



ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DE TEBESSA

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Laboratoire Eau et Environnement

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **DOCTORAT (LMD)**

Option : Hydrogéologie Appliquée

**La gestion intégrée des ressources en eaux dans la région
d'Annaba**

Par

Mr GHRIB Aissam

Devant le jury composé de :

Mr. GOUAIDIA Layachi	Président	(Professeur Univ. Larbi Tebessi-Tébessa)
Mr. BAALI Fethi	Directeur de thèse	(Professeur Univ. Larbi Tebessi-Tébessa)
Mr. HANI Azzedine	Co-Directeur de thèse	(Professeur Univ. Badji Mokhtar-Annaba)
Mr. SEGHIR Karima	Examineur	(MCA Univ. Larbi Tebessi-Tébessa)
Mr. DJABRI Larbi	Examineur	(Professeur Univ. Badji Mokhtar Annaba)
Mr. CHAFFAI Hicham	Examineur	(Professeur Univ. Badji Mokhtar Annaba)

Année 2021

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce travail.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement et profondément Messieurs les Professeurs BAALI Fethi et HANI Azzedine qui m'ont encadré durant plusieurs années, pour leur disponibilité et leur patience. Pour leur aide, leur soutien et leurs idées scientifiques précieuses.

Je tiens également à remercier, Mr GOUAIDIA Layachi Professeur à l'université Tébessa de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, ainsi que Mrs, SEGHIR Karima Maitre de conférence A à l'université Tébessa, Djabri Larbi, Chaffai Hicham. Professeurs à l'université d'Annaba.

Je remercie spécialement Mr Sayad Lamine, Docteur à l'université d'Annaba, ainsi que M^{elle} ATTOUI Badra Docteur à l'université d'Annaba pour son aide et je lui exprime ici toute ma gratitude.

Je suis très reconnaissant à l'ensemble des collègues, tous les étudiants du département de géologie de l'université de Tébessa.

Je remercie tous mes collègues et amis qui m'ont soutenue et m'ont encouragé pour accomplir ce travail

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

C'est à ma famille que je dédie ce travail.

Aissam

SOMMAIRE

Liste des figures
Liste des tableaux
Résumé
ملخص
Abstract

Chapitre I : Introduction générale

Page

I.1. Le Contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Application dans le Sous-Bassin de la basse Seybouse.....	1
I.2. La Problématique de Recherche.....	2
I.3. METHODOLOGIE.....	2
I.4. L'Organisation de la thèse.....	3

Chapitre II : Etat de l'art

Page

II.1. INTRODUCTION.....	5
II.2. LE CONTEXTE HYDRAULIQUE DE L'ALGERIE.....	5
II.2.1. Distribution des ressources en eau à travers le territoire.....	5
II.2.2. Politique nationale de gestion de l'eau.....	6
II.2.3. Principes de cette politique de l'eau.....	8
II.2.4. Etat des ressources en Algérie.....	8
II.2.5. Utilisation des ressources en eau.....	9
II.3. LA REGION CONSTANTINOIS-SEYBOUSE-MELLEQUE.....	9
II.3.1. Le Bassin De La rivière Seybouse.....	10
II.3.2. Situation de la zone d'étude.....	12
II.3.3. Les Usagers de l'Eau.....	13
II.3.3.1. La Population.....	13
II.3.3.2. L'Agriculture.....	13
II.3.3.3. L'Industrie.....	13
II.4. APPROCHE D'UNE GESTION INTEGREE.....	14
II.4.1. Définition d'un indicateur.....	15
II.4.2. Développement des indicateurs.....	15
II.5. L'Application du (SIG) aux variables du modèle DPSIR dans la basse Seybouse.....	17
II.5.1. Répartition spatiale des données.....	17
II.5.1.1. La Catégorie des variables de la force motrice (Driving force).....	19
II.5.1.2. La Catégorie des variables de Pollution (Pression).....	30
II.5.1.3. La Catégorie des variables de La qualité de l'eau (State).....	42
II.5.1.4. La Catégorie des variables de Réponse des gestionnaires.....	56
II.5.2. Conclusion.....	64

Chapitre III : Acquisition des données

Page

III.1. CADRE GEOLOGIQUE DE LA BASSE SEYBOUSE.....	65
III.1.1. Stratigraphie.....	65
III.1.1.1. Formations sédimentaires.....	65
III.1.1.1.1. Le Quaternaire actuel.....	65
III.1.1.1.2. Le Quaternaire récent.....	65

III.1.1.1.3.	Le Quaternaire moyen.....	65
III.1.1.1.4.	Le Quaternaire ancien.....	65
III.1.1.2.	Le Tertiaire.....	65
III.1.1.2.1.	Le Mio-Pliocène.....	65
III.1.1.2.2.	L'Oligocène.....	66
III.1.1.2.3.	L'Eocène inférieur.....	66
III.1.1.3.	Le Secondaire.....	66
III.1.1.3.1.	La chaîne de calcaires.....	66
III.1.1.3.2.	Domaine des flyschs.....	66
III.1.1.4.	Formation métamorphique.....	66
III.1.1.4.1.	L'unité supérieure.....	66
III.1.1.4.2.	L'unité intermédiaire.....	66
III.1.1.4.3.	L'unité inférieure.....	67
III.1.2.	Tectonique.....	67
III.1.2.1.	Les unités tectoniques.....	67
III.1.2.1.1.	Le cristallin de l'Edough.....	67
III.1.2.1.2.	Série de Flyschs d'age Eocène.....	67
III.1.2.1.3.	Mio-pliocène.....	67
III.1.2.1.4.	Quaternaire.....	67
III.1.2.2.	Effondrement de la plaine d'Annaba.....	68
III.2. GEOMETRIE DU SYSTEME AQUIFERE DE LA BASSE SEYBOUSE.....		68
III.2.1.	Aquifère superficiel.....	68
III.2.1.1.	La nappe des gneiss altérés.....	69
III.2.1.2.	La nappe des terrasses.....	69
III.2.1.3.	La nappe des alluvions récentes et actuelles.....	69
III.2.2.	Aquifère profond.....	69
III.2.2.1.	La nappe des cipolins.....	69
III.2.2.2.	La nappe profonde des graviers.....	70
III.2.3.	La carte piézométrique.....	70
III.2.3.1.	Etablissement de la carte piézométrique de la nappe profonde d'Annaba.....	71
III.2.4.	Conditions aux limites.....	71
III.3. CARACTERISTIQUE HYDROCLIMATOLOGIQUES.....		72
III.3.1.	Climatologie de la zone d'étude.....	72
III.3.1.1.	Les facteurs climatiques.....	72
III.3.1.1.1.	Les précipitations.....	72
III.3.1.1.2.	La température.....	74
III.3.1.1.3.	L'humidité.....	76
III.3.1.1.4.	Le vent.....	76
III.3.1.2.	Détermination des indices climatiques.....	76
III.3.1.2.1.	Indice d'aridité de de Martonne.....	76
III.3.2.	Le bilan hydrique.....	78
III.3.2.1.	Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle.....	78
III.3.2.1.1.	Formule de Turc.....	78
III.3.2.1.2.	Formule de Thornthwaite (bilan d'eau).....	79
III.3.2.2.	Le ruissellement.....	81
III.3.2.3.	L'infiltration.....	81
III.4. CONCLUSION.....		83

Chapitre IV : Modélisation

Page

IV.1. LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS (ANN)	84
IV.1.1. Présentation de la méthode neuronale.....	84
IV.1.2. Connexions entre les neurones.....	84
IV.1.3. Perceptron Multicouche (PMC).....	85
IV.2. APPLICATION DU MODELE DE RNA (ou ANN)	86
IV.2.1. Le Calage du Modèle.....	86
IV.2.2. Détermination des Entrées du Modèle.....	87
IV.3. ANALYSE DES DONNEES : RESULTATS ET DISCUSSION	87
IV.3.1. L'Analyse par les RNA.....	87
IV.3.1.1. Les variables de la force motrice (Driving force)	87
IV.3.1.2. Les variables de Pression (Pollution).....	90
IV.3.1.3. Les variables de l'État de la Qualité de l'Eau (State).....	92
IV.3.1.4. Les variables Réponses des Gestionnaires.....	95
IV.4. CONCLUSION	97

Chapitre V : Analyses des données : Résultats et Discussion

Page

V.1. LE PLAN D'ANALYSE	99
V.2. LES OUTILS D'ANALYSE	99
V.2.1. Analyse critique des données.....	99
V.2.1.1. Normalité.....	99
V.2.1.2. Distribution empirique.....	99
V.2.2. Les Matrices de Corrélation.....	101
V.2.3. Application des analyses multivariées.....	101
V.2.3.1. L'Analyse du Cluster (AC).....	101
V.2.3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)	102
V.2.3.3. L'Analyse des Facteurs (AF).....	102
V.3. LES VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES (FORCES MOTRICES) D	102
V.3.1. Test de normalité.....	102
V.3.2. La Matrice de Corrélation.....	103
V.3.3. Application des analyses multivariées.....	104
V.3.3.1. Analyse du cluster.....	104
V.3.3.2. Analyse en composante principales (ACP)	107
V.3.3.3. L'analyse des facteurs.....	109
V.4. LES VARIABLES DE LA PRESSION POLLUTION P	109
V.4.1. Test de normalité.....	109
V.4.2. La Matrice de Corrélation.....	110
V.4.3. Application des analyses multivariées.....	111
V.4.3.1. Analyse du cluster.....	111
V.4.3.2. Analyse en composante principales (ACP)	113
V.4.3.3. L'analyse des facteurs.....	115
V.5. LES VARIABLES DE LA QUALITE DE L'EAU (STATE) S	115
V.5.1. Test de normalité.....	115
V.5.2. La Matrice de corrélation.....	116
V.5.3. Application des analyses multivariées.....	117
V.5.3.1. Analyse du cluster.....	117
V.5.3.2. Analyse en composante principales (ACP)	119

V.5.3.3. L'analyse des facteurs.....	121
V.6. LES VARIABLES REPONSES DES GESTIONNAIRES R.....	121
V.6.1. Test de normalité.....	121
V.6.2. La Matrice de Corrélation.....	122
V.6.3. Application des analyses multivariées.....	123
V.6.3.1. Analyse du cluster.....	123
V.6.3.2. Analyse en composante principales (ACP)	125
V.6.3.3. L'analyse des facteurs.....	127
V.7. CONCLUSION.....	127
Conclusion Générale.....	129

Liste des figures

Page

Fig.1: L'Organigramme de la thèse & Etapes suivies pour l'évaluation environnementale des ressources en eau dans la région d'Annaba.....	4
Fig.2: Carte des 5 régions de planification hydraulique.....	7
Fig.3: bassins hydrographiques de l'Est algérien.....	9
Fig.4: Carte des Sous-Bassin du Bassin Seybouse.....	11
Fig.5: La Carte de Situation Géographique du Sous-Bassin de la basse Seybouse.....	12
Fig.6: Le diagramme des catégories du modèle conceptuel du DPSIR.....	16
Fig.7: Distribution spatiale de La Mobilisation des Ressources en Eau pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	18
Fig.8: Distribution spatiale de La Population pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	21
Fig.9: Distribution spatiale de L'Occupation du sol pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	22
Fig.10: Distribution spatiale du Tourisme pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	23
Fig.11: Distribution spatiale de Taux de raccordement aux réseaux de l'Eau Potable pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	24
Fig.12: Distribution spatiale de Taux de raccordement aux réseaux des Eaux Usées pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	25
Fig.13: Distribution spatiale de La Consommation de l'Eau en Agriculture (AEI) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	26
Fig.14 : Distribution spatiale de La Dotation journalière de l'Eau Potable pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse.....	27
Fig.15: Distribution spatiale de L'Intégration des Femmes pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	28
Fig.16: Distribution spatiale des Pertes d'Eau pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	29
Fig.17: Distribution spatiale des Déchets Solides Sauvages pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	33
Fig.18: Distribution spatiale de La Génération des Eaux Usées Domestiques pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	34
Fig.19: Distribution spatiale des pesticides pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	35
Fig.20: Distribution spatiale des Engrais Chimiques pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	36
Fig.21: Distribution spatiale des Engrais Organiques pour la partie basse du bassin de la	

rivière Seybouse.....	37
Fig.22: Distribution spatiale Des Stations du Carburant pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	38
Fig.23: Distribution spatiale Des Eaux Usées Industrielles pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	39
Fig.24: Distribution spatiale Du Dioxyde de Carbone (CO ₂) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	40
Fig.25: Distribution spatiale De L'intrusion Marine pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	41
Fig.26: Distribution spatiale de La TDS pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	45
Fig.27: Distribution spatiale Du Calcium (Ca ²⁺) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	46
Fig.28: Distribution spatiale Du Magnésium (Mg ²⁺) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	47
Fig.29: Distribution spatiale Des Chlorures (Cl ⁻) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	48
Fig.30: Distribution spatiale Du Sodium (Na ⁺) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	49
Fig.31: Distribution spatiale Du Potassium (K ⁺) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	50
Fig.32: Distribution spatiale Des Sulfates (SO ₄ ⁻²) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	51
Fig.33: Distribution spatiale Des Bicarbonates (HCO ₃ ⁻) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	52
Fig.34: Distribution spatiale Des Nitrates (NO ₃ ⁻) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	53
Fig.35: Distribution spatiale Des Conductivité Électrique (CE) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	54
Fig.36: Distribution spatiale Du potentiel en Hydrogène (pH) pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	55
Fig.37: Distribution spatiale Du Stockage des Eaux Pluviales pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	58
Fig.38: Distribution spatiale De L'importation de l'Eau pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	59
Fig.39: Distribution spatiale De L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	60
Fig.40: Distribution spatiale De L'Efficacité dans l'Eau AEP pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	61
Fig.41: Distribution spatiale De L'Efficacité des Systèmes d'Information pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	62
Fig.42: Distribution spatiale De La Sensibilisation sur l'Eau pour la partie basse du bassin de la rivière Seybouse.....	63
Fig.43: Carte géologique de la plaine de la région d'Annaba (d'après Hani, 2003, modifié, 2021).....	68
Fig.44: Coupe Hydrogéologique au travers de la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, modifiées 2009).....	70
Fig.45: Carte des isohypses de l'aquifère de la nappe des graviers (octobre 1996, d'après Hani 2003).....	71
Fig.46: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en mm (1985-2017).....	73

Fig.47: Variation interannuelle des précipitations a la station de Les Salines (1985/2018).....	73
Fig.48: Variation interannuelle des précipitations a la station de Pont Bouchet (1985/2018)...	74
Fig.49: Variation des Températures moyennes mensuelles (Station des salines 1985-2017)...	75
Fig.50: Diagrammes pluviothermiques de la station des Salines (1985-2017).....	75
Fig.51: Diagrammes pluviothermiques de station de Pont Bouchet (1985-2017).....	76
Fig.52: Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de de Martone 1923.....	77
Fig.53: Abaque de l'Indice d'aridité Mensuel de de Martone 1923.....	78
Fig.54: Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite dans les Stations les Salines, Pont Bouchet (1985-2017)	82
Fig.55: Schéma d'un neurone artificiel.....	84
Fig.56: L'Architecture d'un MLP à Trois Couches.....	85
Fig.57: Réseau MLP à trois couches des variables socioéconomiques.....	88
Fig.58: Débits mesurés vs débits calculés par le modèle RNA.....	89
Fig.59: Réseau MLP à trois couches des variables sources de pollution.....	90
Fig.60: TDS mesurés vs calculé par le modèle RNA.....	91
Fig.61: Réseau MLP à trois couches des variables de la Qualité de l'Eau (State).....	93
Fig.62: Débits mesurés vs débits calculé par le modèle RNA.....	94
Fig.63: MLP à trois couches pour les variables réponses des gestionnaires.....	95
Fig.64: Débits mesurés vs débits calculé par le modèle RNA.....	97
Fig.65: Histogramme de l'Occupation du Sol.....	100
Fig.66: Histogramme log (Occupation du Sol)	100
Fig.67: (a) résultats des analyses de cluster pour les variables socio-économiques et (b) cluster des communes en fonction des facteurs socio-économiques.....	106
Fig.68: (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II.....	108
Fig.69: (a) résultats des analyses de cluster pour les variables pollution et (b) cluster des communes en fonction des facteurs pollution.....	112
Fig.70: (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II.....	114
Fig.71: (a) résultats des analyses de cluster pour les variables qualité de l'eau et (b) cluster des communes en fonction des facteurs qualité de l'eau.....	118
Fig.72: (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II.....	120
Fig.73: (a) résultats des analyses de cluster pour les variables Réponses des Gestionnaires et (b) cluster des communes en fonction des facteurs Réponses des Gestionnaires.....	124
Fig.74: (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II.....	126

Liste des tableaux

Page

Tabl.01: Variations de la transmissivité selon la texture des alluvions d'après (N. Khérici.1993)	69
Tabl.02: Situations géographiques des stations étudiées.....	72
Tabl.03: Précipitations moyenne mensuelle et saisonnières aux stations étudiées. (1985-2017)	73
Tabl.04: Température moyenne mensuelle (°C) à la station des salines (1985-2017).....	74
Tabl.05: Indice d'aridité mensuel.....	77
Tabl.06: L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc.....	78
Tabl.07: Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station des Salines (1985-2017).....	79

Tabl.08: Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station de Pont Bouchet (1985-2017).....	80
Tabl.09: Valeurs de l'ETR d'après les deux méthodes Turc et Thornthwaite.....	80
Tabl.10: Détermination du ruissellement dans les stations étudiées.....	81
Tabl.11: Estimation de l'infiltration en (mm) par la méthode de Thornthwaite.....	82
Tabl.12: Paramètres de la régression statistique pour la variable sortie (Qext) des variables socioéconomiques.....	89
Tabl.13: Analyse de la sensibilité des variables socio-économiques.....	89
Tabl.14: Classement des variables d'entrée socio-économiques.....	90
Tabl.15: Paramètres statistiques de la sortie TDS des variables de la source de pollution.....	91
Tabl.16: Analyse de la sensibilité des variables d'entrée de la source de pollution.....	92
Tabl.17: Classement des variables d'entrée de la source de pollution.....	92
Tabl.18: Paramètres statistiques de la sortie Qext des variables de la qualité de l'eau.....	94
Tabl.19: Analyse de la sensibilité des variables d'entrée de la qualité de l'eau.....	95
Tabl.20: Classement des variables d'entrée de la qualité de l'eau.....	95
Tabl.21: Les paramètres statistiques variable réponses des gestionnaires.....	96
Tabl.22: Analyse de la sensibilité des variables d'entrée réponses des gestionnaires.....	97
Tabl.23: Classement des variables d'entrée réponses des gestionnaires.....	97
Tabl.24: Tests de normalité des variables socioéconomiques.....	103
Tabl.25: Matrice de Corrélation de Pearson des variables socioéconomiques.....	104
Tabl.26: Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables socioéconomiques.....	109
Tabl.27: Tests de normalité des variables de la catégorie pollution.....	110
Tabl.28: Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie pollution.....	111
Tabl.29: Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables pollution.....	115
Tabl.30: Tests de normalité des variables de qualité de l'eau.....	116
Tabl.31: Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie qualité de l'eau.....	117
Tabl.32: Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables qualité de l'eau.....	121
Tabl.33: Tests de normalité des variables Réponses des Gestionnaires.....	122
Tabl.34: Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie Réponses des Gestionnaires.....	122
Tabl.35: Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables Réponses des Gestionnaires.....	127

Résumé

L'eau est une ressource précieuse et limitée en particulier dans la région méditerranéenne. Atteindre une gestion durable des ressources en eau est un objectif global commun dans cette région. Afin de gérer cette ressource il faut trouver un équilibre entre les besoins de toutes sortes et la protection des ressources naturelles. La gestion durable des ressources en eau dans bassin versant de la basse Seybouse comme une étude de cas est un problème complexe qui nécessite une nouvelle approche, si la gestion doit être fondée sur des données scientifiques pour l'optimisation et la conservation de cette ressource. La demande accrue d'eau due à la croissance démographique et économique, les besoins environnementaux, la détérioration de la qualité de l'eau et leur impact sur la santé publique et les écosystèmes sont autant des facteurs qui vont créer de graves problèmes d'eau.

Dans cette recherche, un nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée de l'eau est proposé pour la gestion de l'eau sur la base de la relation de cause-effet. Le but de ce travail est de savoir comment établir les relations prévisibles à utiliser comme outils d'aide à la décision. Le (DPSIR) a été choisi comme un cadre bien établi pour développer les variables possibles en cinq catégories qui sont : les variables forces motrices, les variables de pression, variables de la qualité de l'eau, les variables d'impact et les variables réponse.

Les variables efficaces ont été caractérisées et classifiées en utilisant une analyse multicritère avec les réseaux de neurones artificiels (ANN) et l'application du GIS. Les variables retenues ont été classées et organisées en utilisant les tests de normalité et les techniques exploratoires multivariées (Cluster ACP et AF).

Mots Clés : GIRE ; bassin versant basse Seybouse ; ressources en eau ; modèle DPSIR ; ANN; GIS ; techniques exploratoires multivariées.

Abstract

Water is a precious and limited resource, especially in the Mediterranean region. Achieving sustainable water resources management is a common objective in this region. To manage this resource, it must find a balance between the needs of people and the protection of natural resources. Sustainable water resources management in Seybouse valley as a case study is a complex problem which requires a new approach, if management should be based on scientific data for optimization and conservation of the resource. The increase of water demand due to population and economic growth, environmental needs, deteriorating water quality and their impact on public health and ecosystems are all factors that will create serious water problems.

In this research, a new conceptual water integrated model has been developed based on cause-effect relationship. The objective of this work is how to establish a predictable relationship as tools for decision support. The (DPSIR) was chosen as a well-established to develop the possible variables into five categories which are: driving forces variables, pressure variables, state variables, impact variables and response variables. The effective variables were characterized and classified using a multi-criteria analysis with artificial neural networks (ANN) and application SIG. These variables were categorized and organized using exploratory multivariate techniques (PCA and FA).

Keywords: IWRM; Seybouse valley; water resources; DPSIR model; ANN; SIG; multivariate analysis.

ملخص

الماء هو المورد الثمين و المحدود، و خاصة في منطقة البحر الأبيض المتوسط تحقيق الإدارة المستدامة للموارد المائية هو الهدف المشترك في هذه المنطقة. لإدارة هذا المورد، يجب إيجاد توازن بين احتياجات الناس و حماية الموارد الطبيعية. الإدارة المستدامة للموارد المائية في المنطقة الشمالية من حوض سيبوس هي مشكلة معقدة و تتطلب منهجا جديدا، إذ ينبغي أن تستند الإدارة على البيانات العلمية لتحسين و المحافظة على الموارد المائية. زيادة الطلب على المياه بسبب النمو السكاني و الاقتصادي، و الاحتياجات البيئية و تدهور نوعية المياه و أثرها على النظم الايكولوجية، جميعها عوامل من شأنها أن تخلق مشاكل خطيرة لمياه.

في هذا البحث، تم وضع نموذج جديد للتسيير المتكامل للمياه يعتمد على العلاقة بين السبب و النتيجة.

و الهدف من هذا العمل هو كيفية إقامة علاقة يمكن التنبؤ بها كادوات لدعم اتخاذ القرار.

و اختير نموذج (DPSIR) لتطوير المتغيرات المحتملة في خمس فئات هي :

متغيرات القوى المحركة، متغيرات الضغط، متغيرات الحالة البيئية المائية، متغيرات التأثير على البيئة، و متغيرات الاستجابة، و تمييز المتغيرات الفعالة و تصنيفها باستخدام التحليل متعدد المعايير مع الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) .

و صنفنا هذه المتغيرات و نظمت متعدد المتغيرات باستخدام التقنيات الاستكشافية (Cluster), (AF), (ACP) و تطبيق نظم المعلومات الجغرافية (SIG).

الكلمات المفتاحية :

التسيير المتكامل للموارد المائية؛ حوض سيبوس؛ نموذج (DPSIR)؛ الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)؛ تحليل متعدد المتغيرات (ACP)؛ نظم المعلومات الجغرافية (SIG).

Chapitre I :
Chapitre I :

Introduction générale

I.1. Le Contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Application dans le Sous-Bassin de la basse Seybouse.

« Plutôt que d'être nécessaire à la vie, l'eau est la vie elle-même », écrivait Saint-Exupéry dans « Terre des hommes ». L'eau est présente à tous les niveaux de la société humaine, de l'écologie à l'industrie, en passant par l'agriculture et on ne lui connaît pas de substitut.

En Algérie, l'eau est une ressource fondamentalement préoccupante du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui s'ajoutent aux conditions naturelles défavorables. En effet, la complexité de la problématique de l'eau en Algérie et particulièrement celle du Nord du pays s'explique par la politique algérienne de gestion de l'eau qui a été, depuis une dizaine d'années, davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. Priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande. En témoigne la part prépondérante accordée jusqu'à présent dans les budgets d'investissements à l'augmentation des capacités de stockage et au développement des grandes infrastructures de transferts et d'adductions, face à la faiblesse des financements consacrés à l'entretien et à la maintenance des installations, ou à l'amélioration des performances des systèmes de distribution d'eau.

Plus des perturbations du régime et du volume des ressources en eau, de nature quantitative, se surajoutent des modifications de nature qualitative qui altèrent la qualité de la ressource en eau déjà naturellement vulnérables menacée par les nombreux polluants rejetés dans les eaux douces, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités, décharges non contrôlées, drains tenant lieu de décharge pour les déchets ménagers), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, déchets solides, boues des stations d'épuration). L'ampleur de la menace n'est pas facile à quantifier car ces flux de pollutions sont très mal connus et l'on doit se contenter de les estimer très sommairement de façon indirecte (Plan Bleu 2005).

Le bassin versant basse Seybouse est situé dans le Nord Est de l'Algérie ; il fait partie de la Seybouse (d'après le découpage de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH).

Les ressources en eau dans le bassin versant de basse Seybouse sont très vulnérables face à une population sans cesse croissante et à une pression grandissante des secteurs économiques incluant l'agriculture, l'industrie et les institutions publiques.

I.2. La Problématique de Recherche

L'absence actuelle des stratégies efficaces dans la gestion des ressources en eau est devenue l'un des problèmes auxquels sont confrontés les bassins versants méditerranéenne semi-aride en général et le sous bassin versant de Seybouse maritime en particulier. En termes de potentialités hydriques, le sous bassin versant de Seybouse maritime reçoit des précipitations moyenne annuelles de l'ordre de $660 \text{ mm} \cdot \text{an}^{-1}$, c'est à dire le vrai problème de l'eau dans ce bassin n'est pas le manque de ressources, mais l'absence d'une politique de gestion intégrée de l'eau pour alléger les conditions tragiques actuels.

Les concepts de durabilité de l'eau et la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) sont mal compris par les gestionnaires des ressources en eau. En outre, il ya une mauvaise compréhension des conditions de base en termes des problèmes d'eau prioritaires et des municipalités sous stress hydrique. Par conséquent, la subjectivité est considérée comme l'un points faibles chez les décideurs dans le secteur de l'eau.

La qualité de l'eau dans le sous bassin versant de Seybouse maritime est également menacée par les nombreux polluants rejetés dans les eaux douces, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités, décharges non contrôlées, drains tenant lieu de décharge pour les déchets ménagers), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, déchets solides, boues des stations d'épuration). L'ampleur de la menace n'est pas facile à quantifier car ces flux de pollutions sont très mal connus et l'on doit se contenter de les estimer très sommairement de façon indirecte.

Le ministère de la ressource en eau a suivi une politique de préservation et de conservation des ressources en eau qui s'appuient sur une large panoplie d'instruments légaux pour équilibrer la relation entre le système naturel et humain, le système naturel est très important pour la disponibilité des ressources en eau ; tandis que le système humain détermine l'utilisation des ressources, la production de déchets et la pollution de la ressource. Mais ces législations sont encore trop peu efficaces, parce qu'elles rencontrent une grande difficulté dans l'application des textes, liée, en grande partie, à la dispersion des compétences entre les différentes institutions et à la faiblesse de leurs moyens.

I.3. METHODOLOGIE

La gestion de l'eau dans la région d'Annaba a pour but de réhabiliter l'aquifère côtier en tant qu'élément naturel et siège vital des ressources en eau. Dans cette recherche, un modèle de gestion intégrée de l'eau basé sur la relation de cause à effet abordant le cycle entier de l'eau est

utilisé des variables hydrologiques ont été développées et classées en cinq catégories qui sont d'ordre socio-économique, pressions de pollution, qualité de l'eau, impacts et réponses de gestion (PNU/PAM-Plan Bleu, 2009). Présentation des données des 31 communes du Sous-Bassin de la basse Seybouse sous format graphe et cartes SIG.

Les variables pertinentes ont été caractérisées en utilisant les réseaux de neurones artificiels (RNA), Les variables choisies seront classées en utilisant l'analyse statistique multivariée, l'analyse factorielle et l'analyse en composantes principales ainsi que la classification hiérarchique. Sur la base des résultats de cette recherche de nouvelles recommandations seront élaborées pour assurer la gestion durable de l'eau. L'organigramme de la Figure 5 résume l'ensemble des tâches à réaliser une stratégie pour l'évaluation environnementale des ressources en eau dans la région d'Annaba.

I.4. L'Organisation de la thèse

Réponse aux objectifs fixés, cette thèse est composée de 5 Chapitres.

Le Chapitre 1 présente l'introduction qui s'appuie sur le contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, ensuite la problématique et les objectifs de la recherche et enfin la structure de la thèse.

Le Chapitre 2 donne une introduction soulignant le contexte hydraulique de l'Algérie, la région constantinois-seybouse-mellegue, approche d'une gestion intégrée qui va décrire et valider un nouveau modèle conceptuel de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant, l'application du (SIG) aux variables du modèle DPSIR dans la basse seybouse

Le Chapitre 3 présente le cadre géologique de la zone d'étude, la géométrie du système aquifère et les caractéristiques hydroclimatiques.

Le chapitre 4 modélisation présente le plan et l'outil d'analyse par le réseau de neurone artificiel, et les résultats obtenus sélection classement des variables.

Le chapitre 5 traite les données par le test de normalité et transformation des données qui n'est pas normalement distribuée, ensuite présente le plan et analyses par les statistiques multivariées et la matrice de corrélation et les résultats obtenus.

Enfin, cette thèse se termine par une conclusion qui rappelle les principaux résultats de ce travail.

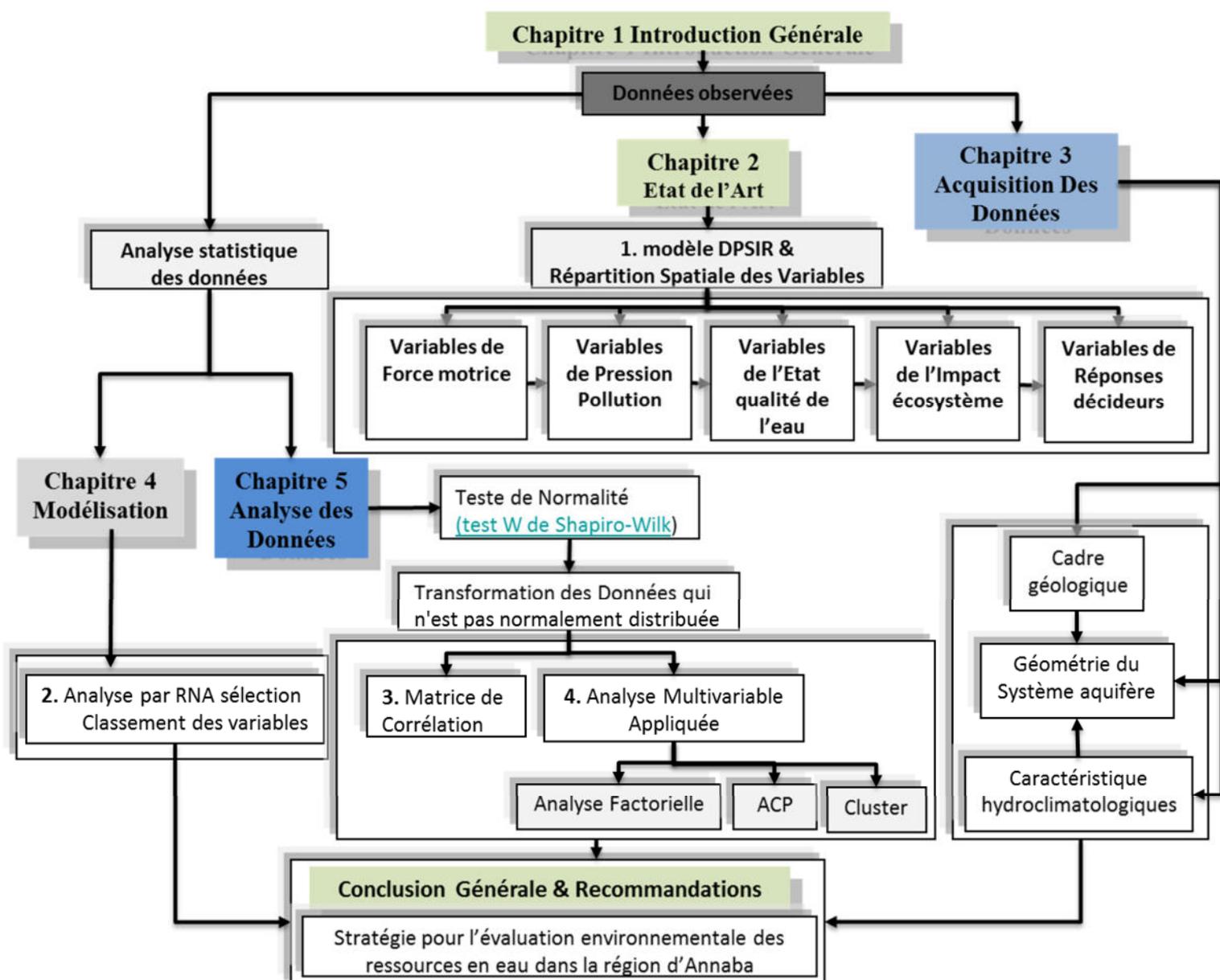


Figure 1 : L'Organigramme de la thèse & Etapes suivies pour l'évaluation environnementale des ressources en eau dans la région d'Annaba

Chapitre II :
Chapitre II :

Etat de l'art

II.1. INTRODUCTION

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, 500 m³ elle ne sera que de 430 m³ en 2020. La disponibilité en eau potable en Algérie en m³/habitant/an dépassera légèrement le seuil des 400 m³/ha (norme OMS).

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m³ par an, en réservant 70% à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. C'est un défi titanesque lorsqu'on sait qu'on mobilise à peine au plus 5 milliards de m³ d'eau par an. La pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau.

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs des conflits sérieux qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en l'alimentation en eau potable (AEP) seront multipliés par 2,5 environ en vingt-cinq ans et qu'ils représenteront pratiquement 40 % des ressources mobilisables vers l'an 2025. Le 21ème siècle s'annonce sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau, particulièrement dans les régions occidentales du pays en dépit du recours à d'autres formes de mobilisation de l'eau.

II.2. LE CONTEXTE HYDRAULIQUE DE L'ALGERIE

II.2.1. Distribution des ressources en eau à travers le territoire

La géographie de l'Algérie divise le territoire en régions nettement différenciées sur le plan du relief, le climat, les capacités agricoles et les réserves aquifères et minières. Les chaînes des monts de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, déployées à distances variables de la côte, distinguent le Nord pluvieux du Sud sec. Entre le Tell oriental et le Tell occidental la pluviométrie et le climat marquent une différence similaire. Les principales ressources hydriques du pays sont localisées au Nord, et décroissent au fur et à mesure qu'avance le désert qui couvre environ 90% du territoire national.

