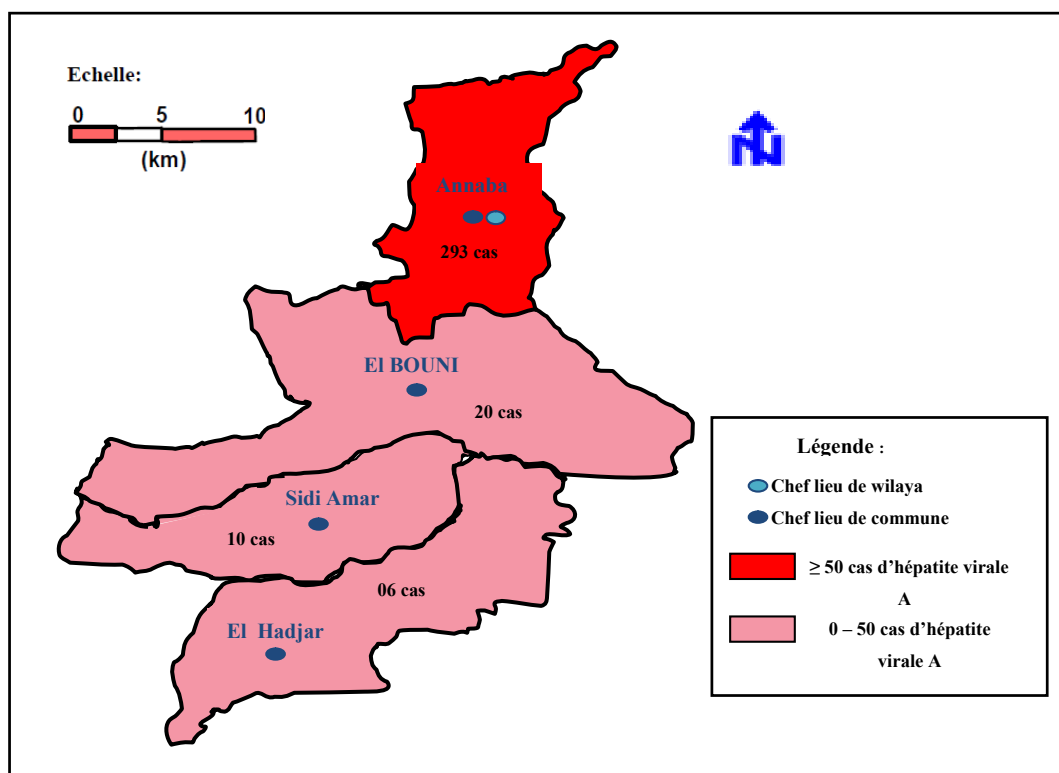


Fig. 123: Carte de la répartition spatiale d'hépatite virale A au niveau de quatre communes durant la période (2007-2017)

3. Les maladies provoquées par la pollution atmosphérique

Ils sont essentiellement liés au système respiratoire (l'homme inhale 15 kg d'air par jour et ses poumons constituent l'équivalent d'une surface de plus de 70 m² qui est en contact avec la pollution de l'air), mais on observe aussi des maladies du système nerveux ou de la peau. Les cancers peuvent même toucher le foie ou la vessie et ces maladies sont plus fréquentes chez les sujets déjà fragiles (les vieillards, les enfants en bas âge, les asthmatiques et bronchiteuses,...). Dans la région d'étude on a de bonnes corrélations entre les forts taux de poussière et le nombre des consultations en médecine, plus sujets aux maladies respiratoires.

3.1. Type des effets des polluants atmosphériques sur la santé

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique urbaine ont été mis en évidence par des études épidémiologiques. Ils sont cohérents avec les travaux toxicologiques, même si l'ensemble des phénomènes physiopathologiques n'est pas encore expliqué. Les effets sont classés en deux groupes:

3.1.1. Les effets à court terme qui sont les manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques survenant dans des délais brefs (quelques jours ou semaines) suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique.

3.1.2. Les effets à long terme qui peuvent survenir après une exposition chronique (plusieurs mois ou années) à la pollution atmosphérique et qui peuvent induire une surmortalité et une réduction de l'espérance de vie. Les effets à long terme restent mal connus car difficiles à évaluer.

3.2. Effets des polluants atmosphériques sur la santé

3.2.1. Effets du monoxyde de carbone (CO)

Les effets du monoxyde de carbone sur l'organisme humain dépendent de sa durée d'action et de sa concentration. Sa toxicité tient essentiellement à sa très grande affinité pour l'hémoglobine du sang avec laquelle il forme un composé relativement stable: la carboxyhémoglobine (Hb CO) suivant la réaction : **Hb + CO Hb CO**

Le monoxyde de carbone est même capable de déplacer l'oxygène de sa combinaison avec l'hémoglobine (l'oxyhémoglobine (Hb O₂)) d'après la réaction : **Hb O₂ + CO Hb CO + O₂**

La symptomatologie de l'intoxication oxycarbonée se traduit principalement par des céphalées, des vertiges et des troubles digestifs (nausées, vomissements).

L'OMS a fixé les valeurs guides, ci- après, établies sur des critères strictement sanitaires:

- ✓ 100 mg/m³ pour une exposition de 15 minutes;
- ✓ 60 mg/m³ pour une exposition de 30 minutes;
- ✓ 30 mg/m³ pour une exposition de 1 heure;

- ✓ 10 mg/m³ pour une exposition de 8 heures.

3.2.2. Effets du monoxyde d'azote (NO)

Le NO est en lui-même peu toxique, les effets soupçonnés concernent sa fixation sur l'hémoglobine (la liaison est 1000 fois plus forte que dans le cas de CO).

L'effet essentiel du NO tient à son rôle de précurseur du NO₂. Ce dernier est un gaz irritant pouvant pénétrer profondément dans les poumons, l'inhalation de fortes concentrations de NO₂ provoque surtout des lésions des bronchioles terminales et des alvéoles (pouvant amener de l'Emphysème). Il altère l'activité respiratoire et augmente les crises chez les asthmatiques. Chez les plus jeunes, il favorise des infections microbiennes des bronches. L'OMS fixe les valeurs limites de 40 µg/m³ pour une durée d'exposition de 8 heures et 200 µg/m³ pour une durée d'exposition d'un an.

3.2.3. Effets d'anhydride sulfureux ou dioxyde de soufre (SO₂)

L'anhydride sulfureux (SO₂) est un gaz irritant. Le mélange acido-particulaire peut, selon les concentrations des différents polluants, déclencher des effets bronchospamiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire, excès de toux ou de crise d'asthme). Ce paramètre ne peut être dissocié de la pollution acido-particulaire qui est un mélange complexe; la limite en atmosphère de travail est fixée à 2 ppm.

Une augmentation de 50 µg/m³ de SO₂ ou de particules en hiver provoque une augmentation de 30% de crises d'asthme.

Les valeurs limites indiquées par l'OMS pour le SO₂ sont: 25 µg/m³ pour une durée d'une année d'exposition, 50 µg/m³ pour 24 heures d'exposition, 350 µg/m³ pour une heure d'exposition et 500 µg/m³ pour 10 minutes.

3.2.4. Effets du plomb

Après absorption pulmonaire ou digestive, le plomb passe dans le sang où il se répartit entre une forme fixée aux hématies (95%) non diffusible et une forme plasmatique qui sera stockée dans les tissus ou éliminée dans les urines. Les principaux effets du plomb sont les suivants:

- ✓ effets hématologiques: un des effets classiques du plomb est l'anémie.
- ✓ effets sur le système nerveux périphérique: l'exposition à des niveaux très élevés (plombémie à 1200 µg/l) peut provoquer des paralysies partielles, en particulier au niveau des membres supérieurs.
- ✓ effet sur le système nerveux central.
- ✓ effet sur la reproduction.
- ✓ effets rénaux. -
- ✓ effets sur le système cardio-vasculaire.

Les limites admissibles des concentrations du plomb sont: 10 mg/m³ pour 8 heures d'exposition et 5 10⁻⁴ mg/m³ pour 1 an d'exposition.

3.2.5. Effets des COV

La pollution due aux émissions de COV peut être approchée de manière globale suivant ses effets directs ou indirects (photo oxydation) sur l'homme et sur le milieu environnant récepteur. Les effets sont très divers selon les polluants. Ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation (aldéhydes), à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérogènes (benzène). C'est une contamination majeure de l'habitat. Des études de toxicologie ont montré le rôle que pourraient jouer dans les processus de cancérogenèse différents HAP.

Le benzène est un toxique qui peut avoir des effets sur le système nerveux, les globules et les plaquettes sanguins pouvant provoquer une perte de connaissance.

C'est également un agent cancérogène, capable d'induire une leucémie.

Les effets directs peuvent être:

- ✓ des irritations cutanées,
- ✓ des irritations des yeux et des organes de respiration;
- ✓ des troubles cardiaques, digestifs, rénaux et hépatiques;
- ✓ des maux de tête; des troubles du système nerveux, des actions cancérogènes et mutagènes.

Les COV ont des effets indirects du fait qu'ils participent à des réactions chimiques complexes se déroulant dans l'atmosphère telle celle qui favorise l'augmentation de l'ozone troposphérique.

Le tableau ci-après donne des valeurs moyennes d'exposition et des valeurs limites d'exposition pour quelques COV usuels:

La valeur moyenne d'exposition est la teneur pondérée pour 8h/j d'exposition recommandée par L'INRS, en France, pour les COV. La valeur limite d'exposition est la teneur maximale ne pouvant être dépassée pendant plus de 15 minutes.

3.2.6. Effets des particules

Sur le plan sanitaire, elles représentent un indicateur majeur de la qualité de l'air. Les particules fines peuvent pénétrer profondément dans les alvéoles pulmonaires et avoir des conséquences graves sur la santé humaine. Les particules diesel agissent sur le système immunitaire de l'asthmatique en induisant une activation Th1 et Th2 des lymphocytes T spécifiques de l'allergène. D'autres études ont montré que les particules diesel entraînent une modification du stress oxydant et de la balance protéases/antiprotéases des cellules épithéliales alvéolaires et des macrophages alvéolaires, de même qu'une altération de la réponse proliférative des cellules musculaires lisses bronchiques.

Les valeurs limites recommandées par l'OMS sont:

- Particules PM_{2,5}: 10 µg/m³ moyennes annuelles et 25 µg/m³ moyenne sur 24 heures.
- Particules PM₁₀: 20 µg/m³ moyennes annuelles et 50 µg/m³ moyenne sur 24 heures.

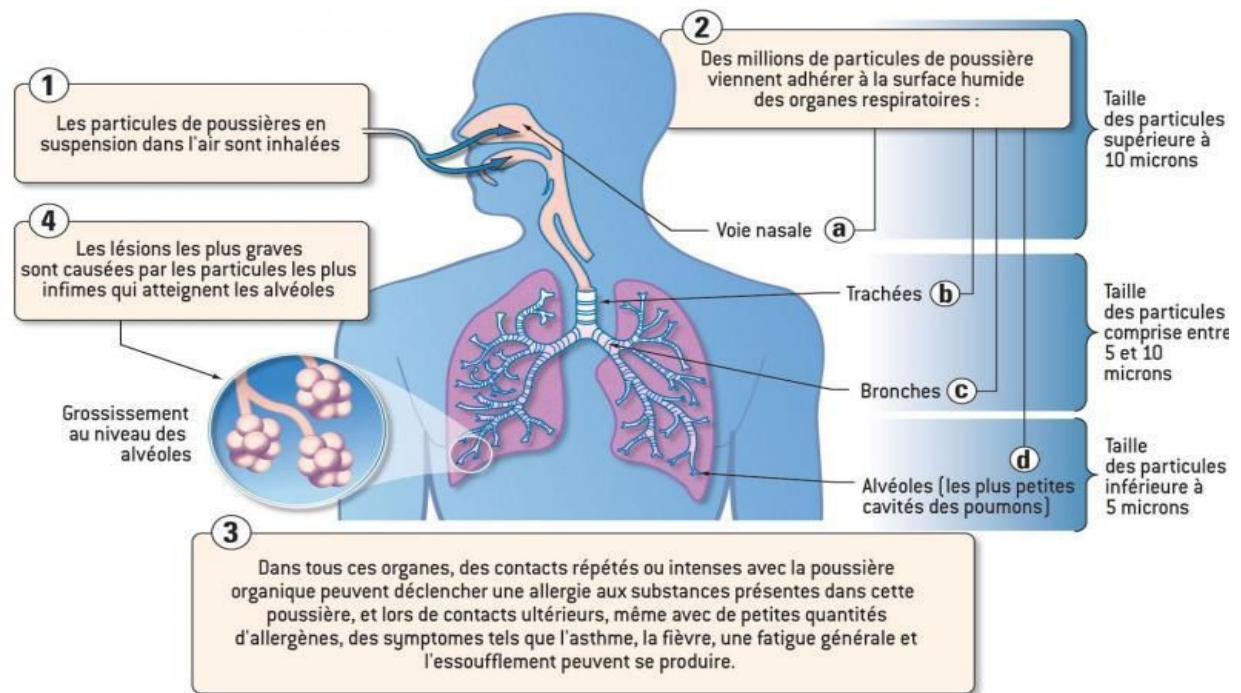


Fig. 124: Effet de différents types de particules sur le système respiratoire humain (OMP, 2015)

3.2.7. Effets d'ozone

L'ozone est un gaz soluble dans l'eau et dans les sécrétions bronchiques, capable de pénétrer profondément dans les voies respiratoires: 40% au niveau nasopharyngé et 60% au niveau des voies aériennes distales. C'est un gaz oxydant qui, au niveau cellulaire et biochimique, entraîne une réaction inflammatoire avec libération de divers médiateurs pro-inflammatoires tels que les radicaux libres qui peuvent engendrer des effets délétères dans les tissus pulmonaires. La toxicité de l'ozone se traduit, aux seuils d'information et d'alerte à la population, par l'apparition, principalement à l'effort, d'altération significative de la mécanique de ventilation, d'inconfort thoracique, d'essoufflement ou encore de douleur à l'inspiration profonde.

Peuvent apparaître également comme symptômes, une irritation nasale et de la gorge, de la toux ou une irritation de l'oeil. Ses conséquences sur la santé sont d'autant plus graves chez les asthmatiques, les enfants et les personnes âgées, notamment durant les jours de forte chaleur et en l'absence de vent.

Une concentration standard d'ozone recommandée dans l'air doit être inférieure à 100 µg/m³ durant 8 heures et une autre de 150 µg/m³ pour une heure d'exposition.

3.2.8. Effets de PAN

Il représente un peu la synthèse de tous les polluants gazeux, en ce qui concerne les effets sur la santé. En effet il représente tous les inconvénients possibles : action sur les voies respiratoires, action cutanée, troubles sensoriels et céphalées, irritations des yeux, propriétés cancérogènes.

A l'heure actuelle ce polluant est encore peu étudié, notamment en ce qui concerne l'évaluation des doses critiques. Il semble seulement, qu'aux concentrations urbaines ($10-30\mu\text{g}/\text{m}^3$), les problèmes d'irritation des yeux et les vertiges soient très fréquents. Il agit à faible dose sur les muqueuses animales.

3.3. Différentes affections dues à la pollution atmosphérique

Ouvert sur l'extérieur par les différents orifices et voies d'entrée et de sortie des éléments dont il a besoin, le corps humain est très vulnérable; il est menacé par toutes les agressions et pollutions. Il est donc sujet de multiples pathologies causées par son exposition aux polluants atmosphériques surtout celles liées au système respiratoire.

3.3.1. Les affections du système respiratoire

Les polluants véhiculés par l'air inspiré peuvent agresser les tissus du système respiratoire, et les rendre plus vulnérables aux pathologies microbiennes ou inhiber totalement ou partiellement les mécanismes de défense, facilitant ainsi les affections.

Les atteintes du système pulmonaire se caractérisent par une diminution des performances fonctionnelles pulmonaires: capacité respiratoire.

3.3.1.1. Bronchite chronique

La bronchite chronique est une inflammation des bronches et des bronchioles. Le symptôme qui définit à lui seul la maladie est une toux qui dure trois mois dans l'année, deux années de suite.

La toux provient d'un excès de sécrétion de la muqueuse des bronches, et s'accompagne en général de crachats. La gravité de cette affection fréquente est due à son caractère irréversible et à son évolution vers l'insuffisance respiratoire. La bronchite chronique peut être entretenue par des irritations chimiques causées principalement par la fumée de cigarette et certains polluants atmosphériques.

3.3.1.2. Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)

La broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une pathologie pulmonaire invalidante, ayant une composante bronchique et une composante alvéolaire. Le tabac est le principal facteur de risque de la BPCO, et des facteurs liés à l'environnement, tels la pollution de l'air, et notamment la pollution particulaire, semblent jouer un rôle essentiel dans l'aggravation de la BPCO, sans que les mécanismes impliqués soient élucidés.