La pluviométrie varie de plus de 2000 mm/an sur les hauts reliefs en bordure de la Mer Méditerranée, à moins de 100 mm/an au Nord du Sahara (Agence Nationale des Ressources Hydriques/ANRH). Ces paramètres naturels commandent la répartition de la population sédentaire et du développement urbain.

II.2.2. Politique nationale de gestion de l'eau

Depuis 1962 l'Etat Algérien met continuellement l'accent sur "la mobilisation de l'eau, l'extension des superficies irriguées et l'amélioration des conditions d'hygiène des populations par le raccordement aux réseaux d'eau potable et d'assainissement" (Arouwa N, 2012). En l'espace de 30 ans, entre 1970 et 1999, l'investissement annuel dans le domaine hydraulique a été multiplié par 20, passant de 220 à 4600 Millions de DA (Arouwa N, 2012).

En 1995, le Plan National de l'Eau, aujourd'hui en cours d'actualisation, mettait en place une approche durable des ressources en eau basée notamment sur l'unicité de la ressource ainsi que leur gestion intégrée, concertée à l'échelle du bassin hydrographique. Entendu le recours aux ressources conventionnelles et non conventionnelles provenant du dessalement de l'eau de mer, l'épuration des eaux usées et la déminéralisation des eaux saumâtres (www.mre.dz).

L'ensemble des acteurs de l'eau en Algérie a pris conscience de la nécessité de réformer le système de gestion de l'eau dans le pays. En effet on s'est vite aperçu que malgré les coûteux investissements consentis en trente années par l'État, la satisfaction des besoins restait insuffisante, et que, de plus,

La protection quantitative et qualitative des ressources n'était pas assurée de façon satisfaisante. Dans le même temps, et avec la réalisation de transferts inter- régionaux et l'apparition des pollutions externes, est apparue la difficulté de gérer ou d'arbitrer les conflits d'usages, à l'intérieur des limites administratives de la wilaya. Ceux-ci remontaient donc invariablement et inévitablement à l'échelon central.

C'est au vu de ces quelques constats que le Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire à l'époque (aujourd'hui Ministère des Ressources en Eau) a commencé à élaborer, dès 1993, les bases de la Nouvelle Politique de l'Eau.

Cette politique s'articule autour de quatre grands principes :

- L'eau est un bien économique.
- L'eau est rare et vulnérable.
- L'eau est l'affaire de tous.
- La gestion de l'eau doit être assurée au niveau d'une entité naturelle qu'est le bassin hydrographique.

- 1993, le Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire (Chargé de l'Hydraulique) a engagé une vaste campagne de sensibilisation et de concertation avec l'ensemble des partenaires (Agriculture, Industrie, Collectivités Locales, Universités, Associations d'usagers, Associations de protection de l'environnement, etc...).
- 1995, tenue des Assises Nationales de l'Eau.
- 1996, le territoire national est découpé en cinq unités hydrographiques naturelles regroupant les 17 bassins versant, les bassins hydrographiques, au niveau desquels opèrent les agences de bassin hydrographique (ABH).

La gestion concertée de la ressource est assurée au niveau des comités de bassins hydrographiques où sont illustrées dans la carte ci-dessous à savoir :

- Oranie Chott-Chergui,
- Chelif -Zahrez,
- Algerois - Hodna – Soummam,
- Constantinois - Seybouse – Mellegue et
- Sahara.

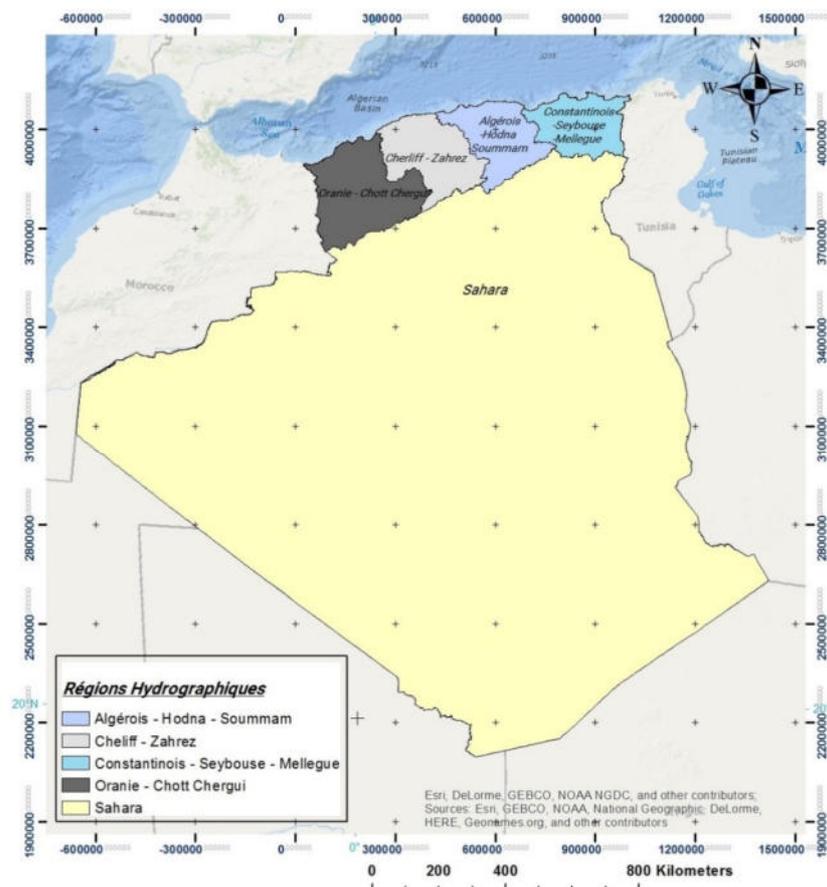


Figure 2 : Carte des 5 régions de planification hydraulique (Ghrieb, 2021)

II.2.3. Principes de cette politique de l'eau

- Unicité de la ressource : Gestion unitaire à l'échelle du Bassin Hydrographique. Cette gestion sera assurée par les Agences de Bassin Hydrographiques.
- Concertation : Cette concertation se fait par le biais des comités de bassins hydrographiques.
- Economie : Cette économie se fera par la lutte contre les fuites et le gaspillage de l'eau avec des objectifs basés sur le comptage systématique et la réhabilitation des réseaux ainsi que par la sensibilisation des usagers à l'utilisation de cette ressource.
- Ecologie : L'eau est une ressource rare et un bien collectif à protéger contre toute forme de pollution.
- L'universalité : L'eau est l'affaire de tous les usagers.

II.2.4. Etat des ressources en Algérie

Le facteur déterminant lié à la présence d'eau distingue ainsi trois grandes régions naturelles propices à l'urbanisation - le littoral, les plaines et les Hauts Plateaux du Tell -, exprimant très fortement son influence sur la densité de peuplement indépendamment de la disponibilité de terrain à urbaniser. En outre, depuis 1995, l'ensemble du territoire est divisé en cinq régions (ou bassins) hydrographiques administrées par cinq Agences de bassins.

Les potentialités sont actuellement évaluées à 16,3 milliards de m³ qui se décomposent comme suit :

- Les ressources superficielles 11,8 milliards de m³/an,
- 1,75 milliard de m³/an d'eau souterraine dans la région littorale et le Tell (12,4 milliards de m³/an) sont essentiellement alimentées par les précipitations. Ainsi les quatre bassins hydrographiques Nord, qui représentent 7% du territoire, reçoivent 90% de l'écoulement annuel total.
- Tandis que le Sud ne dispose que de 5.6 milliards de m³/an, dont 5.0 milliards de m³/an essentiellement sous forme de ressources souterraines non renouvelables (Ministère des Ressources en Eau/MRE, www.mre.dz).

Les disponibilités de ressources renouvelables par habitant, en année moyenne, sont évaluées, en 2005, à 350 m³/ha/an ce qui classe déjà l'Algérie dans le groupe des pays pauvres en eau.

Les prévisions indiquent qu'en 2025, les ressources en eau par habitant et par an seront de 200 m³ (Aoun Sebaiti B, 2010).

II.2.5. Utilisation des ressources en eau

L'alimentation en eau potable, l'approvisionnement en eau industrielle et l'irrigation sont les principales utilisations de l'eau en Algérie. En 2002 la distribution globale d'eau aurait atteint

3,3 milliards de m³, répartis comme suit :

- Usage domestique : 1 300 millions de m³
- Usage agricole : 1 800 millions de m³
- Usage industriel : 200 millions de m³

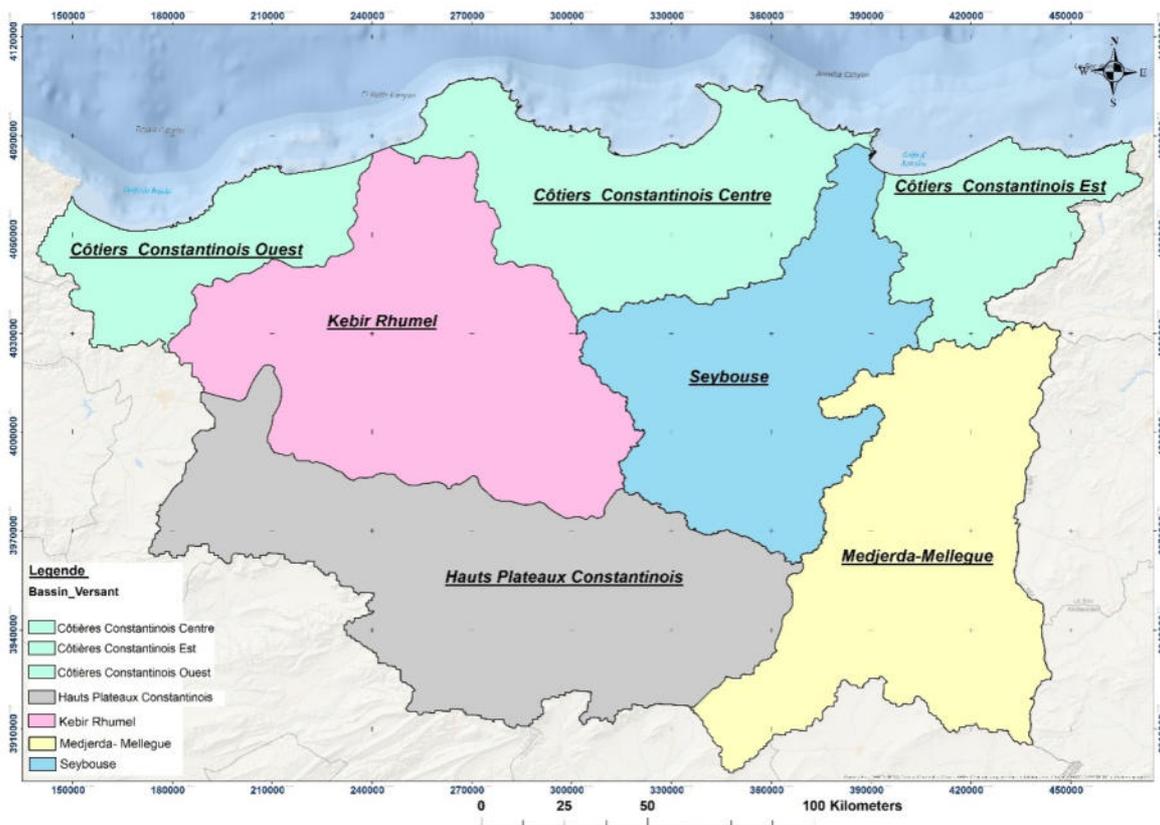


Figure 3 : bassins hydrographiques de l'Est algérien (Ghrieb, 2021)

II.3. LA REGION CONSTANTINOIS-SEYBOUSE-MELLEGUE

La région hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue s'étend sur une superficie de 44438 km², et englobe 14 wilayas pour une population totale en 2012 de 8210468 habitants. Neuf wilayas en totalité : Jijel, Mila, Skikda, Constantine, Guelma, Annaba, El Tarf, Souk Ahras et Oum El Bouaghi. Cinq partiellement : Bejaia, Sétif, Batna, Khenchela et Tébessa.

Par son répertoire économique varié, la région est caractérisée par la diversification de ses attraits commerciaux ainsi que sur l'étendue des compétences des industriels qui offrent leurs

services sur le territoire de la région et participent ainsi au développement économique de leur région.

Pôle économique important

- Grands centres urbains : Constantine, Annaba, Skikda, Guelma, Batna
- Grandes unités industrielles : Complexe pétrochimique (Skikda), Complexe de Sidérurgie d'El Hadjar (Annaba), Usine de détergents (Henckel) de Chelghoum El Aid (Mila), E.R.C.E et E.N.C.M.T ex-(E.N.P.M.A) de Constantine.
- Grandes potentialités hydro agricoles : Les GPI de Saf Saf, Bounamoussa à El Tarf et Guelma Bouchegouf.

II.3.1. Le Bassin De La rivière Seybouse

Le bassin de la Seybouse est situé dans la région Nord Est de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 6471 km² avec une longueur de 240 km (Figure 3). Il couvre 68 communes dans sept wilayas : Annaba, El Tarf, Skikda, Constantine, Oum El Bouaghi, Guelma et Souk

Ahras. Les eaux du bassin constituent une source fondamentale de vie dans la région. Les eaux de la Seybouse sont utilisées à des fins domestiques, industrielles et agricoles. La région renferme dans son sol un potentiel hydrique assez important contenu notamment dans les formations alluviales des plaines de Guelma, Bouchegouf et Annaba et dans formations métamorphiques de l'Edough et calcaires de Guelma et Bouchegouf.

Un million trois cent mille (1.300.000) habitants, répartis en soixante-huit communes. La seule agglomération d'Annaba représente dix-huit pour cent (18%) de la population totale du bassin.

Les industries dans le bassin de la Seybouse sont principalement regroupées dans le sous bassin de la Seybouse Maritime. C'est autour des agglomérations importantes d'Annaba, El Hadjar, El Bouni et Sidi Amar que le tissu industriel est le plus dense. la valorisation des produits miniers (ARCELOR MITTAL STEEL) d'El Hadjar et l'unité de production d'engrais chimiques (ASMIDAL), sont les plus grands consommateurs d'eau. Notons que cette dernière possède une unité de dessalement d'eau de mer qui satisfait environ 85 % de ses besoins

L'agriculture est caractérisée par une irrigation traditionnelle (gravitaire) dans le bassin du Haut Charef, et une irrigation moderne (par aspersion) dans la basse Seybouse. Céréales et cultures maraîchères sont les principales spéculations des périmètres irrigués. Au total on distingue deux grands périmètres d'irrigation, celui de Guelma-Bouchegouf (12900 ha) et celui de Bounamoussa (4500 ha).

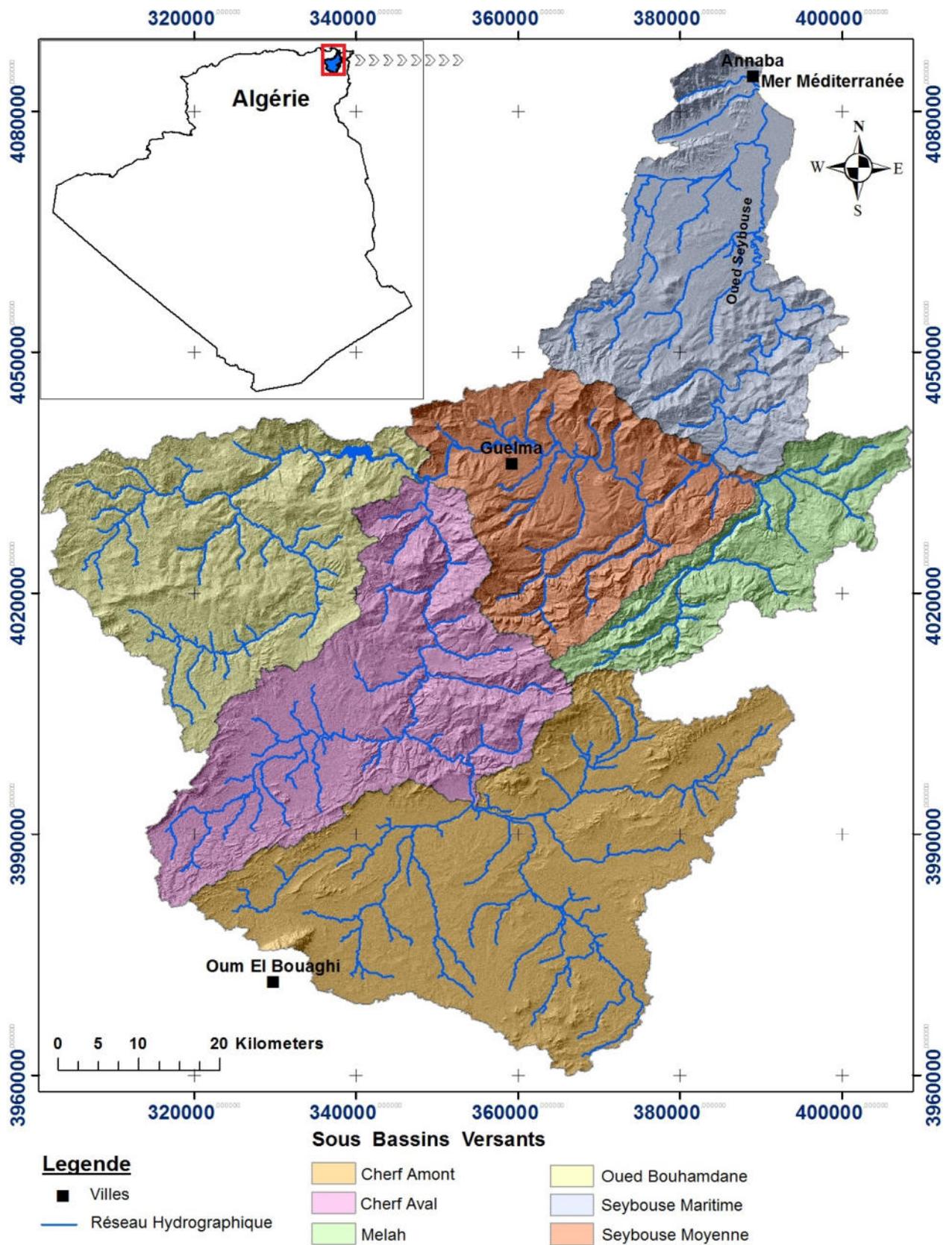


Figure 4 : Carte des Sous-Bassin du Bassin Seybouse (Ghrieb, 2021)

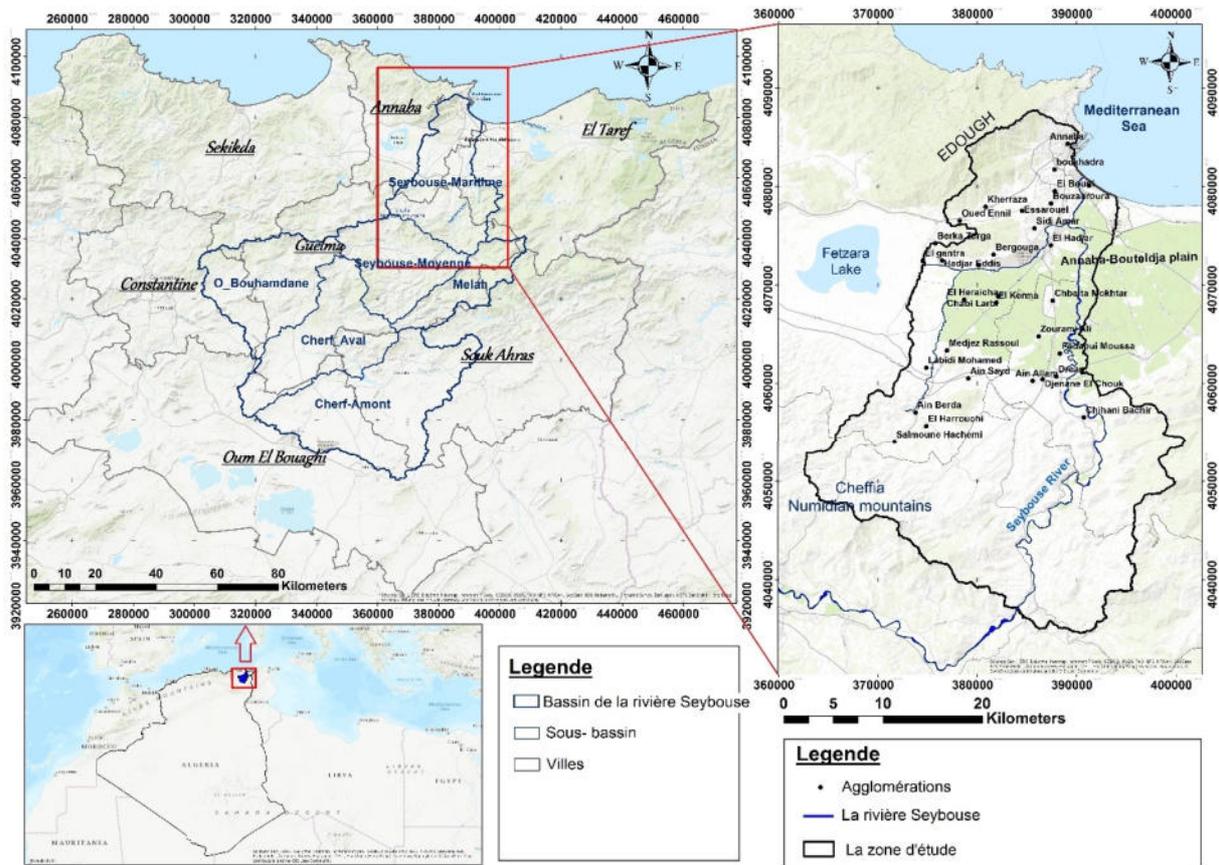


Figure 5 : La Carte de situation géographique du Sous-Bassin de la basse Seybouse (Ghrieb, 2021)

Le bassin de la Seybouse, constitué de 6 sous-bassins, représente une superficie drainée de 6 745 km². L'oued Chert prend naissance dans les Hautes Plaines et rencontre l'oued Bouhamdane, à l'Ouest de Guelma. Ces deux cours d'eau donnent naissance à l'oued Seybouse qui coule d'ouest en est jusqu'à sa confluence avec l'oued Mellah, affluent issu du versant nord-ouest des monts arrosés de la Medjerda. Puis, la Seybouse change de direction pour rejoindre, plus au nord, la mer Méditerranée, après avoir traversé la plaine côtière comprise entre Dréan et Annaba. Les 55 agglomérations de plus de 2 000 habitants, réparties à travers le bassin, abritent 866 215 âmes ; 90 % de ces centres sont branchés sur le réseau d'assainissement qui totalise un linéaire de 1 100 km. Hormis la ville d'Annaba (240 189 habitants) et ses cités périphériques (Sidi Amar, El Bouni, El Hadjar et Sidi Salem regroupant 120 855 habitants), les principales agglomérations sont Guelma (108 734), Sedrata (39 645) et Oued Zenati (22 527).

II.3.2. Situation de la zone d'étude

La Seybouse maritime représentent la zone d'étude est située dans le Nord-Est algérien entre les latitudes 36°30' et 37° Nord et les longitudes 7°30' et 7°55' Est.

La zone d'étude fait partie intégrante du bassin versant de la Seybouse avec une superficie de 103 km², ses limites naturelles sont : au nord par la mer Méditerranée, au sud par l'extension orientale des montagnes de Cheffia Numidian, et est limitée à l'ouest par le complexe métamorphique de l'Edough et le lac de Fetzara, et enfin à l'est par le prolongement oriental de la plaine d'Annaba-Bouteldja et les Monts de Nador N'bail.

La zone d'étude occupe la majorité de la ville d'Annaba et la partie ouest de la ville d'El Taref comme le montre la (Fig.4).

La zone d'étude est divisée en 31 Agglomérations : Annaba, El Bouni, Kherraza, Boukhadra, Berka Zerga, Bouzaaroura, Essarouel, Sidi Salem, Oued Ennil, Sidi Amar, Hadjar Eddis, Derradji Redjem, Merzoug Amar (El Gantra), Bergougua, El Hadjar, El Kerma, Chabi Larbi, El Heraicha, Ain Berda, El Harrouchi, Ain Sayd, Medjez Rassoul, Salmoune Hachemi, Labidi Mohamed, Drean, Ain Allam, Djenane El Chouk, Fedaoui Moussa, Chbaita Mokhtar, Zourami Ali, Chihani-Bachir.

II.3.3. Les Usagers de l'Eau

II.3.3.1. La Population

La population de la région d'étude au même titre que le reste du territoire algérien se situe au Nord du pays. On remarque une population relativement dense de l'ordre de 555.485 habitants (2003) concernant la wilaya d'Annaba et de l'ordre de 401716 habitants, concentrée surtout dans les agglomérations d'Annaba ville, El Hadjar, Sidi Amar, et El Bouni...etc., et Drean...etc. pour la wilaya d'El Tarf.

La répartition de la population est due à la présence des déférents pôles dans la région d'étude qui sont : L'industrie, L'Agriculture, Tourisme.

II.3.3.2. L'Agriculture

La région d'étude par sa vocation agricole et ses conditions pédoclimatiques est un important pôle agricole dans l'Est algérien. Malgré les restrictions en eau qu'il subit, le secteur agricole reste le premier consommateur d'eau en Algérie.

II.3.3.3. L'Industrie

L'activité industrielle dans la région 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,...).

II.4. APPROCHE D'UNE GESTION INTEGREE

Devant cette situation critique, nous avons élaboré dans ce travail de recherche un modèle conceptuel dans le cadre d'une gestion intégrée de la ressource en eau du bassin de la basse Seybouse. L'objectif de cette étude est de :

- caractériser les facteurs les plus influençant sur la qualité et la quantité de la ressource ;
- déterminer les réactions des communes et les regrouper selon leur besoin, leur demande et leur caractéristique ;
- essayer d'apporter une aide à la décision des gestionnaires ;
- faire une évaluation de risque sur la santé humaine et l'environnement.

Le concept de gestion intégrée des ressources en eau, dont il n'existe pour l'instant aucune définition ne prêtant pas à équivoque, fait l'objet d'une intense controverse (Thierry Ruf et Marie-Jeanne Valony, 2007). Il s'ensuit que les institutions régionales et nationales doivent mettre au point leurs propres pratiques de gestion intégrée en se fondant sur le cadre participatif qui se dessine peu à peu au niveau mondial et régional.

Cependant, le Partenariat mondial pour l'eau définit la gestion intégrée de la ressource en eau comme étant un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social en résultant, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux.

Comment s'assurer que la gestion actuelle soit durable ? Comment s'assurer que l'industrie tienne compte à la fois des aspects environnementaux, sociaux et économiques ? C'est un grand défi puisque chaque intervenant peut avoir sa propre définition de ce qu'est une « Gestion durable ». Une définition claire de la conservation et de la gestion durable des ressources est nécessaire. Il faut également que cette définition soit facile à comprendre afin d'améliorer la qualité de l'information fournie au public.

Les indicateurs sont justement destinés à donner une définition claire et commune à la gestion durable. Les données obtenues pourront servir à développer des politiques acceptables de gestion et à cibler la recherche de façon à améliorer les technologies et les connaissances. Ensemble, ils fournissent un cadre pour décrire et mesurer :

- l'état de la ressource ;
- les valeurs associées à la ressource ;
- les pratiques de gestion de la ressource ;
- les progrès en matière de gestion de la ressource.

II.4.1. Définition d'un indicateur

D'une manière générale, un indicateur de développement durable est défini comme une donnée quantitative qui permet de caractériser une situation évolutive, une action ou les conséquences d'une action, de façon à les évaluer et à les comparer à leur état à différentes dates. Il peut cependant être une forme d'indication ou de perception, c'est à dire un élément qualitatif (B. Ulmann, 2008).

L'objectif principal d'un indicateur est de clarifier et de définir des objectifs, d'évaluer les orientations actuelles et futures en ce qui concerne les buts et les valeurs, d'évaluer dans le temps des modifications, des conditions spécifiques et de déterminer l'impact des programmes et de transmettre des messages. Sa caractéristique principale est qu'il porte une signification qui dépasse la donnée quantitative fournie. La qualité principale d'un indicateur est sa capacité à rendre compte le plus précisément possible d'un phénomène en général complexe. Les qualités principales que doit posséder un indicateur sont donc d'être adapté, spécifique, valide, fiable, précis, mesurable, comparable (dans le temps et dans l'espace), facile à utiliser et dont le résultat doit justifier le temps et le but pour les obtenir.

II.4.2. Développement des indicateurs

Le modèle DPSIR, FPEIR en français (forces motrices - pressions - état - impact - réponses), développé par l'Agence européenne pour l'environnement à partir d'un modèle initial de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique, le modèle PER (pressions - état - réponses), est basée sur la description des interactions entre la société et l'environnement à l'aide d'indicateurs et de statistiques (European Commission, 2002).

Le modèle DPSIR définit donc cinq indicateurs qui sont :

- Les Forces motrices qui sont définies comme les besoins sociaux qui exigent l'existence d'une activité économique donnée ;
- La Pression qui correspond aux facteurs qui ont une influence négative sur l'environnement;
- l'Etat correspondant à l'état actuel de l'environnement ;
- Les Impacts sur les écosystèmes et la santé humaine en raison des modifications de l'environnement ;
- Les Réponses des organismes, des gestionnaires et des politiques vis-à-vis des problèmes environnementaux.

Greeuw *et al.* (2001), ont déclaré qu'un des problèmes de ce cadre est que le même élément peut apparaître dans différentes composantes, en fonction des cibles sur lesquelles nous nous concentrons. Toujours selon Kelly (1998) le cadre n'arrive pas à saisir la complexité des rapports

dans les systèmes complexes. Néanmoins, il est un modèle largement utilisé, et si ces inconvénients sont pris en compte, il pourrait fonctionner comme un bon outil pour soutenir la gestion des écosystèmes. Également des indicateurs sont un excellent moyen de représenter les composantes de l'environnement en évitant la mesure de paramètres trop nombreux. Les indicateurs sont souvent adoptés pour éviter et réduire la complexité des données environnementales. En général, les indicateurs sont facilement quantifiables et délimités à partir des informations déjà décrites dans les biens de protection comme les compartiments de l'environnement et sont suffisants pour évaluer ce qui est appelé la santé des écosystèmes (Costanza, 1992).

Le modèle **DPSIR** peut être utilisé comme une base pour la gestion des zones côtières et de l'environnement en permettant le couplage entre modèles environnementaux et macroéconomiques, ce qui permet d'intégrer les fonctions de conservation de la biodiversité (et écologiques) avec le développement socio-économique (RIVM, 1995).

C'est en se basant sur un modèle **DPSIR** que les divers indicateurs qui ont servi à l'élaboration du modèle conceptuel de gestion intégrée de la ressource en eau ont été déterminés.

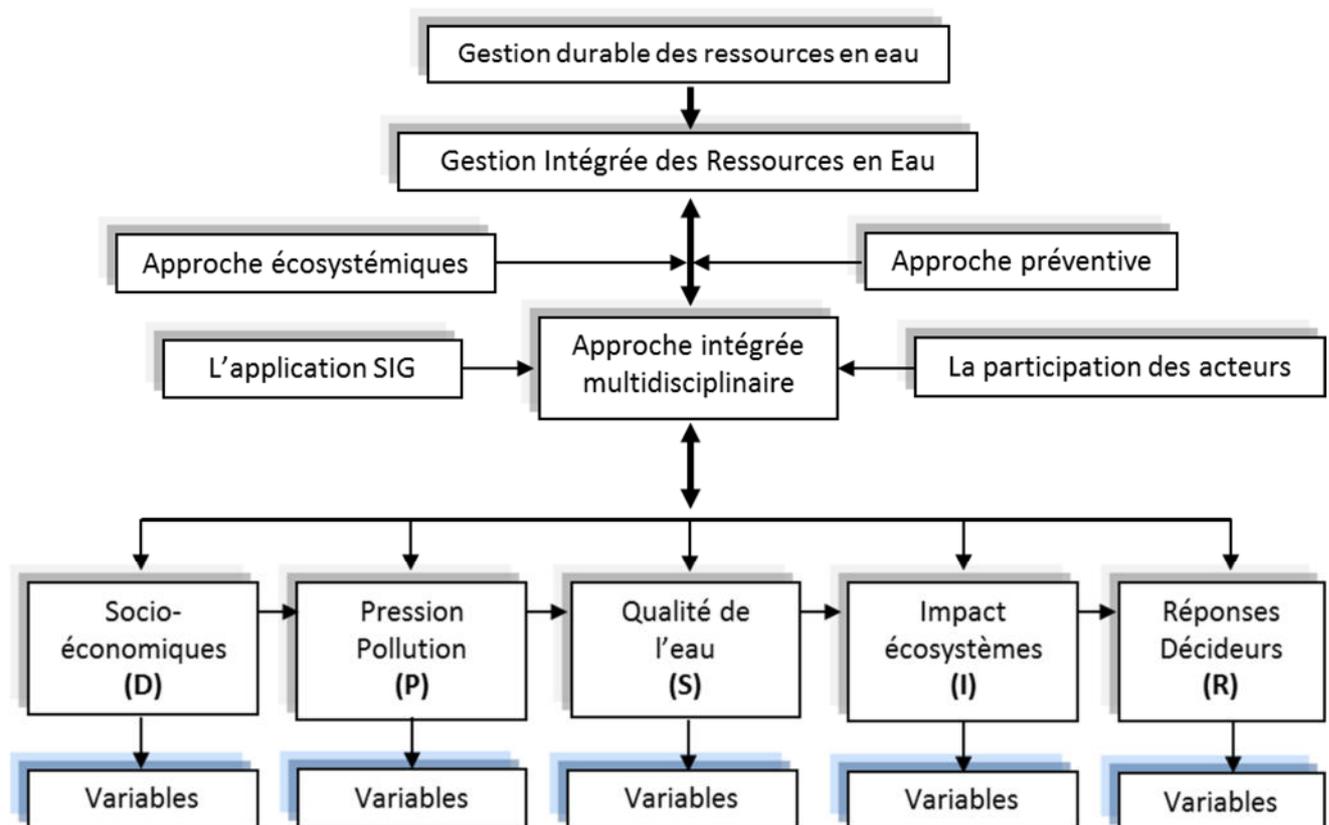


Figure 6 : Le diagramme des catégories du modèle conceptuel du DPSIR

II.5. L'Application du (SIG) aux variables du modèle DPSIR dans la basse Seybouse

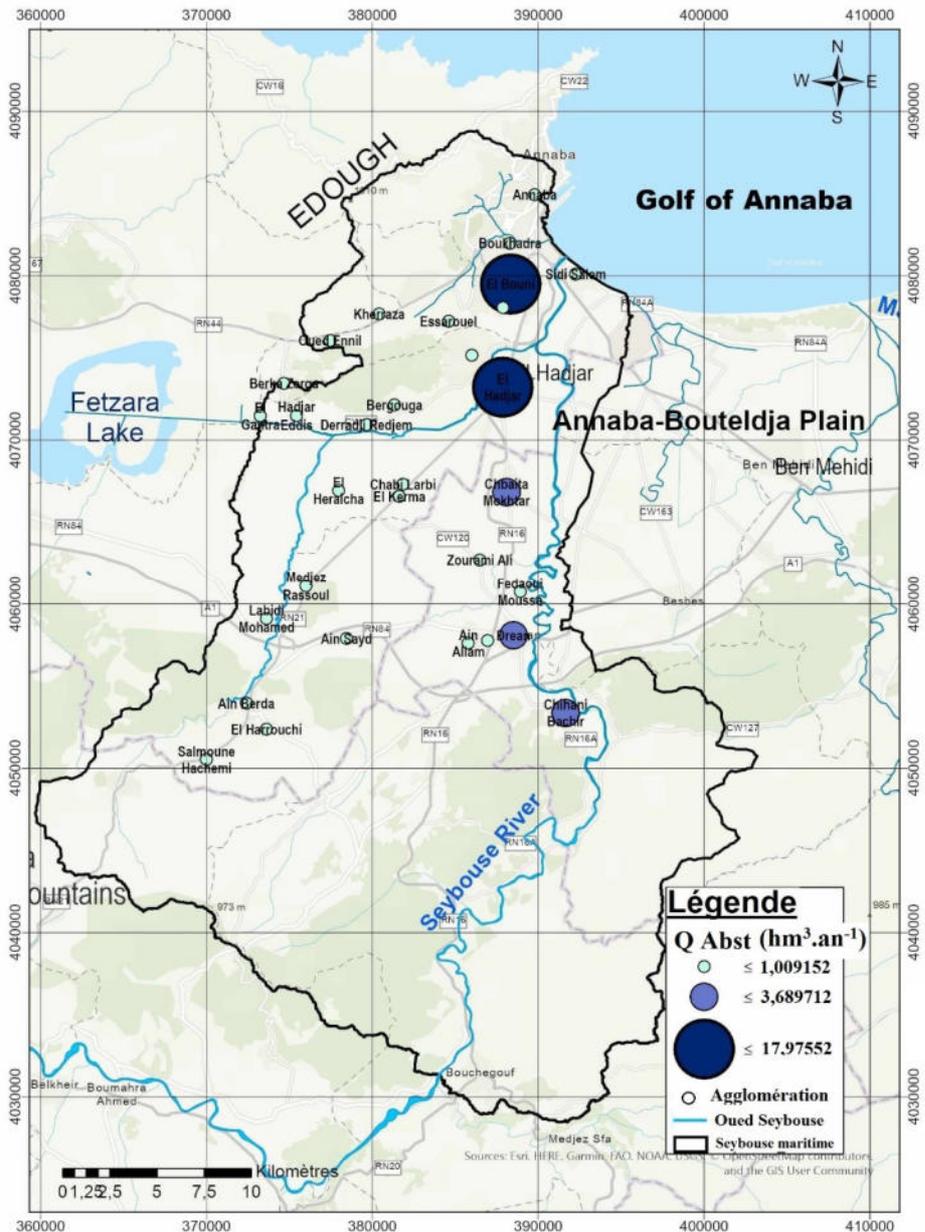
L'utilisation des SIG réside dans leur apport pour une aide à la décision au travers des traitements des plans thématiques d'informations. L'approche spatiale d'un problème ne va pas sans poser des interrogations relatives à la représentation de l'espace. La technique DPSIR est appliquée dans un environnement de système d'information géographique (SIG) visant à contribuer à l'optimisation de la gestion des ressources en eau dans la partie côtière du bassin de l'oued Seybouse et à développer un outil utile pour les autorités locales, les parties prenantes et l'autorité régionale de l'eau qui est légalement responsable de la mise en place de la politique régionale des ressources en eau. Par son application, il vise également à proposer un ensemble de mesures et d'actions vers un développement rationnel et une gestion durable des ressources en eau. La sélection de l'environnement SIG garantit que les résultats de l'analyse des variables de la technique DPSIR.