3.3.1.3. Emphysème pulmonaire

L'emphysème est une maladie respiratoire évolutive caractérisée par une toux, des difficultés respiratoires et une respiration sifflante, évoluant vers une insuffisance respiratoire et aboutissant parfois à la mort. C'est chez les gros fumeurs, en particulier ceux qui sont exposés à un air pollué, qu'on observe le nombre de cas le plus élevé. Les enfants atteints de bronchite ou d'asthme sont également sensibles à cette affection. Au cours de la maladie, les canaux desservant les sacs alvéolaires des poumons se rétrécissent. L'air est emprisonné dans ces sacs et le tissu pulmonaire perd son élasticité naturelle et subit des dommages irréversibles. La maladie progressant, le volume d'air résiduel emprisonné dans les poumons augmente et le volume de chaque respiration diminue. La taille des poumons s'accroît et, dans les cas graves, le patient présente un « thorax en tonneau » caractéristique. Les poumons ne peuvent plus fournir suffisamment d'oxygène aux tissus. Cette réduction de l'absorption d'oxygène oblige le cœur à faire circuler le sang plus vite.

Il est indispensable pour le patient d'arrêter de consommer du tabac ; un changement de profession ou de lieu d'habitation peut être nécessaire, si la pollution de l'air ou la pollution due à la profession aggrave son état.

3.3.1.4. Cancer pulmonaire

Le cancer se caractérise par un développement anarchique de certaines cellules ayant échappé aux mécanismes de contrôle de l'organisme. Les cancérogènes chimiques produisent différents dommages à l'ADN: cassure de chromosomes, décalage de séquences des bases organiques, addition ou suppression de certains segments de la séquence, l'inversion des segments de la séquence, échange de séquences entre différents chromosomes. Broncho-pulmonaire, cancer, tumeur maligne affectant les poumons, le cancer bronchique est la première cause de mortalité par cancer chez l'homme.

Le cancer broncho-pulmonaire à petites cellules représente 25% des cas de cancers bronchiques. Sa spécificité réside dans le temps de dédoublement rapide : de 1 à 4 mois. Le pronostic est très mauvais : 5 à 10 % seulement des malades peuvent être guéris. Le potentiel de produire des métastases est élevé.

3.3.1.5. Asthme

L'asthme est une affection chronique des voies respiratoires. Les symptômes de cette affection sont caractérisés par des sifflements respiratoires, une dyspnée, une oppression respiratoire et la présence d'une toux sèche persistante. Ces symptômes, souvent nocturnes, sont réversibles spontanément ou sous l'effet d'un traitement. L'aggravation brutale des symptômes entraîne la survenue de crises d'asthme, en général de courte durée.

Un des types d'asthme résulte de manifestations allergiques. Il n'est cependant pas toujours facile d'établir des relations directes entre les recrudescences de crises d'asthme et les épisodes de pollution atmosphérique.

La maladie asthmatique est caractérisée par l'afflux au niveau bronchique de lymphocytes Th-2 responsables de la réaction chronique inflammatoire.

3.3.2. Affections cardiovasculaires

Le franchissement de l'interface pulmonaire par les polluants atmosphériques, en particulier par le CO, est connu, chez les fumeurs de cigarettes, pour provoquer le développement de l'athérosclérose et des affections cardiovasculaires coronariennes. Le CO atmosphérique accroît le taux de mortalité des patients atteints d'angine de poitrine.

3.3.3. Effets neuropsychiques

Des affections sensorielles peuvent résulter d'expositions à des polluants aériens: effets lacrymogènes des irritants comme les aldéhydes et l'ozone, migraines provoquées par faibles teneurs de CO, perte d'attention et de vertiges dangereuses pour les conducteurs de véhicules, les odeurs désagréables du type diesel, véhiculés par l'air, entraînent aussi une gêne sensorielle.

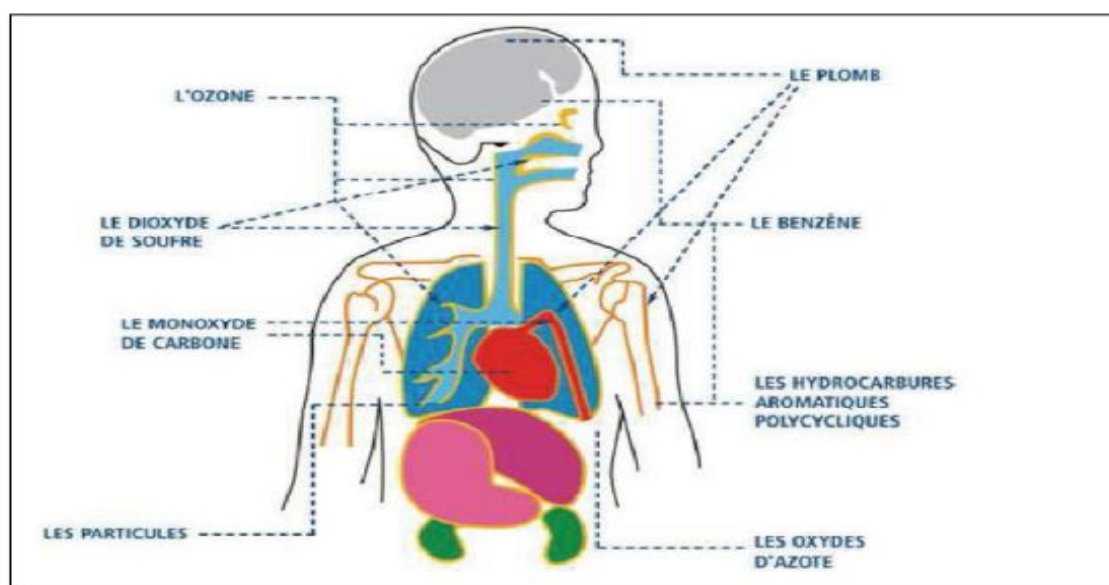


Fig. 125: Zone du corps humain affectée en fonction de la nature du polluant. Source : Association de surveillance de la qualité de l'air – Atmo Nord – Pas-de-Calais.

3.4. Les maladies provoquées par la pollution atmosphérique au niveau de la zone d'étude (respiratoires et cardiovasculaire)

A partir des services de pneumologie et cardiologie des hopitaux Ibn Sina, Dorban, CHU Ibn Roched et le centre de santé on a pu accueillir des données concernant le nombre des consultations en médecine pour les maladies respiratoires et celles cardiovasculaires à travers les trois communes de la zone d'étude (Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar) et durant les années 2010, 2011, 2012 et 2013. Ainsi que le nombre des asmatiques au niveau d'Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar durant les années 2012, 2013 et 2014. Elles ont eu pour but de déterminer avec précision la relation cause/effet entre la pollution générée par le trafic routier et les poussières et certains problèmes de santé publique. Ces données nous laissent faire des histogrammes de variations mensuelles et annuelles des cas de maladies respiratoires et celles cardiovasculaires. Ainsi de dresser des cercles montrant les taux des asmatiques au niveau de trois communes.

3.4.1. Variation mensuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

Le nombre des admissions aux maladies respiratoires (Fig.126) est en variation remarquable d'un mois à l'autre d'où le maximum est observé pendant le mois de mai avec 475 cas et le minimum au mois de novembre avec 45 cas. En ce qui concerne les décès par cette maladie représentent des valeurs plus faible et ne dépassent pas 19 cas se manifeste au mois de septembre.

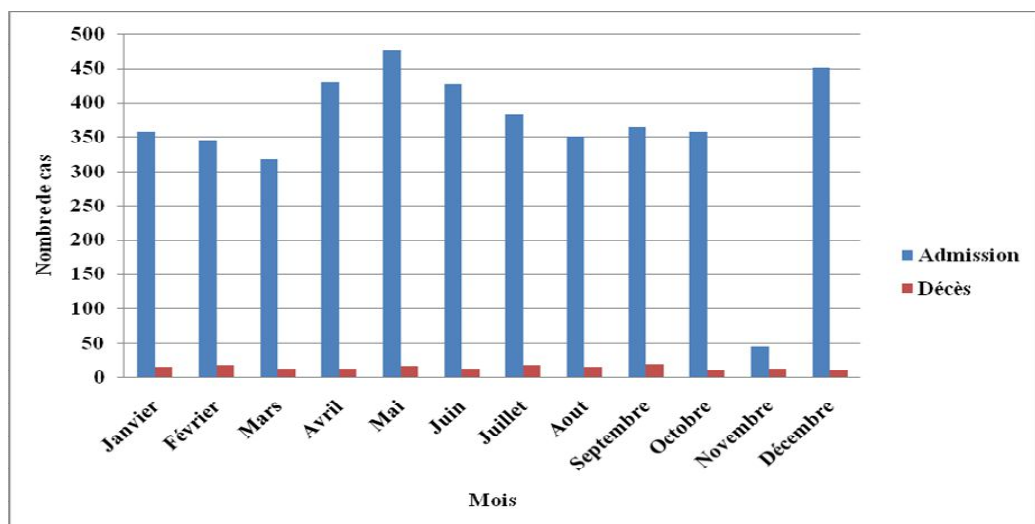


Fig. 126: Variations mensuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).

3.4.2. Variation mensuelle du nombre de cas d'admission et de décès par les maladies cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

Le nombre des admissions aux maladies cardiovasculaires (Fig.127) se varie d'un mois à l'autre d'où le maximum s'observe au mois de décembre avec 582 cas et le minimum au mois de février avec 471 cas. Pour les décès par cette maladie, ils représentent des valeurs plus faibles d'où le maximum ne dépasse pas 57 et s'observe durant le mois de septembre.

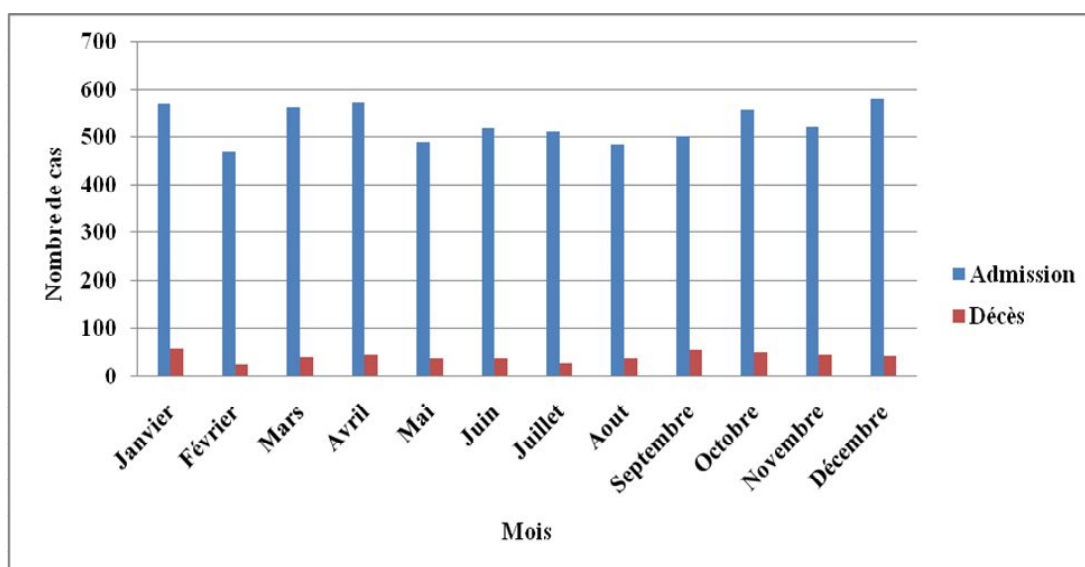


Fig. 127: Variations mensuelle des admissions et des décès cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

3.4.3. Variations interannuelles des admissions et décès par les maladies respiratoires au niveau de la région d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

Le nombre des admissions aux maladies respiratoires (Fig.128) montrent que la situation sanitaire au niveau d'Annaba et ses agglomérations est alarmante avec une augmentation annuelle constante de près 200 cas. Les valeurs enregistrées montrent une augmentation continue d'une année à l'autre avec 1301 cas pour l'année 2010/2011, 1553 cas en 2011/2012 et 1811 cas pour 2012/2013.

En ce qui concerne les valeurs de décès enregistrées, On constate que la distribution temporelle des décès varient d'une année à l'autre avec une variation légère (52 cas pour l'année 2010/2011, 58 cas pour 2011/2012 et 68 cas pour 2012/2013). Ces valeurs sont plus faibles par rapport à ceux des admissions.

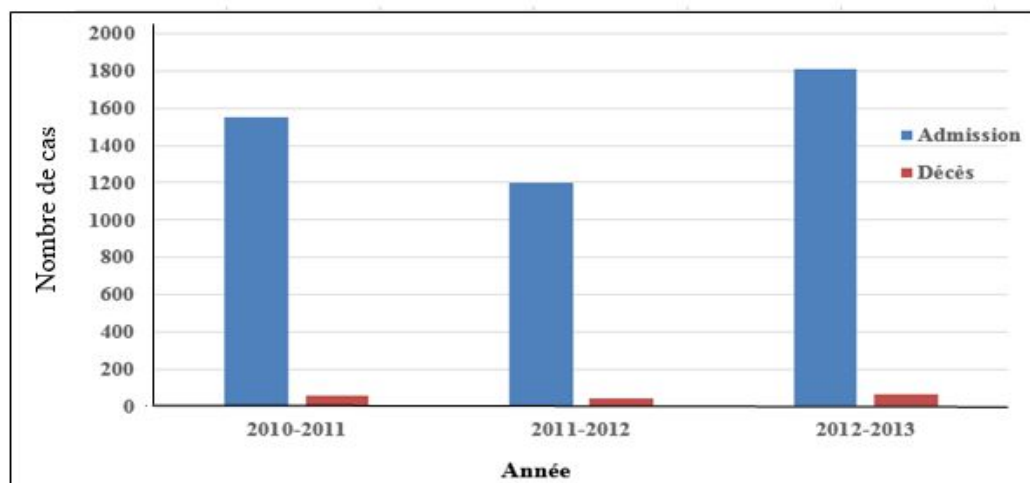


Fig. 128: Variations interannuelle des admissions et des décès par les maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

3.4.4. Variations interannuelles des admissions et décès par les maladies cardiovasculaires au niveau de la région d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

Le nombre des admissions aux maladies cardiovasculaires (Fig.129) augmente d'une année à l'autre avec une augmentation de près de 126 cas. D'où on a le pic est de 2236 cas enregistré durant l'année 2011/2012, ensuite 2106 cas enregistré en 2010/2011 et enfin 2008 cas en 2012/2013. Le nombre de décès est toujours faible par rapport à celui des admissions et les valeurs varient de 162 cas (2010/2011), 164 cas (2011/2012) à 170 cas (2012/2013).

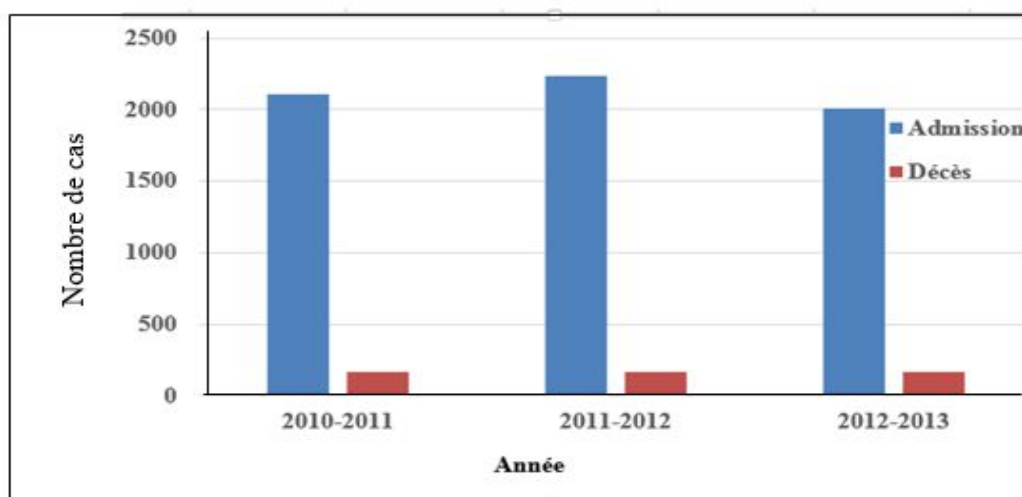


Fig. 129 : Variations interannuelles des admissions et des décès par les maladies cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013).

3.4.5. Comparaison entre le nombre des admissions et décès aux maladies respiratoires et celui des maladies cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

3.4.5.1. Comparaison entre les admissions aux maladies respiratoires et celles cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013)

Le nombre des admissions aux maladies respiratoires (Fig.130) représentent des valeurs inférieurs à celles des maladies cardiovasculaires durant la période (2010-2013) et la différence entre les deux pathologies se manifeste comme suite : 553 cas en 2010/2011, 1035 cas en 2011/2012 et 197 cas.