II.5.1. Répartition spatiale des données

La base de données spatiale et d'attributs générée est intégrée pour la génération de cartes de variation spatiale et représentation graphique des valeurs des variables des cinq catégories du modèle DPSIR.

La symbologie représentée dans les graphiques symboles proportionnels à cercles a été utilisée dans la présente étude pour dessiner des quantités en utilisant la taille du symbole pour afficher la valeur exacte. Ces cartes permettent ainsi d'analyser la répartition des valeurs suivant la taille et la localisation des agglomérations en plus des graphes représenter les valeurs des variables et le classement quantitatif des agglomérations de la zone d'étude par variables en trois groupes : élevée, moyenne et faible. Les deux moyens ont été utilisés comme moyens de calcul et d'analyse des cartes des variables de la technique DPSIR à l'aide d'outils SIG (ArcGIS Pro version 2.6, 2021).

- **La Mobilisation des Ressources en Eau à partir du bassin versant :** Elle représente la quantité d'eau mobilisée pour les différents usages de chaque commune. Il est mesuré en millions de mètres cubes par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$). La carte de variation spatiale de l'eau pompée par les puits municipaux est montrée dans la Figure 7 indique 4 classes la première classe se compose de El Hadjar et El Bouni allant $17,97 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ et $11,78 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. La deuxième classe de communes comprend Chbaita Mokhtar, Drean, Chihani Bachir. La troisième classe rassemble les communes Kherraza, Bouzaaroura, El Kerma, Zourami Ali, Sidi Salem et Sidi Amar.



Comparaison de la Mobilisation des Ressources en Eau des Agglomérations

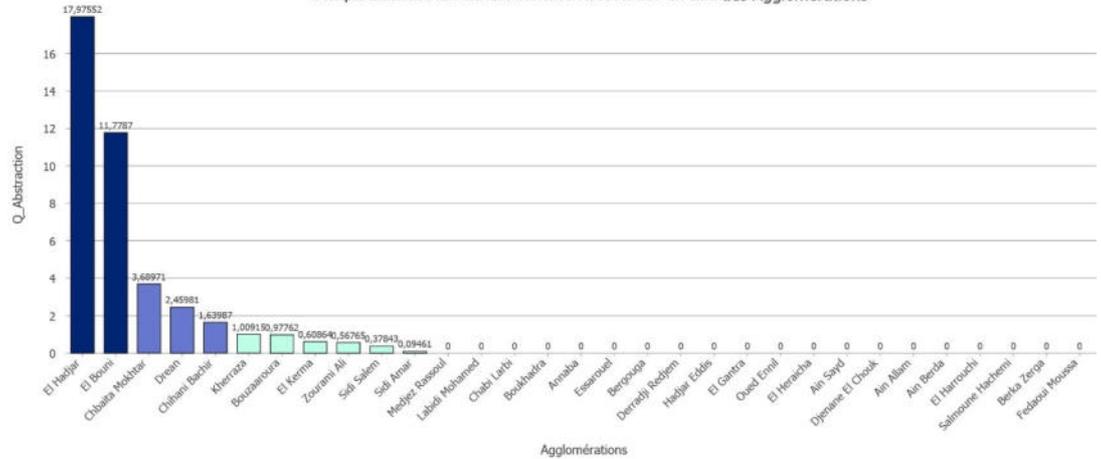


Figure 7 : Distribution spatiale de La Mobilisation des Ressources en Eau pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

II.5.1.1. La Catégorie des variables de la force motrice (Driving force)

La quantification des forces motrices est basée sur la densité de la population et le tourisme l'occupation du sol, le taux de raccordement aux réseaux de l'eau potable, le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées, la consommation de l'eau d'agriculture, la dotation journalière de l'eau potable, le rôle des femmes et les pertes d'eau.

- **La Population :** La commune d'Annaba, qui est la capitale de la wilaya, a de loin la plus grande population parmi les municipalités de la zone d'étude. La population totale du sous-bassin basse Seybouse est estimée à 425068 habitants, à l'an 2010, en se basant sur l'année de référence ou un RGPH (Recensement Générale de Population et d'Habitat) de l'année 1998, avec un taux d'accroissement démographique de l'ordre de 2.31% selon les données de la DPAT (Direction de Planification et d'Aménagement de Territoire). La proportion de la population urbaine est estimée à 60% et les 40% restant représentent la population rurale. La projection de la population est présentée dans la (Fig.8).

- **L'Occupation du Sol :** Elle représente le rapport entre les surfaces urbanisées et les surfaces agricoles dans chaque commune, elle est mesurée en pourcentage (%). La variation spatiale de L'occupation du sol dans la zone d'étude (Fig.9), indique 2 classes allant de 0,02 à 70 %. Avec la valeur la plus élevée 70 % à Annaba en raison de la densité des populations.

- **Le Tourisme :** Cette variable reflète le nombre de visiteurs qui séjournent dans la région, mesurée en nombre. La variation spatiale de Tourisme dans la zone d'étude (Fig.10), indique 2 classes allant de 65 à 90000 visiteurs. Avec la valeur la plus élevée 90000 visiteurs à Annaba.

- **Le Taux de raccordement aux réseaux de l'Eau Potable :** Il représente la proportion de la population connectée aux réseaux de l'alimentation de l'eau potable (AEP). Mesuré en pourcentage (%). La figure 11 montre que le taux de raccordement aux réseaux de l'Eau potable varie de 58 et 98 %. Alors la plupart des communes sont raccorder avec le réseau de l'eau potable de plus de 58 %.

- **Le Taux de raccordement aux réseaux des Eaux Usées :** Il représente la proportion de la population connectée aux réseaux des eaux usées. Mesuré en pourcentage (%). La figure 12 montre que le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées varie de 66 et 100 %. Alors la plupart des communes sont raccorder avec le réseau des eaux usées de plus de 66 %.

- **La Consommation de l'Eau en Agriculture :** Cette variable reflète la quantité d'eau consommée par l'agriculture dans chaque commune, elle est mesurée en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$). La figure 13 montre que la consommation de l'eau en agriculture varie de 1 et $8,36 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. Les valeurs les plus élevées de consommation de l'eau en agriculture se trouvent au sud de la zone d'étude.

- **La Dotation journalière de l'Eau Potable :** Cette variable signifie la quantité d'eau journalière distribuée à l'habitant dans chaque commune, mesurée en litre par jour et par habitant (l/j/hab). La distribution spatiale de la Dotation journalière de l'eau potable varie de 30,3 à 281,2 l/j/hab. Les valeurs élevées sont situées dans les communes Annaba, El Hadjar, Sidi Amar.
- **L'intégration des Femmes :** Il signifie la proportion des femmes qui travaillent dans les services gestionnaires de l'eau par rapport aux hommes, il est mesuré en pourcentage (%).
. La distribution spatiale de l'intégration des femmes varie de 2 à 65,75 %. Les valeurs élevées sont situées dans les communes Annaba, El Bouni, El Hadjar, Sidi Amar.
- **Les Pertes d'Eau :** Cette variable représente la proportion de la quantité d'eau perdue dans les systèmes des réseaux de distribution de l'eau potable dans chaque commune, elle est estimée en pourcentage (%). La distribution spatiale des Pertes d'eau varie de 0,223 à 0,518 %. Les valeurs élevées sont situées dans les communes El Bouni, Sidi Salem, Sidi Amar, Annaba.

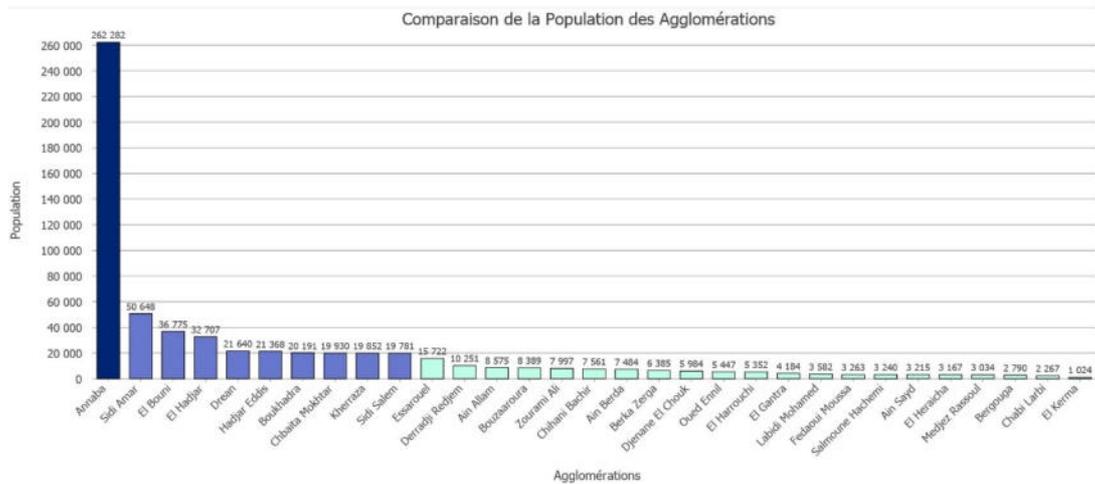
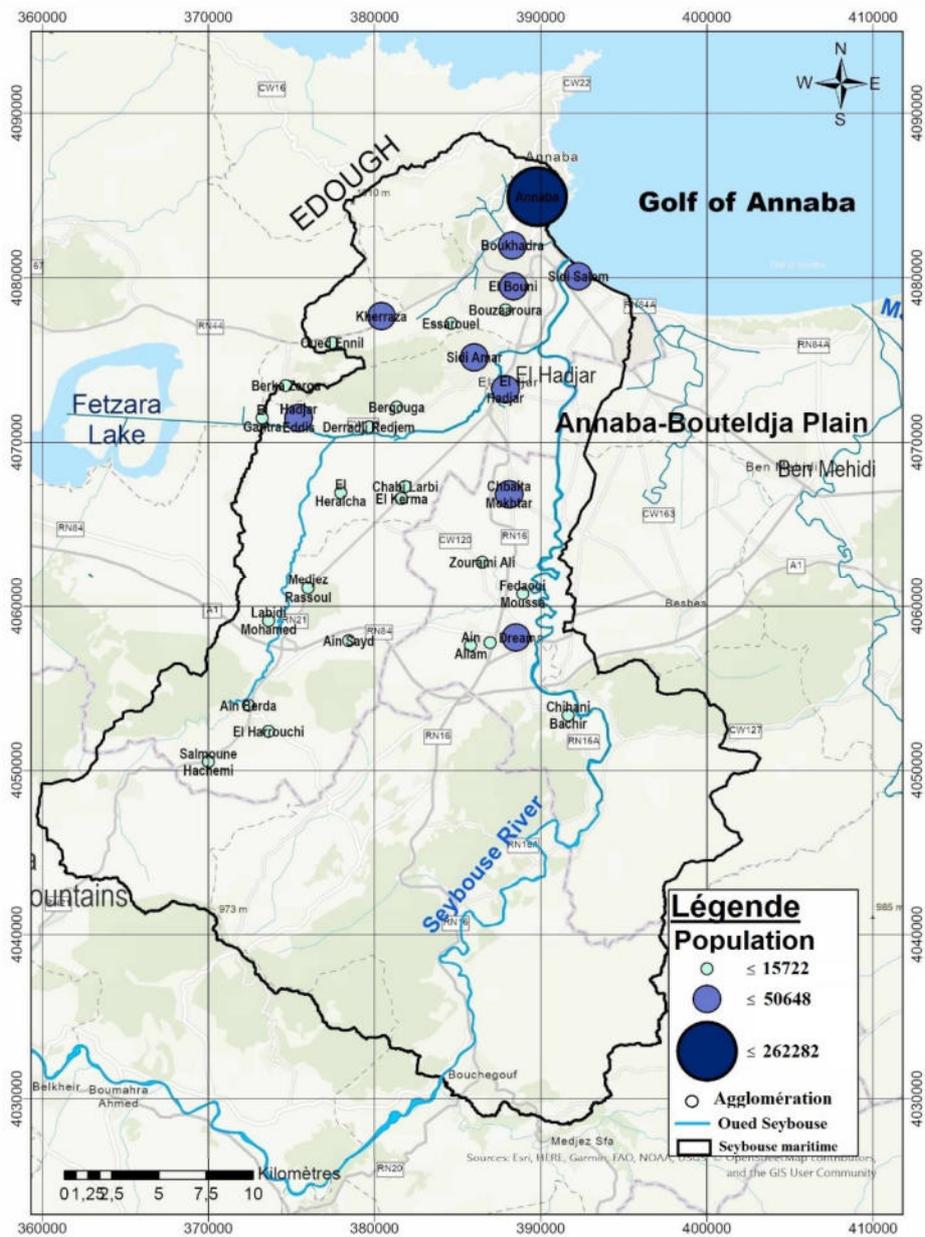


Figure 8 : Distribution spatiale de La Population pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

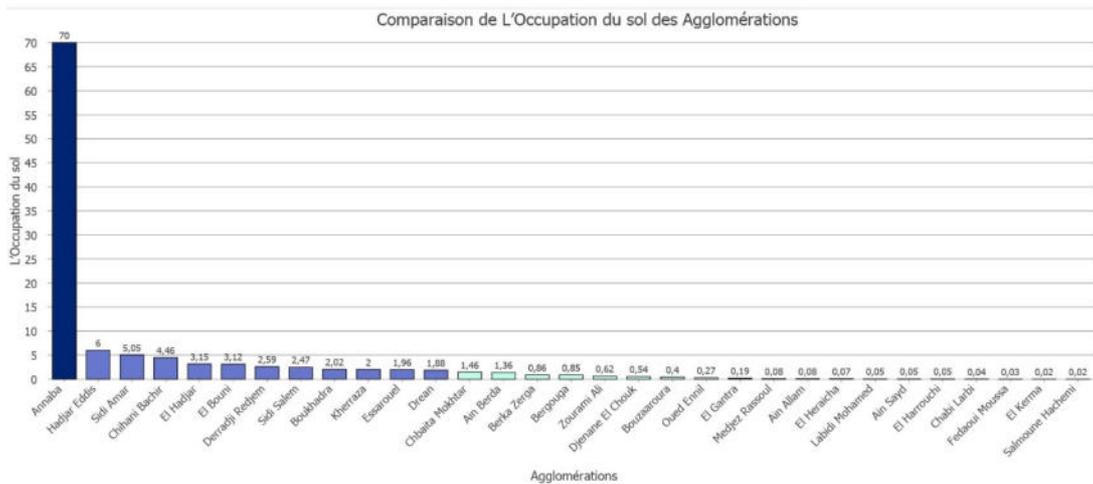
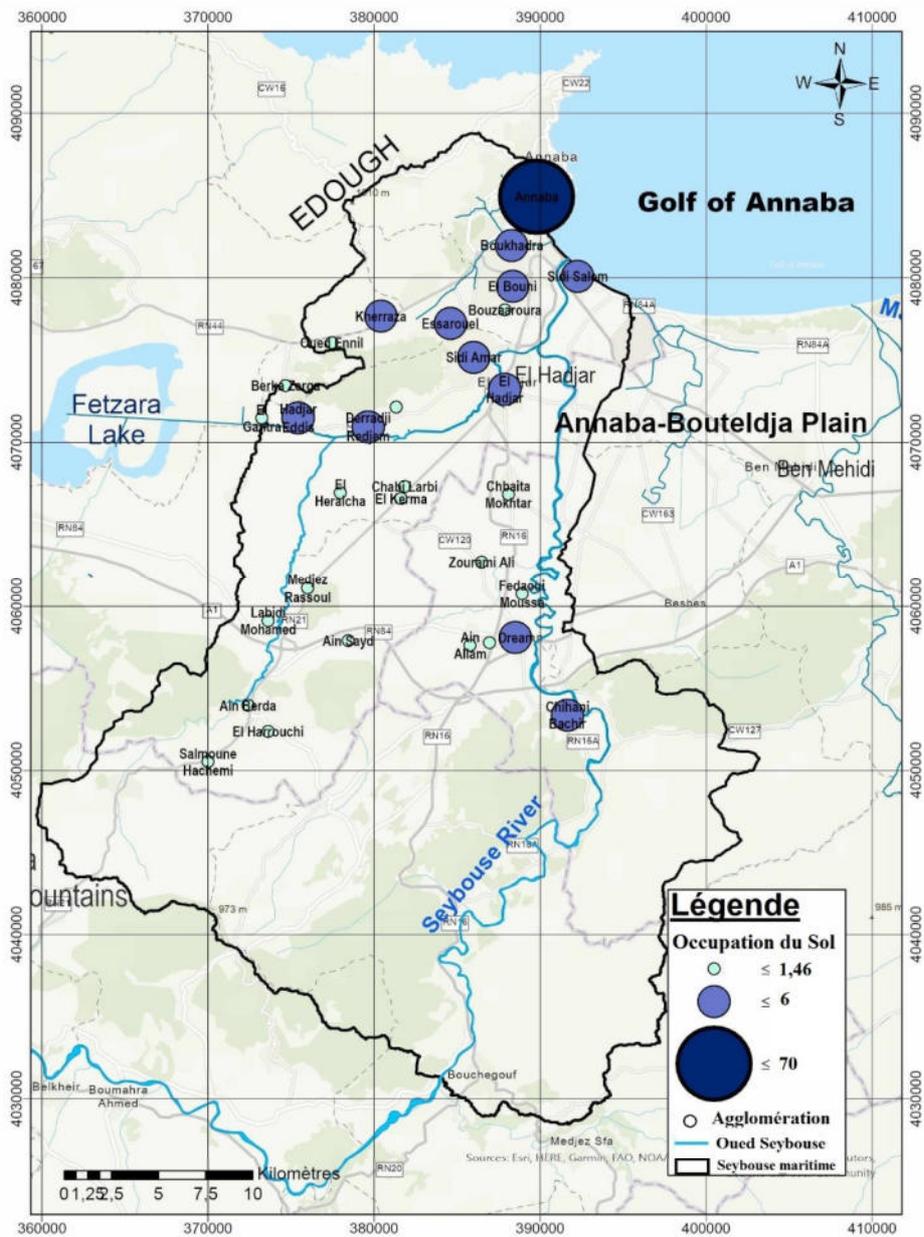


Figure 9 : Distribution spatiale de L'Occupation du sol pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

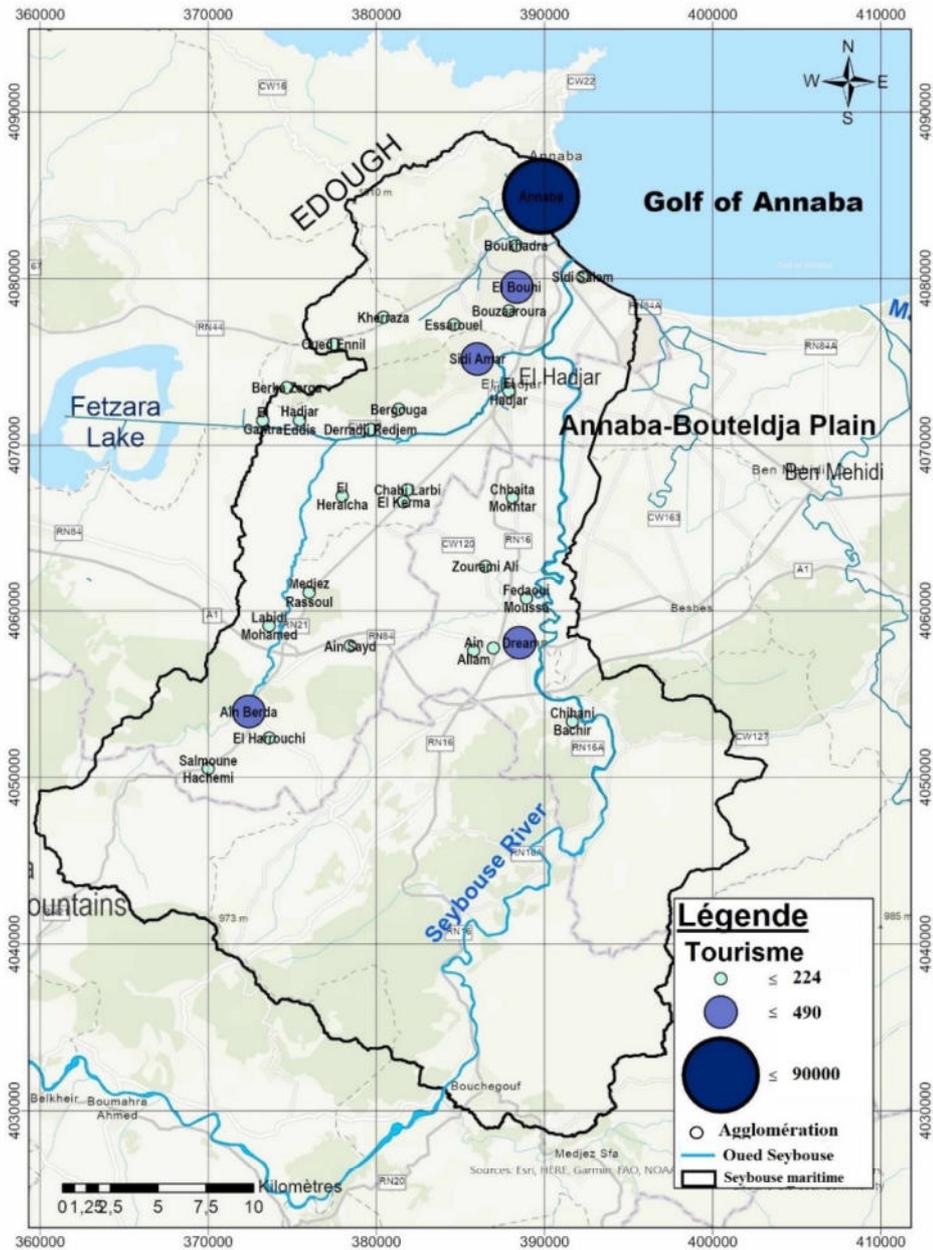
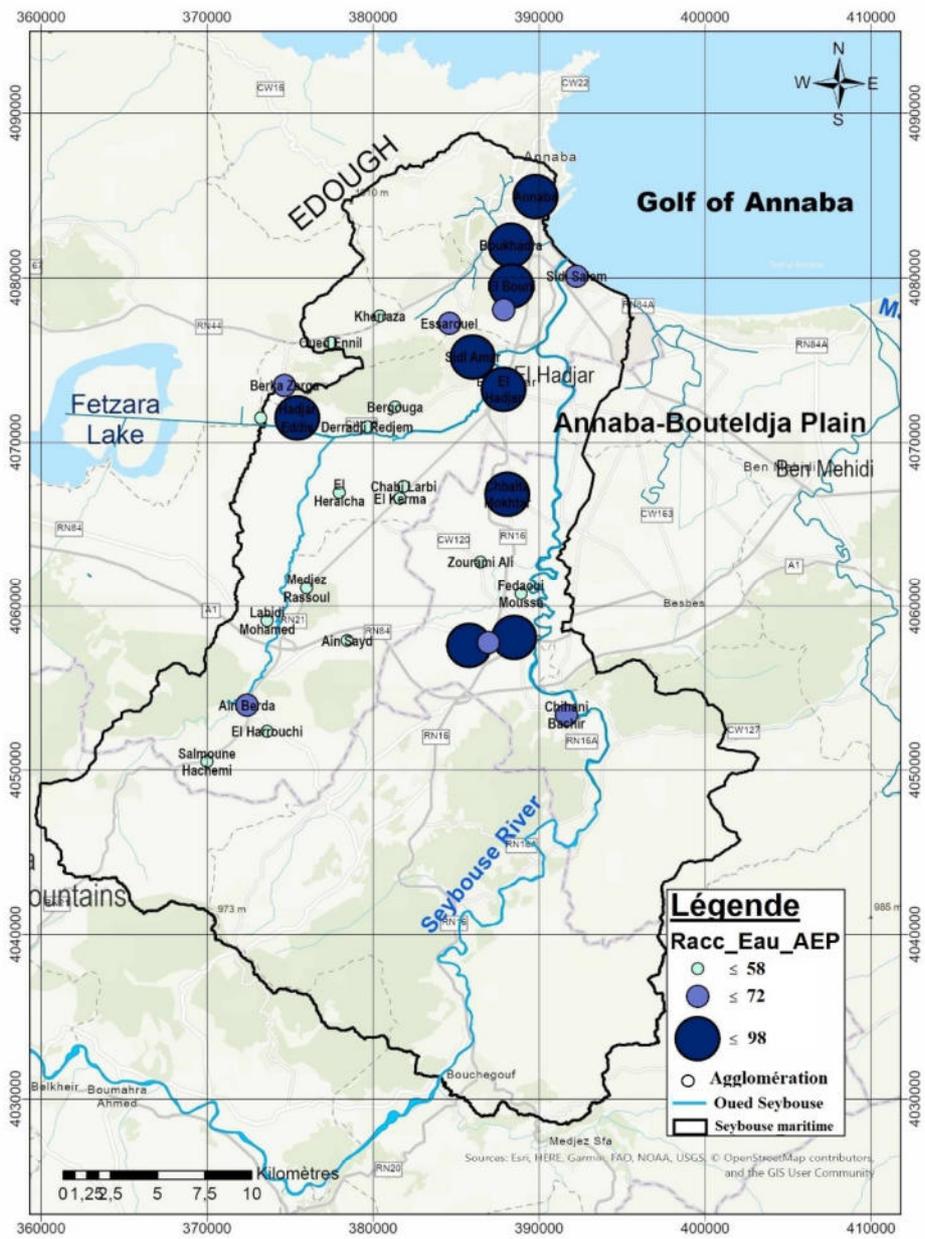


Figure 10 : Distribution spatiale du Tourisme pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison de Taux de raccordement aux réseaux de AEP des Agglomérations

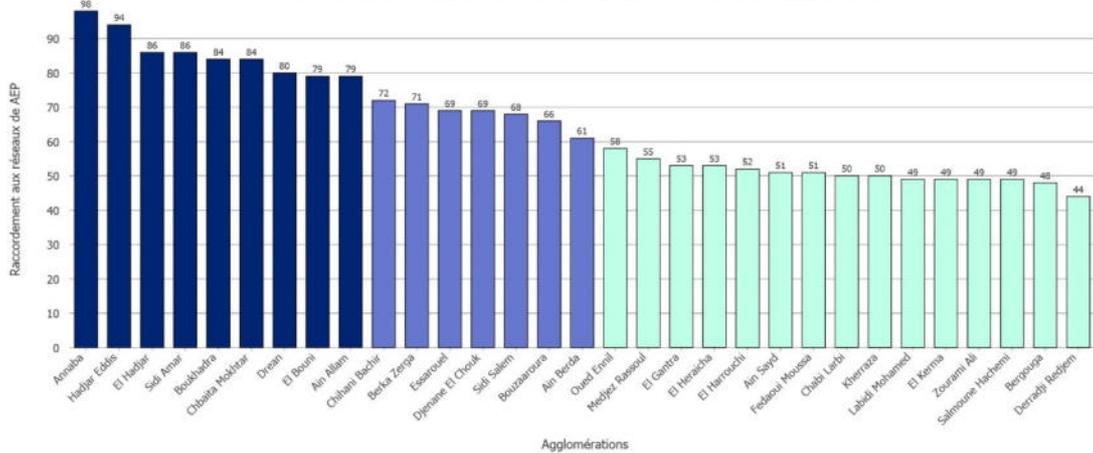


Figure 11 : Distribution spatiale de Taux de raccordement aux réseaux de l'Eau Potable pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

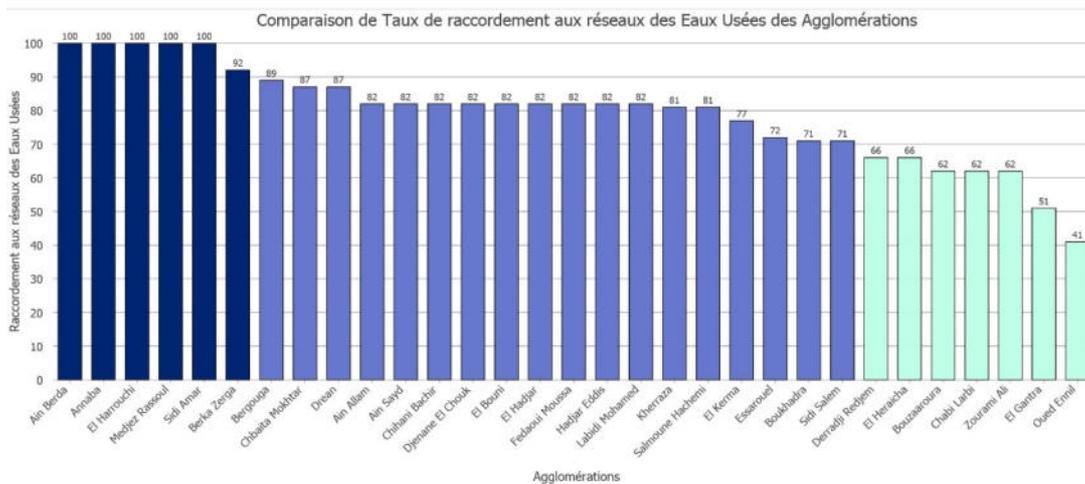
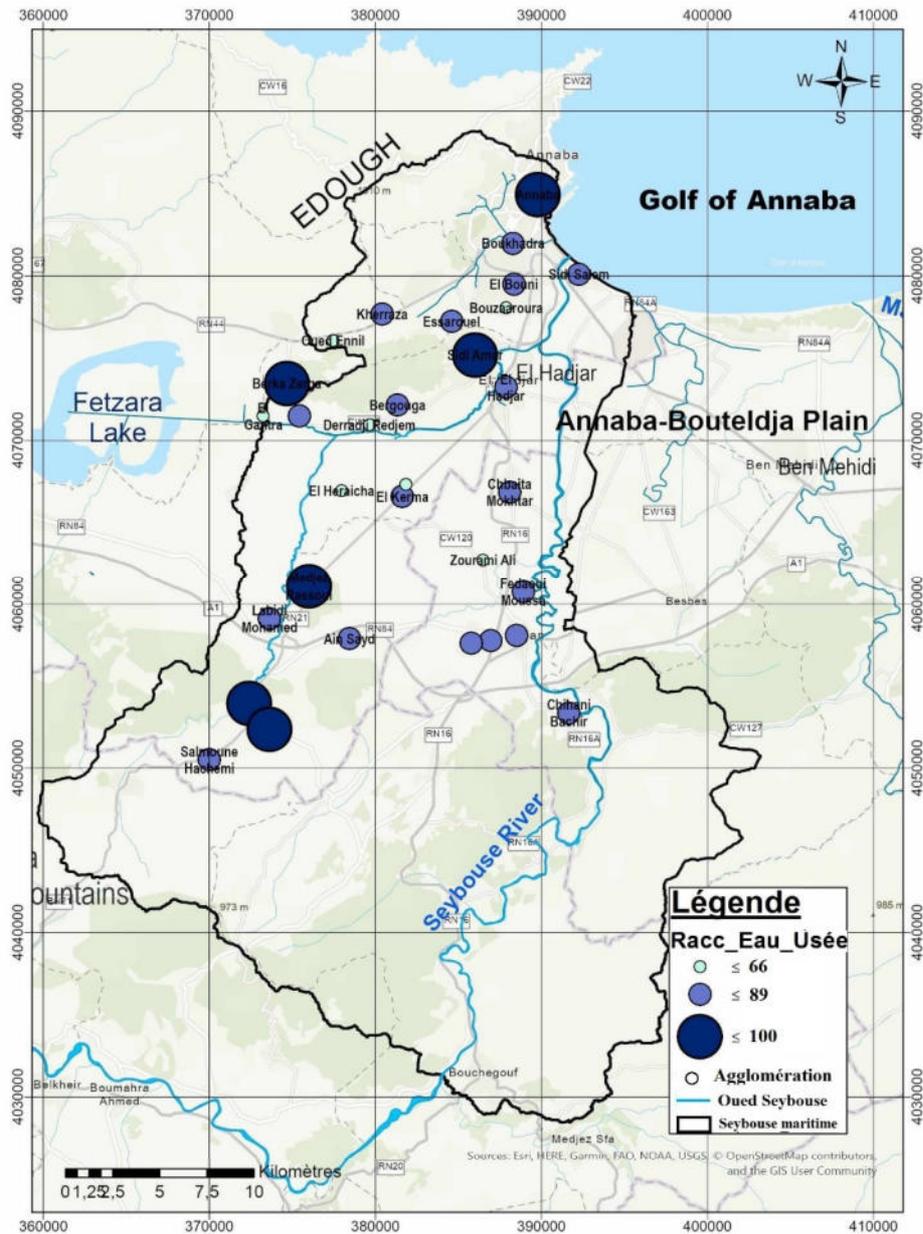
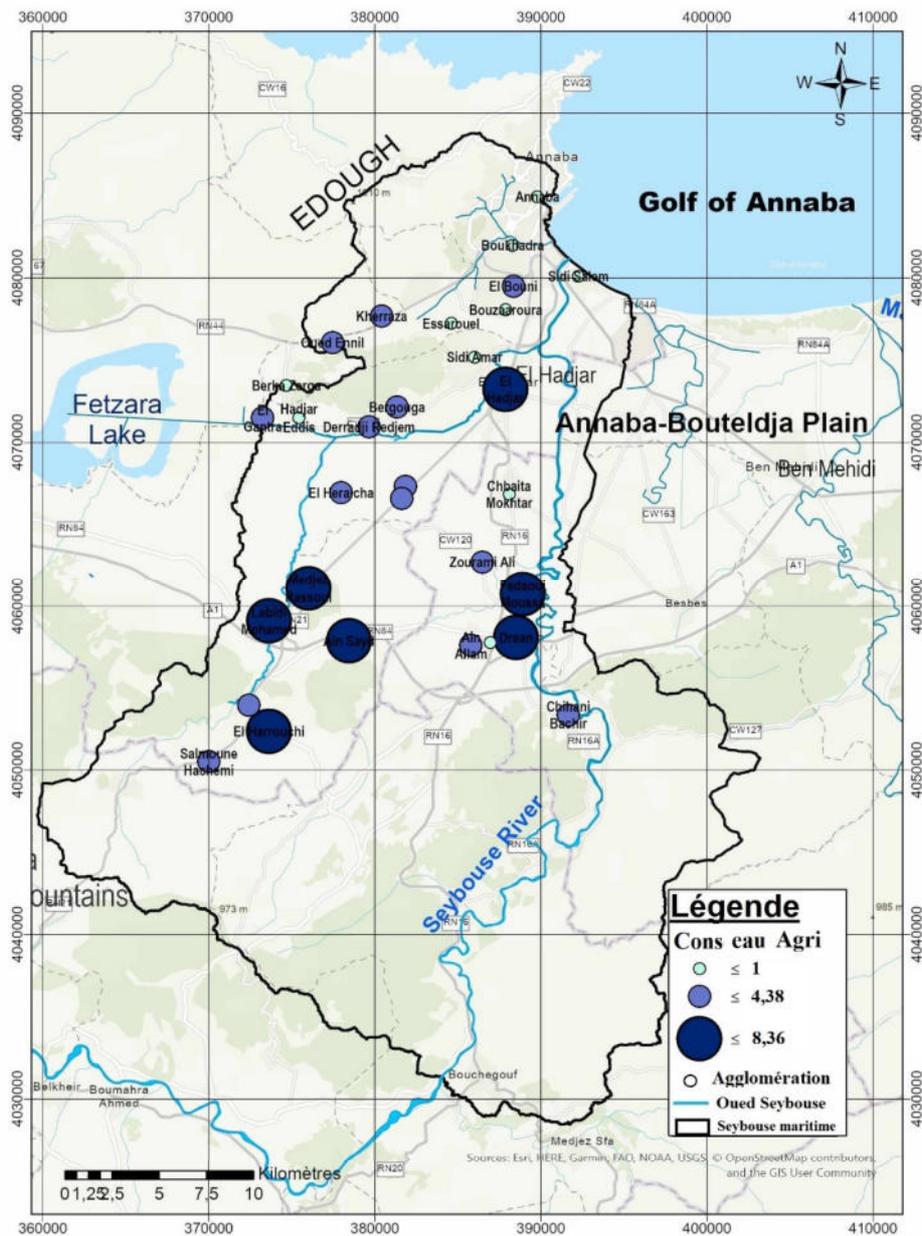


Figure 12 : Distribution spatiale de Taux de raccordement aux réseaux des Eaux Usées pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison de La Consommation de l'Eau en Agriculture (AEI) des communes

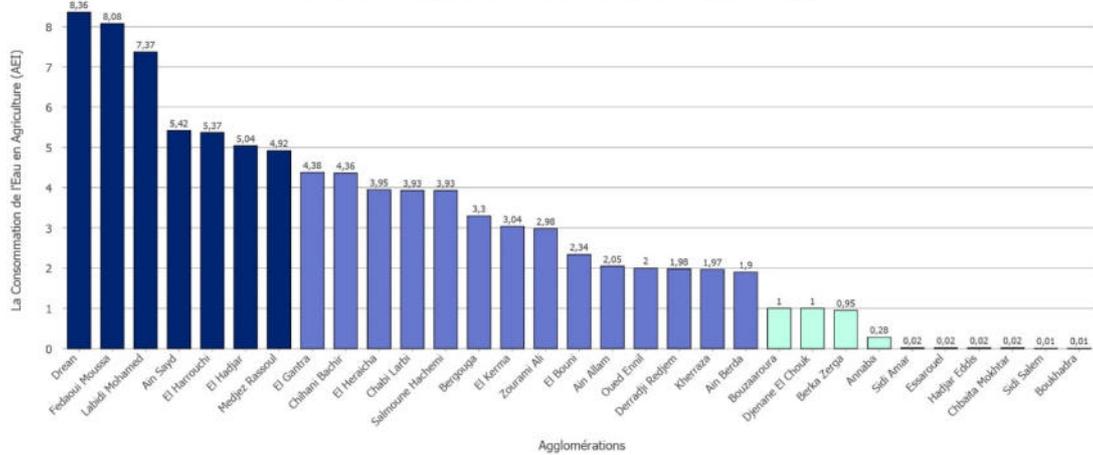
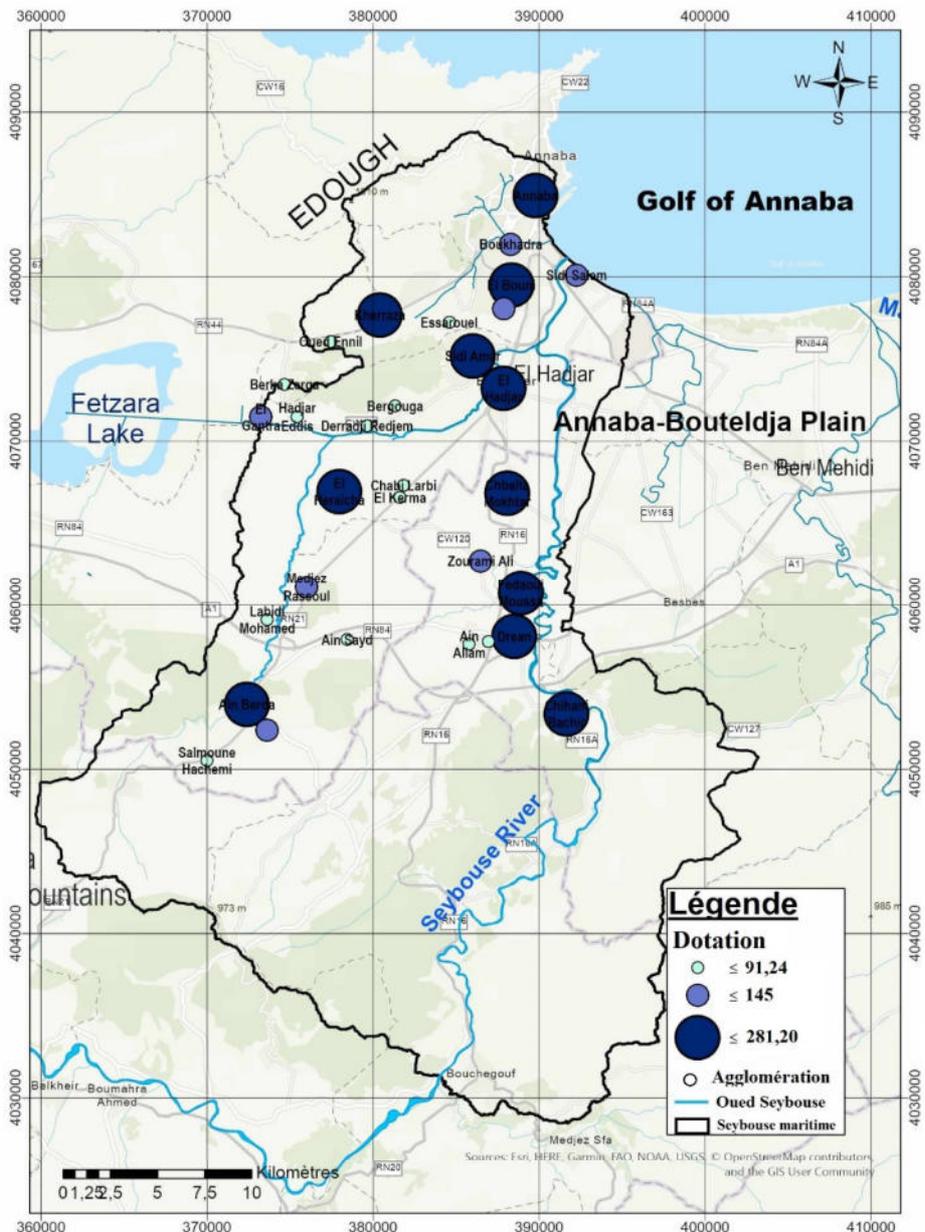


Figure 13 : Distribution spatiale de La Consommation de l'Eau en Agriculture (AEI) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Comparaison de La Dotation journalière de l'Eau Potable des communes

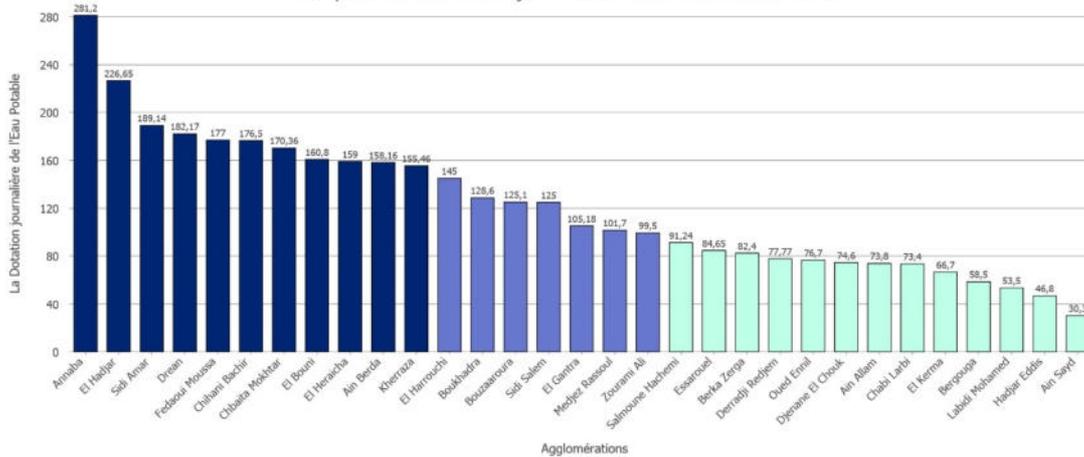


Figure 14 : Distribution spatiale de La Dotation journalière de l'Eau Potable pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

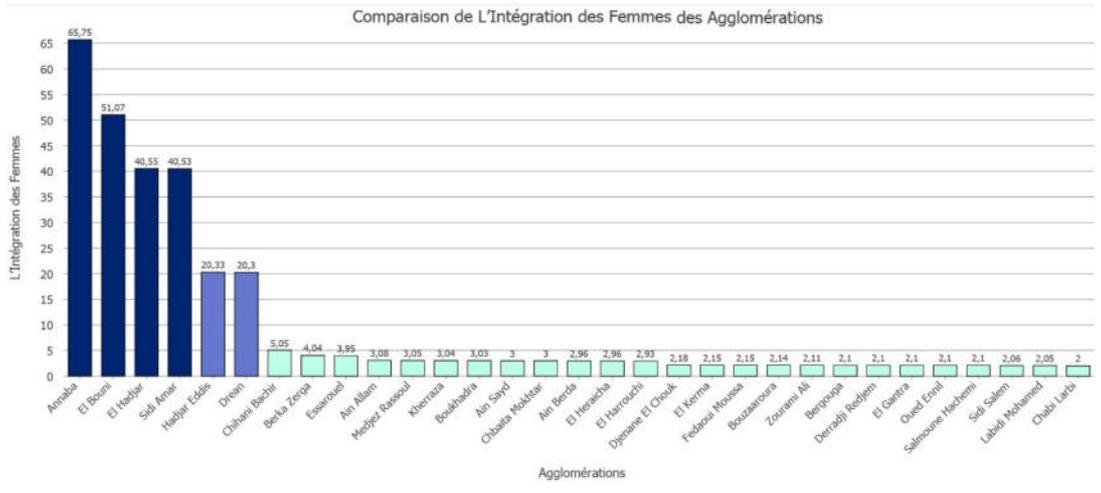
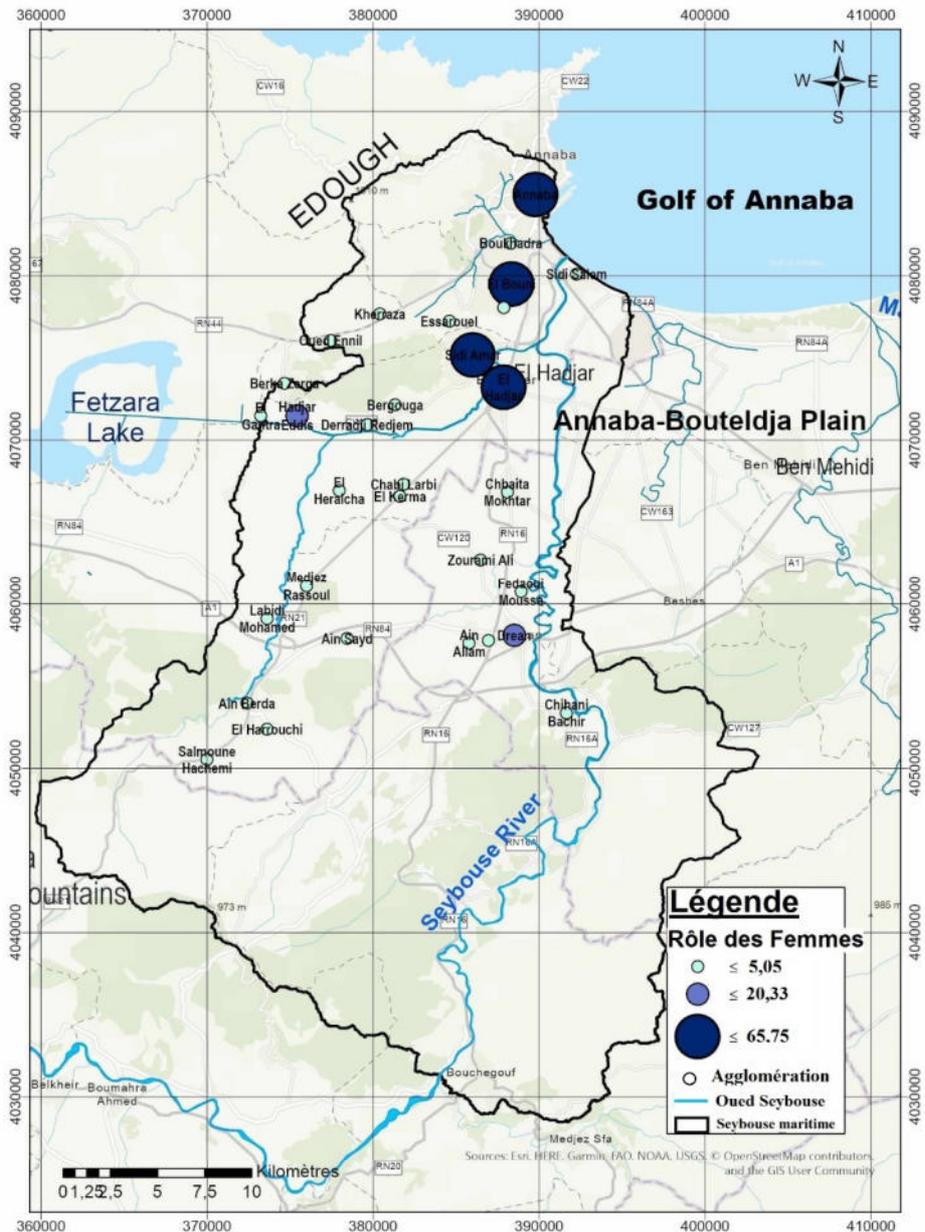


Figure 15 : Distribution spatiale de L'Intégration des Femmes pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

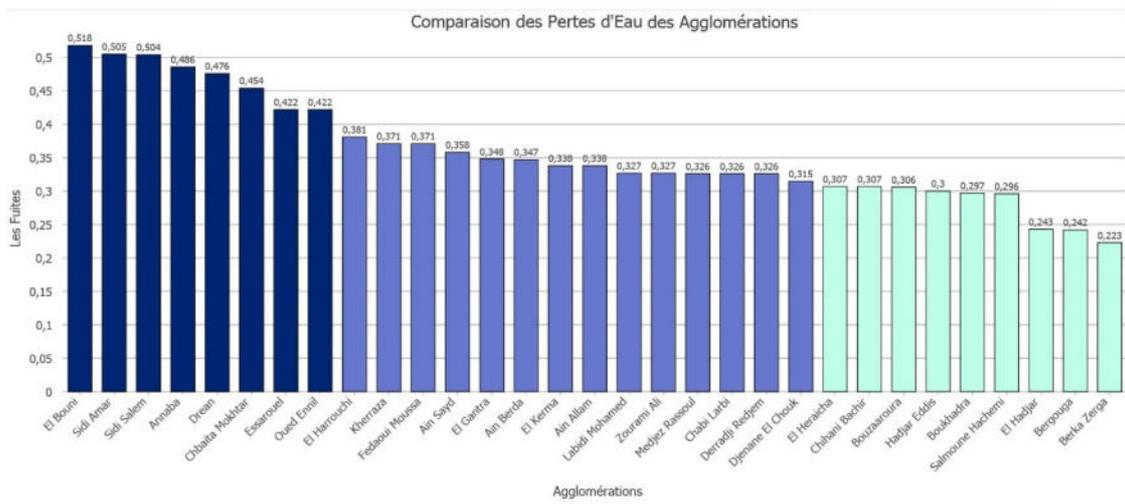
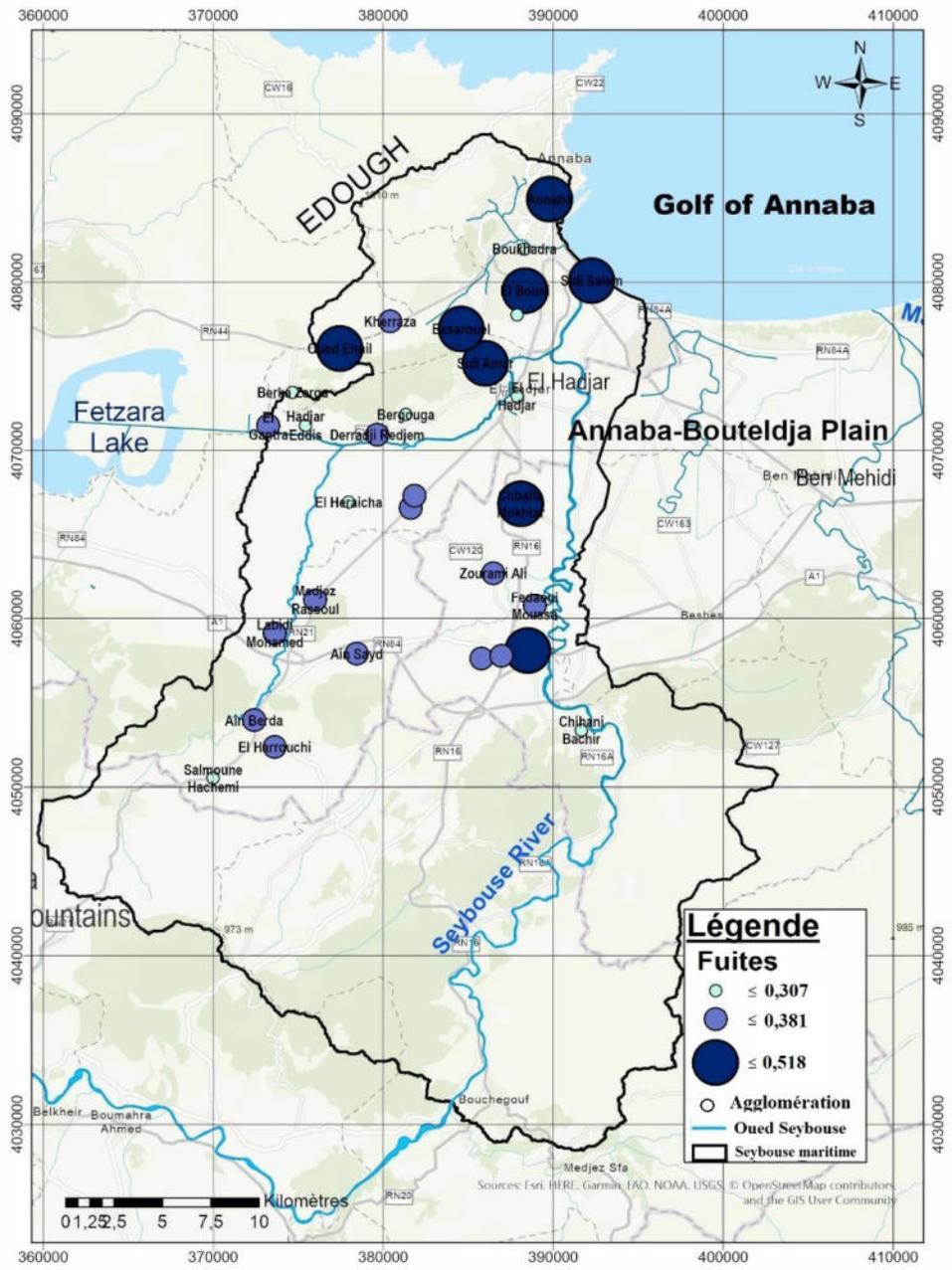


Figure 16 : Distribution spatiale des Fuites pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

I.1.1.1. La Catégorie des variables de Pollution (Pression)

La quantification des Pression sur la ressource en eau est basée sur le taux des Déchets Solides Sauvages, Les Eaux Usées Domestiques, Les Pesticides, Les Engrais Chimiques, Les Engrais Organiques, Les Stations du Carburant, Les Eaux Usées Industrielles, Le Dioxyde de Carbone (CO₂).

- **Les Déchets Solides Sauvages :** La Quantité des déchets sauvages domestiques, industriels et médicaux, ils sont mesurés en tonnes par jour (tonne/j). Les déchets solides rejetés dans les décharges des communes du bassin versant La région d'Annaba est l'une des nombreuses décharges non contrôlées de l'Algérie. Le site reçoit près de 200 tonnes/jour de déchets solides d'origines urbaine et industrielle stockés directement sur le sol. La commune de Berka Zerga, qui représente la plus grande décharge de la région, elle est située à 15 km à l'ouest de la ville, dans un environnement très vulnérable (proximité du lac Fetzara, présence d'un réseau urbain assez dense, activité agricole intense)

La distribution spatiale des déchets solides domestiques varie entre 2,86 et 260 tonnes.j⁻¹. Elle montre une forte concentration dans la partie nord de la zone d'étude, par exemple dans les municipalités (Annaba, El Bouni et Sidi Amar) en raison de sa densité de population. En outre, ces municipalités disposent d'une décharge sanitaire à Berka Zerga.

- **La Génération des Eaux Usées Domestiques :** Les eaux usées domestiques représentent l'eau usagée générée par les abonnés, les institutions publiques, les hôpitaux Etc. elles sont mesurées en hectomètre cube par an (hm³.an⁻¹). Dans l'ensemble du bassin versant le système d'assainissement est généralement de type unitaire.

La variation spatiale des eaux usées domestiques dans la zone d'étude (Fig.19), les eaux usées domestiques varient de 2,18 à 56 hm³.an⁻¹. Avec la valeur la plus élevée 56 hm³.an⁻¹ à Annaba en raison de la densité des populations.

- **Les Pesticides :** Les pesticides représentent tous les produits photo-sanitaires utilisés dans l'agriculture tels que les herbicides, insecticides et les fongicides, ils sont mesurés en tonnes par an (tonnes/an).

La carte de la distribution spatiale des pesticides varie de 0,46 à 3,91 tonnes.an⁻¹. La distribution spatiale indique que les valeurs les plus élevées d'application de pesticides se trouvent au sud-ouest de la zone d'étude, comme le montre la figure 20, dans les zones agricoles au sud-ouest de la vallée de Seybouse.

- **Les Engrais Chimiques :** Ils représentent la quantité des engrais chimiques utilisés en agriculture pour l'amélioration du rendement, les engrais incluent les ammonitrates, les sulfates

de potassium, les phosphates et les sulfates ammoniacaux, ils sont mesurés en tonnes par an (tonne/an).

La variation spatiale des engrais chimiques varie de 70,24 à 642,7 tonnes.an⁻¹. La distribution spatiale indique que les valeurs les plus élevées de l'application de pesticides se trouvent au sud-ouest de la zone d'étude, comme le montre la figure 21, dans les zones agricoles au sud-ouest de la vallée de la Seybouse.

- **Les Engrais Organiques :** Les engrais organiques représentent la quantité des déchets organiques générés par les animaux domestiques qui sera transféré par les bactéries en sels ammoniacaux (NH₄), puis en nitrites (NO₂) et ensuite en nitrates (NO₃), ils sont mesurés en tonnes par an (tonne/an).

La carte de la distribution spatiale des engrais organiques varie de 939 à 5254 tonnes.an⁻¹ pendant la zone d'étude, montre que les valeurs les plus élevées d'application d'engrais organiques se trouvent au sud-ouest de la zone d'étude, comme le montre la figure 22, dans les zones agricoles au sud-ouest de la vallée de Seybouse.

- **Les Stations du Carburant :** Cette variable représente le nombre de station d'essences qui fournit l'énergie pour la circulation des véhicules. Ces stations ont un réservoir sous-sol (enterré), donc elles seront considérées comme source de pollution par les hydrocarbures.

La carte des variations spatiales des stations-service par agglomération est présentée dans la Fig.23, avec la valeur la plus élevée 12 stations d'essence à Annaba suivie par 04 stations d'essence à El Bouni, et une valeur nulle dans chacune des municipalités Berka Zerga, Essarouel, Oued Ennil, Hadjar Eddis, Derradji Redjem, El Gantra, Bergougga, El Kerma, Chabi Larbi, El Heraicha, El Harrouchi, Salmoune Hachemi, Labidi Mohamed, Fedaoui Moussa, Zourami Ali et Chihani Bachir.

- **Les Eaux Usées Industrielles :** Ces eaux usées sont générées par les différentes installations existantes dans le bassin versant, elles sont mesurées en million de mètre cube par an (hm³.an⁻¹). La pression due aux activités industrielles s'exprime en termes de pollution chimique des eaux de surface majoritairement, mais aussi des eaux souterraines. La majorité des industries ne disposent pas de stations d'épuration et la rivière et les aquifères sont les récepteurs directs de leurs effluents. Cependant, les industries ne sont pas très répandues dans la zone d'étude. Ils sont principalement situés dans la partie nord du bassin et dans la zone proche de la ville d'Annaba. Les polluants identifiés les plus importants dans ce domaine étaient les ions Na⁺ et Cl⁻ des industries de teinture textile.

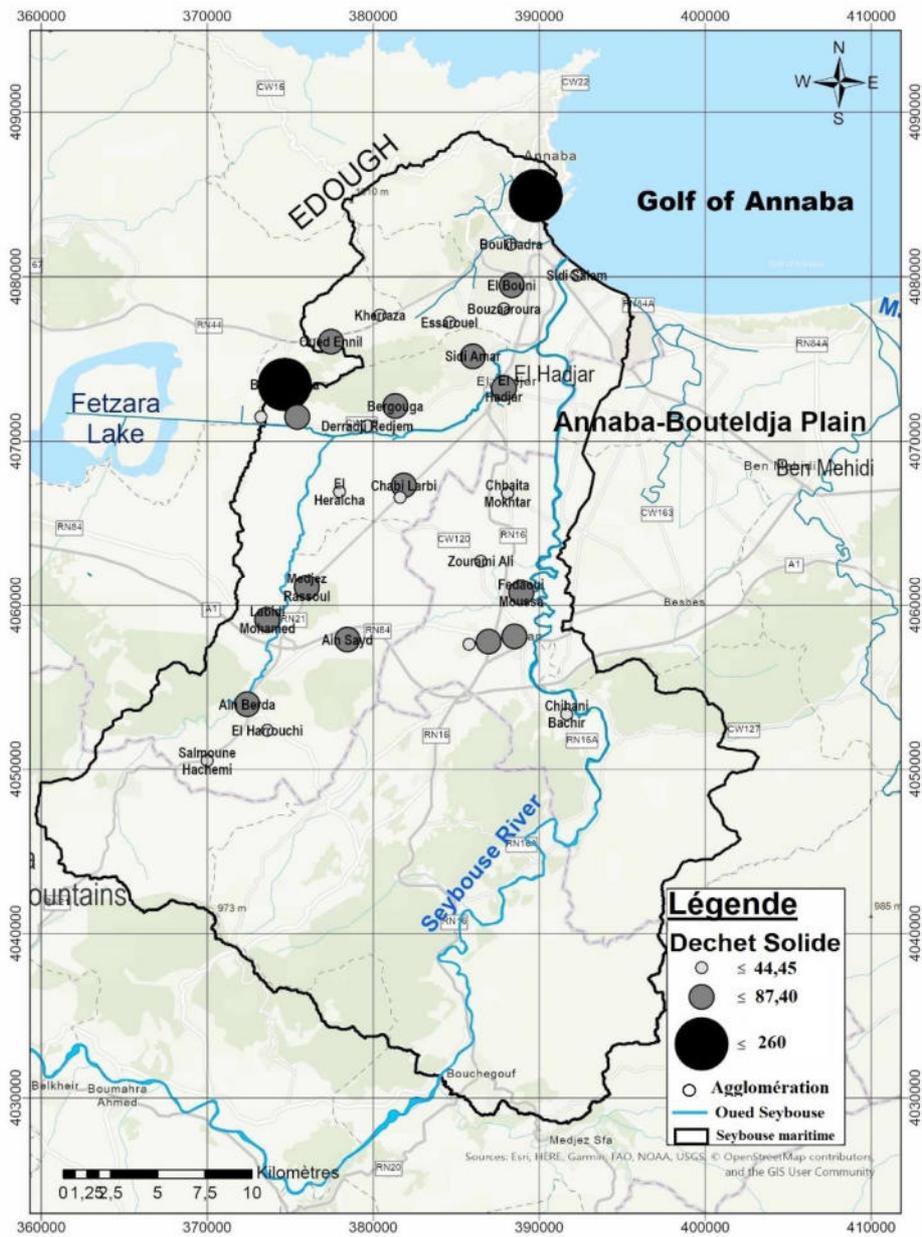
La carte des variations spatiales des eaux usées industrielles par municipalité est présentée dans la Fig.24. Elle est mesurée en millions de mètres cubes par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$) avec la valeur la plus élevée 4,18 ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$) à El Hadjar. L'industrie est concentrée autour d'Annaba, notamment pour la valorisation des produits miniers (industrie sidérurgique ARCELOR MITTAL, engrais chimiques ASMIDAL), les activités annexes, et le conditionnement des tomates.

- **Le Dioxyde de Carbone (CO_2)** : Il représente la concentration du CO_2 dans l'air due aux émissions gazeuses par les installations industrielles (pôle pétrochimique) et la circulation des véhicules, le CO_2 est mesuré en partie par million (ppm).

La distribution spatiale de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'air varie de 147,5 à 882,97 ppm. Les valeurs extrêmement élevées de CO_2 sont situées dans le nord de la zone d'étude. La distribution de la concentration de CO_2 est le résultat des sites des installations industrielles en plus des différences dans le nombre de voitures et la consommation associée de carburant fossile.

- **L'intrusion marine** : Les communes côtières ou se situant à faible distance par rapport à la mer comme d'Annaba, Sidi Salem sont caractérisées par l'intrusion marine et la forte concentration en Cl^- .

La variation spatiale de l'intrusion d'eau de mer dans la zone d'étude (Fig.26), elle est mesurée en millions de mètres cubes par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{y}^{-1}$) avec la valeur la plus élevée 21527 $\text{hm}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ à Annaba suivie par 14684 $\text{hm}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ à Sidi Salem, et une valeur nulle dans chacune des municipalités Kherraza, Ain Berda, El Harrouchi, Ain Sayd, Medjez Rassoul, Salmoune Hachemi et Labidi Mohamed. OÙ montre que l'aquifère côtier est influencé par l'intrusion d'eau de mer, avec une diminution progressive de la côte vers l'intérieur.