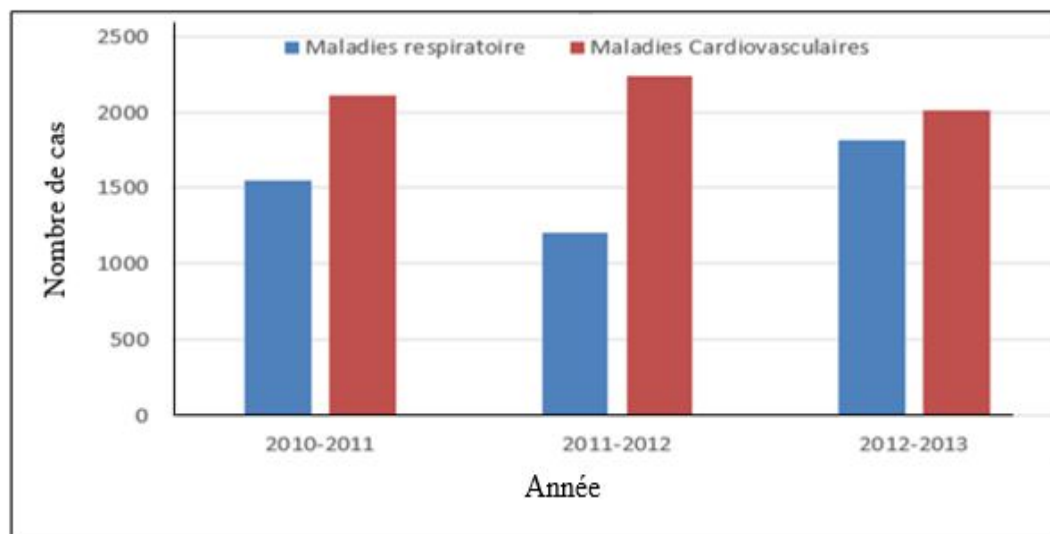


Fig. 130: Comparaison entre les moyennes annuelles des admissions aux maladies respiratoires et cardiovasculaires enregistrées au niveau d'Annaba et ses agglomérations (2010-2013).

3.4.5.2. Comparaison entre les décès par les maladies respiratoires et celles cardiovasculaires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013) :

Le nombre de décès par les maladies cardiovasculaires (Fig.131) représentent des valeurs supérieurs à celles des maladies respiratoires au niveau d'Annaba et ses agglomérations durant la période (2010-2013). Cependant le nombre de décès pour les deux pathologies est proportionnel à celui des admissions avec un écart de près de 107 cas (2010-2011), 117 cas (2011/2012) et 104 (2012/2013).

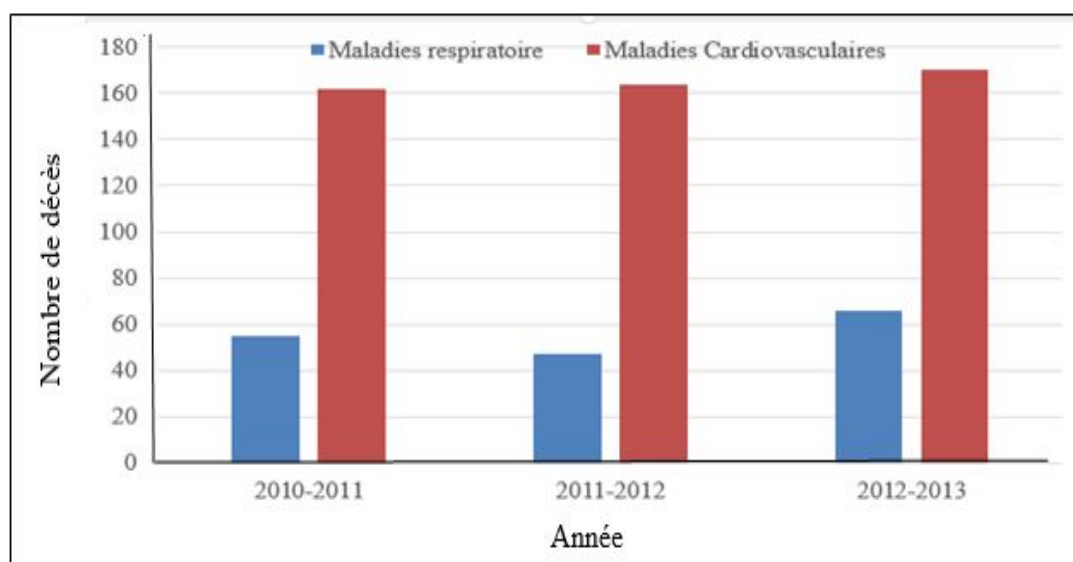


Fig. 131 : Comparaison entre les moyennes annuelles des décès par les maladies respiratoires et cardiovasculaires enregistrées au niveau d'Annaba et ses agglomérations (2010-2013)

3.4.6. Variation annuelles des asmatiques au niveau de quatre communes durant la période (2012-2014):

Parmi les maladies respiratoires qu'on a pu accueillir des données complet à partir de CHU Ibn Rochd pour les quatre communes de la zone d'étude (Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar) et durant les années (2012, 2013, 2014), la maladie d'asthme.

3.4.6.1. Au niveau d'Annaba et El Bouni

Annaba ville et El-Bouni enregistrent des valeurs plus élevés d'atteintes asthmatiques (Fig. 132) avec respectivement 28 et 38 cas au cours de l'année 2012, 21 et 34 cas au cours de l'année 2013 et 30 et 25 cas pendant l'année 2014. Toutefois le nombre total est respectivement 79 et 97 cas pour Annaba ville et El Bouni durant la période (2012-2014), ces fortes valeurs sont liées au fait que ces deux communes sont quasiment exposées aux émissions gazeuses dégagées par le complexe ASMIDAL et les différents véhicules accentuées par les vents dominants qui transportent de nombreuses espèces chimiques nocives qui peuvent altérer profondément la qualité de l'air, en augmentant par voie de conséquence l'intensité des affections qui touchent la voie respiratoire.

3.4.6.2. Au niveau de Sidi Amar et El Hadjar

Sidi Amar et El-Hadjar présentent des valeurs faibles des asmatiques (Fig.132) par rapport à celles d'Annaba ville et El Bouni avec respectivement 17 et 22 cas pour l'année 2012, 13 et 14 cas pour l'année 2013 et 12 et 17 cas pendant l'année 2014. Ces deux communes de par leur situation géographique localisée auprès de plusieurs unités industrielles parmi eux celui sidérurgie (Arcelor Meetal Steel) qui était l'influence principale des maladies respiratoires certains temps

(pendant l'année 2009, moi. 2011) ne sont pas à l'abri d'une pollution atmosphérique généralisée qui est à l'origine de l'apparition de quelques maladies respiratoires graves comme l'asthme durant ces dernières années (2012, 2013 et 2014) ce qui confirme que les émissions des différents véhicules (trafic routiers) en plus l'industrialisation (Asmidal influx sur Annaba et El Bouni) sont le responsable des différentes maladies respiratoires.

Remarque : Le trafic routier (circulation des véhicules) au niveau d'Annaba ville et El Bouni est plus intense que celui au niveau de Sidi Amar et El Hadjar.

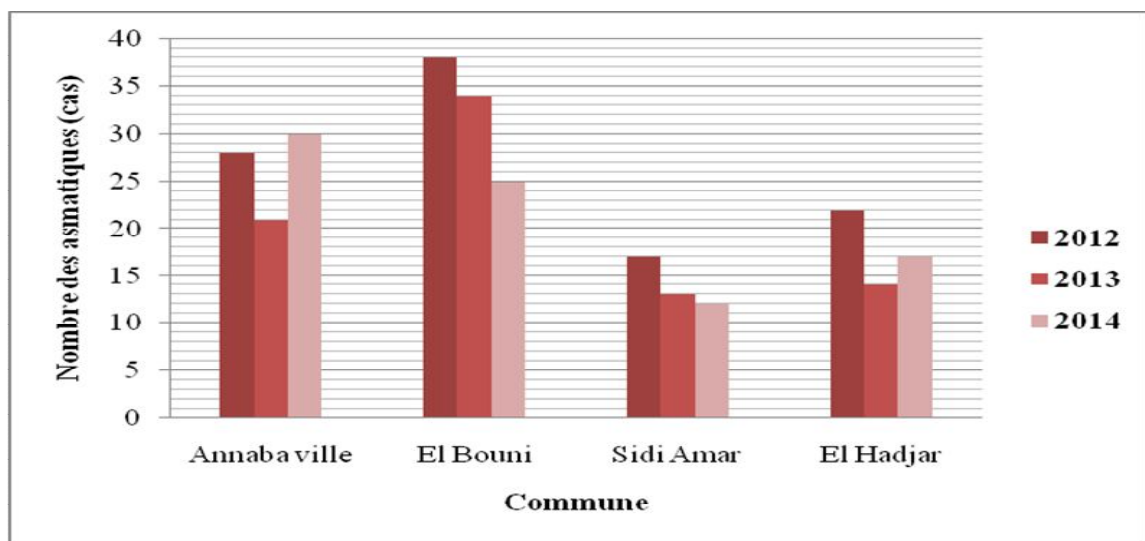


Fig. 132 : Variation spatiale de nombre des asmatiques pour les quatre communes et durant les années 2012, 2013 et 2014

3.4.7. Cartographie de la répartition spatiale de nombre des asmatiques selon le type de pollution au niveau de quatre communes et durant les années 2012, 2013 et 2014

Le nombre des asmatiques varie d'une année à l'autre (2012, 2013 et 2014) et d'une commune à l'autre, d'où la carte ci-dessous (Fig.133) montre qu'il existe une relation direct entre ce nombre des asmatiques et le taux des poussières.

Le nombre total maximal des asmatiques (pour les années 2012,2013 et 2014) s'observe au niveau d'El Bouni avec une valeur de 96 cas et Annaba ville avec 79 cas, ces deux communes se caractérisent par une forte pollution par les poussières d'origine du trafic routier essentiellement et l'usine Asmidal et ses divisions.

Le nombre des asmatiques est faible au niveau de Sidi Amar et El Hadjar avec des valeurs total (pour les années 2012,2013 et 2014) respectivement de 42 cas et 53 cas. Ce qui indique que ces deux commune se caractérisent par une pollution par les poussières moyenne à faible (Sidi Amar) et celle sous l'influence de l'usine sidérurgique d'El Hadjar.

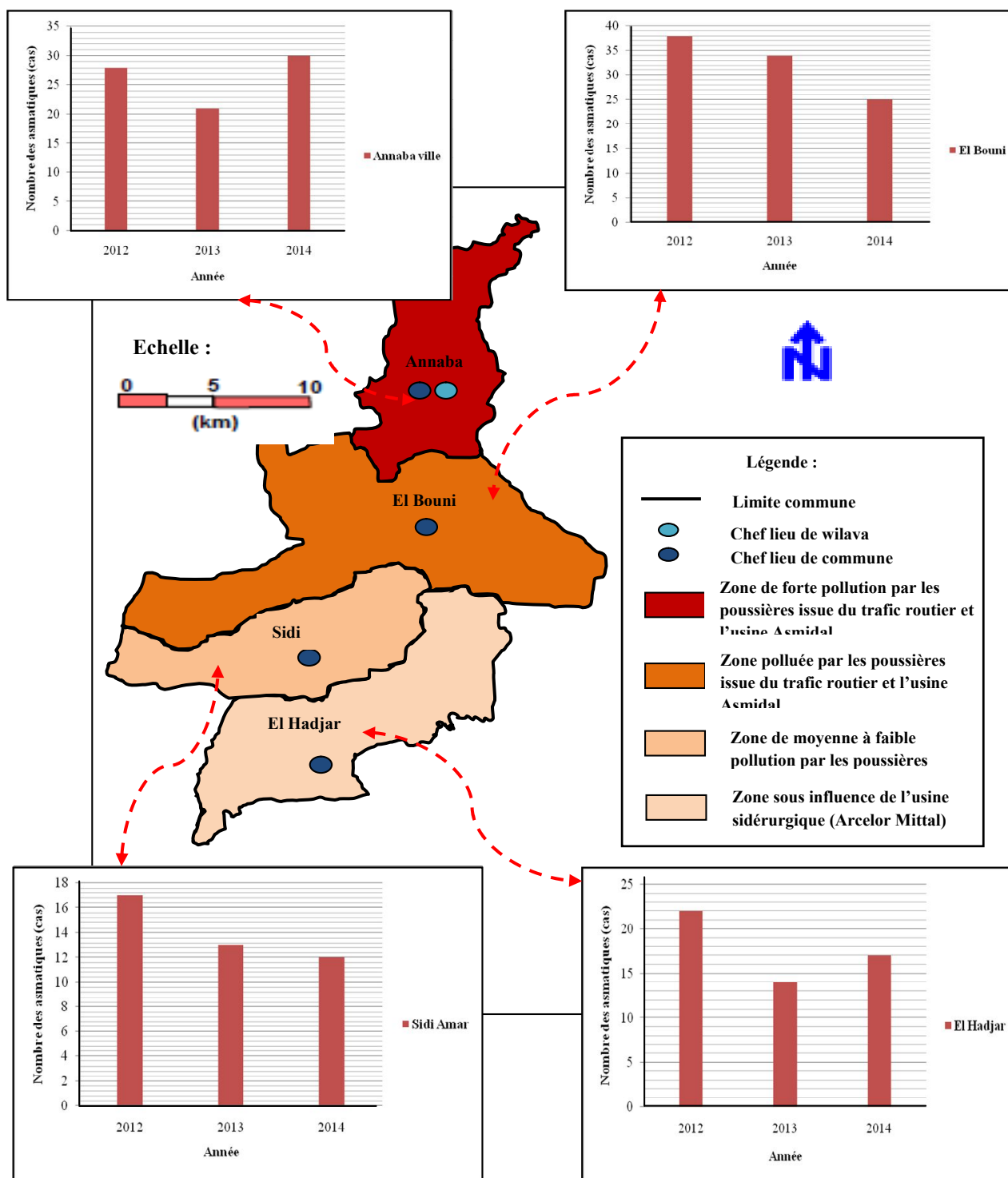


Fig. 133 : Carte de répartition spatiale de nombre des asmatiques selon le type de pollution par les poussières au niveau de quatre communes et durant les années 2012, 2013 et 2014

Conclusion

D'après les résultats obtenus, on constate que :

La région d'Annaba et ses environs subissent à certains maladies à transmission hydrique durant la période 2007-2017 dont la fièvre typhoïde et l' hépatite virale « A » sont les deux épidémies étudiées. Les cartes de distributions spatiales de ces deux épidémies durant cette période montrent que les communes les plus affectée par ses deux épidémies sont Annaba ville et El Bouni, alors que Sidi Amar et El Hadjar sont moins affectés (contamination des eaux de boissons au niveau des conduites « cross-connexion avec les eaux usées »).

La région d'Annaba et ses environs subissent à certains maladies respiratoires et cardiovasculaires durant la période (2010-2013) dont l'asthme durant (2012-2014) qui sont provoqués essentiellement par l'atmosphère et spécialement les poussières (le trafic routier intense surtout autour d'Annaba ville et El Bouni ainsi que les industries : Arcelor Mittal Steel, Asmidal et multitude d'entreprises). Ces deux pathologies sont indiqués par le nombre considérable de cas de malades.

Les résultats obtenus concernant les maladies respiratoires et celles cardiovasculaires nous laissent dire que le nombre des admissions et des décès par les maladies cardiovasculaires sont plus élevées par rapport à celles des maladies respiratoires durant la même période (2010-2013).

Les résultats obtenus concernant l'asthme durant la période (2012, 2013 et 2014) pour les quatre communes montrent que le nombre total maximal est observé au niveau d'El Bouni et Annaba ville (zones de forte pollution par les poussières), alors que celui minimal se manifeste au niveau de Sidi Amar et El Hadjar (zones de moyenne à faible pollution par les poussières ainsi que celle sous l'influence de l'usine sidérurgique). Ces résultats confirment que la source principale de la pollution générée par les poussières est le trafic routier principalement, ensuite les industries (Arcelor Mittal Steel, Asmidal et multitude d'entreprises).

CHAPITRE 8

Les conséquences de la pollution atmosphérique et des particules fines sur l'environnement

L'Organisation de Coopération et de Développement Economique (O.C.D.E) définit la pollution de l'eau et celle de l'atmosphère comme « l'introduction par l'homme directe ou indirecte de substances ou d'énergie dans l'eau ou l'atmosphère qui nuit aux ressources biologiques et aux systèmes écologiques, à porter atteinte aux agréments ou à gêner les autres utilisations légitimes de l'environnement».

1. Introduction

Outre les effets sur la santé humaine, la pollution atmosphérique intervient dans la physiologie des végétaux et les organes des animaux, dans les phénomènes de corrosion qui affectent les minéraux, les constructions...

En Algérie généralement et Annaba localement nous ne disposons d'aucun données précises, bien que les dégâts soient encore plus importants. L'objectif principal de cette partie est de savoir l'état environnementale et biodiversité au niveau d'Annaba et d'apprécier la contribution de cette pollution et son impact sur l'environnement.

2. Les caractéristiques environnementales et biodiversité de la wilaya d'Annaba***2.1. Les zones humides de la wilaya d'Annaba***

Le recensement systématique des zones humides de la wilaya d'Annaba a permis de retenir des sites humides d'importance d'eau (Tab.37). Ces milieux sont le plus souvent des marécages, des marais, des gueltas, des estuaires. On retient également la présence d'une île au large de Chétaïbi. Certains de ces milieux sont situés à proximité des zones urbaines et subissent de ce fait, des actions anthropiques qui risquent de les détruire complètement tel que les marécages de Sidi Achour et le marécage de Boucédra. Ces sites humides ont été introduits dans le programme de dénombrement annuel des oiseaux d'eau par la Conservation des Forêts de la wilaya d'Annaba visant ainsi à mettre en évidence l'importance de ces zones humides en tant que source de biodiversité floristique et particulièrement en tant qu'habitats pour les oiseaux d'eau.

Tableau N°37: Les zones humides recensées au niveau de la wilaya d'Annaba

Type de zone humide	Nom de Site	Commune	Superficie (ha)	Profondeur (m)	Coordonnées Géographiques
Lacs d'eau douce et saumâtre	Lac Fetzara	Berrahal	20,68	02	36° 47' N - 7° 30' E
Marais	Boucédra	El Bouni	40	0,50	36° 50' N - 7° 43' E
Gueltat	la Maison Cantonnière	Berrahal	25	0,75	36° 52' N - 7° 22' E
Marécage	Sidi Achour	Annaba	20	0,40	36°52' N - 7°43' E
	El Bourdi	Berrahal	10	0,30	36° 48' N - 7° 26' E
Garaat	Tacha	Berrahal	20	0,30	36° 51' N - 7° 25' E

(Source : Conservation des Forêts d'Annaba, In Allout. I ; 2013)

A signalé la présence d'autre zones humides tel que :

- **Garaat** Tacha – Commune Berrahal
- **Estuaire** de l'oued Seybouse – Commune El Hadjar

Cours d'eau :

- Oued Seybouse – Commune El Hadjar/ El Bouni
- Oued Boukhmira – Commune El Bouni
- Oued Meboudja – Commune El Hadjar
- Oued Afres – Commune Séraïdi
- Oued Bagrat – Commune Séraïdi
- Oued Bedjima – Commune Annaba/ El Bouni
- Oued Dheb – Commune Annaba
- Oued Forcha – Commune Annaba
- Oued Ourida – Commune Annaba
- Oued Kouba – Commune Annaba
- Oued Zied – Commune Oued El Aneb
- Oued Rassoul – Commune Cheurfa/ Ain Berda
- Oued El Hout – Commune El Eulma/ Ain Berda
- Oued Mellah – Commune El Eulma

- Oued Magroun – Commune Tréat
- Oued Boudjenane – Commune Tréat
- Oued Mehaisser – Commune Tréat
- Oued El Aneb – Commune Oued El Aneb/ Tréat
- Oued Enkouche – Commune Chétaïbi
- Oued Ouider – Commune Séraïdi/ Oued El Aneb/ Chétaïbi
- Canal principal d'assèchement du lac Fetzara – Commune Berrahal

Retenues collinaires

- Ballout Zaouch – Commune Berrahal
- Boutaleb – Commune Ain Berda
- Koudiat M'rah – Commune Ain Berda

Zones inondable

- Khéraza – Commune El Bouni
- Boukhadra – Commune El Bouni

Prairies humides

- Prairies du lac Fetzara – Commune Berrahal, Commune El Chorfa, Commune El Eulma.

Îles

- Île Saint Piastre – Commune Chétaïbi

Salines

- Les salines d'Annaba – Commune El Bouni

Bras mort

- Bras mort d'oued Seybouse – Commune El Bouni

2.2. Flore et faune :

2.2.1. Flore (cf. Tableau N°38)

2.2.1.1. Les principaux groupements florale (In Alltatar.B ; 2010)

2.2.1.1.1. Le chêne liège (*Quercus suber*)

C'est une formation qui a presque disparu dans les abords de la ville d'Annaba, il n'en reste que quelques sujets localisés autour du parc « club hippique » et l'autre à djebel sidi Aissa. De nombreux chercheurs se sont penchés sur l'étude des exigences écologiques du chêne liège Emberger (1939), Marion (1951), Sauvage (1960) et Achhal et al. (1980). C'est une essence endémique de la partie occidentale du bassin méditerranéen, essence de lumière, il ne se développe que sous un climat relativement chaud ou la moyenne annuelle des températures reste comprise entre 11 et 17 c°.

Cet arbre exige un état hygrométrique élevé et une pluviométrie annuelle supérieure à 600 mm. Il ne se développe que sur des sols siliceux meubles profonds et ne supporte ni le calcaire ni les chlorures et craint les argiles compactes.

2.2.1.1.2. Groupement à l'oléo-lentisque (*Olea oleaster* et *Pistacia lentiscus*) :

Le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) est un arbuste particulièrement représentatif des milieux chauds du climat méditerranéen, il se présente sous forme d'un arbrisseau à odeur de résine qui dépasse rarement les 02 à 03 mètres de hauteur. Les feuilles sont persistantes, composées, il produit de petits fruits (2 à 3mm) légèrement charnus, à noyau dur et porte souvent le style de la fleur à leur sommet, passant d'une couleur bleutée à maturité. Il se maintient sur terrains très lourds et au niveau des piémonts dégradés, Peu exigeant, il occupe les positions thermophiles (versant Sud de Djebel Boukantas de Annaba à Berrahal et Hadjar Diss, surtout au voisinage de la ferme pilote du Fetzara).

Dans le faciès littoral, on constate la présence du caroubier (*Ceratonia siliqua*) avec l'*Olea oleaster* qui sont présent au Cap de garde sur micaschiste, le caroubier se cantonne dans des vallons abrités des embruns marins et s'associe souvent au figuier (*Ficus carica*), sur sols rocheux et monte ainsi sur les adrets en position chasmophyle jusqu'à 400 m d'altitude (route de Séraïdi) (in Aouadi 1989).

2.2.1.1.3. Groupement hygrophiles :

Les marais et les différents oueds et chaabets qui se trouvent dans notre région d'étude sont occupés par une végétation hygrophile qui est : *Ulmis campestris*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus alba*, *Tamarix africana*, *Nerium oleander*, *Juncus acutus*.

2.2.1.1.4. Groupements des rochers maritimes :

C'est une végétation qui est localisée à l'extrémité de notre zone d'étude, composée d'espèces suivantes : *Asteriscus maritimus*, *Anthylis barba-jovis*, *Anthémis maritima*, *Euphorbia dendroïdes*....

2.2.1.2. Dynamisme de la végétation de la région d'Annaba :

Le dynamisme étant la tendance naturelle des formations végétales à se transformer sous l'action de facteurs de dégradation ou de la remontée biologique. La composition floristique et le type physionomique définissent le stade phytodynamique de ce développement (MEDIOUNI et al, 1983).

L'action anthropique, les facteurs de dégradation et le défrichement du couvert végétal se multiplient chaque jour, résultant d'une croissance humaine très importante, qui a exercé

beaucoup d'agressions sur le couvert végétal dans le but de créer une assiette foncière destinée à l'urbanisation.

Tableau N°38: Flore Existante au niveau des zones humides recensées au niveau de la wilaya d'Annaba

Type de zone humide	Nom de Site	Commune	Flore Existante
Lacs d'eau douce et saumâtre	Lac Fetzara	Berrahal	<i>Alisma plantago aquatica, Juncus maritimus Juncus bufonius, Phragmite australis Mentha aquatica, Lythrum salicaires Ranunculus aquatilis, Ranunculus flamula Tamarix gallica, Typha angustifolia Salix pedicellata, Paspalum distichum Myriophyllum spicatum, Ceratophyllum demersum Potamogeton natans, Salicornia arabica Asparagus sp, Trifolium sp Euphorbia helioscopea, Ziziphus lotus Chamaerops humilis</i>
Marais	Boucédra	El Bouni	<i>Phragmite australis, Juncus maritimus Typha angustifolia</i>
Gueltat	la Maison Cantonnière	Berrahal	<i>Phragmite australis, Juncus maritimus Typha angustifolia</i>
Marécage	Sidi Achour	Annaba	<i>Phragmite australis, Juncus maritimus Tamarix gallica , Typha angustifolia Euphorbia helioscopea , Chamaerops humilis, Bellis, Salicornia arabica</i>
	El Bourdi	Berrahal	<i>Typha angustifolia, Juncus maritimus, Bellis</i>
Garaat	Tacha	Berrahal	<i>Juncus maritimus, Ranunculus aquatilis</i>

2.2.1.3. Les facteurs de dégradations :

2.2.1.3.1. Les incendies :

Les incendies sont les fléaux les plus ravageurs et les plus destructeurs du patrimoine forestier, ils sont considérés comme les facteurs les plus dangereux et les plus redoutables pour la forêt. Les principaux facteurs à l'origine des incendies sont essentiellement la faible résistance au feu des principales essences forestières (Pin maritime) et des espèces végétales constituant le sous-bois (Erica, Arbutus), la forte pression humaine sur les forêts suburbaines et les conditions climatiques favorables à la propagation et au développement des feux de

forêts surtout en été. Même si les incendies, phénomènes naturels, font partie de l'équilibre de certains écosystèmes car bénéfiques pour la propagation des graines et leur germination (Pin maritime), en Algérie, leur action reste dévastatrice car elle est souvent aggravée par le surpâturage qui les précède.

L'aménagement des forêts contre les feux suit plus ou moins les mêmes tendances dans tout le bassin méditerranéen et repose sur la création des tranchées pare-feu et de réserves d'eau. Ces travaux font souvent partie des projets de gestion courante en Algérie (GRIM, 1989).

2.2.1.3.2. Le surpâturage :

Le pâturage est une activité normale en forêt, parfois souhaitée, car le bétail participe au contrôle de la prolifération des strates arbustives et herbacées, hautement inflammables. Cependant, le surpâturage, causant un broutage excessif de la végétation et des jeunes plants forestiers en particulier empêche toute régénération, épuise les ressources disponibles, dégrade les parcours et les soumet à l'érosion.

2.2.1.3.3. Les défrichements :

Si les défrichements ont existé depuis l'époque romaine, ils se sont accélérés durant la colonisation et continuent de se pratiquer de nos jours. De 1893 à 1941 le domaine forestier a perdu 116 000 ha de forêts au profit de l'extension des cultures coloniales (R.N.E.2000). L'extension de l'agriculture coloniale sur les plaines et les bas-versants a entraîné le refoulement de la paysannerie pauvre sur les piémonts aux abords des forêts. Actuellement, les populations montagnardes, privées de surface agricole, continuent à défricher différents niveaux de la forêt : lisières, clairières, sommets de montagnes.

Cette population exerce une pression continue sur les formations forestières par le défrichement et le surpâturage, ce qui perturbe la préservation des forêts et leur développement. Nous assistons à une dégradation des structures forestières, et le rythme actuel de 02 à 4% de disparition par an des surfaces forestières selon les pays devrait se poursuivre ; c'est-à-dire que d'ici 50 ans, sans changement total des politiques socioéconomiques et forestières, il ne devrait théoriquement subsister que moins de la moitié des superficies actuelles couvertes par les forêts (QUEZEL & BARBERO, 1990).

D'une manière générale, on peut dire que la culture irrationnelle, le défrichement, la collecte excessive du bois de feu, le surpâturage et les incendies sont responsables de plus de 80% des dégâts (LE HOUEROU, 1993).

2.2.1.4. Les formations de dégradations :

L'action conjuguée des facteurs de dégradations et de l'extension de l'urbanisation a imprimé un certain dynamisme à la végétation. On a ainsi après la disparition de l'armature boisée, l'installation des divers maquis.

2.2.1.4.1. Le maquis :

- Le maquis à Bruyère et Myrte, sous-bois de suberaie disparue ; on y trouve le Calycotome, la Filaire, le Ciste à feuille de sauge et la Lavande.
- Le maquis à olivier et lentisque, formation thermophile sur sol argileux, on y trouve un niveau à Myrte et un niveau à Caroubier (Toubal 1986). Cette formation occupe les bas de pentes le long du littoral. Les espèces qu'on trouve sont : smilax, Doum, Filaire, Diss, Calycotome, Cistes.
- La formation monospécifique à Chamaerops humilis (Doum), ou Chamaeropetum humilii ; Toubal 1998). Le Doum, grâce à son enracinement profond, contribue à stabiliser les sols meubles.
- Les broussailles à Cistes, Diss et Calycotome, qui sont les résultats d'incendies répétées.

2.2.1.4.2. Les pelouses :

Les pelouses faisant suite à une accentuation du surpâturage et défrichement, comprend des espèces herbacées, dans la famille de graminées (Hordium), composées (Bellis) et légumineuses (trifolium).

2.2.1.4.3. Reboisement:

Les reboisements sont utilisés généralement à des fins écologiques (maintien des sols contre l'érosion hydrique) et économiques (production du bois, du papier, résine...). Nous signalons la présence d'un reboisement Eucalyptus dans la zone de Sidi Achour, Sidi harb et au nord-ouest de la ville de Annaba (chemin Cap de Garde vers Séraïdi) et un autre reboisement de Pin maritime dans la partie nord de la ville, qui est une essence de lumière, à croissance rapide, inflammable et de tempérament robuste et plastique, ainsi une autre espèce qui a été reboisée au Nord-ouest de Annaba, il s'agit de l'acacia. Il faut noter la présence de Nicotiana glauca tout au long des routes et des remblais de chantiers dans la région.

2.2.1.4.4. Les vergers et les cultures:

Nous notons la présence des cultures arboricoles dans des vergers (agrumes, pêcher, néflier) et maraîchère dans le chemin menant à la commune d'El-Bouni.

2.2.2. Faune

2.2.2.1. Les poissons

Parmi les espèces inventoriées le long du littoral d'Annaba, certaines sont protégées par la **Convention de Berne** et bénéficient dans plusieurs pays riverains à la méditerranée de mesures de protection. Une attention particulière doit être accordée à de très nombreuses espèces peu connues et qui ne bénéficient actuellement d'aucun statut juridique de protection, comme c'est le cas du mérout *E. marginatus*, de la badèche *E. costae*, du corb *S. umbra*, de la grande nacre *P. nobilis*, du triton à bosses *C. lampas lampas*, de la grande cigale *S. latus* et du corail rouge *C. rubrum*. Des études récentes menées sur la biologie et l'écologie de certaines espèces de poissons (Kara et Derbal, 1999; Derbal *et al.*, 2004) montrent d'ores et déjà une menace de la population naturelle (Tableau N°39).

Tableau N°39 : Les unités systématiques appartenant aux différents groupes: Poissons, Crustacés et Mollusques.

POISSONS	RICHESSSE SPECIFIQUE (N = 172)
Elasmobranches (23 espèces)	SQUALES (12 espèces) : Alopiidae (<i>Alopias vulpinus</i>) Scyliorhinidae (<i>Galeus melastomus</i> , <i>Scyliorhinus canicula</i> , <i>S. stellaris</i>) Sphyrnidae (<i>Sphyrna zygaena</i>) Squalidae (<i>Dalatias licha</i> , <i>Squalus acanthias</i> , <i>Centrophorus granulosus</i> , <i>Etmopterus spinax</i>) Squatinidae (<i>Squatina squatina</i>) Triakidae (<i>Mustelus punctulatus</i> , <i>M. mustelus</i>)
	RAIES (11 espèces) : Hexanchidae (<i>Hexanchus griseus</i>) Myliobatidae (<i>Myliobatis aquila</i>) Rajidae (<i>Raja meraleus</i> , <i>R. batis</i> , <i>R. oxyrinchus</i> , <i>R. asterias</i> , <i>R. clavata</i> , <i>R. radula</i>) Rhinobatidae (<i>Rhinobatos rhinobatos</i>) Torpedinidae (<i>Torpedo marmorata</i> , <i>T. torpedo</i>)
Holocéphales (1'espèce)	Chimaeridae (<i>Chimaera monstrosa</i>)
Téléostéens (148 espèces)	Anguillidae (<i>Anguilla anguilla</i>) Apogonidae (<i>Apogon imberbis</i>) Atherinidae (<i>Atherina boyeri</i>) Balistidae (<i>Balistes carolinensis</i>) Belonidae (<i>Belone belone</i>) Blenniidae (<i>Lipophrys nigriceps</i> , <i>L. trigloides</i> , <i>Parablennius tentacularis</i> , <i>P. gattorygine</i> , <i>P. sanguinoleutus</i> , <i>P. zvonimiri</i> , <i>Coryphoblennius galerita</i>) Bothidae (<i>Bothus podas podas</i>) Callionymidae (<i>Synchiropus phaeton</i>) Caproidae (<i>Capros aper</i>) Carangidae (<i>Lichia amia</i> , <i>Seriola dumerili</i> , <i>Trachinotus ovatus</i> , <i>Trachurus mediterraneus</i>) Centrarchidae (<i>Spicara maena</i> , <i>S. flexuosa</i>) Cepolidae (<i>Cepola macrophthalma</i>) Chlorophthalmidae (<i>Chlorophthalmus agassizi</i>) Citharidae (<i>Citharus linguatula</i>) Clupeidae (<i>Sardina pilchardus</i> , <i>Sardinella aurita</i> , <i>Sardinella maderensis</i>) Congridae (<i>Conger conger</i> , <i>Gnathophis mystax</i>) Coryphaenidae (<i>Coryphaena hippurus</i>) Engraulidae (<i>Engraulis encrasicolus</i>) Dactylopteridae (<i>Dactylopterus volitans</i>) Echelidae (<i>Echelus myrus</i>) Exocoetidae (<i>Exocoetus volitans</i>) Gadidae (<i>Gadiculus argenteus argenteus</i> , <i>Micromesistius poutassou</i> , <i>Molva diperygia macrophthalma</i> , <i>Phycis blennoides</i> , <i>P. phycis</i> , <i>Trisopterus minutus capelanus</i>) Gobiidae (<i>Lesueurigobius friesii</i> , <i>Gobius cobitis</i>) Labridae (<i>Labrus bergylta</i> , <i>L. viridis</i> , <i>L. merula</i> , <i>Thalassoma pavo</i> , <i>Coris julis</i> , <i>Symphodus mediterraneus</i> , <i>S.</i>