Comparaison des Déchets Solides Sauvages des Agglomérations

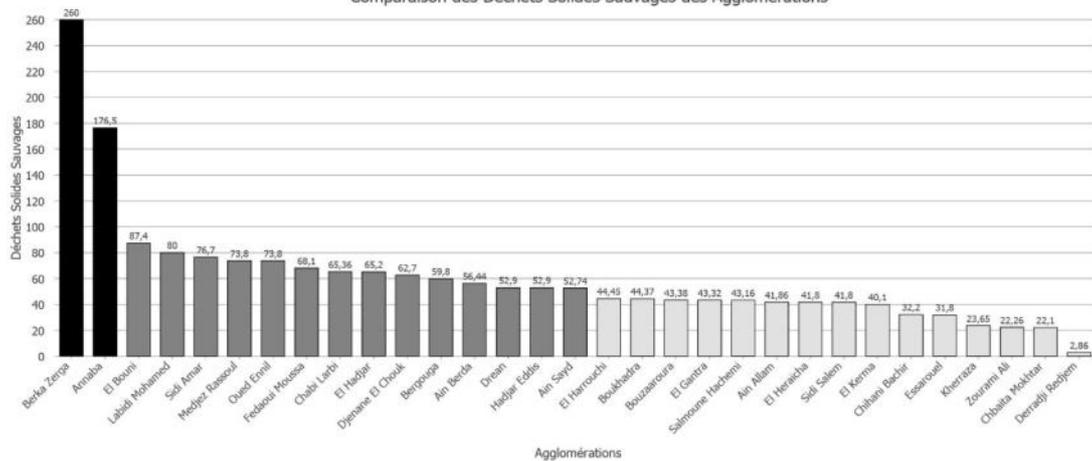
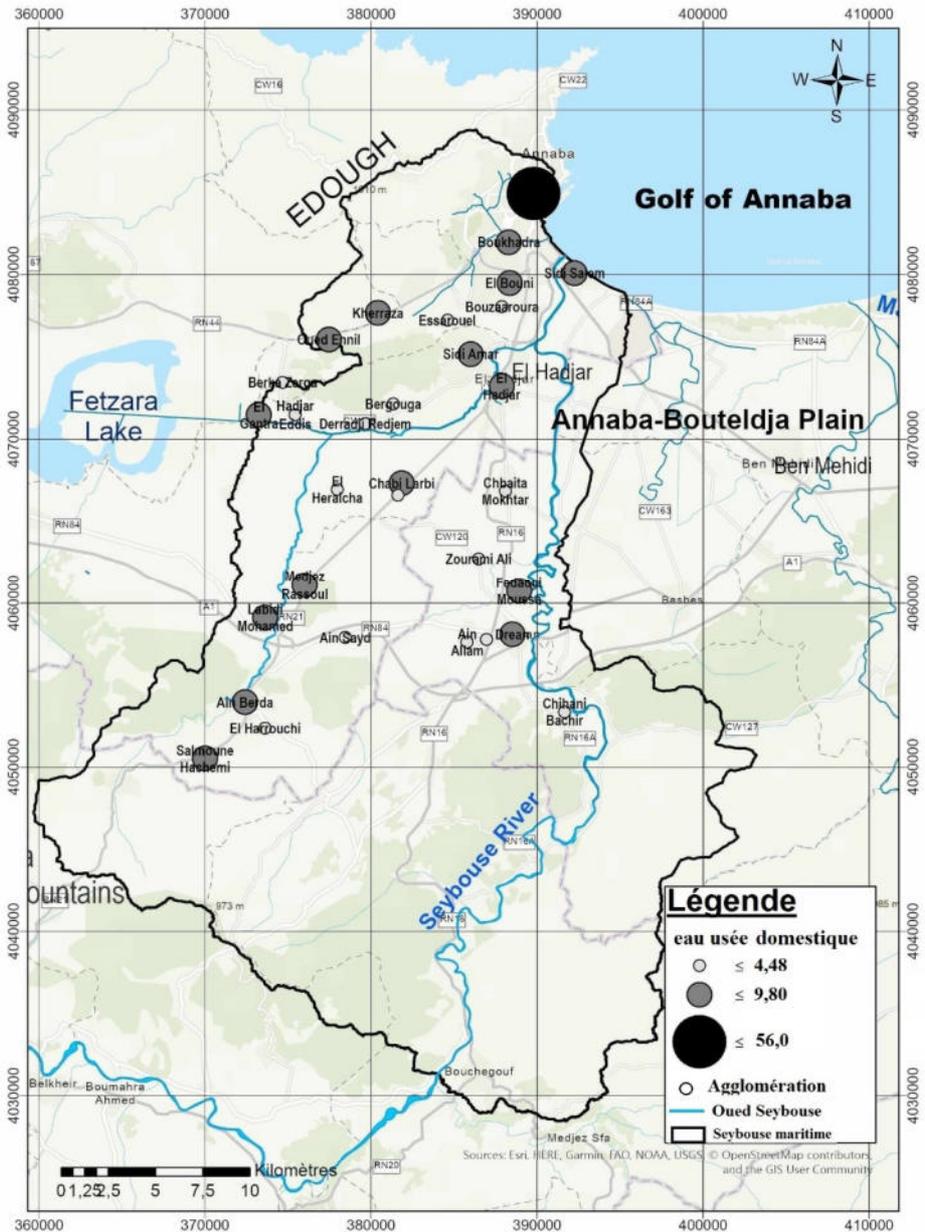


Figure 17 : Distribution spatiale des Déchets Solides pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison des Eaux Usées Domestiques des Agglomérations

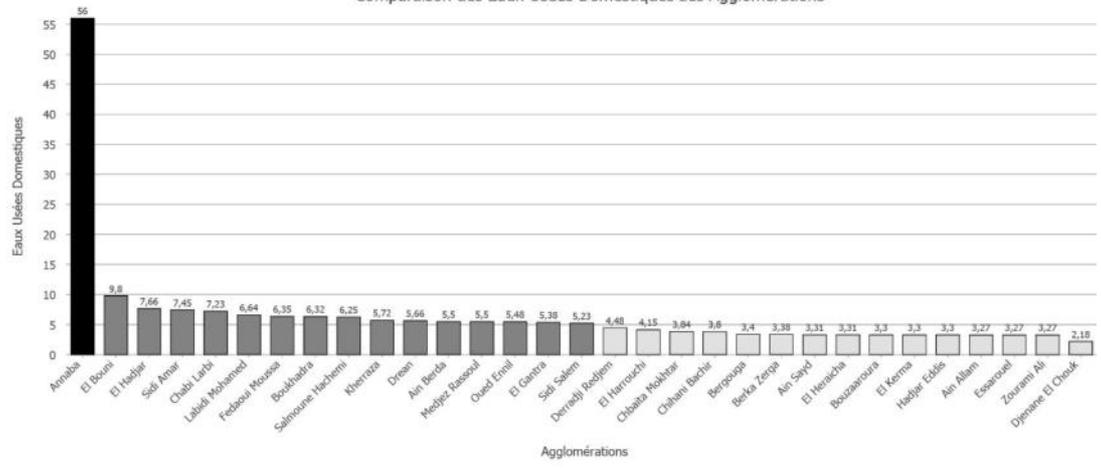


Figure 18 : Distribution spatiale de La Génération des Eaux Usées Domestiques pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse

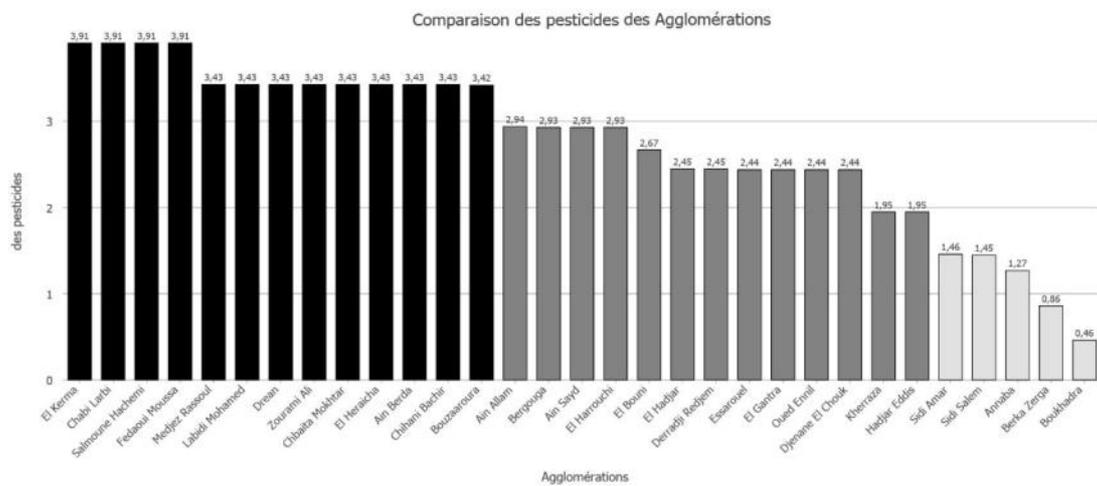
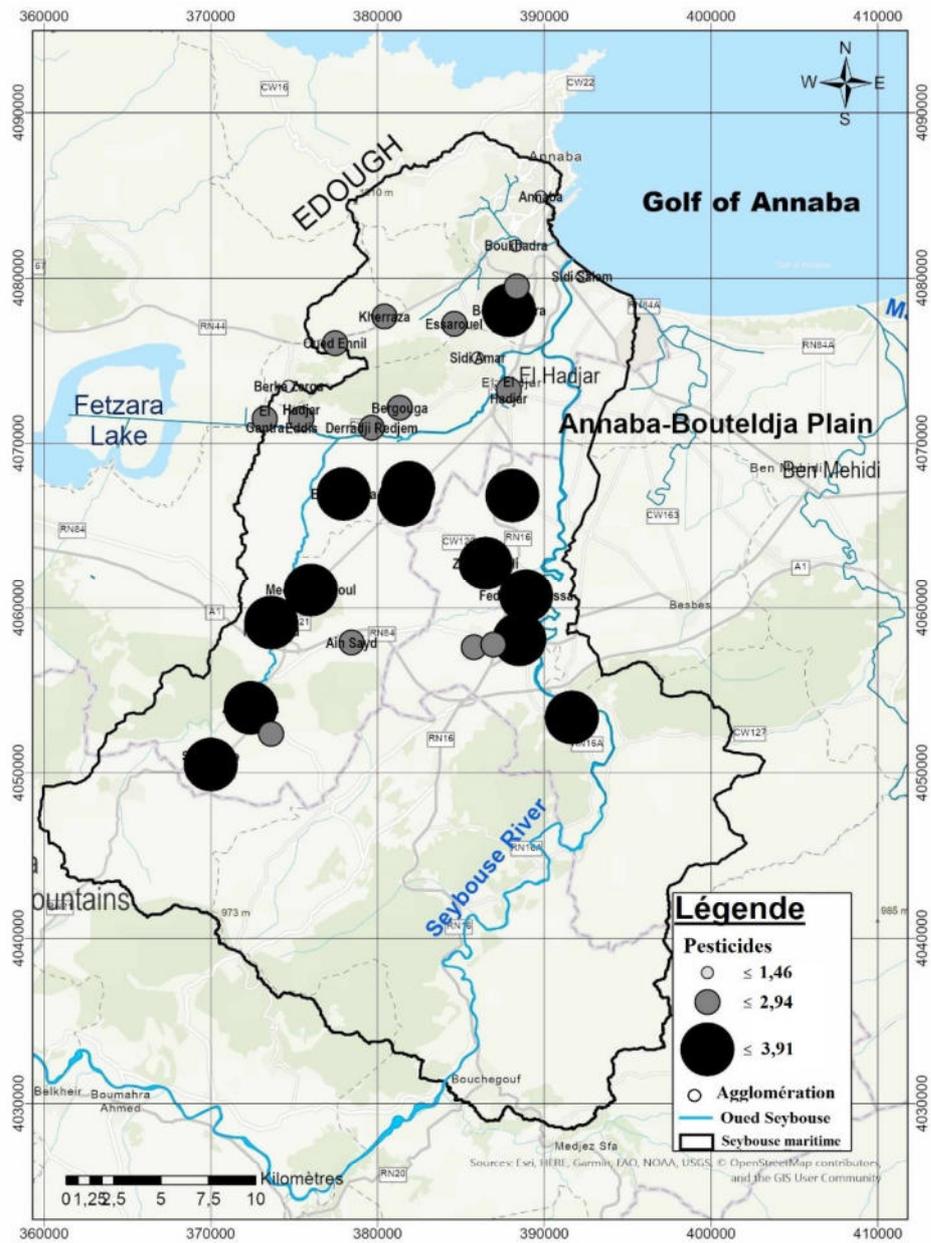
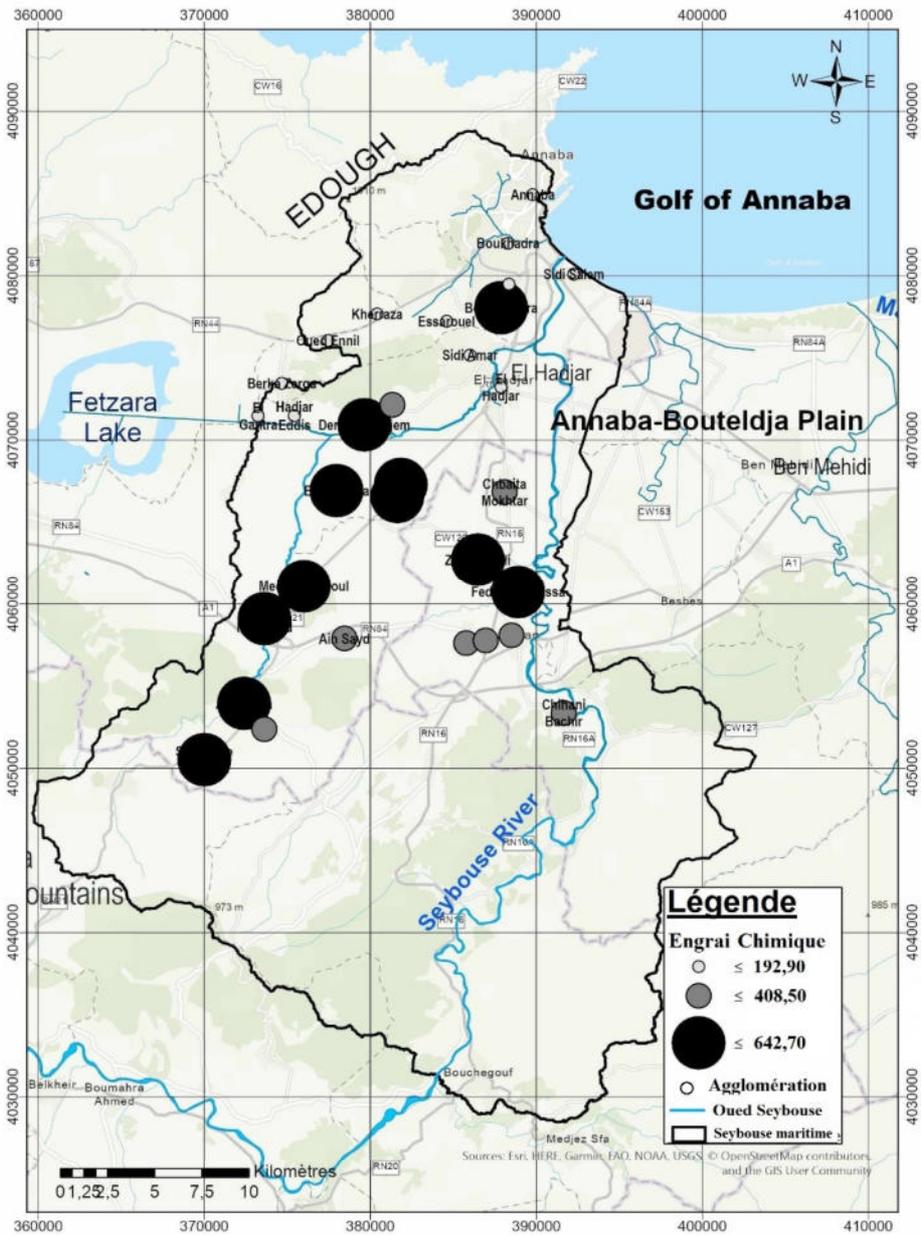


Figure 19 : Distribution spatiale des pesticides pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison des Engrais Chimiques des Agglomérations

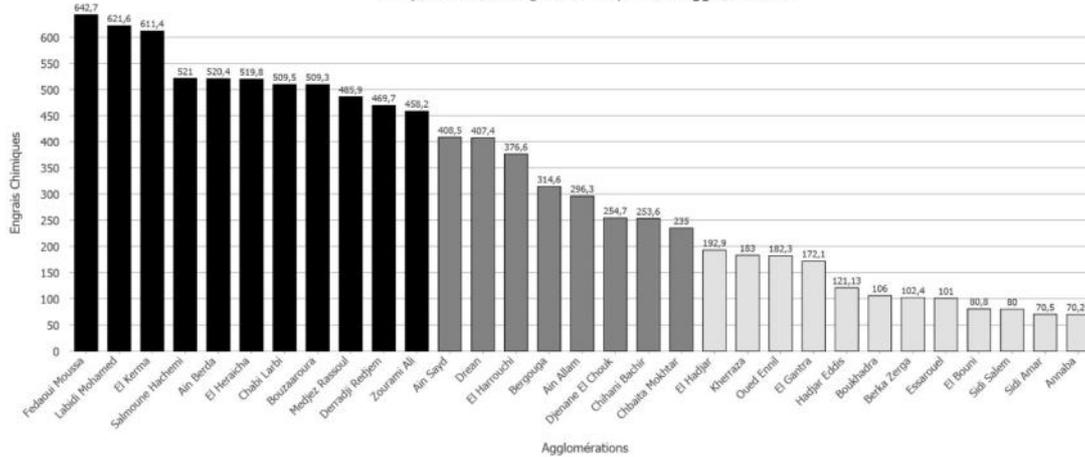
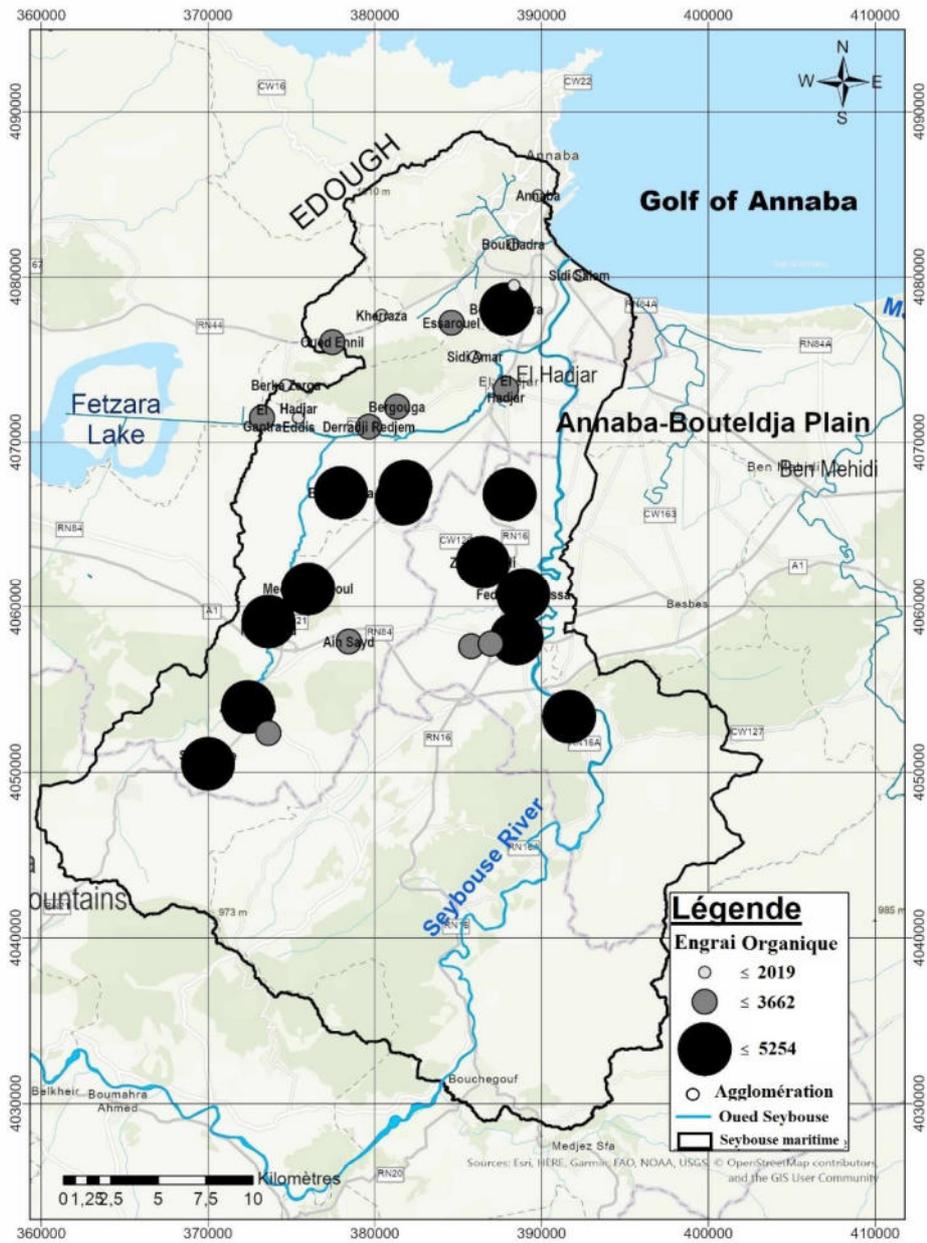


Figure 20 : Distribution spatiale des Engrais Chimiques pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison des Engrais Organiques des Agglomérations

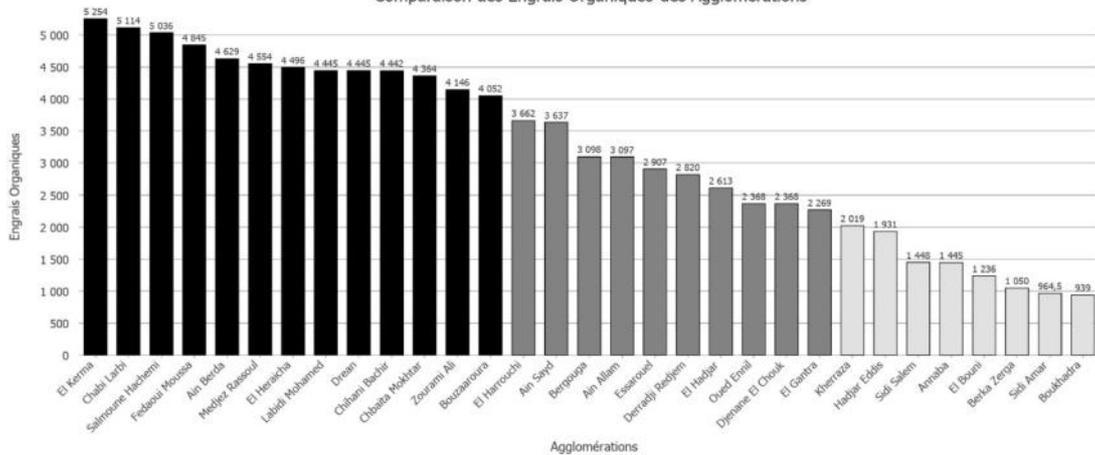
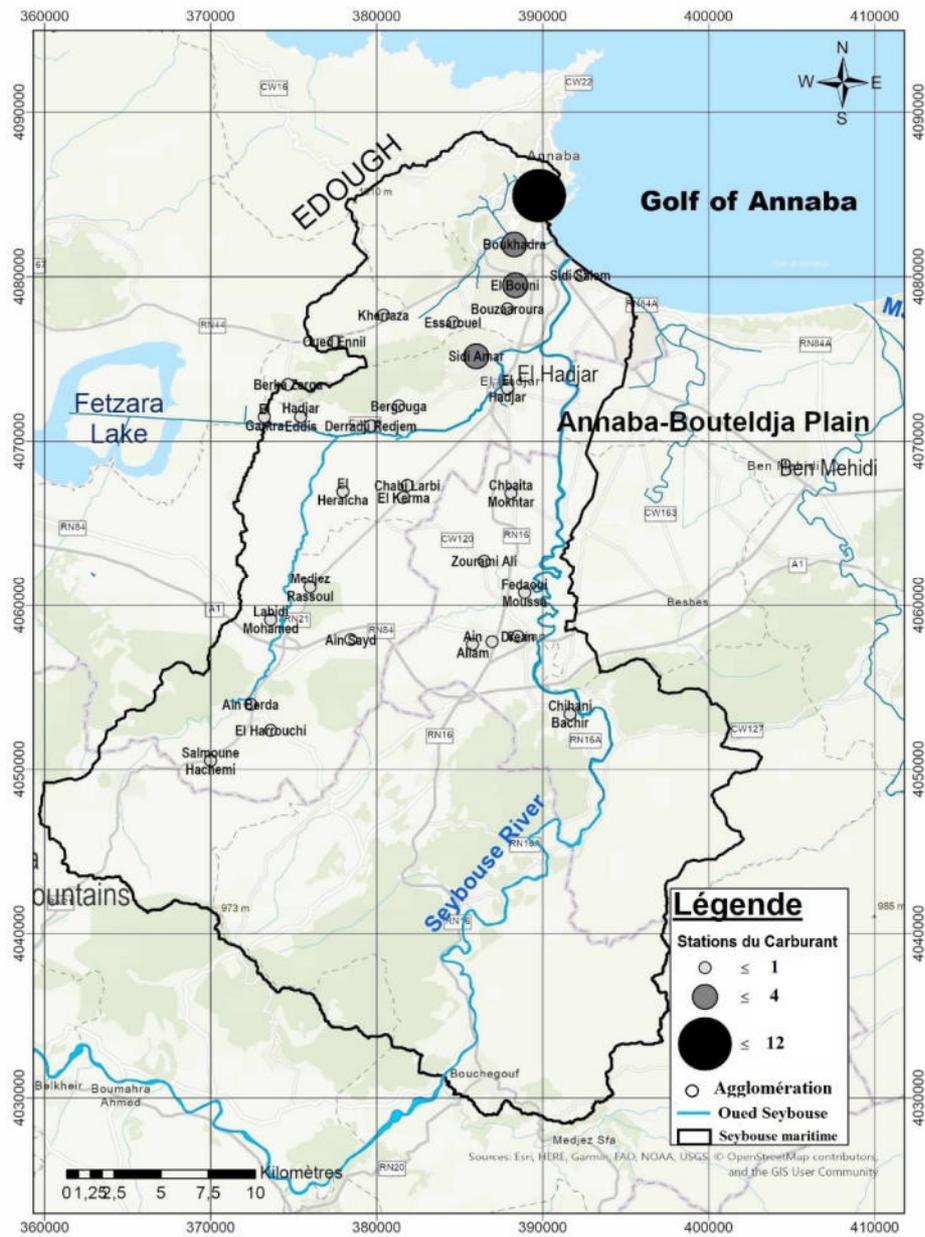


Figure 21 : Distribution spatiale des Engrais Organiques pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison des Stations du Carburant des Agglomérations

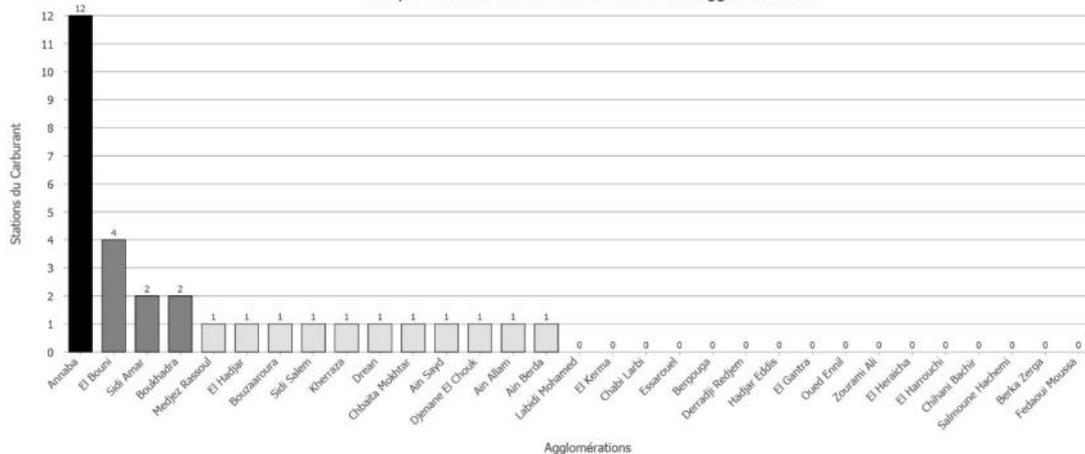
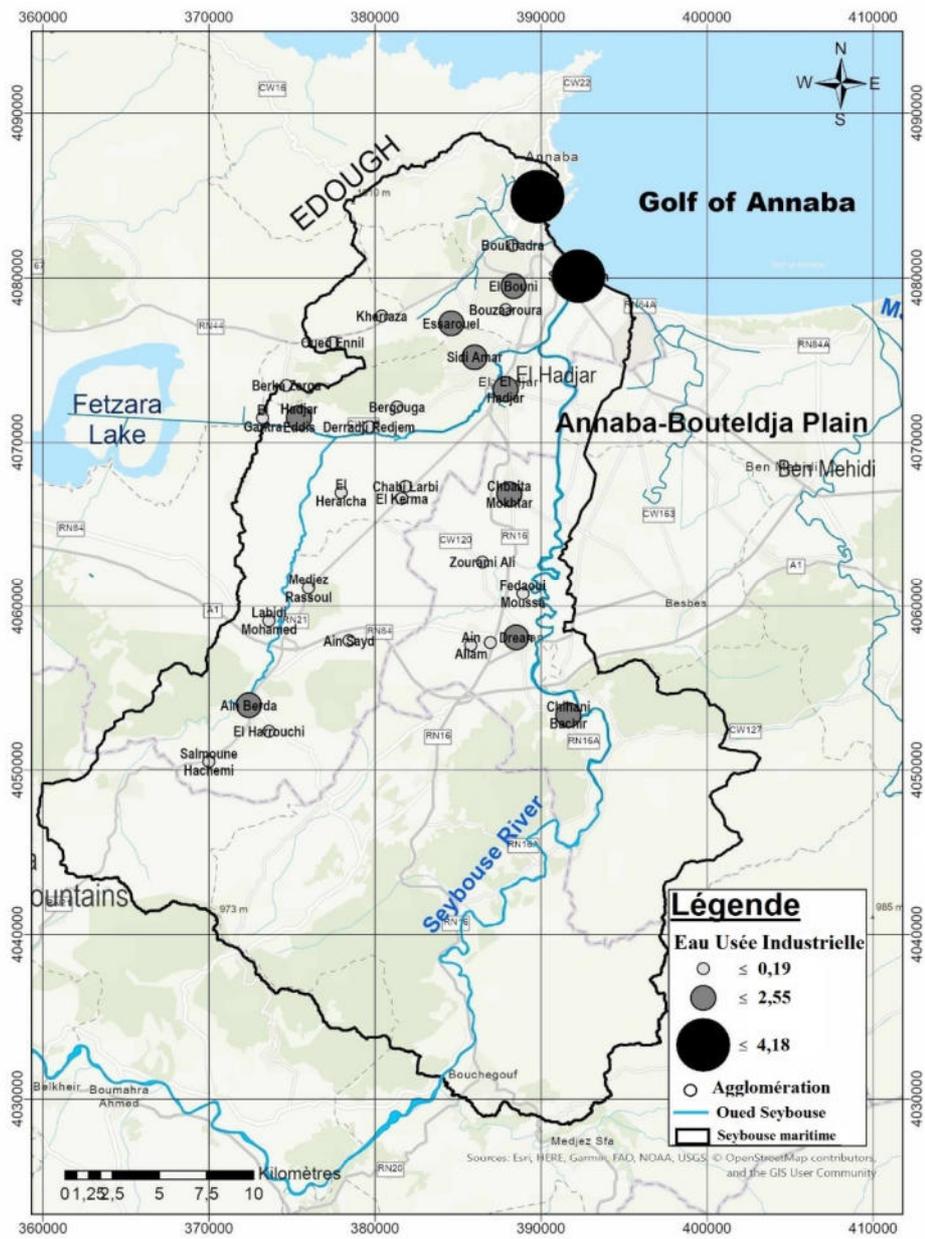


Figure 22 : Distribution spatiale Des Stations du Carburant pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse



Comparaison des Eaux Usées Industrielles des Agglomérations

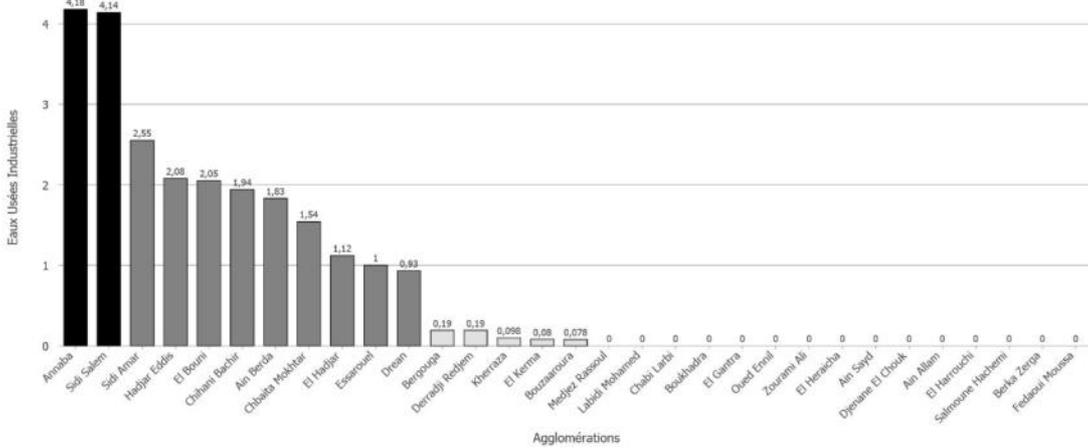
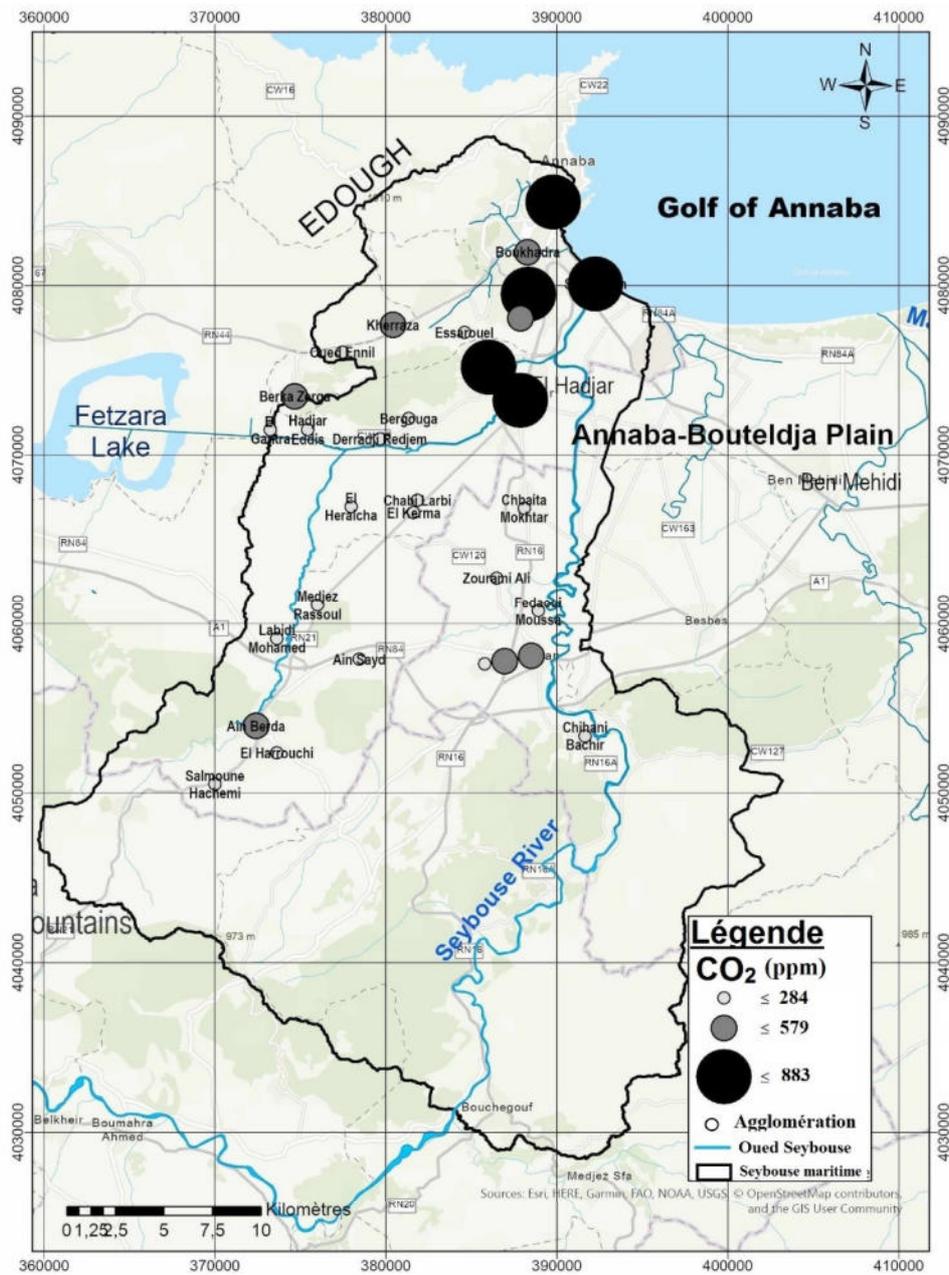


Figure 23 : Distribution spatiale Des Eaux Usées Industrielles pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Comparaison du Dioxyde de Carbone CO₂ des Agglomérations

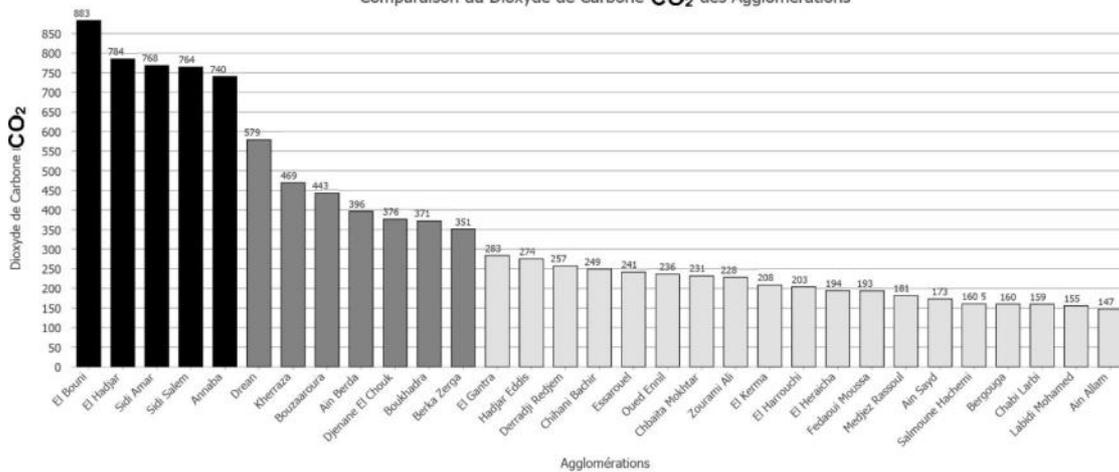
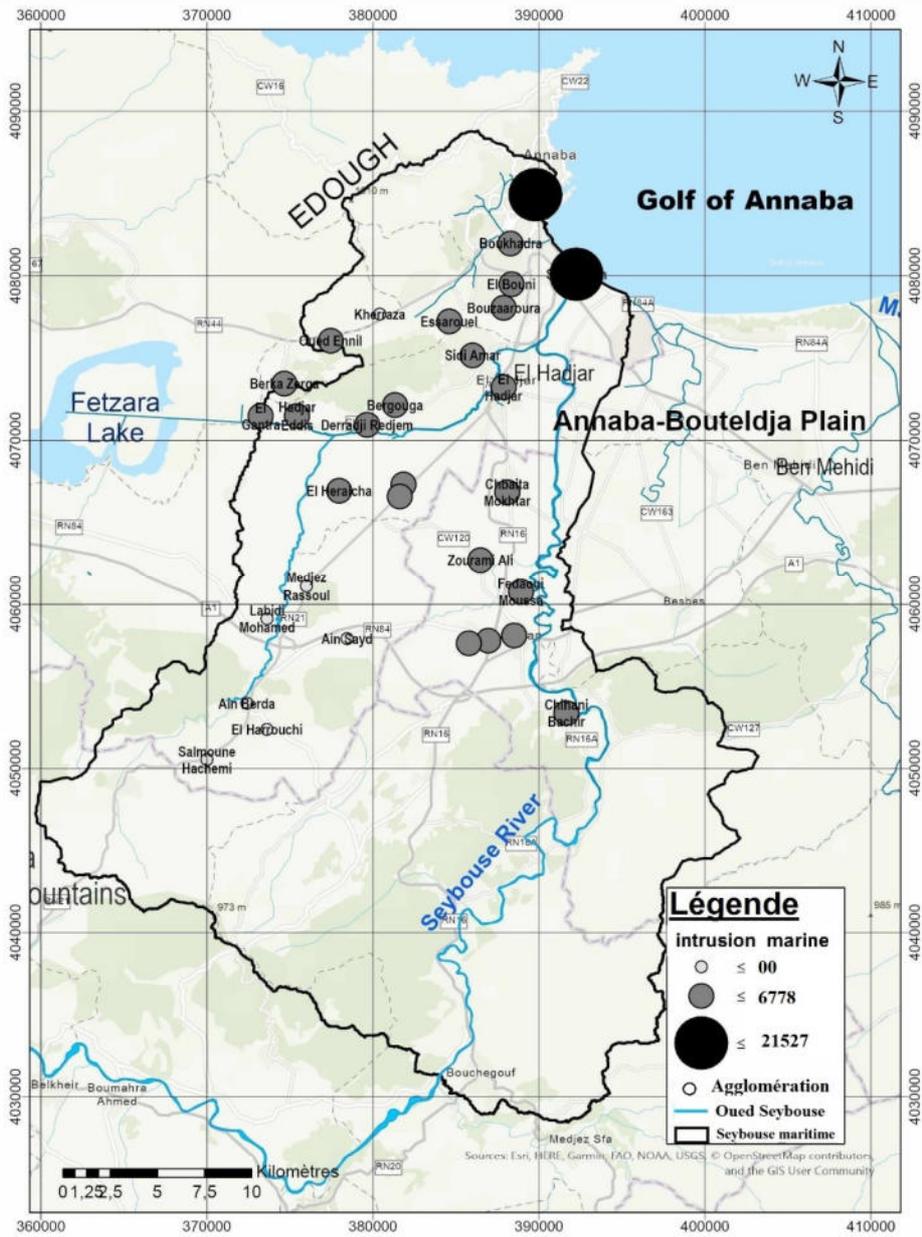


Figure 24 : Distribution spatiale Du CO₂ pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Comparaison de l'intrusion marine des Agglomérations

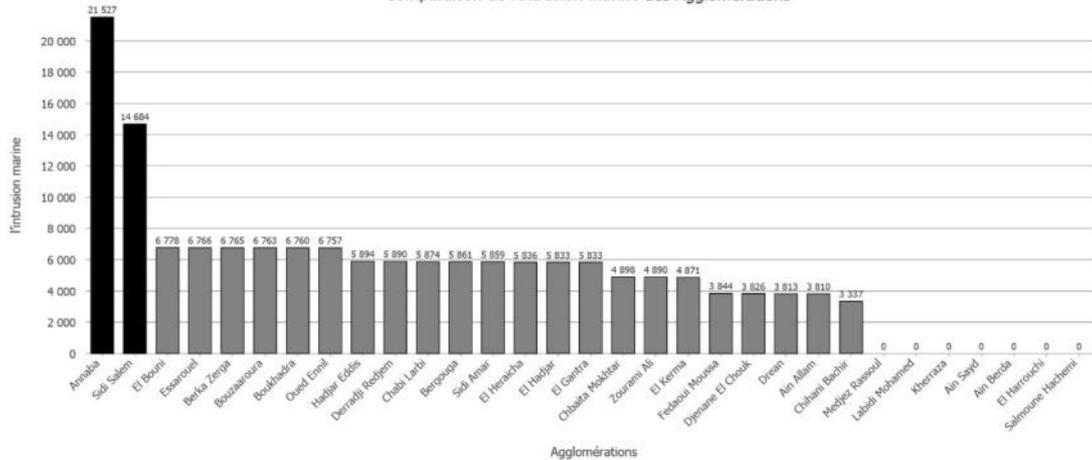


Figure 25 : Distribution spatiale de l’Intrusion marine pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse

I.1.1.2. La Catégorie des variables de La qualité de l'eau (State)

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des puits municipaux dans la zone d'étude, comme indiqué dans les figures de distribution spatiale des paramètres physico-chimiques, y compris TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , CE et pH. Ont été comparées aux recommandations formulées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2004) et les normes nationales pour la qualité de l'eau potable (NSDWQ, 2008).

- **Le Total des Sels Dissous (TDS) :** Le TDS reflète la salinité des eaux douces et son origine naturelle (précipitation, lessivages des formations, eaux usées...etc.). Il comprend les sels inorganiques principalement le Calcium, le Magnésium, le Potassium, le Sodium, les Carbonates les Bicarbonates, Chlorures, Sulfates et Phosphates. Le TDS est mesuré en milligramme par litre (mg.l^{-1}).

Les résultats des cartes spatiales ont montré une concentration élevée de TDS dans les eaux souterraines entre 1130 et 4637 mg.l^{-1} (Fig.26). Une concentration plus élevée de TDS a été observée dans le nord des municipalités à l'approche de la mer et des sites industriels actifs. Le TDS dans l'eau souterraine produite dans toutes les municipalités dépasse 1000 mg.l^{-1} . L'eau potable devient significativement et de plus en plus désagréable à des niveaux de TDS supérieurs à environ 1000 (mg.l^{-1}).

- **Le Calcium (Ca^{2+}) :** La présence du Ca^{2+} dans les eaux souterraines a deux origines, le premier est celui de la dissolution des calcaires (CaCO_3), et le second par la dissolution de la gypseuse (CaSO_4). La figure. 27 montre que les eaux souterraines présentent des concentrations en calcium variant de 34 et 394 mg.l^{-1} . Alors la plupart des points d'eau sont à la norme, à l'exception de quelque valeur élevée qui sont observées au niveau de quelques points au nord et au ouest de la zone d'étude à cause des lentilles gypseuses existant dans le réservoir aquifère et de la dissolution des cipolins (socle métamorphique) et à cause des formations évaporitiques qui existent à l'amont.

- **Le Magnésium (Mg^{2+}) :** L'origine du Mg^{2+} est semblable à celle du Ca^{2+} , parce qu'il provient de la dissolution des calcaires dolomitiques (Ca,MgCO_3) à fortes teneurs en magnésium. La figure 28 montre que la variation spatiale de la concentration en magnésium des eaux souterraines pendant la zone d'étude est variée de 11 à 124 mg/l . Des concentrations relativement élevées de Mg^{2+} et de Ca^{2+} , ont également été enregistrées, principalement en raison de la présence de roches carbonatées.

- **Les Chlorures (Cl^-) et le Sodium (Na^+) :** Une augmentation des valeurs de concentration de Sodium et de Chlorure a été observée dans la partie nord de la zone d'étude à l'approche de la mer, ce résultat peut donc être interprété par un phénomène de l'influence de l'eau de mer (Aoun

Sebaiti *et al.*, 2013; Debièche, 2002; Djabri *et al.*, 2003), et en raison de l'activité industrielle sont enregistrées dans la partie nord du bassin près d'Annaba, El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar (Debièche *et al.*, 2003; Attoui *et al.*, 2014; Hamzaoui *et al.*, 2017; Sayad *et al.*, 2017; Toumi *et al.*, 2017). La concentration de distribution spatiale des valeurs de distribution spatiale des eaux souterraines pour le sodium et le chlorure varie de 123 et 625 mg/l, et de 355 et 1622 mg/l, respectivement. Tous ces puits dépassent Selon les normes recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (*Organisation mondiale de la santé, 2004*), les concentrations maximales autorisées pour l'eau potable sont : 250 mg/l pour le chlorure.

- **Le Potassium (K^+)** : La variation spatiale de la concentration en potassium des eaux souterraines pendant la zone d'étude (Fig. 31) montre que la concentration en potassium variait de 2,3 à 248 mg/l. Des valeurs plus élevées de potassium sont principalement attribuées à la dissolution des minéraux du gneiss à deux micas qui prévaut dans les formations de substratum métamorphique, tandis que la fertilisation des cultures pourrait contribuer au phénomène.

- **Les Sulfates (SO_4^{2-})** : L'origine de la présence du SO_4^{2-} dans les eaux souterraines est la dissolution des formations gypseuse ($CaSO_4$). Ainsi, La carte de variation spatiale des sulfates (Fig. 32) montre que la concentration en sulfate des eaux souterraines dans la zone d'étude varie entre 24 mg/l et 517 mg/l. De plus, les valeurs élevées de l'ion sulfate se situent au nord-est et au sud de la zone d'étude. La concentration excessive de sulfate dans les eaux souterraines de la zone d'étude est due à la dissolution des formations gypseuses, Également, on peut associer à cette origine de forte concentration de cet élément dans les eaux souterraines l'apport des hydrocarbures bruts qui sont relativement chargés en sulfates.

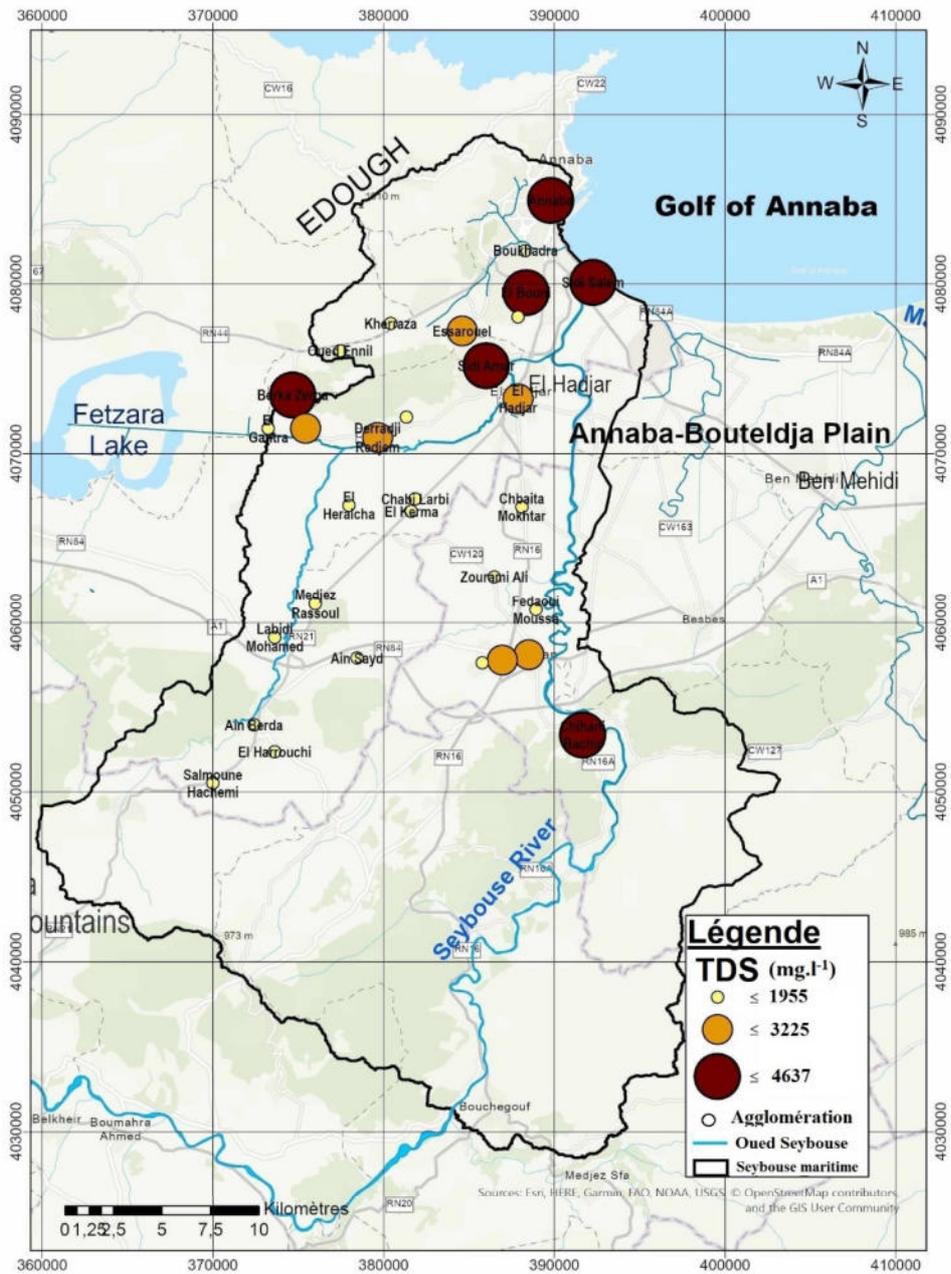
- **Les Bicarbonates (HCO_3^-)** : Les ions de bicarbonate sont définis par les hydrogénocarbonates et caractérisent essentiellement l'alcalinité des eaux naturelles. Ainsi, dans les eaux naturelles l'alcalinité, exprimée en HCO_3^- , varie de 66 à 486 mg.l⁻¹. La présence des bicarbonates dans l'eau est due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées (cipolins, calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique. Les fortes teneurs en bicarbonates sont dues principalement aux apports souterrains sortant du socle métamorphique (Fig. 33).

- **Les Nitrates (NO_3^-)** : L'analyse des graphiques de la conductivité électrique montre que la majorité des points d'eau La carte de distribution spatiale des nitrates varie de 0,25 à 4,66 mg/l, les quantités de nitrates dans les eaux souterraines étudiées sont de première classe selon les normes de l'OMS (Organisation mondiale de la santé, 2004). Ces valeurs sont attribuées aux activités agricoles et d'élevage.

- **Conductivité Électrique (CE) $\mu S.cm^{-1}$** : Cartographier la tendance de la variation spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone d'étude. La conductivité

électrique variait de 725 à 2928 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique montre que la majorité des points d'eau dépassent la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable, les valeurs les plus élevées de la CE correspondent à des sites situés au nord-est et au centre de la zone d'étude.

- **Le potentiel en Hydrogène (pH) :** Le pH de l'eau est la mesure de l'équilibre acide-base, il est contrôlé par le système d'équilibre CO_2 -Bicarbonates-Carbonates. La carte de la distribution spatiale du pH (concentration en ions hydrogène) se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité avec des valeurs du pH varient de 6,9 à 8,6, et présentent une évolution naturelle normale, ce qui est dans la distribution spatiale limite souhaitable du pH.



Graphique des valeurs TDS des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

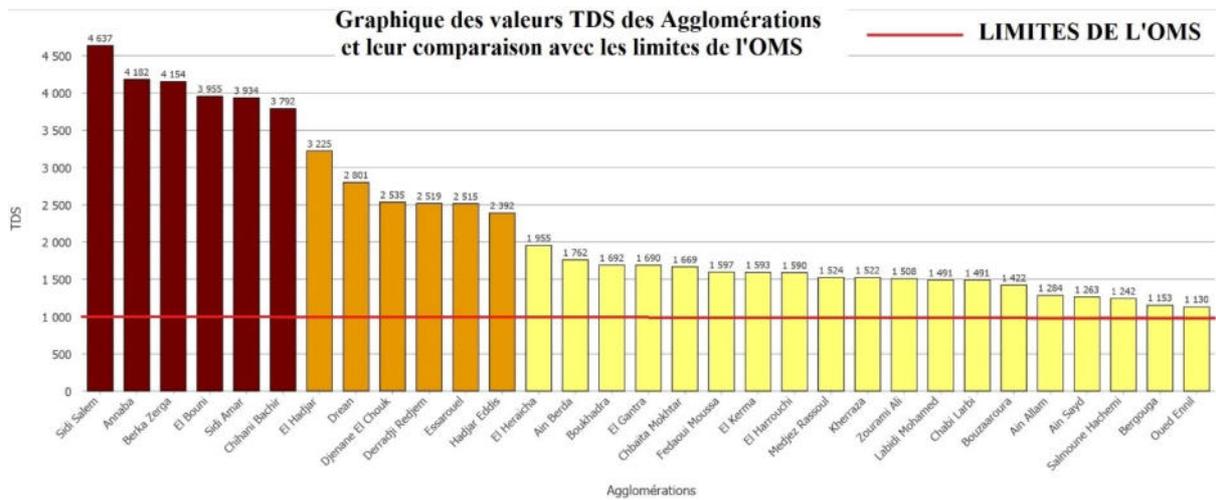
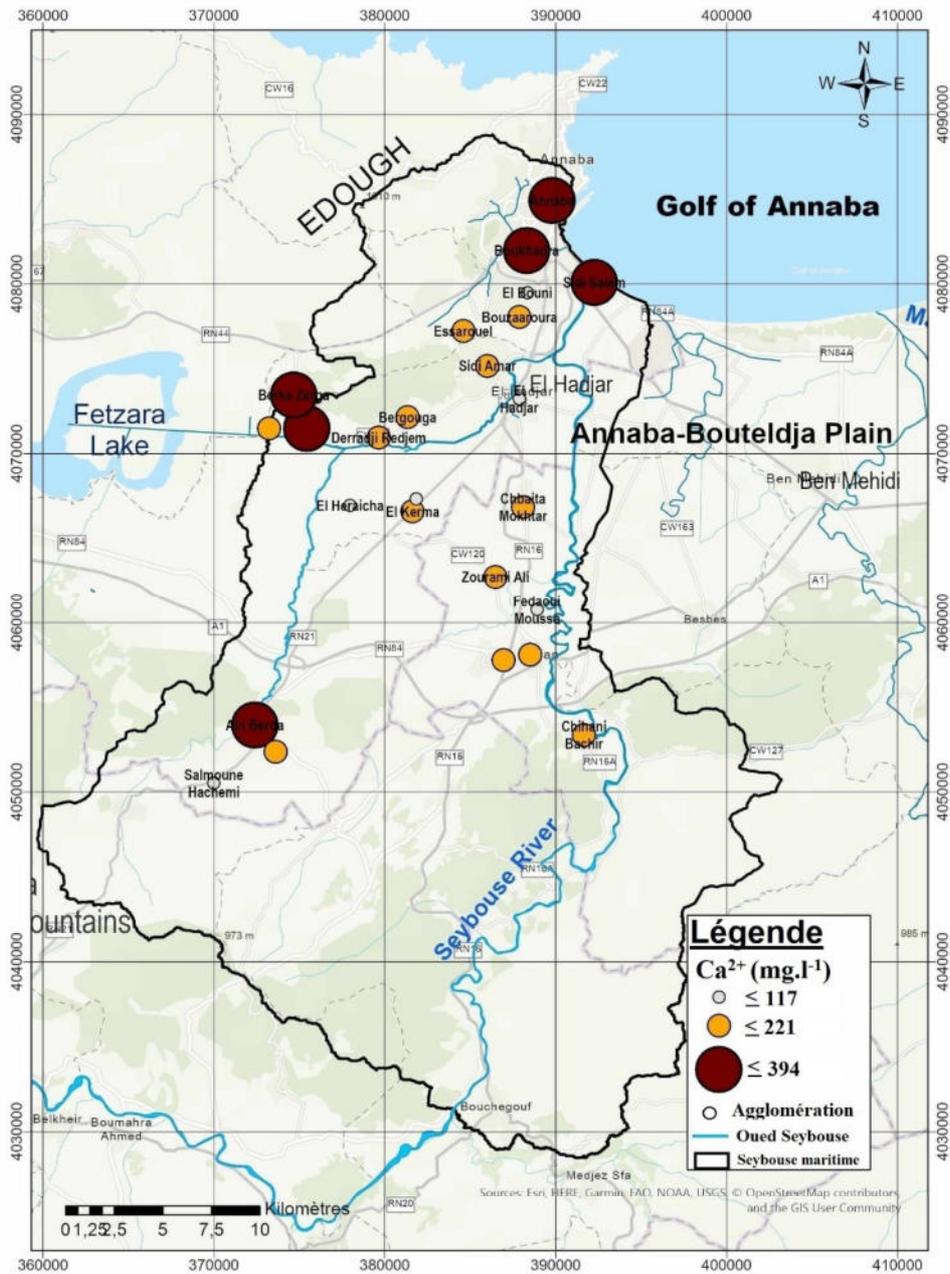


Figure 26 : Distribution spatiale de La TDS pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs Ca²⁺ des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

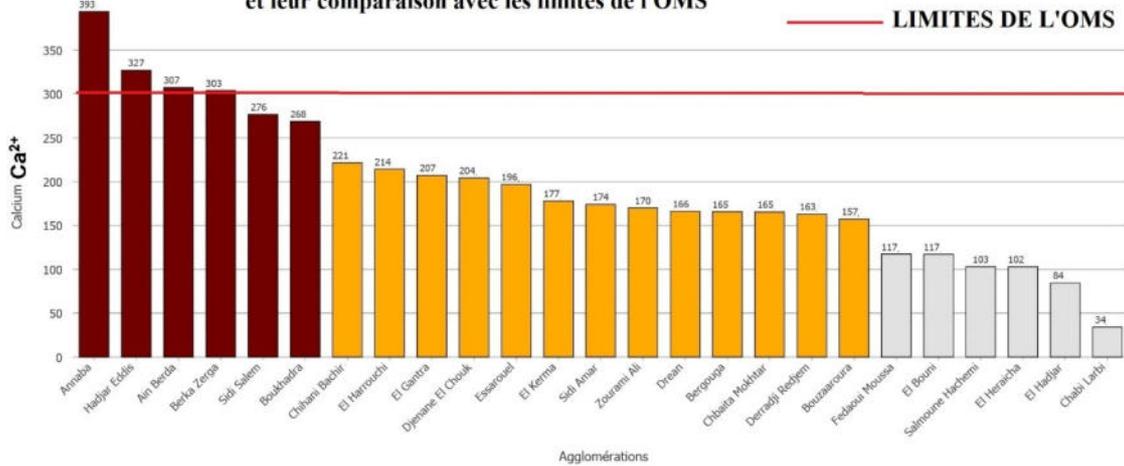
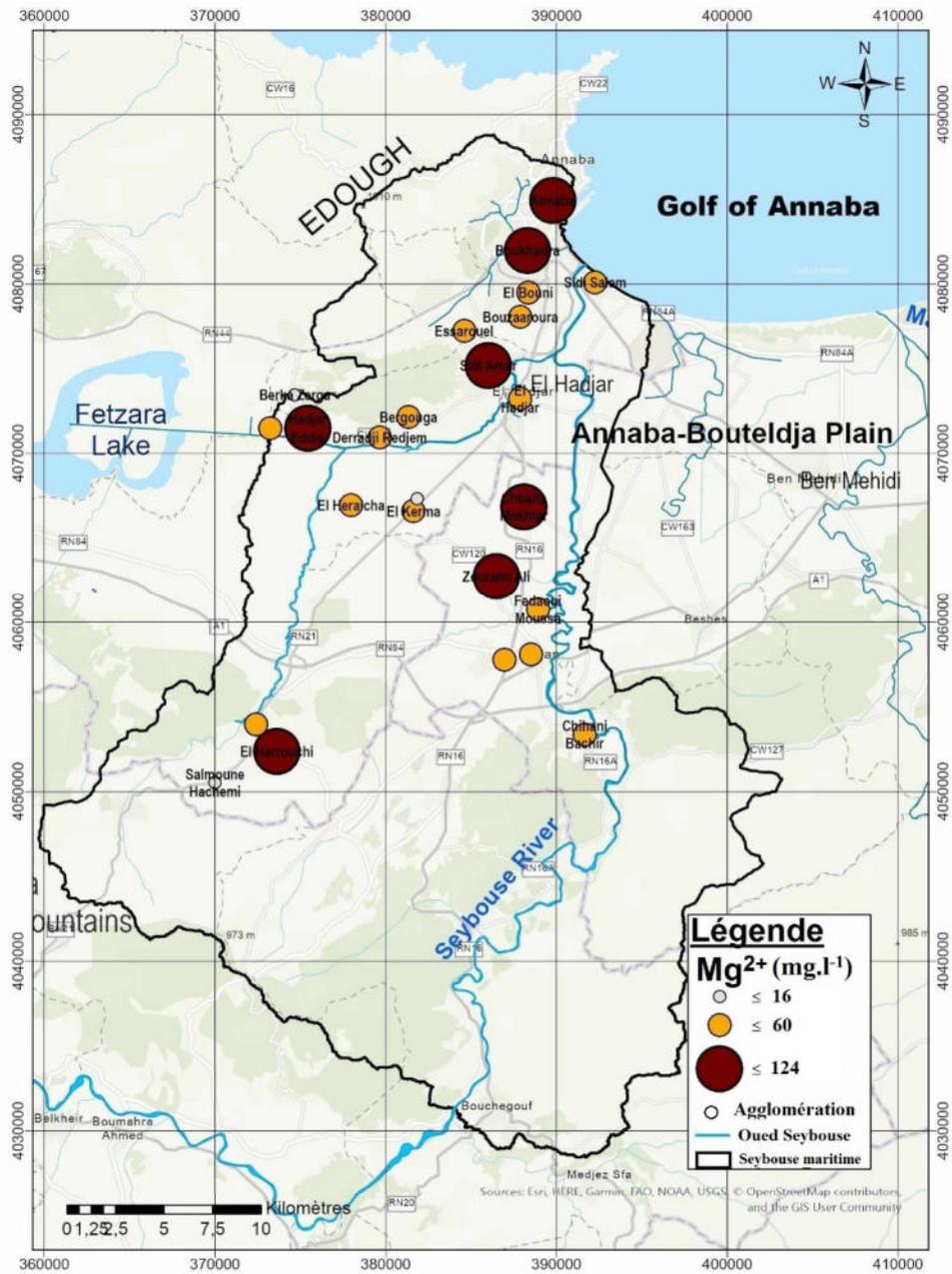


Figure 27 : Distribution spatiale du (Ca²⁺) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs Mg^{2+} des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

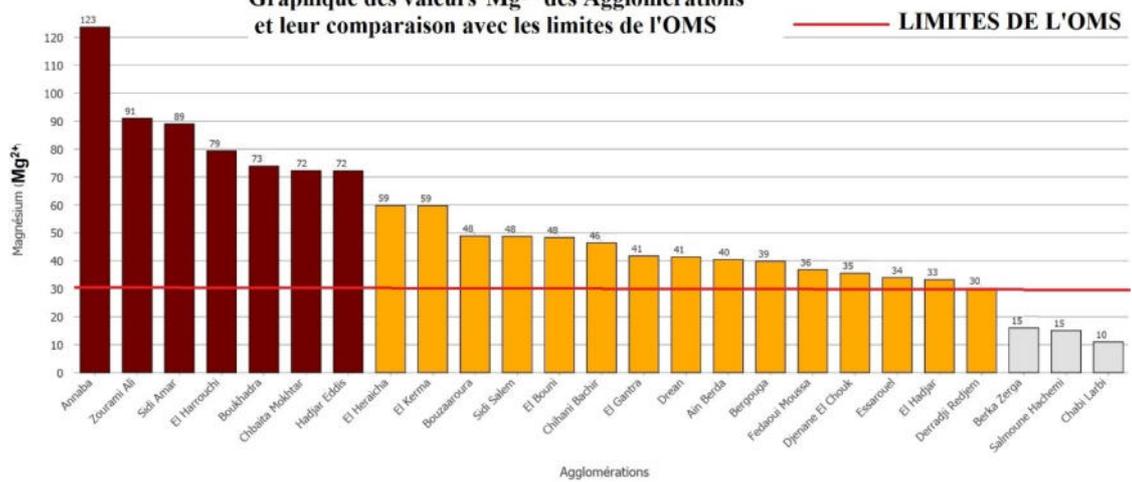
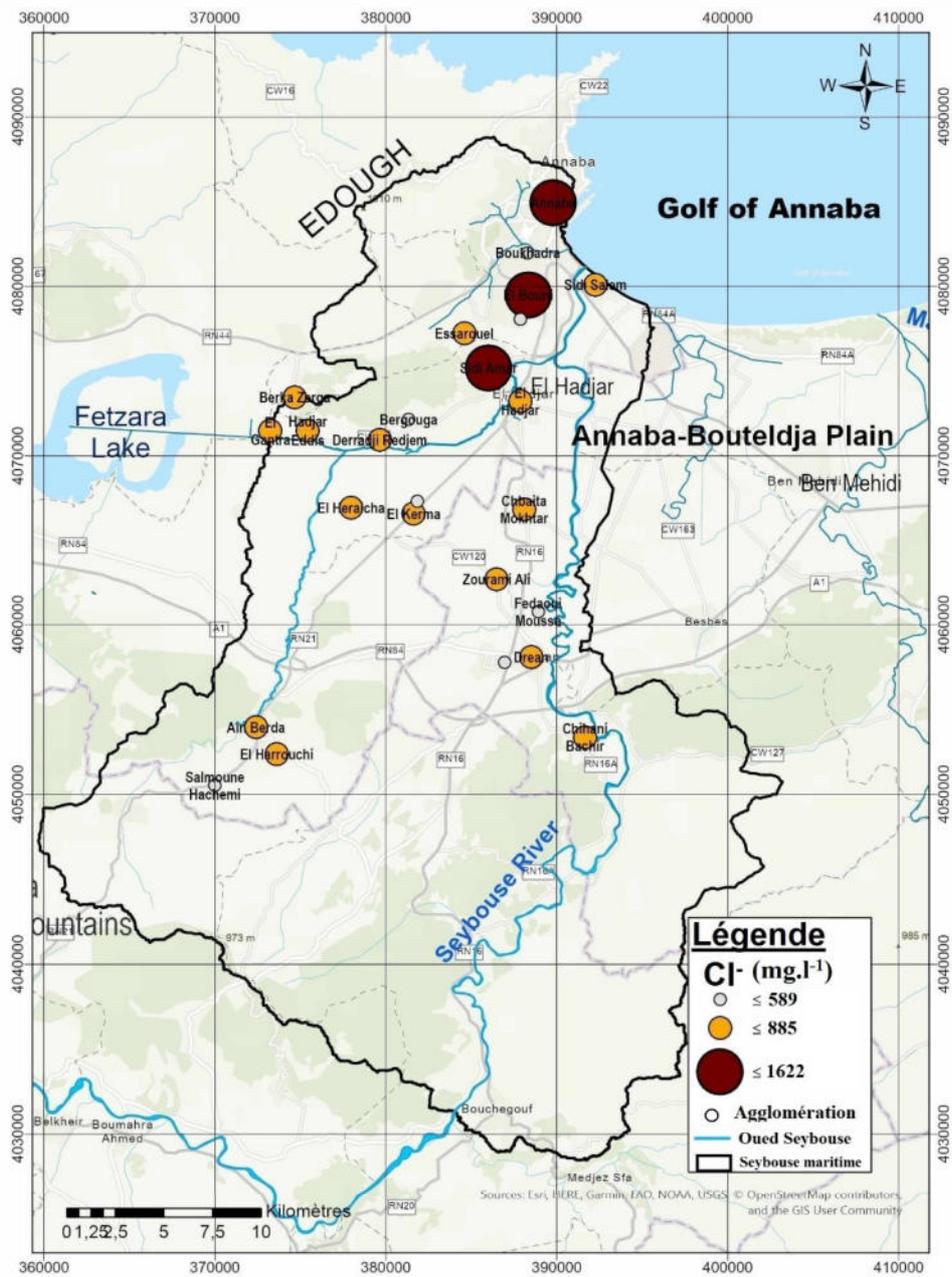