	roissali, <i>S. tinca</i>, <i>S. ocellatus</i>, <i>S. rostratus</i>, <i>S. doderleini</i>, <i>S. melops</i>, <i>Xyrichthys novacula</i>) Lophiidae (<i>Lophius piscatorius</i>) Macroramphosidae (<i>Macroramphosus scolopax</i>) Macrouridae (<i>Nezumia aequalis</i>) Maenidae (<i>Smaris chrysalis</i>) Merlucciidae (<i>Merluccius merluccius</i>) Molidae (<i>Mola mola</i>) Moronidae (<i>Dicentrarchus labrax</i>, <i>D. punctatus</i>) Mugilidae (<i>Mugil cephalus</i>, <i>Chelon labrosus</i>, <i>Liza aurata</i>, <i>L. ramada</i>, <i>L. saliens</i>) Mullidae (<i>Mullus barbatus</i>, <i>M. surmuletus</i>) Muraenidae (<i>Muraena helena</i>, <i>Gymnothorax unicolor</i>) Myctophidae (<i>Lampanyctus crocodilus</i>) Nettastomatidae (<i>Faciolella physonema</i>) Ophidiidae (<i>Ophidion barbatum</i>) Peristédiidae (<i>Peristedion cataphractum</i>) Pomacentridae (<i>Chromis chromis</i>) Pomatomidae (<i>Pomatomus saltatrix</i>) Scopthalmidae (<i>Lepidorhombus boscii</i>, <i>L. whiffiagonis</i>) Sciaenidae (<i>Argyrosomus regius</i>, <i>Sciaena umbra</i>, <i>Umbrina canariensis</i>, <i>U. cirrosa</i>) Scombridae (<i>Euthynnus alletteratus</i>, <i>Sarda sarda</i>, <i>Scomber scombrus</i>, <i>Thunnus thynnus thynnus</i>) Scorpaenidae (<i>Scorpaena notata</i>, <i>S. elongata</i>, <i>S. porcus</i>, <i>S. scrofa</i>, <i>Helicolenus dactylopterus</i>) Serranidae (<i>Serranus scriba</i>, <i>S. cabrilla</i>, <i>S. hepatus</i>, <i>Epinephelus marginatus</i>, <i>E. caninus</i>, <i>E. costae</i>, <i>E. aeneus</i>, <i>Mycteroperca rubra</i>, <i>Polyprion americanus</i>) Soleidae (<i>Solea vulgaris</i>, <i>S. nasuta</i>, <i>S. senegalensis</i>, <i>Dicologlossa cuneata</i>) Sparidae (<i>Boops boops</i>, <i>Dentex dentex</i>, <i>D. gibbosus</i>, <i>D. maroccanus</i>, <i>D. macrophthalmus</i>, <i>Diplodus annularis</i>, <i>D. cervinus cervinus</i>, <i>D. puntazzo</i>, <i>D. sargus sargus</i>, <i>D. vulgaris</i>, <i>Lithognathus mormyrus</i>, <i>Oblada melanura</i>, <i>Pagellus acarne</i>, <i>P. bogaraveo</i>, <i>P. erythrinus</i>, <i>Pagrus auriga</i>, <i>P. pagrus pagrus</i>, <i>Sarpa salpa</i>, <i>Sparus aurata</i>, <i>Spondylusoma cantharus</i>) Sphyrinae (<i>Sphyrnaea spyrinaea</i>, <i>S. viridensis</i>) Stromateidae (<i>Stromateus fiatola</i>) Syngnathidae (<i>Hippocampus guttulatus</i>, <i>H. europaeus</i>, <i>Syngnathus sp</i>) Synodontidae (<i>Synodus saurus</i>) Tétrodontidae (<i>Ephippion guttiferum</i>) Trachichthyidae (<i>Hoplostethus mediterraneus</i>) Trachinidae (<i>Trachinus araneus</i>, <i>T. draco</i>) Trichiuridae (<i>Lepidopus caudatus</i>) Triglidae (<i>Eutrigla gurnardus</i>, <i>Aspitrigla obscura</i>, <i>A. cuculus</i>, <i>Trigla lucerna</i>) Tripterygiidae (<i>Tripterygion tripteronotus</i>) Uranoscopidae (<i>Uranoscopus scaber</i>) Xiphiidae (<i>Xiphias gladius</i>) Zeidae (<i>Zeus faber</i>)
--	--

RICHESSSE SPECIFIQUE (N = 143)	
Crustacés Eucarides (61 espèces)	Décapodes reptantia (31 espèces): <i>Galathea intermedia</i>, <i>G. squamifera</i>, <i>G. strigosa</i>, <i>Porcellana platycheles</i>, <i>P. sp.</i>, <i>Pachygrapsus marmoratus</i>, <i>Eriphia verrucosa</i>, <i>Acanthonyx sp.</i>, <i>Pisa sp.</i>, <i>Lambrus macrocheles</i>, <i>L. miersi</i>, <i>Homarus gammarus</i>, <i>Palinurus elephas</i>, <i>Liocarcinus depurator</i>, <i>Pilimnus sp.</i>, <i>Monodaeus sp.</i>, <i>Paractaea sp.</i>, <i>Carcinus aestuarii</i>, <i>Scyllarides latus</i>, <i>Scyllarus arctus</i>, <i>Nephrops norvegicus</i>, <i>Paramola cuvieri</i>, <i>Geryon longipes</i>, <i>Polybius henslowii</i>, <i>Bathynectes maravigna</i>, <i>Calappa granulata</i>, <i>Eupagurus arrosor</i>, <i>Pagurus sp.</i>, <i>Dromia sp.</i>, <i>Portunus sp.</i>, <i>Maja sp.</i> Décapodes natantia (30 espèces): <i>Alpheus glaber</i>, <i>A. macrocheles</i>, <i>A. dentipes</i>, <i>Athanas netiscens</i>, <i>A. netiscens laevuhincus</i>, <i>Hippolyte sp.</i>, <i>Thoralus sp.</i>, <i>Lismata seticaudata</i>, <i>L. sp.</i>, <i>Periclimenes sp.</i>, <i>Gnathophyllum sp.</i>, <i>Processa sp.</i>, <i>Palaemon serratus</i>, <i>P. elegans</i>, <i>Penaeus kerathurus</i>, <i>Parapenaeus longirostris</i>, <i>Aristeus antennatus</i>, <i>Plesionoka edwardsii</i>, <i>P. heterocarpus</i>, <i>P. gigliolii</i>, <i>P. acanthonothus</i>, <i>P. martia</i>, <i>P. antgai</i>, <i>Aristeomorpha foliacea</i>, <i>Chlorotocus crassicornis</i>, <i>C. gracilipes</i>, <i>Pasiphaea sivado</i>, <i>P. multidentata</i>, <i>Pontocaris lacazei</i>, <i>Crangon crangon</i>.
Crustacés Peracarides (15 espèces)	Amphipodes: <i>Gammarus locusta</i>, <i>Aphithoe sp.</i>, <i>Lembos sp.</i>, <i>Lisianassa sp.</i>, <i>Dexamine spiniventris</i>, <i>Orchestia gammarella</i>, <i>Talitrus saltator</i>, <i>Caprella linearis</i>. Isopodes : <i>Idotea granulosa</i>, <i>Shpaeroma sp.</i>, <i>Anthurus gracilis</i>, <i>Anthura sp.</i>, <i>Praniza sp.</i> Mysidacae: <i>Mysis sp.</i> Tanaidacae: <i>Apseudes spinosus</i>.
Hoplocarides (3 espèces)	<i>Squilla mantis</i> , <i>Rissoides desmaresti</i> , <i>R. pallidus</i> .
Mollusques Gastéropodes Prosobranches (31 espèces)	<i>Alvania sp.</i>, <i>Putilla sp.</i>, <i>Turboella sp.</i>, <i>Bitium sp.</i>, <i>Epitonium sp.</i>, <i>Acera sp.</i>, <i>Naticarius sp.</i>, <i>Mitra sp.</i>, <i>Turritella communis</i>, <i>Nassarius sp.</i>, <i>Monodonta turbinata</i>, <i>Patella caerulea</i>, <i>Chiton olivaceus</i>, <i>Haliotis tuberculata lamellosa</i>, <i>Cassidaria echinophora</i>, <i>Phalium granulatum</i>, <i>Astrea rugosa</i>, <i>Architectonica monilifera</i>, <i>Turritella sp.</i>, <i>Columbella sp.</i>, <i>Buccinulum sp.</i>, <i>Buccinum undatum</i>, <i>Cymatiidae</i> (<i>Charonia lampas lampas</i> et <i>Argobuccinum olearium</i>), <i>Muricidae</i> (<i>Bolinus sp.</i>), <i>Aporrhaidae</i> (<i>Aporrhais serresianus</i>), <i>Cypraeidae</i> (<i>Cyprae sp.</i>),

	Cassidae (<i>Phalium granulatum</i> , <i>P. saburon</i>).
Mollusques Bivalves (20 espèces)	<i>Scrobicularia</i> sp, <i>Arca barbata</i> , <i>A. noae</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Pecten jacobaeus</i> , <i>Lithophaga lithophaga</i> , <i>Anadara diluvii</i> , <i>Acanthocardia tuberculata</i> , <i>A. spinosa</i> , <i>Donax trunchulus</i> , <i>Lima lima</i> , <i>Mactra corallina</i> , <i>Chlamys varia</i> , <i>Lutraria</i> sp, <i>Ensis siliqua</i> , <i>Perna perna</i> , <i>Pinna nobilis</i> , <i>P. rudis</i> , <i>Glycymeris</i> sp.
Opisthobranches (5 espèces)	<i>Flabellina affinis</i> , <i>Hervia costai</i> , <i>Peltodoris atromaculatae</i> , <i>Glossodoris tricolor</i> , <i>Aplysia punctata</i> .
Céphalopodes (6 espèces)	<i>Octopus vulgaris</i> , <i>Eledone moschata</i> , <i>Sepia orbignyana</i> , <i>Loligo forbesi</i> , <i>Ocythoe tuberculata</i> , <i>Todarodes sagittatus</i> .
Placophores (2 espèces)	<i>Acanthochitona crinatus</i> , <i>Tonicella rubra</i> .

Source : DERBAL.F ; 2011

2.2.2.2. Les invertébrés

Ce sont des groupes relativement diversifiés au sein desquels les espèces sont généralement identifiables sur le terrain. Leur bonne connaissance permet la définition d'enjeux locaux de conservation. De plus, ils comprennent une grande partie des espèces concernées par des statuts réglementaires. Il s'agit des papillons de jour (lépidoptères rhopalocères), des sauterelles, criquets et grillons (orthoptères) et des libellules et des demoiselles (odonates).

2.2.2.3. Les amphibiens

Parmi les amphibiens qui se trouvent dans la zone d'étude on a les têtards, les lézards, grenouilles, les tortues.

2.2.2.4. Les reptiles

Comme pour les amphibiens, les gîtes utilisés spécifiquement par les reptiles (pierres plates, souches, buissons, tôles abandonnées...).

2.2.2.5. Les oiseaux

L'observation des oiseaux ont permis d'inventorier les espèces nicheuses et migratrices en halte et/ou de passage sur la zone d'étude. Lors de ces deux passages, tel que les Anatidés, les Ardéidées, les Ralidées, les Charadriidés, les Ecurvirostridés, les Ciconidés, les Threskiornithires, les Hoenicoptéridés, les Podicipédidés, les Ibis falcinelle, les Spatule blanche, les Alidés, les Récurvirostridés, les Laridés, Les Sternidés, les Pandionidés, les Chlidonias a verre.

2.2.2.6. Les mammifères

Les mammifères ont été recherchées sous la forme d'indices de présence : empreintes, crottes, restes de repas ..., nous avons observé les bovins et les ovins.

2. Impact ou effets des polluants atmosphériques sur

2.1. La végétation

Les végétaux sont exposés de manière durable à la pollution atmosphérique. Ils peuvent être l'objet d'atteintes aiguës telles que nécroses et d'atteintes chroniques telles que troubles de croissance. La figure 131 schématise les principaux effets des polluants atmosphériques chez les végétaux).

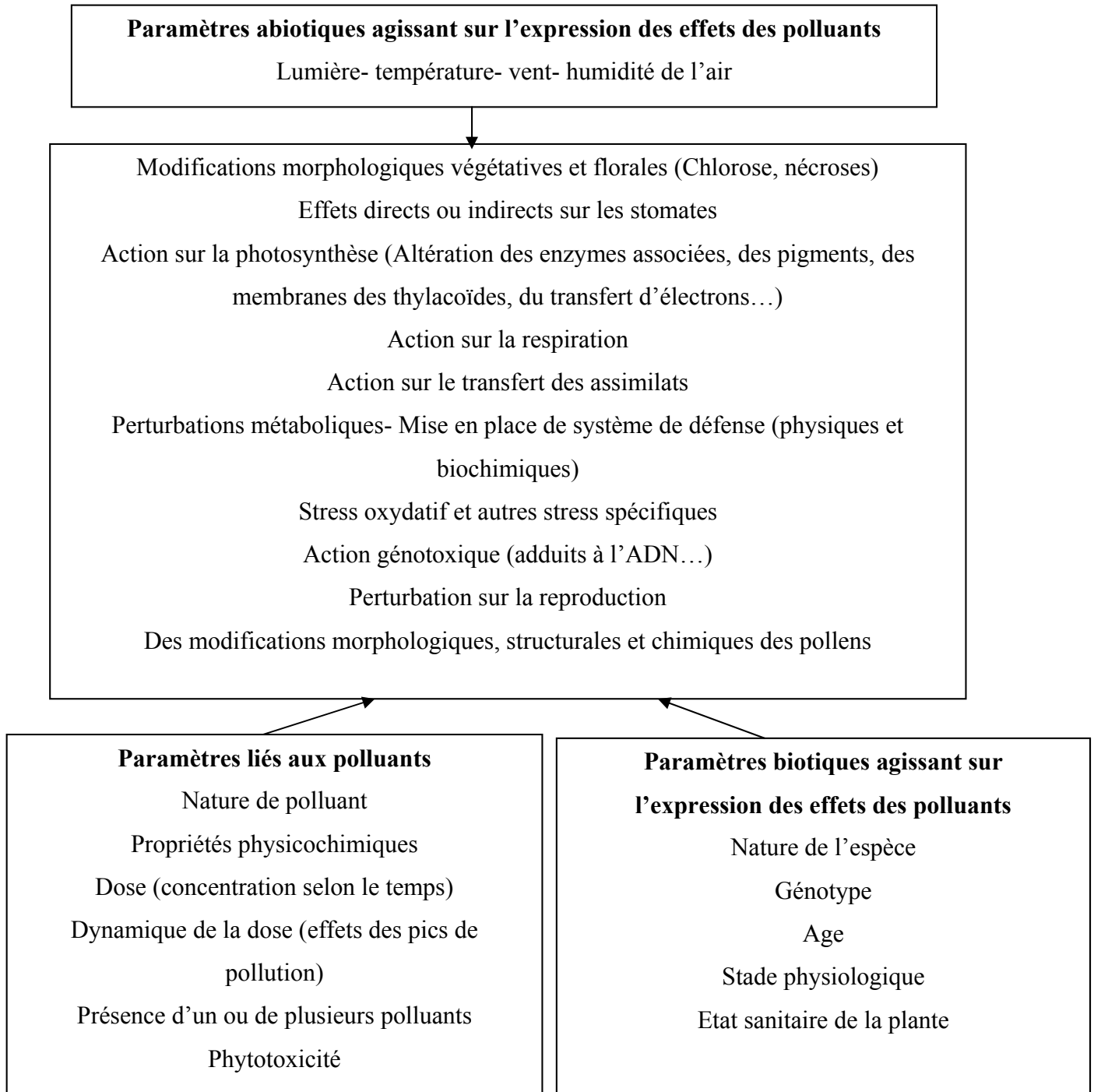


Fig. 134: Les principaux effets des polluants atmosphériques chez les végétaux-
Interférence de divers paramètres.

2.2. Les écosystèmes

Les pollutions atmosphériques d'origine anthropogénique sont accusées d'être responsables de l'acidification des lacs et de phénomène des "précipitations acides" et de "la mort des forêts" en parallèles avec les causes naturelles.

2.2.1. Précipitations acides

L'acidité d'une pluie comme celle de tout autre liquide est évaluée grâce à une échelle, l'échelle du PH dont les valeurs extrêmes sont comprises entre 0 et 14 égale à 7 (point neutre). L'eau de pluie naturelle non polluée possède un PH égale à 5,65 environ, donc une pluie est acide lorsque son PH est inférieur à 5,65 celui mesuré dans les pluies acides européennes est compris entre 4 et 4,5. Ce phénomène inclut non seulement les précipitations humides ayant capté différents polluants atmosphériques d'origine naturelle ou provenant d'activités humaines, mais aussi les dépôts secs de ces mêmes polluants.

2.2.1.1. Acidification des lacs et des cours d'eau

L'acidification des pluies est apparue comme un phénomène très variable dans le temps et dans l'espace; on constate, dans les pays dont les sols granitiques et siliceux d'origine primaire sont peu épais et à réaction essentiellement acides, une chute du PH des cours d'eau et des lacs. Les zones concernées sont souvent relativement éloignées des sources de polluants, il s'agit donc de transport de pollution à très longues distances.