Figure 28 : Distribution spatiale Du (Mg^{2+}) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs Cl⁻ des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

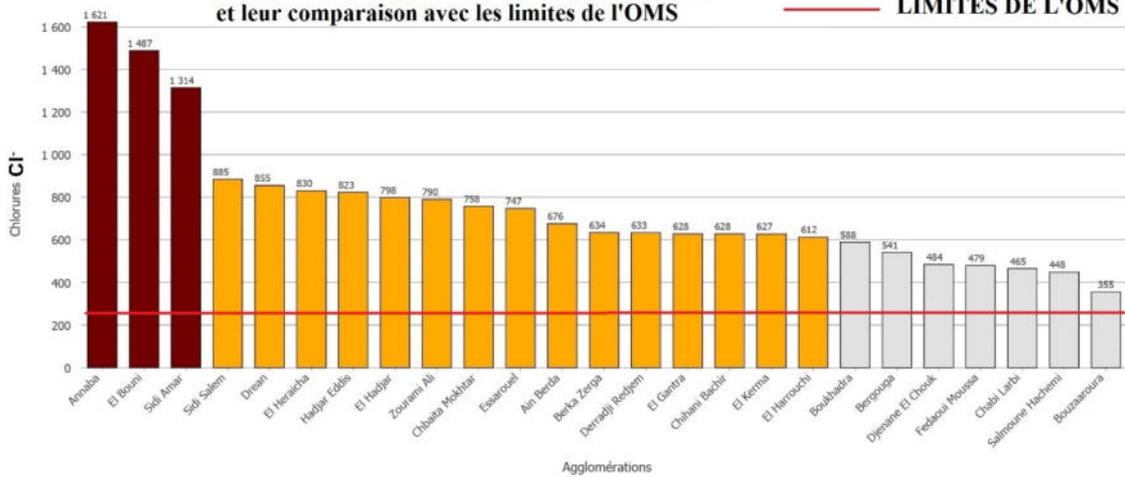
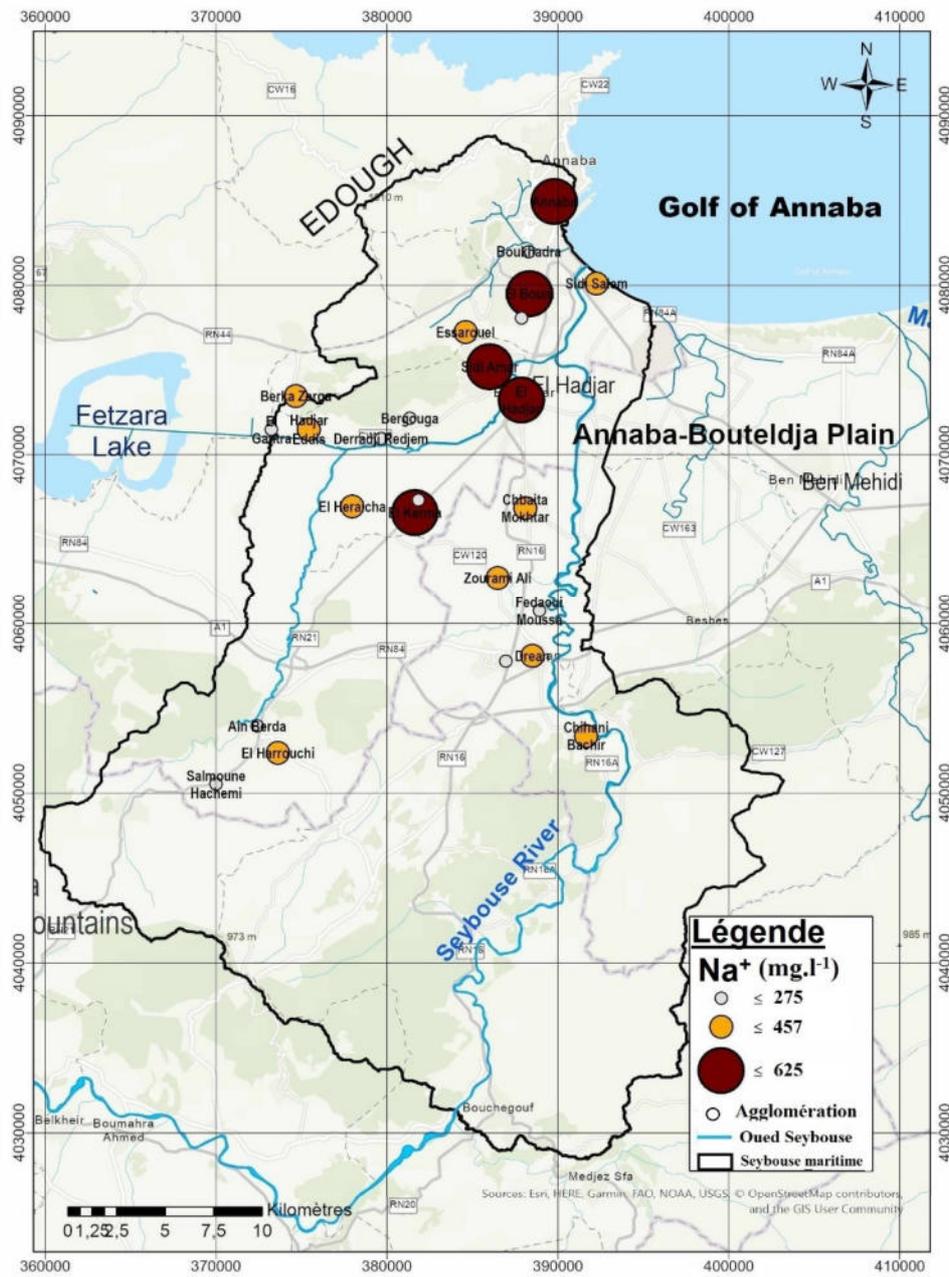


Figure 29 : Distribution spatiale Du (Cl⁻) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs Na⁺ des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

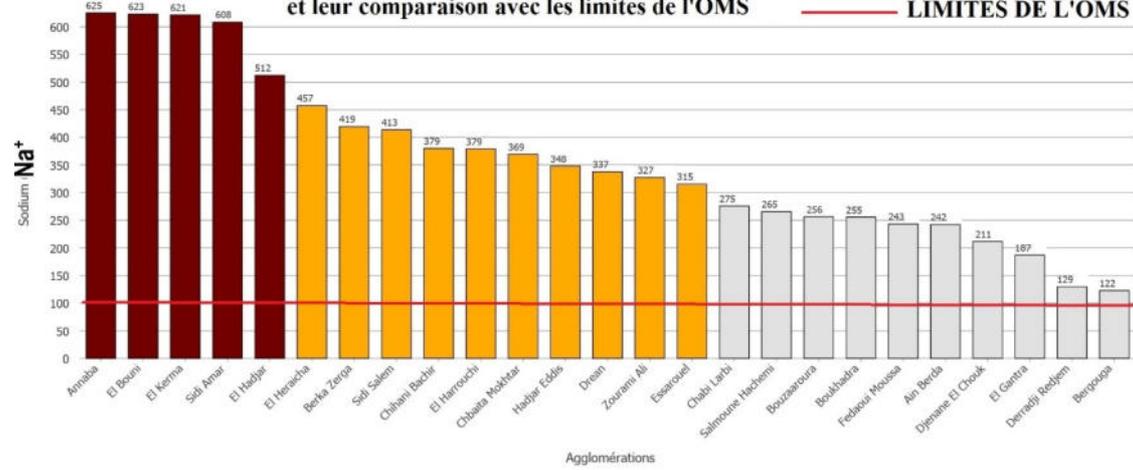
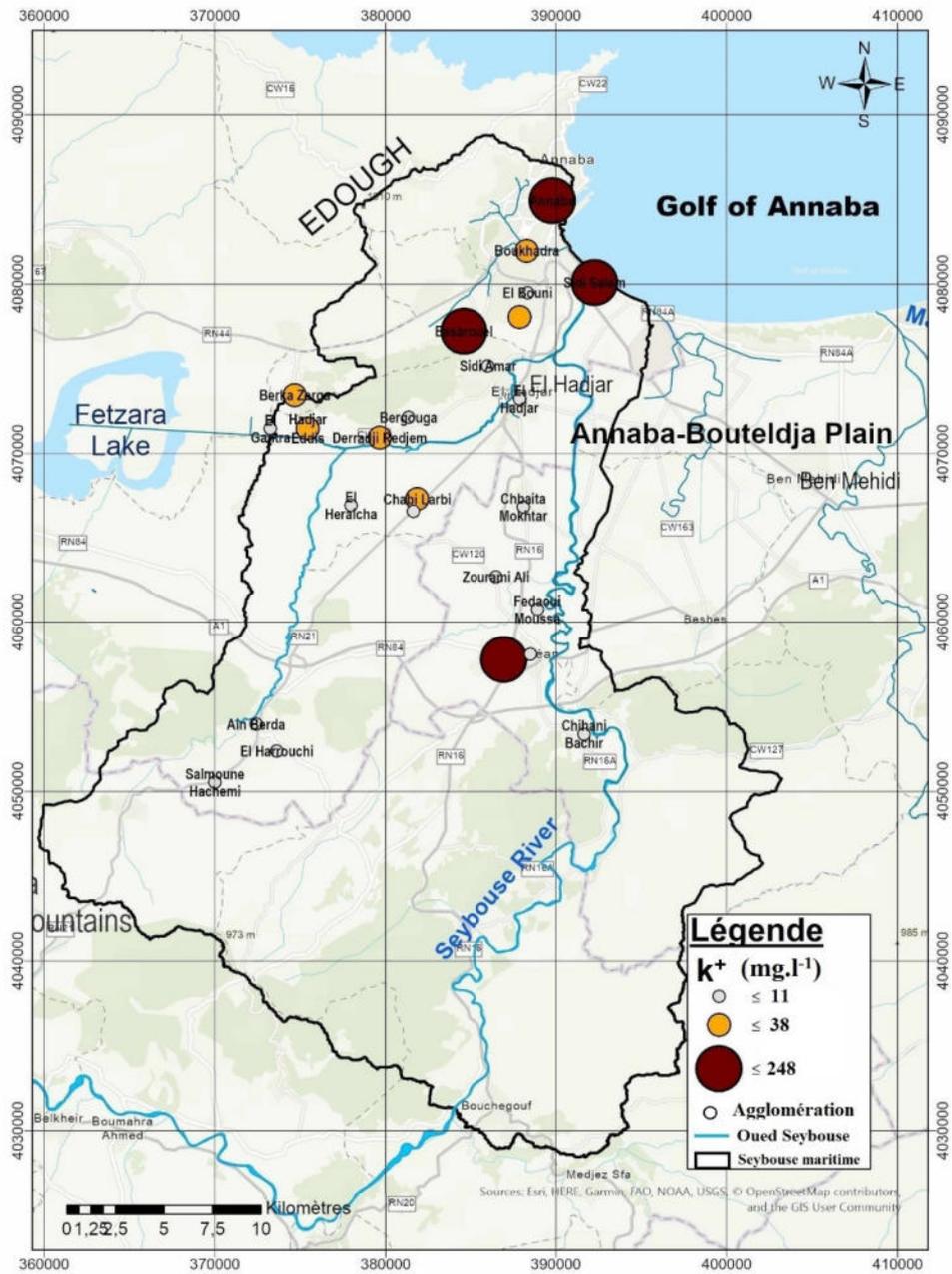


Figure 30 : Distribution spatiale Du (Na⁺) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs K^+ des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

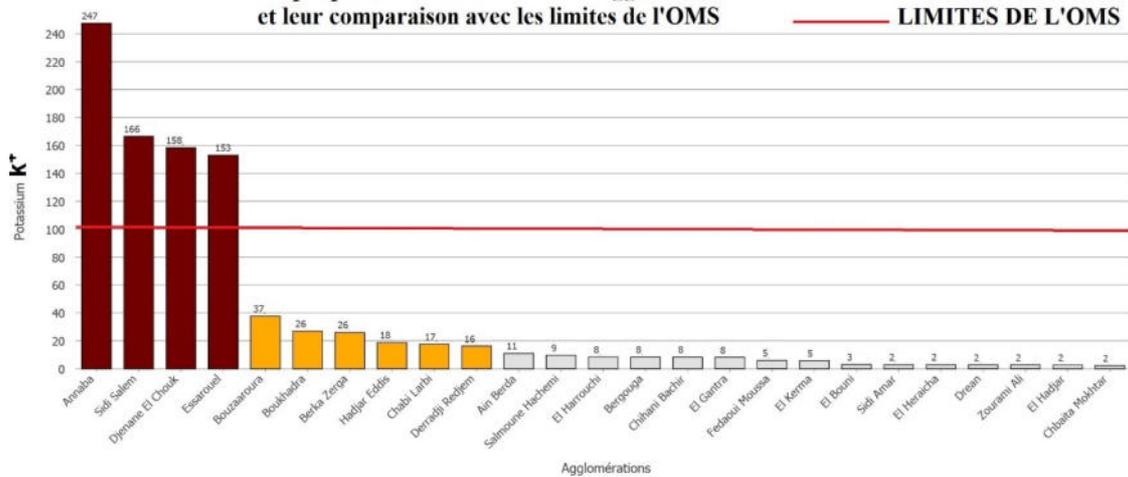
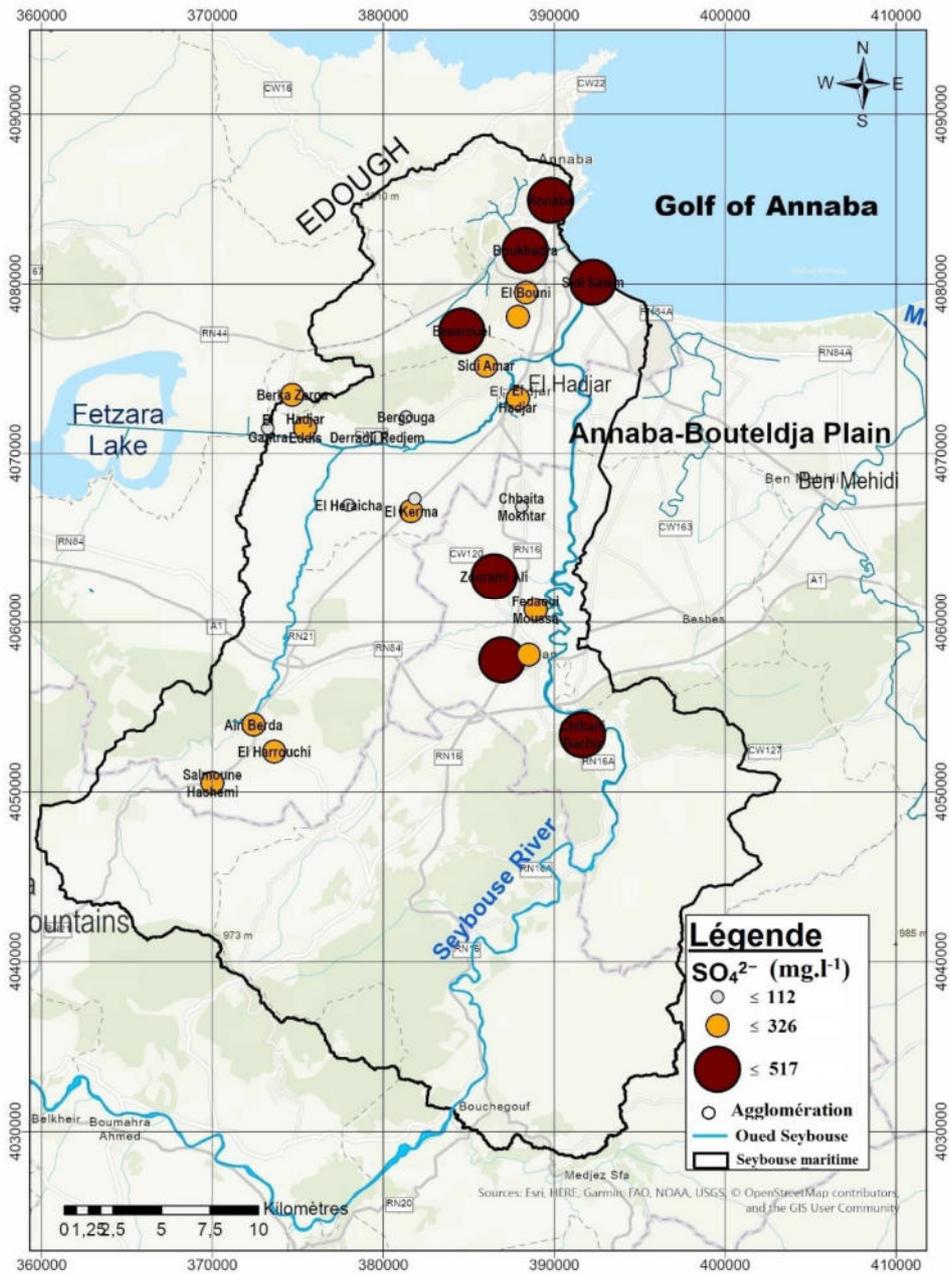


Figure 31 : Distribution spatiale Du (K^+) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs SO_4^{2-} des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

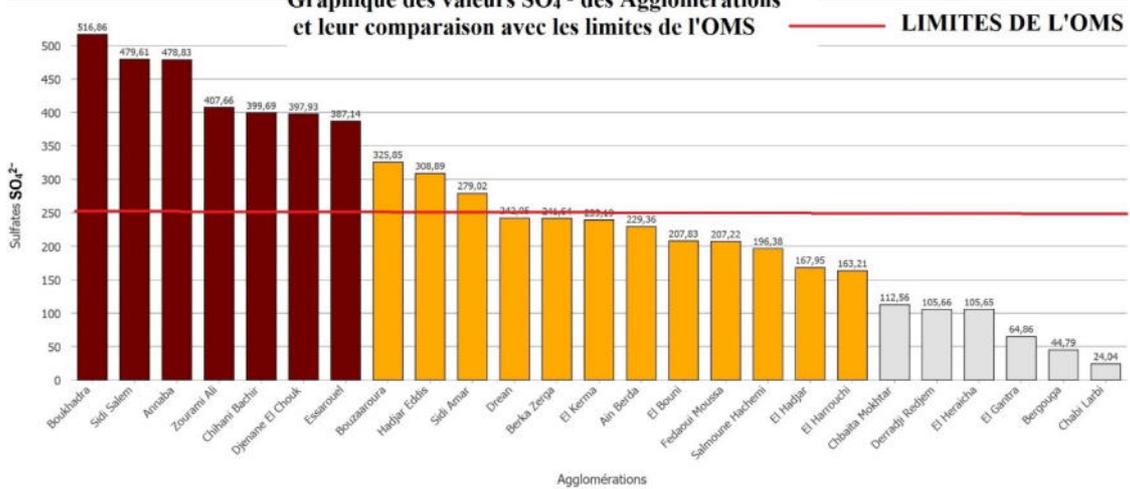


Figure 32 : Distribution spatiale Des (SO_4^{2-}) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

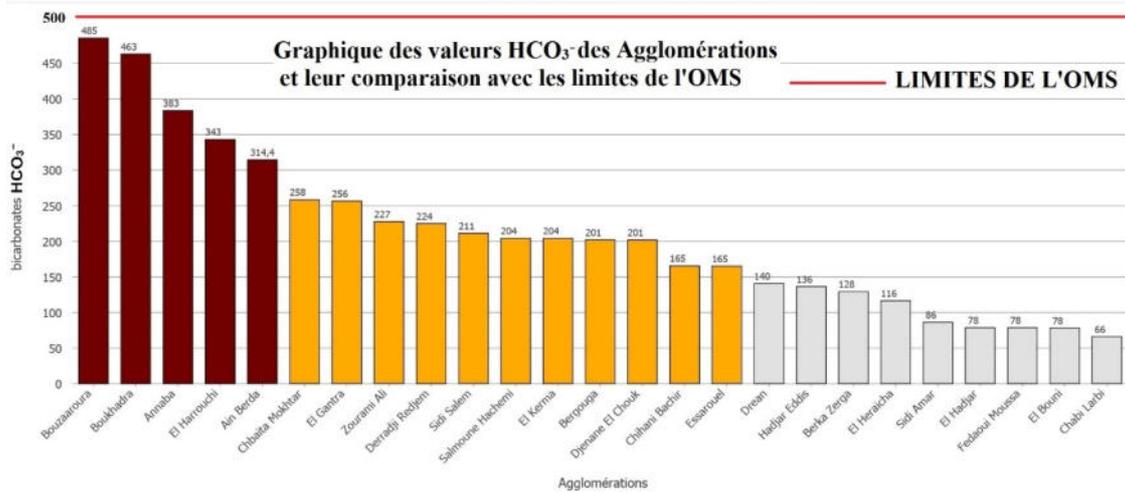
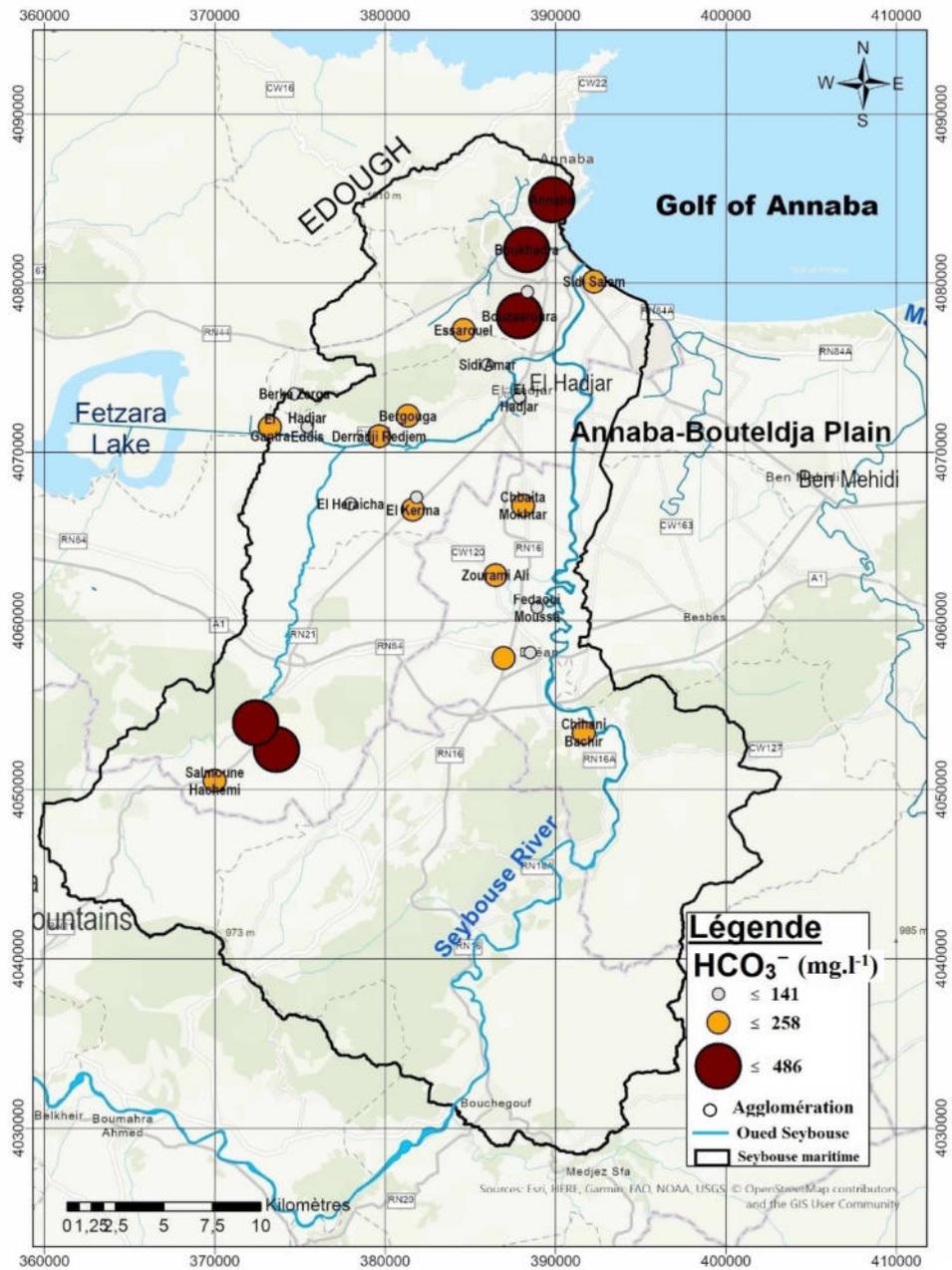
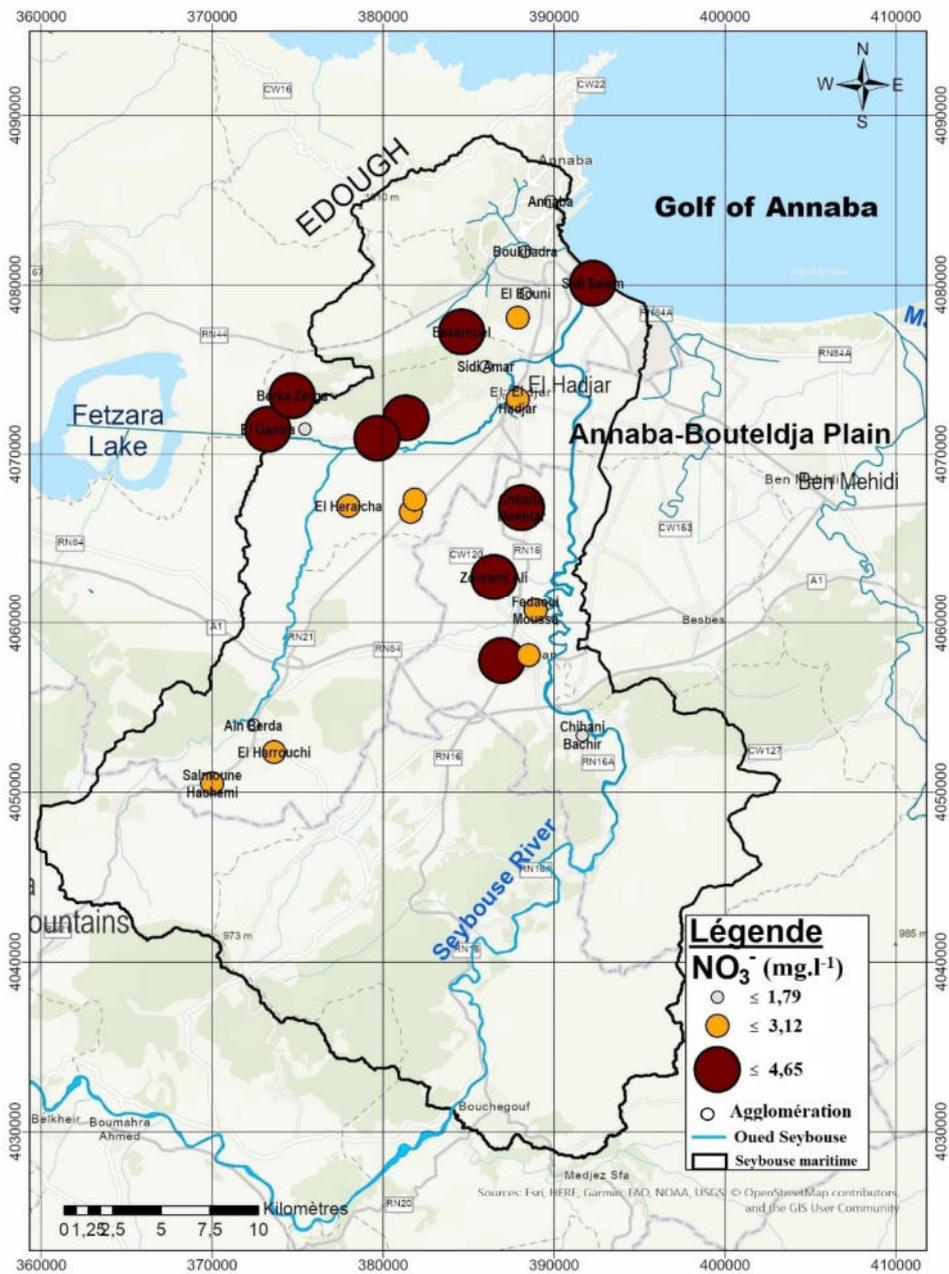


Figure 33 : Distribution spatiale des (HCO_3^-) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Comparaison Des Nitrates NO_3^- des Agglomérations

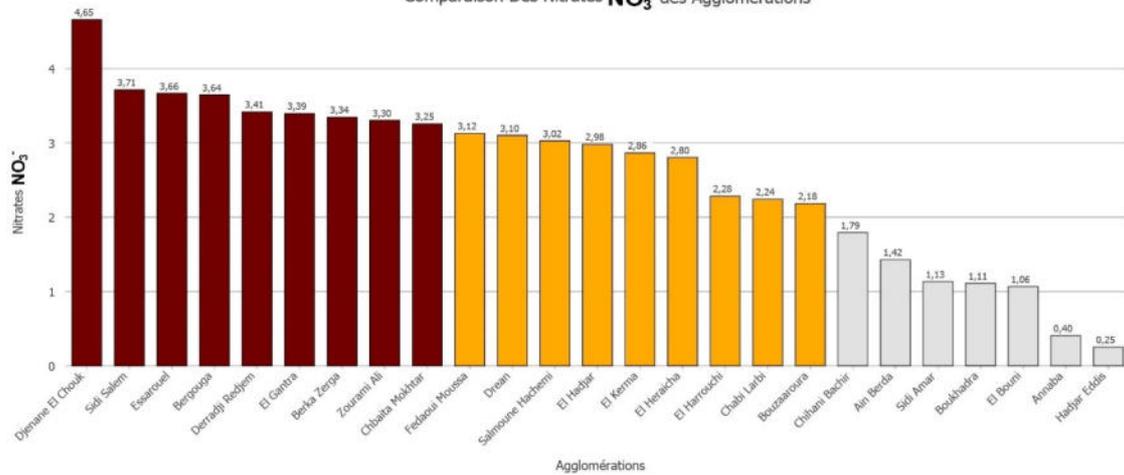
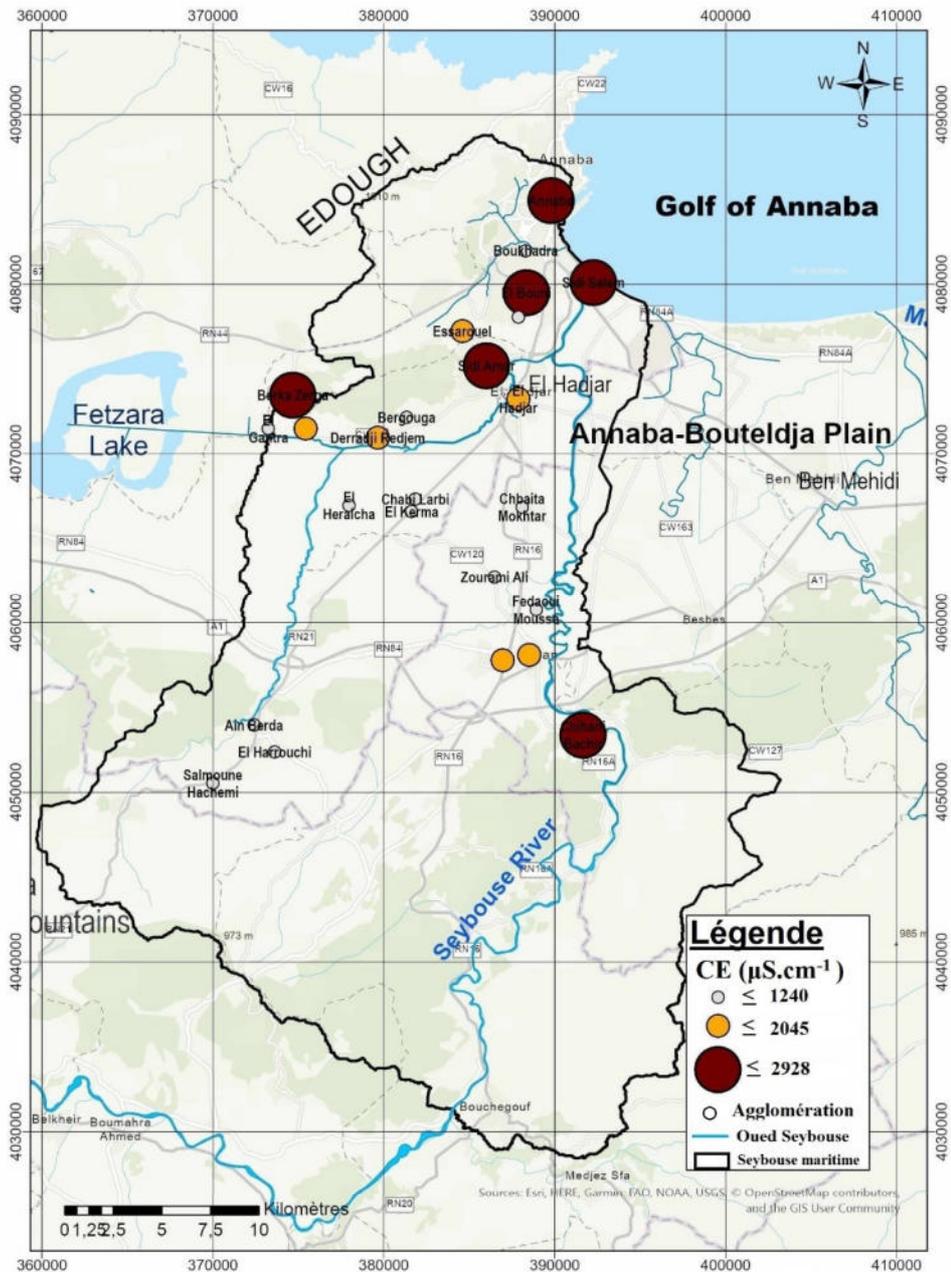


Figure 34 : Distribution spatiale Des (NO_3^-) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Graphique des valeurs CE des Agglomérations et leur comparaison avec les limites de l'OMS

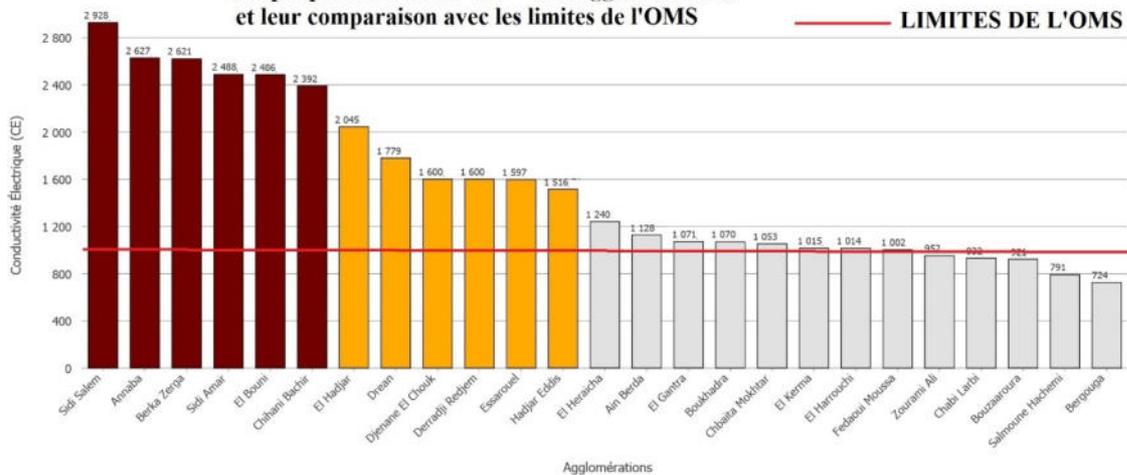


Figure 35 : Distribution spatiale du CE) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

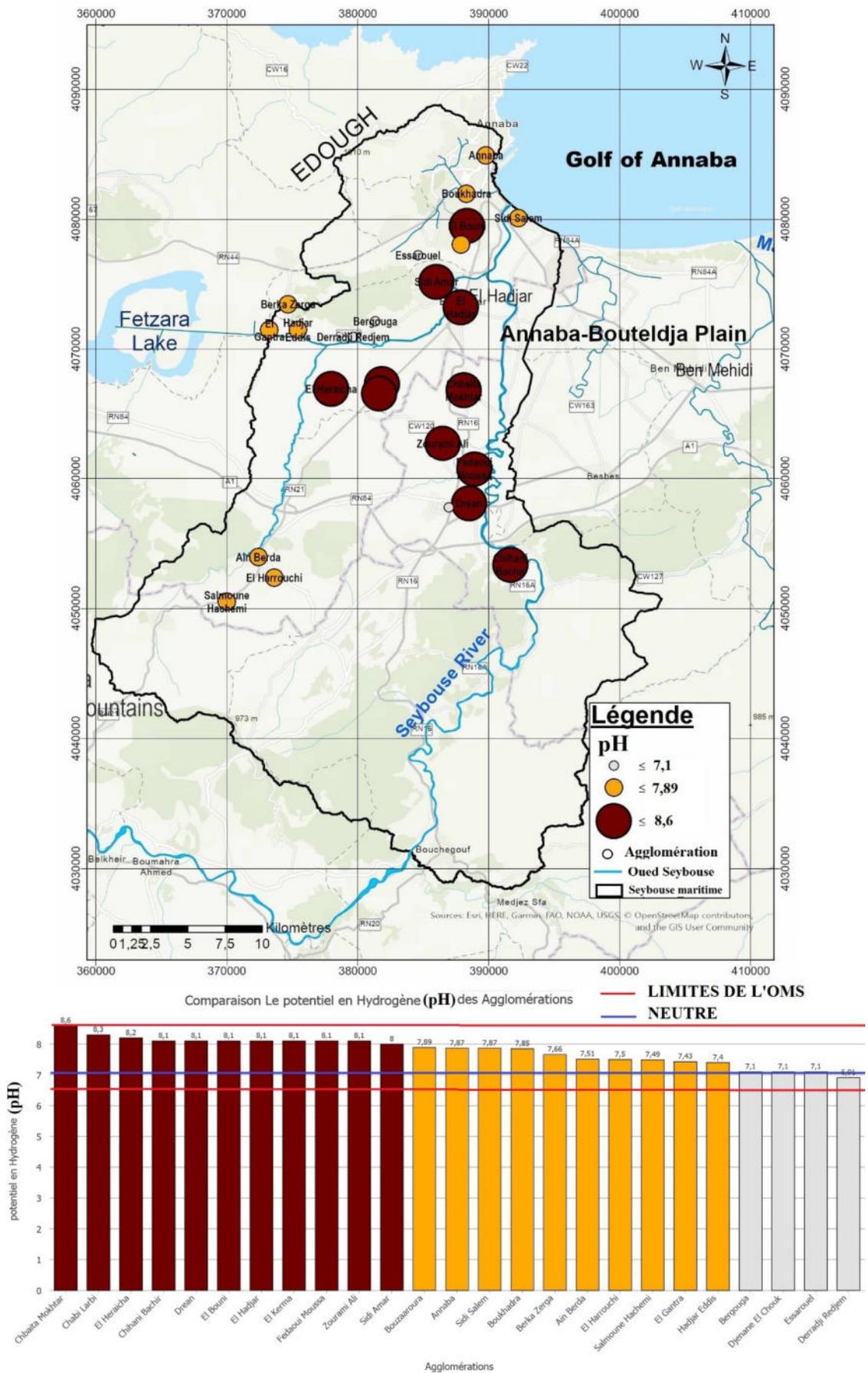


Figure 36 : Distribution spatiale du (pH) pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

I.1.1.3. La Catégorie des variables de Réponse des gestionnaires

- **Le Stockage des Eaux Pluviales :** Le stockage des eaux de pluies représente le volume d'eau collecté par les barrages, les retenues collinaires et les réservoirs d'eau d'irrigation, il est mesuré en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$).