L'acidification des eaux continentales se traduit par un abaissement de leur PH. Ceci engendre des perturbations de l'écosystème aquatique. Les symptômes les plus souvent signalés sont les suivants:

- Appauvrissement des lacs en plantes et animaux aquatiques.
- Prédominance de quelques espèces acidophiles.
- Disparition progressive, voire complète des poissons (truites et saumons en particulier).
- Réduction ou disparition des amphibiens.
- Modification du phytoplancton et du zooplancton ainsi que les communautés Benthiques.
- Substitution de champignons aux bactéries de décomposition.

Un abaissement brutal de PH se produisant à l'époque de reproduction des poissons et des amphibiens (stades vulnérables : oeufs et embryons), entraîne leurs mort ou des déformations du squelette chez les poissons et les amphibiens.

2.2.1.2. Les forêts

Si c'est l'acidification des lacs et cours d'eau qui a mis en lumière le problème des transports de polluants à longue distance, les dommages forestiers ont été à l'origine d'une prise de conscience généralisée et médiatique du problème de la pollution atmosphérique. Les

dégâts apportés aux forêts par la pollution industrielle ne sont pas un phénomène nouveau: à proximité des usines chimiques, les dégâts apportés à la flore par les émissions d'acide fluorhydrique provenant du traitement des minerais d'aluminium ont été constatés depuis longtemps. Cependant, des atteintes aux arbres se sont manifestées sur des forêts très éloignées des sources émettrices d'atmosphères polluées, industrielles ou urbaines, à tel point que les arbres poussant en ville. Comme pour l'acidification des lacs, les transports des polluants ont été mis en cause.

En forêts, l'action des retombées est fortement augmentée par l'effet de filtre qui retient les polluants et provoque ainsi une accumulation de produits toxiques dans le feuillage et dans le sol. L'eau de pluie ruisselant à l'intérieur des forêts présente un PH inférieur à celui des pluies en terrain découvert. La base du tronc est ainsi fortement atteinte. L'augmentation de l'acidité des sols peut entraîner des lésions aux racelles et se répercuter sur l'activité des micro-organismes. A part les forêts, la pollution de l'air touche aussi les céréales et les plantes agricoles, comme les pois, les épinards et le trèfle. Certaines espèces d'arbres fruitiers sont également très sensibles; le cas des abricotiers est bien connu.

2.2.1.3. Les matériaux

Les bâtiments et leurs matériaux constructifs ont de tout temps affecté par la pollution atmosphériques (liées à la fois à l'état physique de l'atmosphère et sa composition chimique).

Les poussières sont un facteur physique de dégradation des monuments; les salissures appliquées sur les façades proviennent des particules transportées par l'air et déplacées par le trafic. Dans les grandes métropoles, les moteurs diesel sont aujourd'hui les sources premières des particules salissantes. La nature huileuse et adhésive de ces particules diesel accroissant leur pouvoir salissant.

Les salissures ont aussi un pouvoir de rétention des polluants apportés par les pluies, ce qui favorise ainsi les attaques chimiques. Bien que les phénomènes de corrosion des pierres d'œuvre apparaissent également dans les climats secs, se sont surtout les effets physiques de l'eau qui sont amplifiés lorsqu'elle est acidifiée par les polluants NO₂ et SO₂.

Le calcaire se transforme en sulfates de calcium ou en nitrates; ces composés plus solubles dans l'eau que le carbonate de calcium de départ, migrent en surface à la faveur des dissolutions- cristallisations. Par mélange avec des silicates, se forment en surface des couches plus dures qui adhèrent mal au support sous- jacent. Ces croûtes de "calcin" finissent par tomber.

Dans le cas du béton, c'est la dissolution de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ par la pluie acide qui intervient pour former des efflorescences. Le CO_2 atmosphérique transforme peu à peu l'hydroxyde en carbonate et réduit la résistance du béton aux effets acides.

2.3. La visibilité atmosphérique

Le dernier effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement concerne les conséquences sur la visibilité. C'est un constat qu'il est aujourd'hui pratiquement impossible d'apercevoir la voie lactée dans le ciel des grandes villes.

La visibilité est en relation directe avec la clarté de l'atmosphère et sa décroissance tend à mettre en péril nombre de sites touristiques. Même si des causes naturelles peuvent réduire la visibilité, leurs effets ne sont pas permanents comme tendent à l'être les causes d'origine anthropogène.

Les industries émettrices de poussière (sidérurgie, cimenteries, centrales thermiques, etc) contribuent à la charge atmosphérique en particules diffractant la lumière, le trafic diesel est également un facteur important d'obscurcissement.

La pollution photochimique contribue aussi aux baisses de la visibilité dans l'atmosphère par les particules fines qu'elle génère.

3. Effets de quelques polluants sur l'environnement

3.1. Effets du CO

La réactivité atmosphérique du CO évite son accumulation au cours du temps: les radicaux OH l'oxydent en CO_2 suivant la réaction suivante :



La libération de CO dans l'atmosphère appauvrit donc celle-ci en OH, le principal agent purifiant l'atmosphère. Aussi, il contribue au phénomène de l'effet de serre en participant au mécanisme de formation de CO_2 .

3.2. Effet des oxydes d'azote sur l'environnement

Les gaz acides comme les oxydes d'azote se transforment dans l'atmosphère par l'oxydation en polluants secondaires d'où les acides nitriques (NO_3) qui sont solubilisés dans la pluie (l'acidification des pluies), la neige, le brouillard ou la rosée, retombent et se déposent sur la végétation, les sols et les matériaux des monuments et des constructions. Le NO_2 intervient également dans la formation d'ozone et de PAN.

3.3. Effets de SO_2

L'anhydride sulfureux pénètre dans les feuilles principalement par les stomates. Il peut occasionner des blessures. Les symptômes se manifestent sous forme de lésions apparentes sur les deux faces des feuilles, habituellement entre les nervures et occasionnellement sur le

pourtour des feuilles. En dehors de sa toxicité proprement dite, le SO_2 est surtout nocif en tant que précurseur du SO_3 et de H_2SO_4 dans les interactions atmosphériques. Ainsi le SO_2 est le facteur majeur responsable des précipitations acides.

3.4. Effets des COV

Les effets toxiques et les nuisances qui résultent des COV atmosphériques varient considérablement en fonction de leur nature et de leurs concentrations, des conditions d'exposition et des cibles biologiques concernées. Il s'agit d'effets létaux ayant pour conséquence la disparition brutale de populations. Le plus souvent des effets sublétaux sont observés (inhibition de la croissance, inhibition de la reproduction, perturbation du comportement, effets génotoxiques) conduisant à des modifications progressives de la structure et du fonctionnement de l'exposition.

Pour les COV, la surface foliaire est un bio-accumulateur de ce type de produit. Ainsi des méthodes par bio-indicateur, comme l'espèce de lichens (*Parmelia sulcata*) utilisée dans la région grenobloise, sont mises au point, pour estimer l'impact de ces pollutions aux abords d'autoroutes, d'aérodromes et de stations service.

3.5. Effets des particules

Les particules contribuent aux salissures des édifices et des monuments pour l'environnement. Pour la visibilité atmosphérique et le climat, ces particules contribuent à l'augmentation et de la diffusion de la lumière solaire incidente et l'absorption de rayonnement (tendance au réchauffement).

3.6. Effets du plomb

Le plomb se dispose sur les plantes, y provoquant ainsi des nécroses, défoliations et même la mort des plantes.

3.7. Effets de l'ozone

La concentration excessive d'ozone sur la végétation engendre des perturbations du métabolisme et de la photosynthèse des plantes, des rendements des cultures, des nécroses foliaires. De très nombreuses cultures et la végétation naturelle semblent touchées. En outre, l'ozone troposphérique contribue également à augmenter l'effet de serre, en filtrant le rayonnement ; l'ozone absorbe dans l'Infra- Rouge avec un coefficient 2000 fois plus important qu'une molécule de CO_2 . La part de l'ozone dans l'effet de serre additionné, sur l'ensemble de la planète est estimée à 18%.

3.8. Effets de PAN

Bien que chaque polluant atmosphérique ait un effet spécifique, ce sont surtout les oxydants photochimiques (ozone et PAN) qui sont agressifs et dangereux pour les végétaux.

Les PAN représentent de redoutables contaminants de l'air au plan éco toxicologique. Ils possèdent une très forte toxicité pour les végétaux dont ils attaquent le parenchyme palissadique des feuilles. Les seuils de phytotoxicité des PAN pour les plantes sont très faibles, de l'ordre voire inférieur à la ppb. Le tableau 40 rassemble les principaux polluants de l'air, leurs sources et leurs effets humaine et environnementale.

Tableau 40: Principaux polluants atmosphériques, leurs sources et leurs effets

Polluant	Sources principales	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Monoxyde de carbone (CO)	Installations de combustion, transports, chauffage domestique.	Atteinte du système nerveux central et des organes sensoriels.	Contribue indirectement à l'effet de serre
Oxyde d'Azote (NO _x)	Industries de combustion, transports et installations thermiques.	Irritations de l'appareil respiratoire, crises d'asthme et bronchiolite.	Contribuent à la formation d'ozone troposphérique et des pluies acides.
Dioxyde de Soufre (SO ₂)	Industries (installations thermiques, raffineries).	Irritant respiratoire contribue à l'exacerbation des troubles bronchiques.	Toxique pour les végétaux, contribue aux pluies acides.
Composés organique volatils (COV)	Combustion, usage et évaporation des solvants.	Irritant des yeux et des poumons, peuvent engendrer des bronchites par intoxication chronique. A long terme, ils seraient responsables de cancers.	Effets létaux et sublétaux sur les populations.
Particules	Véhicules (en particulier diesel) et combustion de certaines industries.	Irritant très actif par altération des fonctions respiratoires, crises d'asthme avec à long terme des bronchites chroniques.	Salissures des édifices et des monuments et effet sur la visibilité atmosphérique et le climat.
Plomb	Véhicules (en particulier essence) et les fonderies.	effet sur le système nerveux central, effet sur la reproduction, effets rénaux, effet sur le système cardiovasculaire.	Provoque des nécroses, défoliations et même la mort des plantes.
Ozone	Polluant secondaire formé suite à des réactions chimiques entre COV et NOX en présence de rayons ultraviolets.	Polluant irritant des yeux de la gorge et des poumons, peut altérer la fonction respiratoire et la résistance aux infections.	Perturbations du métabolisme et de la photosynthèse des plantes, des nécroses foliaires et contribue à l'effet de serre.
Peroxy-acyl-nitrates (PAN)	Polluant secondaire formé suite à des réactions chimiques entre COV et NOX en présence de rayons ultraviolets.	action sur les voies, respiratoires, action cutanée, troubles sensoriels et céphalées, irritations des yeux, propriétés cancérigènes	Ils possèdent une très forte toxicité pour les végétaux dont ils attaquent le parenchyme palissadique des feuilles

Source : (Benaissa 2010)

3.9. Les effets des particules sur le bâti et les écosystèmes

De manière générale, les impacts de la pollution sur le bâti et les écosystèmes sont assez peu connus et ne sont étudiés que par un nombre limité d'équipes. Ce thème demande un investissement pluridisciplinaire, alliant des compétences dans le domaine des transferts de la source au bâtiment ou à la végétation et des connaissances plus spécifiques sur les modalités d'impact.

Le processus d'altération des bâtiments résulte de l'action combinée des différents éléments atmosphériques ayant pour effet de modifier la couleur, la texture, la composition ou la forme des édifices qui y sont exposés, conduisant finalement à une perte de matière et à un aspect inesthétique (Airparif, 2008).

Il est difficile d'évaluer la responsabilité de chacun des polluants atmosphériques dans la dégradation du patrimoine bâti. Néanmoins, les particules, essentiellement carbonées (suies et cendres volantes), sont principalement responsables du noircissement des façades. Elles se déposent à la surface des édifices et conduisent à leur empoussièrement et à la formation de croûtes noires. Elles peuvent également être porteuses de soufre et de métaux catalyseurs de certaines réactions d'oxydation qui altèrent les matériaux.

Les nettoyages et ravalements successifs mis en oeuvre pour la préservation du patrimoine bâti représentent un coût important pour la société et entraînent une perte de matière sur les édifices. Outre la mise en péril du patrimoine historique, les effets des particules sur le bâti constituent donc un enjeu économique important.

Les particules ont d'autres impacts environnementaux, contribuant aux dépôts de polluants sur les sols. Ces dépôts engendrent des phénomènes d'acidification et d'eutrophisation, dégradant les écosystèmes notamment forestiers et aquatiques.

L'acidification est le résultat de l'augmentation de l'acidité dans les milieux. Plusieurs protocoles au sein de la convention de Genève ont été signés depuis plus de quinze ans pour adapter les lois à l'évolution des connaissances en matière d'environnement. Leur application a permis de faire baisser significativement l'acidification, en agissant notamment sur les émissions d'oxydes de soufre, dont la transformation dans l'atmosphère amène à la formation de particules composées d'acide sulfurique (Villenave *et al.*, 2012).

En revanche, le phénomène d'eutrophisation, résultat d'un apport exagéré de substances nutritives, dont l'azote, semble, lui, en augmentation. Bien que les conséquences d'une modification du cycle de l'azote dans les écosystèmes soient complexes à déterminer, l'eutrophisation peut entraîner des dégradations ou des nuisances avérées sur tous les

écosystèmes terrestres ou aquatiques, comme des changements d'espèces et des pertes de biodiversité (Villenave *et al.*, 2012).

3.10. Les effets des particules sur le climat

Les aérosols atmosphériques peuvent disperser ou absorber le rayonnement solaire, ce qui implique la modification de l'équilibre radiatif de l'atmosphère (GIEC, 2001). Par absorption du rayonnement solaire, le carbone noir cause le réchauffement de l'atmosphère, tandis que la plupart des aérosols organiques provoquent le refroidissement de ce dernier. Les aérosols fins qui absorbent la lumière à des longueurs d'onde avoisinant le visible devraient avoir un impact climatique plus fort que les grosses particules. En outre, les aérosols fins sont transportés loin de leurs régions d'émission et leur impact climatique sur l'environnement est, par conséquent, délocalisé.

Les aérosols hydrophiles peuvent agir comme noyaux de condensation des gouttelettes d'eau et ont donc un effet climatique indirect par modification des propriétés des nuages (Novakov *et al.*, 1993 ; Novakov *et al.*, 1996). D'autre part, certaines études ont indiqué que les aérosols organiques jouent un rôle important dans le forçage direct et indirect de l'ensemble des aérosols (Liousse *et al.*, 1996 ; Cooke *et al.*, 1999 ; Hansen *et al.*, 1998 ; Penner *et al.*, 1998 ; Lohmann *et al.*, 2000 ; Jacobson, 2001 ; Chung *et al.*, 2002).

Conclusion

Dans ce chapitre, on a essayé d'apprendre une idée sur l'environnement et la biodiversité que renferme la région d'Annaba (zones humides, faune et flore) et les effets qu'engendrent les polluants atmosphériques sur l'environnement en générale en décrivant les symptômes observés et les causes possibles des dégâts constatés.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail réalisé porte sur la région d'Annaba qui a une superficie de 1411,98 km² et une population estimée à 592 128 en 2008. Cette région a connu un développement urbain, industriel et agricole remarquable. Mais la mauvaise gestion de cette activité intense a produit différents cas de pollution au niveau des eaux et de l'air.

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba et comporte Annaba ville, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar. Elle est caractérisée par une topographie plane et des inclinaisons sur les bordures ouest et sud dues à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Bellielita et celle de la chaîne numidienne.

L'étude géomorphologique a fait ressortir différentes unités, largement dominées par des formations quaternaires qui sont le siège des nappes aquifères. Les principales unités géomorphologiques constituant la zone d'étude sont : la plaine d'Annaba, le pied de Djebel Edough, les terminaisons du Boukantas et de Bouhamra, le cordon dunaire d'origine éolienne et marine.

Le réseau hydrographique est dense et ramifié et caractérisé par les oueds suivants : Bouhdid, Boudjemâa, Seybouse et Méboudja.

La géologie de la région d'Annaba a montré qu'elle est constituée par deux types de terrain, l'un métamorphique représenté par le massif de l'Edough, Cap de fer et Bellielita et l'autre sédimentaire allant du Secondaire jusqu'au Mio-Plio-Quaternaire. Du point de vue structural, on y distingue deux fosses d'effondrement (Ben Ahmed et Ben Mhidi) dont l'étendue, la variation lithologique latérale et verticale a conditionné la formation de plusieurs horizons aquifères lenticulaires à continus sur toute l'étendue de la plaine.

Du point de vue climatique, la région d'étude se caractérise par deux saisons distinctes : l'un chaud et sec (été) et l'autre froid et humide (hiver). Elle reçoit des précipitations moyennes annuelles qui varient de 638,75 mm, 659 mm, 673,55 mm à 1138,75 mm (respectivement pour les stations Pont Bouchet, les Salines, Berrahal et Seraïdi).

La température moyenne annuelle varie de 18,05°C à 17,69°C mesurée au niveau des stations des Salines et Berrahal.

L'établissement et la représentation du bilan hydrique nous donnent les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 884,4 mm (Les Salines, Pont Bouchet et Seraïdi) et 877,2 mm (Berrahal).

Conclusion générale et recommandations

- L'évapotranspiration réelle est de 470,2 mm, 453,5 mm, 485,7 mm et 478,7 mm (respectivement pour les stations des Salines, Pont Bouchet, Berrahal et Seraidi).
- La réserve facilement utilisable (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum 100 mm jusqu'au mois de mai, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de 188,5 mm (Les Salines), 145 mm (Pont Bouchet), 167,3 mm (Berrahal) et 593,5 mm (Seraidi). A partir du mois de juin, la RFU s'est épuisée et reste nulle jusqu'au mois d'octobre, période qui traduit un déficit agricole.

L'étude hydrogéologique a mis en évidence l'existence de deux aquifères importants :

- Un aquifère superficielle englobe : la nappe des gneiss altéré, des cailloutis et des terrasses, du cordon dunaire et celle des alluvions récentes et actuelles ;
- Un aquifère profond comporte la nappe des cipolins et celle des graviers.

L'alimentation de ces horizons est assurée par l'infiltration des pluies efficaces, les nappes avoisinantes par drainance, les oueds et les débits de fuites.

L'interprétation des cartes piézométriques (hautes et basses eaux) nous laisse dire que l'écoulement dans son ensemble se fait du Sud vers le Nord (la mer méditerranée) présentant des cônes d'alimentation de la nappe ; les deux oueds Seybouse et Méboudja drainent la nappe dans la partie sud, alors que dans l'extrémité Nord avant et juste après la confluence des deux oueds il s'agit d'une zone de dépression où il l'inverse, c'est-à-dire la nappe alimente les oueds.

L'étude de la pollution des eaux souterraines et superficielles de la zone d'étude montre que :

- La nappe profonde (forages et puits) est soumise à plusieurs effets de contamination naturelle par l'existence des lentilles gypseuses, argileuses, salifères, la dissolution des formations carbonatées ainsi que l'influence des engrais chimiques et les pesticides (zone agricole au niveau d'El Hadjar) d'où la présence de ces éléments : Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, Fe, T, NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺.
- Les eaux de surface (barrage Mexa) sont également affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine, agricole et l'oxydation de la matière organique étant donné qu'elles constituent le premier réceptacle des différents rejets. Cette contamination est marquée par les fortes teneurs en Ca, Mg, Cl, SO₄.

Les eaux traitées du barrage Mexa sont caractérisées par trois faciès chimiques dominant : le chloruré - magnésien, le sulfaté - calcique et le chloruré sodique et potassique.

Conclusion générale et recommandations

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air et son exploitation nous a permis de traiter les données potentiel de pollution dans les sites présélectionnées et d'établir une banque de donnée pour améliorer le cadre de vie du citoyen en apportant des correctifs à l'aménagement du territoire et l'occupation du sol.

La lecture des mesures données par le réseau fait apparaître le diagnostic suivant :

- La présence d'une pollution plus au moins remarquable issue de l'activité industrielle, du trafic routier et au manque de verdunisation.
- La pollution par les poussières et le dioxyde de soufre est plus élevé au niveau d'Annaba ville, El Bouni et Sidi Amar.
- La pollution par l'Ozone enregistrée au cours de la période estivale est issue de l'ensoleillement favorisé par la présence des polluants primaires (NO_2 , SO_2 , CO ...).

Les situations de brises estivales sont responsables de variations spatio-temporelles significatives de l'ozone et du dioxyde de soufre.

La qualité de l'air à Annaba et ses environs peut être qualifiée globalement de bonne durant la période (2012-2014) pendant les mois juillet, aout et septembre. Néanmoins, il faut noter l'existence d'une forte pollution due aux poussières et SO_2 .

L'exploitation durable de ce réseau nécessite un suivi périodique soit en matière de gestion de la banque de donnée, soit en matière d'entretien et de maintenance des différents composants. Ce dernier point met en accent sur la disponibilité des matières consommables essentielles à sa pérennité.

Les résultats obtenus dans cette partie, montrent que la région d'Annaba est soumise depuis longtemps à une pollution atmosphérique multifactorielle mais principalement d'origine industrielle. L'augmentation du nombre des projets socio-économiques, au niveau de cette wilaya contribue à l'augmentation du parc automobile qui dépasse aujourd'hui énormément les capacités des routes actuelles.

Cette situation, annonce à l'avenir une mutation des sources et des natures des effluents, du fait de l'incroyable croissance du trafic routier, qui devient ainsi la source principale des émissions, surtout après l'arrêt de la cokerie et du haut fourneau du complexe sidérurgique Arcelor Mittal d'une part, et la démolition de l'unité d'ammoniaque au niveau du complexe Fertial, avec l'installation des catalyseurs pour filtrer les rejets d'autre part industrielle. L'augmentation du nombre des projets socio-économiques, au niveau de cette wilaya contribue à l'augmentation du parc automobile qui dépasse aujourd'hui énormément les capacités des routes actuelles.

Du point de vu épidémiologique, la région d'Annaba et ses environs subissent certaines maladies à transmission hydrique durant la période 2007-2017 dont la fièvre typhoïde et l'hépatite virale « A » sont les deux épidémies étudiées. Ainsi, cette région s'est caractérisée par certaines maladies respiratoires et cardiovasculaires durant la période (2010-2013) dont l'asthme durant (2012-2014) qui sont provoqués essentiellement par l'atmosphère et spécialement les poussières (le trafic routier intense surtout autour d'Annaba ville et El Bouni ainsi que les industries : Arcelor Mittal Steel, Asmidal et multitude d'entreprises). Ces deux pathologies sont indiqués par le nombre considérable de cas de malades.

L'environnement et la biodiversité que renferme la région d'Annaba se caractérise par la présence des zones humides, certains espèces fauniques (poissons, invertébrés, amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères) et autres florales (chêne liège, l'oléo-lentisque, maquis, pelouses,...). Cette richesse environnementale est en dégradation permanente par l'activité de l'être humain directe ou indirecte par les émissions des polluants atmosphériques en décrivant les symptômes observés et les causes possibles des dégâts constatés.

Cette pollution atmosphérique impact sur l'environnement par l'effet de serre, les pluies acides et le réchauffement climatique.

RECOMMANDATION

La qualité des eaux souterraines et superficielles ainsi que celle de l'atmosphère ne cessent à se dégrader. Pour cette raison des mesures urgentes doivent être prises :

➤ Pour les eaux

- L'amélioration du réseau d'assainissement des eaux usées domestiques et des rejets industriels.
- La diminution des sources de pollutions diffuses d'origine agricole.
- L'instauration de périmètres de protection autour des captages permettant de mieux protéger les nappes et les sources d'eau destinées à la consommation humaine des pollutions diffuses.
- La sensibilisation des utilisateurs de l'eau à modérer leur consommation et à moins polluer : des taxes fondées sur le principe du "pollueur-payeur" ont été instituées et doivent être appliquées. Ce sont des taxes sur les prélèvements et les redevances de pollution.

- Le contrôle sur le terrain des travaux, des activités susceptibles de porter atteinte, par des prélèvements ou des rejets dans les milieux aquatiques, à l'équilibre de la gestion de la ressource en eau. C'est une des missions de la police des eaux.
- L'aménagement des terrains et des lieux de stockage des métaux pour qu'ils ne contribuent pas à la libération des ions métalliques (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , ...) lors de leur oxydation (7% des entreprises exercent cette activité).

➤ **Pour l'atmosphère**

Pour remédier à ce problème développer, il est aujourd'hui nécessaire de :

- Mettre en application les mécanismes de prévention et de lutte contre la pollution.
- Déclencher les mesures d'urgence lors des pics de pollution par les préfets dès lorsque des valeurs limites des seuils d'information et d'alerte sont dépassées. Elles permettent d'avertir les populations et de limiter leur exposition à la pollution (arrêté du 26/03/2014).
- Améliorer les prévisions de pollution par l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules ($\text{PM}_{2,5}$ et PM_{10}) ;
- Améliorer la surveillance de la qualité de l'air et de répondre à des besoins relatifs à la gestion de la qualité de l'air ;
- Répondre aux attentes des différents acteurs, impliqués de manière directe ou indirecte dans l'évaluation, l'analyse et la gestion du comportement des polluants atmosphériques ;
- D'informer le public durant la période de forte pollution.
- D'agir dans le domaine de l'amélioration de la qualité de l'air en identifiant les sources d'émission de polluants et leurs effets sur la santé publique, sur la faune, la flore et la productivité.
- La protection de l'environnement en milieu urbain, nécessite la compréhension des phénomènes de dispersion et de diffusion des rejets gazeux, de diverses origines: domestiques, industriel et trafic routier.
- Des mesures fiscales ont été prévues dans l'avant-projet de loi de finances 2018 dans lequel des dispositions élaborées en consultation avec les secteurs concernés se traduiront par le principe du "pollueur-payeur" consacré à travers ce texte.

Aujourd'hui, la qualité de l'air constitue une des préoccupations majeures du gouvernement algérien et s'inscrit dans sa stratégie. Cette question est prise en charge par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, conscient que la dépollution est incontestable, et qu'elle est la seule alternative.

Références

Bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELDJOUAD M. (2014)** : Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques Cas d'étude : ville d'Annaba. Mémoire de magister, Université de Biskra (230 p).
- AICHOURI I. (2016)** : Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier d'Annaba. Apport des analyses salinométriques. Thèse de doctorat, Université d'Annaba. (114 p).
- ALIOUCHE M. (2008)** : Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement, étude de cas dans l'Est Algérien (les gisements de Djebel Salah, région de Constantine). Mémoire de magister, Université de Constantine (133 p).
- AMIEUR N. (2008)** : Bio-indication de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba (comparaison avec les données de Sama Safia). Mémoire de magister, Université d'Annaba (91 p).
- AMIRAT S. et ALLIOUCHE KARBOUA S. (2009)**: La qualité des eaux usées dans la plaine ouest d'Annaba. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba. (66 p).
- AOUN SEBATI B. (2003)** : Modélisation quantitative et qualitative pour une gestion intégrée des ressources en eau. Application à la plaine d'Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba (133 p).
- AOUISSI N. (2011)** : Impact de la pollution atmosphérique générée par le transport sur la santé publique, un essai écotoxicologique sur le blé dur (*Triticum durum*, Desf) Cas de la région d'Annaba. Mémoire de magister, Université d'Annaba (81 p).
- ATTOUI B. (2014)** : Etat de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eaux souterraines de la région d'Annaba- El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets. Thèse de doctorat, Université d'Annaba. (134 p).
- BARNEA M. (1974)** : Pollution et protection de l'atmosphère. Ed.Ayrolle.
- BAZIZ N (2008)** : Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé cas de la ville de Batna. Mémoire de Magister. Université de Batna. (144).
- BELOULOU L. (2008)** : Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain cas de la ville d'Annaba (Nord Est Algérien). Mémoire de doctorat, Université d'Annaba (320 p).
- BELFARHI L. (2011)**: Les Effet de la Pollution Atmosphérique Sur Les Maladies Respiratoires à Annaba(Asthme). Mémoire de magister ; Université de Constantine (67).
- BENAISSA F. (2010)** : Contribution à l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique d'origine automobile dans la wilaya de Bejaïa. Thèse de magister, université de Bejaïa (118 p).
- BENDJAMA A. (2014)** : Variation de la qualité des eaux et son impact sur le sol des zones humides du PNEK. Thèse de doctorat, université d'Annaba (231p).

- BOUCENNA N. (2007) :** Impact de la décharge publique sur la qualité des eaux souterraines cas de Zef-Zef (Skikda). Mémoire de magister, Université d'Annaba (72 p).
- BOUCHAGOURA L. (2003):** Mise en évidence des diverses pollutions dans la nappe alluviale de Tébessa. Mémoire de magister, Université d'Annaba (142 p).
- BOUDOUKHA A. (2006) :** Caractérisation de la pollution urbaine et industrielles et interaction eau de surface-eau souterraine dans un sous bassin versant de l'Est Algérien « Cas de la région de Batna ». Projet de recherche, Université de Batna.
- BOUGUERIRA N. (2015):** Mécanismes de transfert des polluants métalliques dans la vallée de la Meboudja. Thèse de doctorat, université d'Annaba (158 p).
- BOULABEIZ M. (2014) :** Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien. Mémoire de magister, Université d'Annaba (111 p).
- BOULAKOUD Z. (2009):** Variations quantitatives et qualitatives des ressources en eau des nappes superficielles de la région d'Annaba. Mémoire de magister, Université d'Annaba (113p).
- BOUZNAD I. (2016):** Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional algérienne). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (155 p).
- CABRIDENC R. (1977) :** Les tests biologiques de laboratoire permettant l'évaluation des effets des substances chimiques dans l'environnement. In l'Eau, la Recherche, l'Environnement, journées de Montpellier, pp. 243-276. Collection Recherche Environnement, n°8, documentation française.
- CABRIDENC R. (1979) :** Les indicateurs de toxicité. In l'Eau, la Recherche, L'Environnement, journées de Limoges, pp. 103-121.
- CASTANY G. (1982):** Hydrogéologie, principes et méthodes. Bordas, Paris, 1982. Ed. Dunod. (236 p).
- CASTANY G. et J. MARGAT (1977):** Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans.
- CHAFFAI H., DJABRI L. et LAMROUS S. (2005) :** Réserves hydriques de la Wilaya de Annaba. Inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eaux. Larhyss Journal N° 4.
- CHAFFAI H., LAOUAR R., DJABRI L. et HANI A. (2006) :** Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de Skikda ; Application de la méthode DRASTIC. Bulletin du Service Géologique National. Vol.17.n°1, pp 63-74.
- CHAFFAI Hicham et MOURDI Wafa (2011) :** Etat de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba et son impact sur l'eau et l'environnement. Environnement ScienceLib-Editions Mersenne. Volume 3, N ° 110803, pp.01-09. ISSN 2111-4706. Available online: 2011-08-16. www.sciencelib.fr

- CHAFFAI H, BAALI F, DJABRI L, ROUABHIA A. (2003):** Facteurs influençant le chimisme des eaux dans une zone semi-aride : Cas des aquifères d'El Ma Labiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. ICOWaP-Sep 2003, colloque Oasis, Eau et pollution, Biskra, Algérie, 339-344.
- CHARMOILE A. (2005):** Traçage hydrochimique des interactions hydrauliques et mécaniques entre les volumes perméables et peu perméables au sein des aquifères fracturés carbonatés : Aquifère karstique de Fourbanne. Journal Algérien des Régions Arides (JARA) N°14.
- COMPTE RENDU DU SEMINAIRE (2005) :** Sur la pollution et la protection de l'environnement en Algérie (Alger, 5 et 6 avril 2005). Organisé conjointement par la JICA, MATE et ONEDD.
- DJABRI L. (2013):** Hydrogéologie d'un système aquifère en zone semi-aride. Cas de la région de Khenchela (Algérie). Courrier du Savoir-N°15, Mars 2013, pp 41-45.
- 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. E. Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté (200 p).
- DJABRI L. (1996) :** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat des sciences, Université d'Annaba (280 p).
- DJEGHAB F. (2003) :** L'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité des eaux dans la région de Annaba. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba. (49 p).
- DJIDEL M. (2004) :** Etude hydrochimique des nappes côtières cas des nappes du littoral de Annaba-El Kala (Nord-Est algérien). Mémoire de Magister, Université d'Annaba (127 p).
- DUDLEY L.M., MCLEAN J.E., FURST T.H. & JURINAK J.J. (1991).** Sorption of Cd and Cu from an acid mine waste extract by two calcareous soils: column studies. Soil Sci. 151, 121-135.
- DSA et DHW ANNABA (1995) :** Inventaire des retenues collinaires, forages et puits
EDITION SCIENTIFIQUE «Air et agents chimiques» (2009) : Impact des technologies de post-traitement sur les émissions de dioxyde d'azote de véhicules diesel et aspects sanitaires associés (265 p).
- FERCHICHI R. et MOUSSAOUI Z. (2007) :** Les effets de la pollution par les nutriments (NOX, NH4) et les éléments métalliques (Manganèse, Fer total, Fluorure) dans les eaux de surface et la nappe phréatique de la plaine d'Annaba (Nord-est Algérien). Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (73 p).
- GADBANE N. (2003) :** Les eaux usées urbaines, cas d'étude : ville de M'Sila. Mémoire de magister, Université Mohamed Boudiaf (125 p).

- GAFSI I. (2008) :** Contribution à l'étude d'impact des polluants atmosphériques d'origine industrielle par le réseau « Sama Safia » sur les maladies asthmatiques-cas de la station D'El Bouni. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (80 p).
- GAGNEPAIN L. (2004) :** Mesures des émissions polluantes réglementées et non réglementées, mesure des émissions de CO₂ et de la consommation de carburant. Direction de l'Air du Bruit et de l'Efficacité Énergétique, Département Technologie.
- GAUD B. (1976) :** Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba – Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation). Rapport de l'ANRH. Algérie (151 p).
- GUEDIRI M. (2008) :** Contribution à l'étude d'impact des polluants atmosphériques d'origine industrielle par le réseau « Sama Safia » sur les maladies asthmatiques-cas de la station d'Annaba ville. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (75 p).
- HAMZAOUI W. (2007) :** Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El-Hadjar. Mémoire de magistère, Université d'Annaba (85 p).
- HANI A. (2003) :** Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques: Application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba (209 p).
- JOLAUD L. (1936) :** Etude géologique de la région d'Annaba et de la Calle.
- KAHAL A. et LEKOU S. (2008):** Caractérisation des effluents urbains et industriels. EDR santé, exemple cas de la région de Sidi Amar-El Hadjar. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (75 p).
- KAHAL A. (2018) :** Hydrogéologie de la nappe aquifère dans la plaine de F'Kirina (Oum El-Bouaghi) et Evaluation des ressources en eaux mobilisables. Thèse de doctorat, Université d'Annaba (98 p).
- KHADRI S. (2009) :** Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impact des néo-facteurs de pollution. Mémoire de magister, Université d'Annaba.
- KHELFAOUI F. et MEDJANI F. (2005) :** Influence des rejets de SIDER sur les eaux superficielles et souterraines (Wilaya d'Annaba). Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (69 p).
- KHELFAOUI F. (2014) :** Qualité et gestion intégré des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-Saf (Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat. Université d'Annaba (260 p). **KHELFAOUI H. (2014) :** Modélisation des écoulements et de transport de masse dans une région industrielle : Exemple de la nappe de Berrahal. Thèse de doctorat, Université d'Annaba (174 p).
- KHERICI N. (1993) :** Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba - La Mafragh) Nord – Est Algérien. Thèse de Doctorat des sciences, Université d'Annaba (170 p).

- KHERIF W, BEKIRI F. (2017) :** Les maladies à transmission hydrique en Algérie. Journal Algérien des Régions Arides (JARA) N°14.
- LAIDI S. (2008) :** Contribution à l'étude d'impact des polluants atmosphériques d'origine industrielle par le réseau « Sama Safia » sur les maladies asthmatiques-cas de la station de Sidi Amar. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba (71 p).
- LECHEHEB H. (2002) :** Pollution en milieu urbain et développement, cas El Bouni (Annaba). Mémoire de magister, Université de Constantine (176 p).
- LEGRAND L., POIRIER G. (1976) :** Chimie des eaux naturelles. Eyrolles.
- MANAHAN S. E. (1979) :** Environmental Chemistry. Willard Grant Press, Boston, 3ème édition.
- MASCLET P. (2005) :** Pollution atmosphérique. Causes, conséquences, solutions, perspectives. Ed. Ellipses, France.
- MONROUX F. (2003) :** Présentation graphique de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine et des incertitudes. Mémoire d'ingénieur du génie sanitaire à l'école nationale de la santé publique (120 pages).
- MOURDI Wafa, CHAFFAI Hicham, BENHAMMADI Hocine, BOUHSINA Saâd, CHAAB Salah (2018):** Impact of urban and industrial pollution on water quality, people and the environment in the Annaba agglomeration and its surroundings. J. Bio. Env. Sci. 13(2), 329-335. <https://innspub.net/jbes/impact-urban-industrial-pollution-water-quality-people-environment-annaba-agglomeration-surroundings/>
- MOURDI W, CHAFFAI H, CHAAB S, SAKAA B, HANI A. (2014):** Impact de la Pollution urbaine et industrielle sur l'environnement de la ville d'Annaba et ses environs. International Conference in Integrated Management of Environment (ICIME 2014). <http://www.icime.net>
- MOURDI W, CHAFFAI H, KAHAL A, CHAAB S. (2012) :** Impact de la pollution des eaux et de l'atmosphère sur l'homme et l'environnement. Cas de l'agglomération d'Annaba et ses environs. Colloque International terre & Eau, Annaba – 20, 21 & 22 Novembre 2012, Algérie.
- MOURDI Wafa (2011) :** pollution urbaine, impact sur l'homme et l'environnement. Cas de l'agglomération d'Annaba et ses environs. Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 136p.
- MEBIROUK H. (2002) :** Espaces publics dans les grands ensembles: Rapport entre espaces conçus et espaces vécus; cas d'Annaba. Mémoire de magister, Université de Constantine (118 p).
- MEBIROUK H. (2007) :** Principaux acteurs de la pollution dans l'agglomération d'Annaba, effets et développements. Actes du 2ème colloque international sur l'eau et l'environnement : Sidi Fredj les 30 et 31 Janvier 2007.

- NERRIERE E. et DUBOUDIN C. (2005):** Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine/dossier suivi au niveau de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (AFSSE).
- OBSERVATOIRE NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE (2003):** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Coopération technique Algéro-Allemande (463 p).
- OUALI N. (2006) :** Evaluation des pollutions industrielle et urbaine dans la région d'Annaba: impact sur l'écosystème marin côtier. Mémoire de magister, université d'Annaba (120 p).
- RAPPORT DU GROUPE D'EXPERTS AFSSE (2004) :** Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine.
- RAPPORT SUR LE TRANSPORT (1999) :** L'exposition des franciliens à la pollution atmosphérique.
- RAPPORT SUR LE TRANSPORT (2005) :** Pollution atmosphérique, effet de serre et circulation routière en Île-de-France des améliorations notables des efforts à poursuivre.
- RAPPORT (2005) :** Evaluation des niveaux de polluants émis par les moteurs diesel lors du transport des écoliers en autobus scolaire. En collaboration avec l'Association Pulmonaire du Nouveau-Brunswick Environnement Canada.
- RAHAL F. (2015) :** Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger. Thèse de doctorat ; Université d'Oran (151 p).
- REMITA A. (2008):** Remobilisation des métaux dans les eaux de l'oued Boudjamâa et ses affluents. Mémoire de magister, Université d'Annaba (89 p).
- RODIER J. (1996) :** avec la collaboration de C. Bazin, J. P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur, L. Rodi. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition. DUNOD (1383 p).
- ROMAIN G. (2005) :** La pollution industrielle de la Moselle Française : naissance, développement et gestion d'un problème environnementale, 1850-2000 (473 p).
- SAAIDIA B. (2006) :** Etude des possibilités de réalimentation artificielle des nappes d'Annaba et de Bouteldja comme moyens de lutte contre la pollution et l'épuisement. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba (160 p).
- SABOUA T. (2010) :** Origines de la pollution hydrique et atmosphérique dans la plaine Ouest de la région d'Annaba. Mémoire de magister, Université d'Annaba (95 p).
- SAKAA B. (2006) :** Etude de l'anisotropie électrique des formations Plio-quaternaires de la plaine d'Annaba. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba. (74 p).

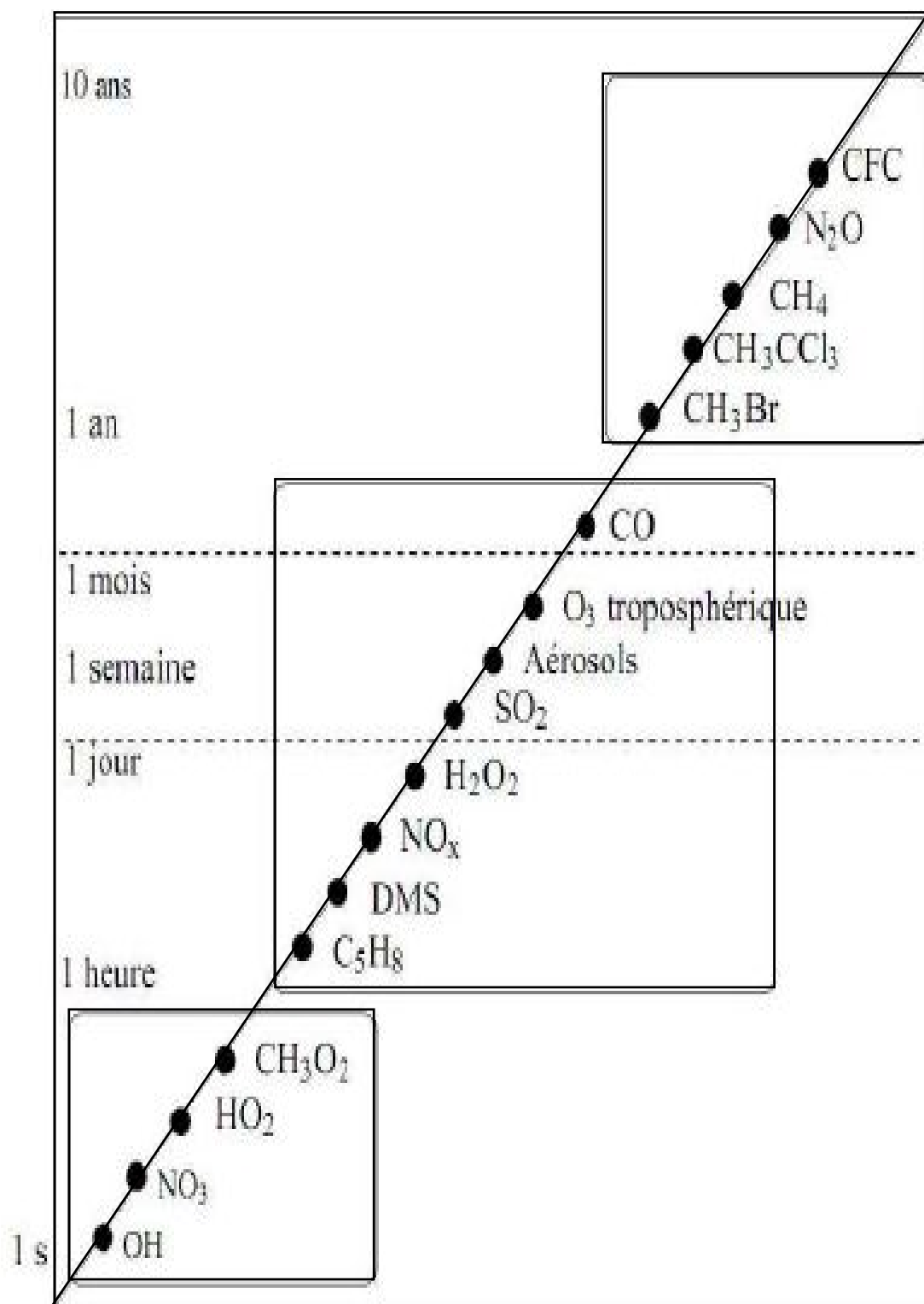
- SASSANE A. (2017) :** Comportement de certains polluants organiques dans les eaux de la région d'Annaba Nord-Est algérien ; vulnérabilité et risque de pollution. Thèse de doctorat université d'Annaba (126 p).
- SAUVANT A. (2001):** Prévion des émissions de polluants de véhicules particuliers d'ici 2020/Note de synthèse du SES.
- SAYAD L. (2015) :** Le pouvoir autoépurateur de l'oued Seybouse sur les rejets de la laiterie de l'Edough (Annaba-Algérie) et les objectifs environnementaux des rejets. Thèse de doctorat, université d'Annaba (147 p).
- STEPHANE B. (2006) :** L'hydrochimie, marqueur de l'évolution à long terme des versants montagneux fracturés vers de grands mouvements de terrain. Application à plusieurs échelles sur la haute vallée de Rosone (Gran Paradiso, Italie). Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté (183 p).
- TERFAYA M. (2015) :** Pollution atmosphérique et trafic routier à Annaba, évaluation de la toxicité à l'échelle cellulaire. Thèse de doctorat, université d'Annaba (170 p).
- TERROUCHE A. (2016) :** Caractérisation de la pollution de l'air par les particules et les éléments métalliques dans la ville de Constantine. Thèse de doctorat, université de Constantine (92 p).
- ZAHY F. (2008) :** La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est d'Algérie). Mémoire de magister, Université d'Annaba (118 p).
- ZAHY F. (2014) :** Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du lac fetzara (Nord - Est Algérien). Approche géochimique et fonctionnement des sols et des eaux. Thèse de Doctorat, université d'Annaba (164 p).
- ZEGAOULA W, KHELLAF N (2014) :** Evaluation des degrés de pollution des rejets liquides et atmosphérique du complexe fertial Annaba-Algérie-Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp. 77-91 2013.
- ZERROUKI H. (2007) :** Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse –La basse plaine Annaba-, Université d' Annaba (87 p).

ANNEXES

Annexe 01 : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable
(Genève en 1993)

Elément/substance	Symbole/formule	Lignes directrices fixées par l'OMS des eaux potables
Conductivité	CE	400 us/cm
PH	PH	6,5 – 8,5 mg/l
Sodium	Na	200 mg/l
Magnésium	Mg	50 mg/l
Calcium	Ca	200 mg/l
Potassium	K	12 mg/l
Chlore	Cl	250 mg/l
Sulfates	SO ₄	250 mg/l
Nitrates	NO ₃	50 mg/l
Nitrites	NO ₂	0,1 mg/l
Phosphates	PO ₄	0,5 mg/l
Cuivre	Cu	2 mg/l
Fer	Fe	0,2 mg/l
Plomb	Pb	0,01 mg/l
Manganèse	Mn	0,5 mg/l
Nickel	Ni	0,02 mg/l

Annexe 02: Temps de vie des polluants atmosphériques



Annexe 03: Localisation des chemins de wilaya au niveau de la ville d'Annaba

(Source : PATW, 2010)

N° CW	Linéaire	Communes traversées
CW16	51,3	Annaba-Seraïdi-Roumanete embranchement au CW 107
CW15	13,5	Sidi Aïssa
CW22	6	Annaba-cap de garde
CW20	16	Oued Aneb-CW16
CW16A	16,33	Séraïdi-Oued Begrat
CW56	8,5	Sidi Amar-Chaïba-Pont Bouchet-Cité Seybouse
CW108	17	Oued Zied-El Guantra-El Cheurfa
CW120	8	Limite W.Taref-Horeïcha-CW 108
CW129	17,6	Intersection CW 1086El Hadjar Diss-Sidi Amar-El Hadjar-Limite wilaya El Taref
CW106	22,63	El Cheurfa-Autoroute-Gouleïa-Aïn Berda-Wilaya El taref
CW107	47,3	Berrahal-limite Skikda-Tacha-Tréat-Chétaïbi
CW57	27	Tréat-El Azla-CW107
CW12	16,4	Intersection RN44 Draa Rich –Oued Aneb –limite Wilaya Skikda
CW167	26,8	Berrahal-Oued El Aneb-CW16
CW23	17	Boukedra-Sarwal-Oued Nil-Oued Zied
CW29	14	CW 129-Horeïcha – El cheurfa

Annexe 04: Répartition du parc national automobile selon la source d'énergie

(Source : O.N.S : (31/12/2014))

Genre de véhicule	Nombre de véhicule à Essence	Nombre de véhicule à Essence (%)	Nombre de véhicule à Diesel	Nombre de véhicule à Diesel (%)	Total
Véhicule de Tourisme	2 636 109	80,66	632 111	19,34	3 268 220
Camion	21 788	5,62	365 962	94,38	387 750
Camionnette	603 793	59,03	417 066	40,97	1 022 859
Autocar-Autobus	2 233	2,78	77 979	97,22	80 212
Tracteur routier	1 844	2,55	70 396	97,45	72 240
Tracteur agricole	3 456	2,45	137 562	97,55	141 018
Véhicule spéciale	455	10,84	3 741	89,16	4 196
Moto	16 620	92,59	1330	7,41	17 950
Total	3 286 298	65,80	1 708 147	34,20	4 994 445

Annexe 05: Répartition du parc national automobile selon le pays d'origine

(Source : O.N.S : 31/12/2014)

PAYS	Total	Pourcentage (%)
France	2 374 040	46,33
Allemagne	543 574	10,61
Etat Unis	410 519	8,01
Angleterre	279 663	5,46
Italie	223 708	4,37
Algérie	220 148	4,30
Japon	119 655	2,34
Corée du sud	29 885	0,58
Chine	14 692	0,29
Autres	907 821	17,72
Total	5 123 705	100

Annexe 06: Répartition du parc automobile selon le genre et les tranches d'âge des véhicules
(Source : ONS ; 31/12/2014)

Genre	Tranche d'âge										
	Moins de 5 ans		De 5 à 9 ans		De 10 à 14 ans		De 15 à 19 ans		20 ans et plus		Total
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Véhicule de Tourisme	805 582	24,65	347 982	10,65	201 068	6,15	123 353	3,77	1 790 235	54,78	3 268 220
Camion	36 792	9,49	46 188	11,91	12 247	3,16	6 575	1,70	285 948	73,75	387 750
Camionnette	232 765	22,76	158 300	15,48	28 220	2,76	54 160	5,29	549 414	53,71	1 022 859
Autocar-Autobus	12 915	16,10	18 532	23,10	15 399	19,20	6 777	8,45	26 589	33,15	80 212
Tracteur routier	12 031	16,65	11 279	15,61	2 288	3,17	1 620	2,24	45 022	62,32	72 240
Tracteur agricole	11 555	8,19	7 339	5,20	3 721	2,64	7 081	5,02	111,322	78,94	141 018
Véhicule spéciale	955	22,76	356	8,48	103	2,45	185	4,41	2 597	61,89	4 196
Remorque	17 570	13,59	14 795	11,45	4 846	3,75	8 902	6,89	83 147	64,33	129 260
Moto	7 534	41,97	1 020	5,68	345	1,92	285	1,59	8766	48,84	17 950
Total	1 137 699	22,20	605 791	11,82	268 237	5,24	208 938	4,08	2 903 040	56,66	5 123 705