La carte des variations spatiales du Stockage des Eaux Pluviales par agglomération est présentée dans la Figure 37, avec la valeur la plus élevée $1,935 \text{ hm}^3.\text{an}^{-1}$ à Ain Berda, Ain Allem et Medjez Rassoul qui forme le groupe élevée, suivie par le groupe moyenne avec la valeur $0,36 \text{ hm}^3.\text{an}^{-1}$ El Hadjar et Salmoune Hachemi et une valeur nulle dans les autres agglomérations.

- **L'Importation de l'Eau :** Cette variable représente la quantité d'eau importée à partir des ressources hors commune, elle est mesurée en hectomètre cube par an ($\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$).

La carte des variations spatiales de L'Importation de l'eau par agglomération est présentée dans la figure 38, avec le groupe élevée Essarouel et Annaba suivie par le groupe moyenne des agglomérations Boukhadra, Sidi Amar, El Bouni, et les agglomérations restantes forme un groupe faible.

- **L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation :** elle indique la proportion de la consommation de l'eau d'irrigation par rapport à la production totale de l'eau d'irrigation, elle est mesurée en pourcentage (%).

La carte des variations spatiales de L'Efficacité dans l'eau d'irrigation par agglomération est présentée dans la figure 39, avec le groupe élevée Labidi Mohamed, El Kerma, Ain Berda, Medjez Errassoul, Bouzaaroura, El Harrouchi, Fedaoui Moussa, Chabi Larbi, El Heraicha, Annaba, Kherraza, Bergougga, Djenane El Chouk et Salmoune Hachemi, suivie par le groupe moyenne des agglomérations El Gantra, Ain Sayd, Hdjar Eddis, Sidi Salem, El Hadjar, Sidi Amar, Oued Ennil, Chebaita Mokhtar, Drean et Chihani Bachir, et les agglomération restantes forme une groupe nule.

- **L'Efficacité dans l'Eau AEP :** Cette indique la proportion de la consommation de l'eau AEP par rapport à la production totale de l'eau AEP, elle mesurée en pourcentage (%).

La carte des variations spatiales de L'Efficacité dans l'eau AEP par agglomération est présentée dans la figure 40, avec le groupe élevée Chabi Larbi, Fedaoui Moussa, Kherraza, Oued Ennil, Zourami Ali, Ain Allem, Bergougga, Djenane El Chouk, Essarouel, Chihani Bachir et Deradji Redjem, suivie par le groupe moyenne des agglomérations Berka Zerga, Drean, Ain Berda, Ain Sayd, Bouzaaroura, Chebaita Mokhtar, El Hadjar, El Harrouchi, El Heraicha, Essarouel, Hadjar Ediss, Labidi Mohamed, Medjez Errassoul, Salmoune Hachemi, El Bouni, et Sidi Salem, et les agglomérations restantes forme un groupe faible.

- **L'Efficacité des Systèmes d'Information :** Elle indique l'existence des systèmes d'information, en incluant les ressources humaines, les équipements de mesure et les logiciels qui aident à améliorer la gestion des ressources en eau, elle est mesurée en %. La distribution spatiale de L'Efficacité des systèmes d'information par agglomération (Fig.41) varie de 71 à 92,2 %. Les valeurs élevées sont situées dans les communes Annaba, Chihani Bachir, Sidi Amar suivie par les agglomérations restantes.

- **La Sensibilisation sur l'Eau :** Représente le nombre de personnes qui ont participé à des campagnes éducatives sur l'utilisation rationnelle de l'eau.

La carte des variations spatiales de la Sensibilisation sur l'eau par agglomération est présentée dans la figure 42, avec la valeur la plus élevée à Annaba suivie par les agglomérations restantes qui forme un groupe faible.

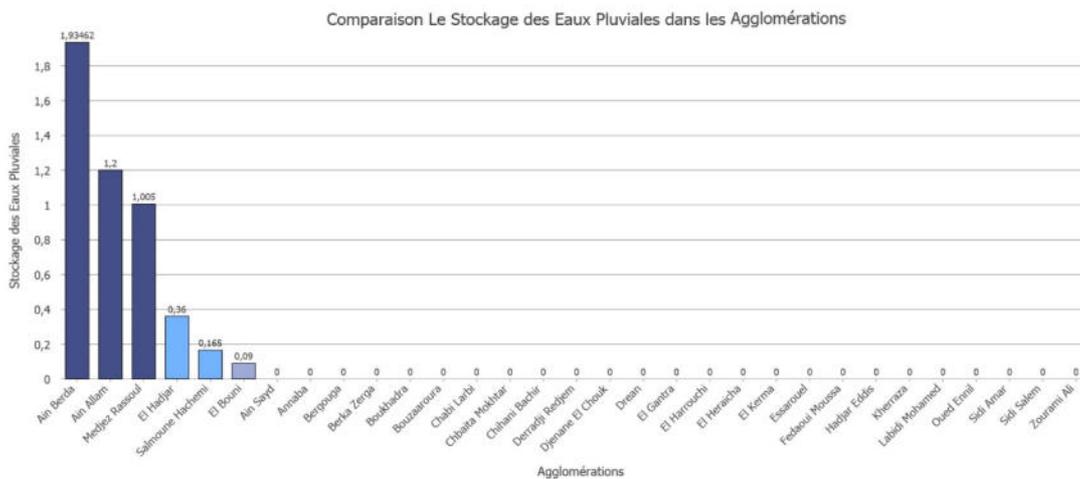
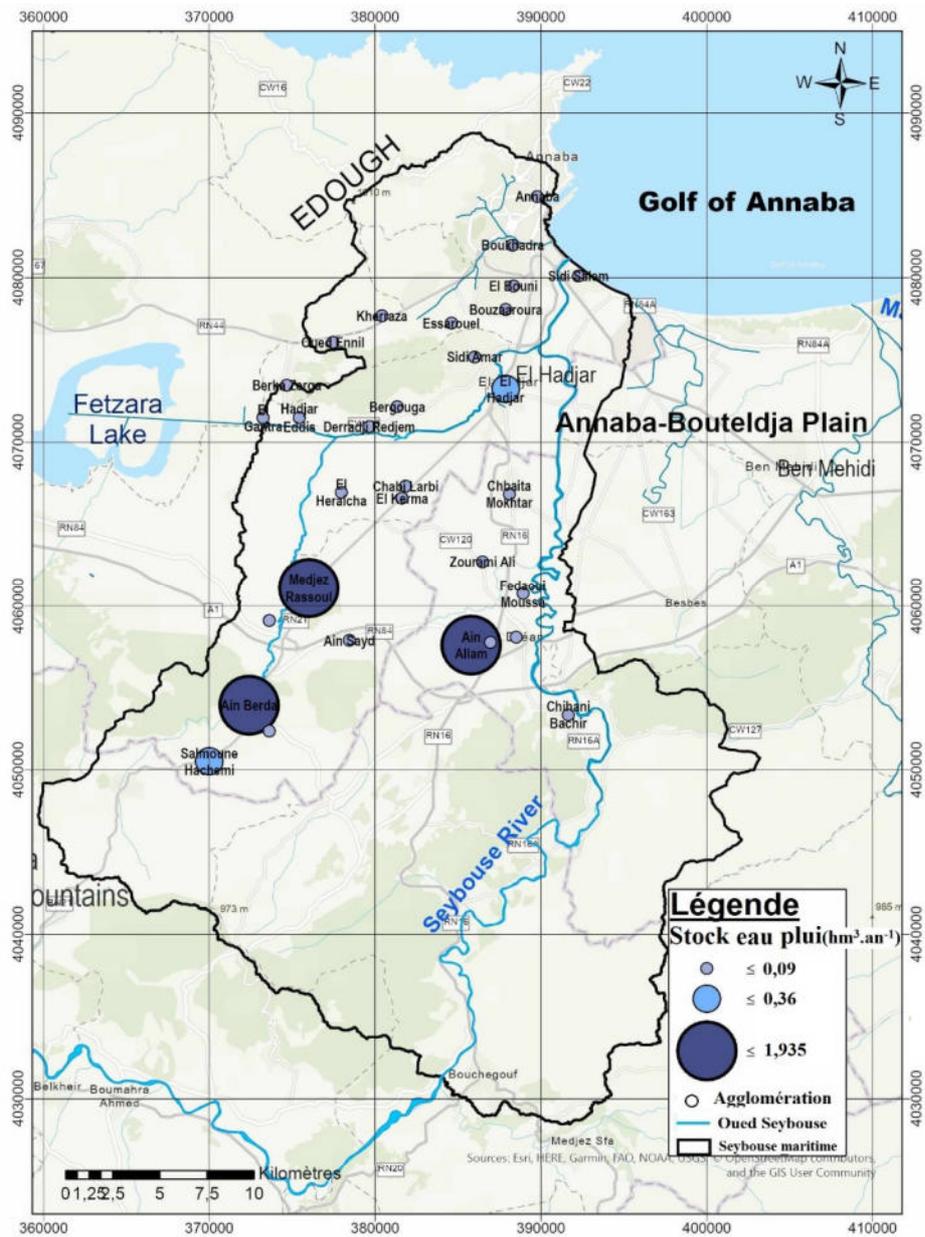


Figure 37 : Distribution spatiale Du Stockage des Eaux Pluviales pour la partie basse du bassin de l’oued Seybouse

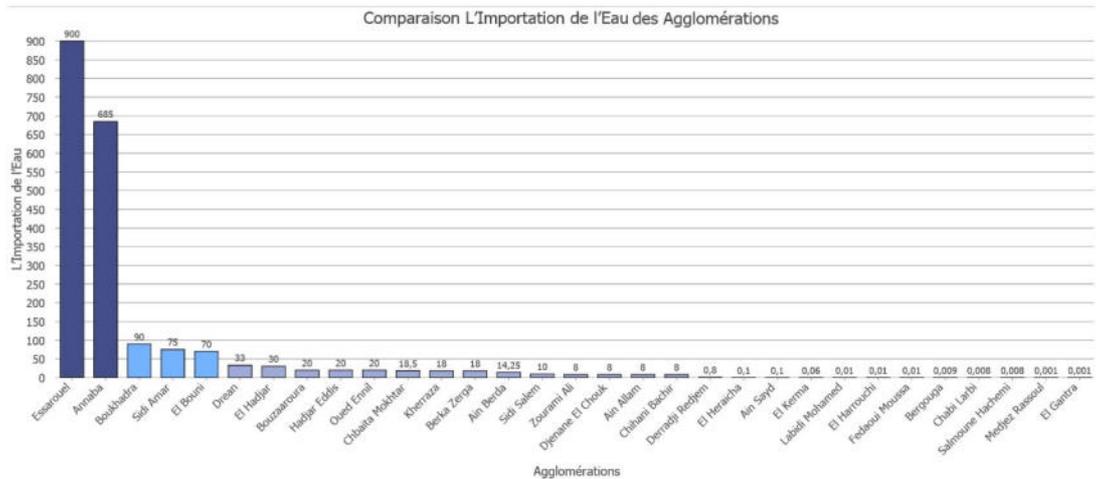
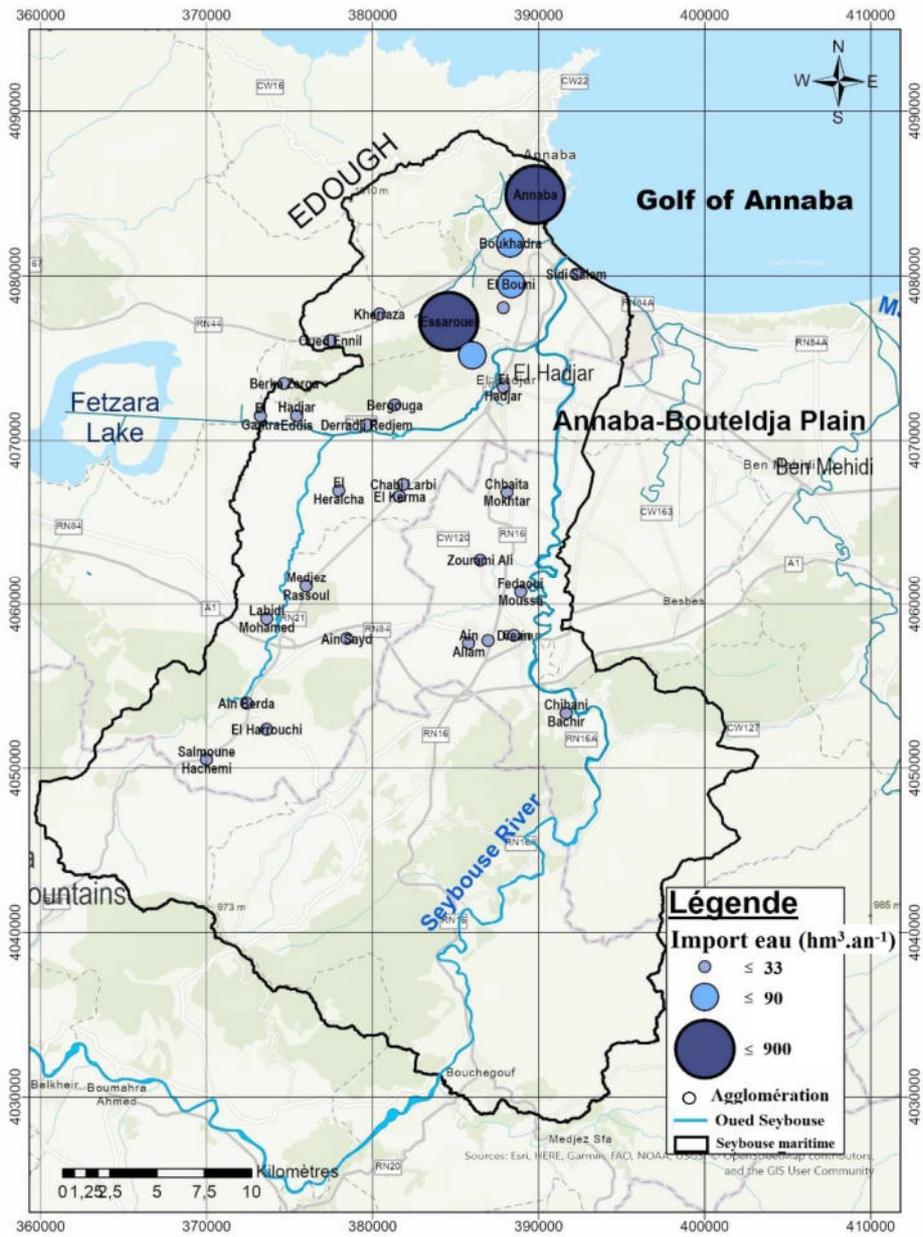


Figure 38 : Distribution spatiale de l'importation de l'eau pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

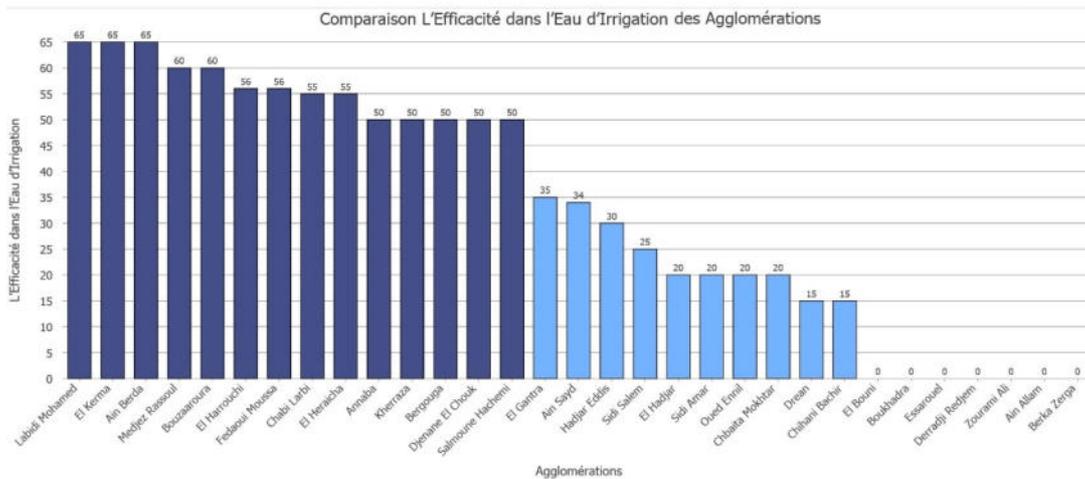
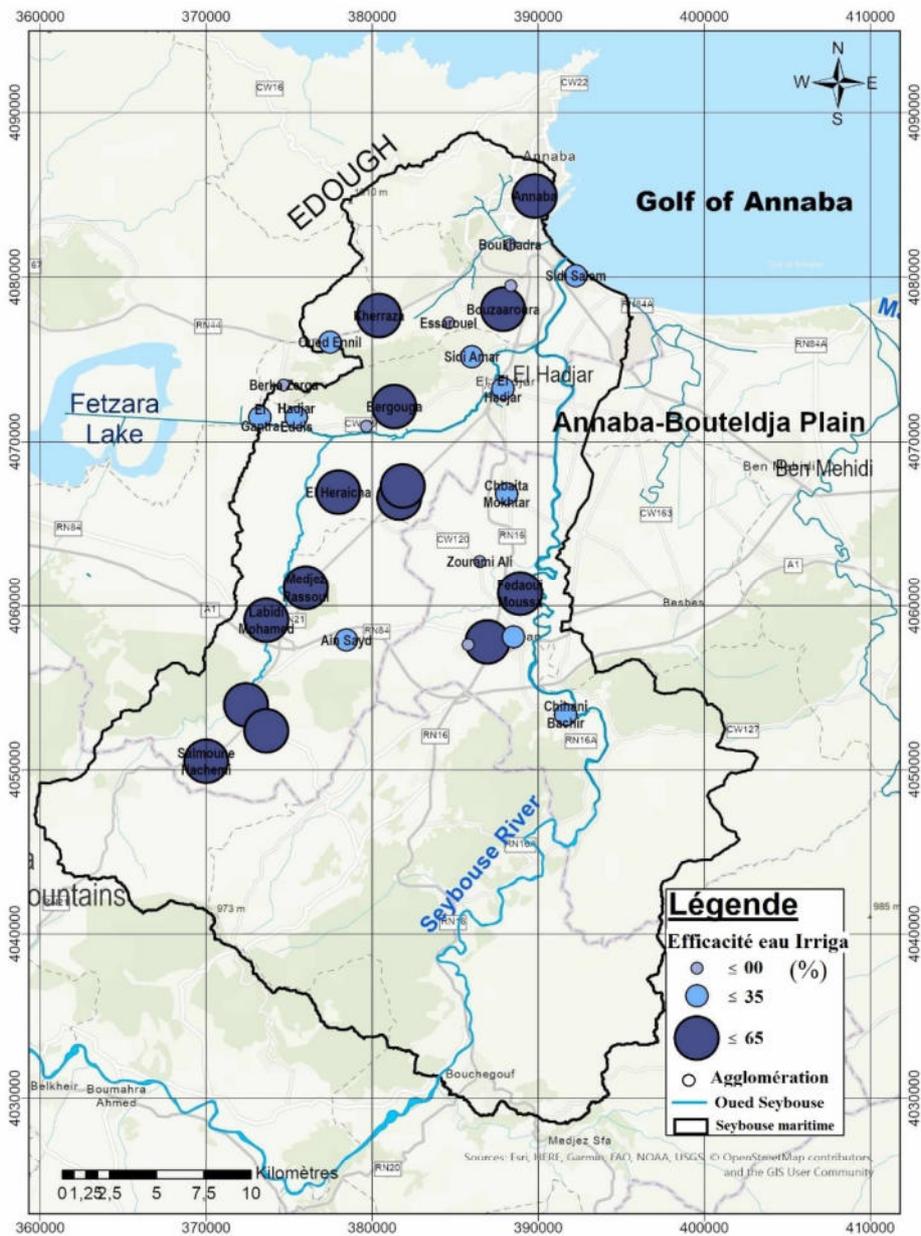


Figure 39 : Distribution spatiale De L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

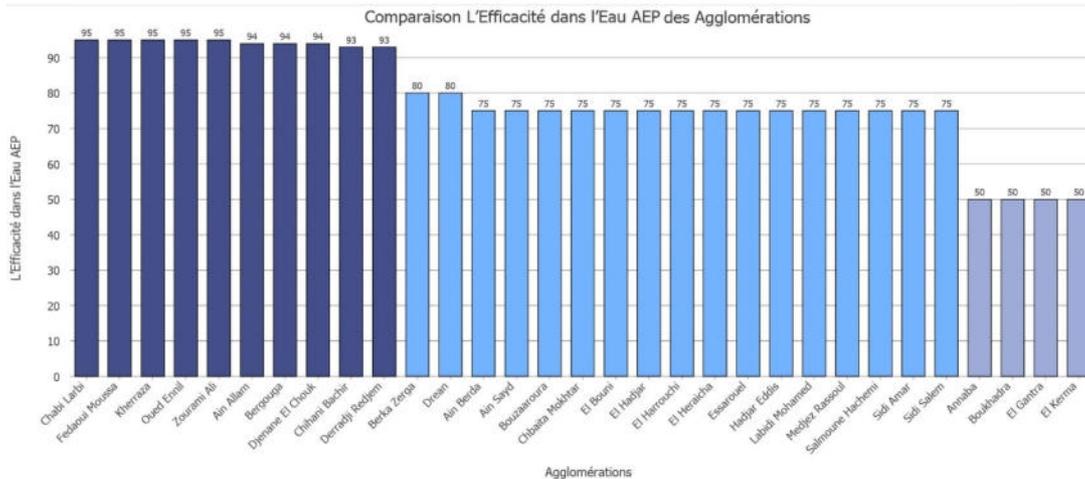
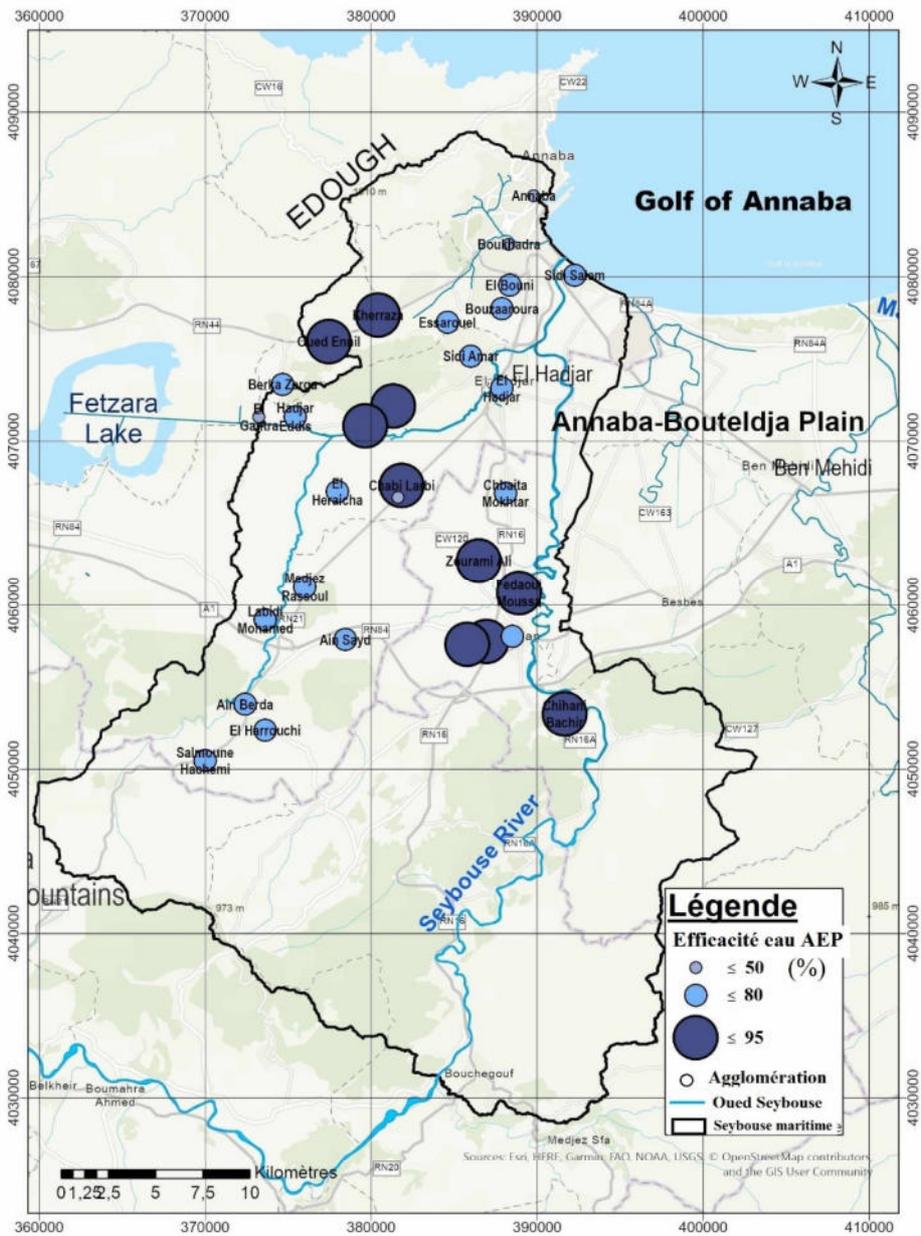


Figure 40 : Distribution spatiale De L'Efficacité dans l'Eau AEP pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

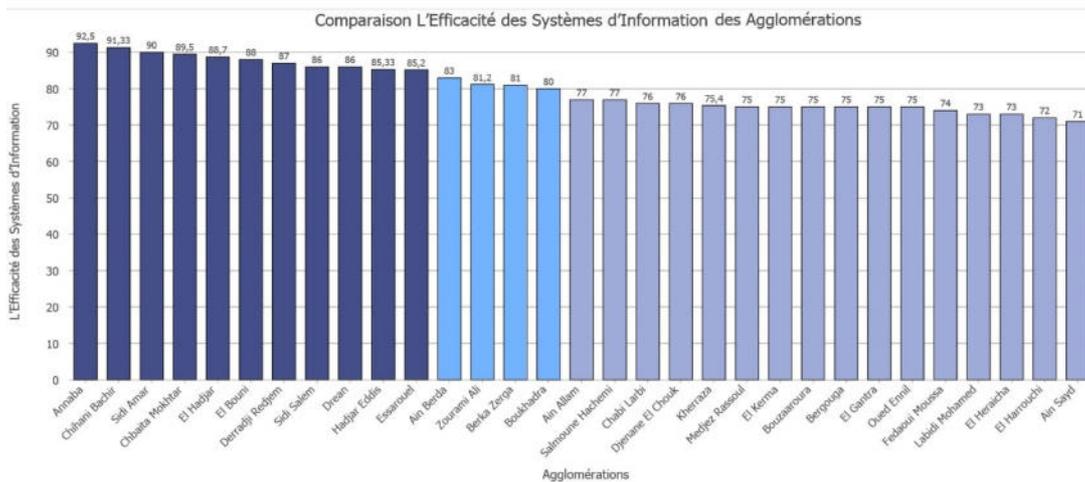
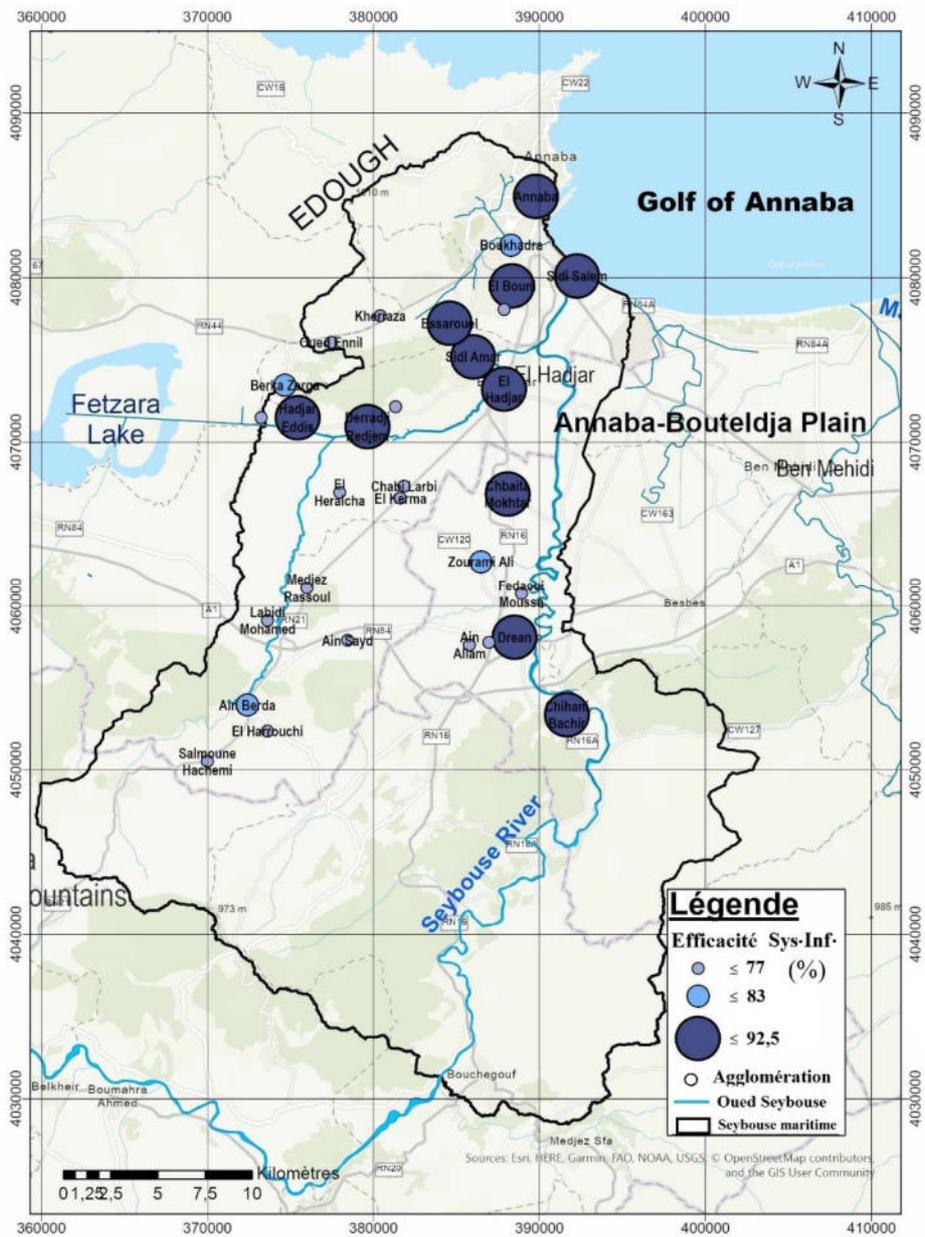
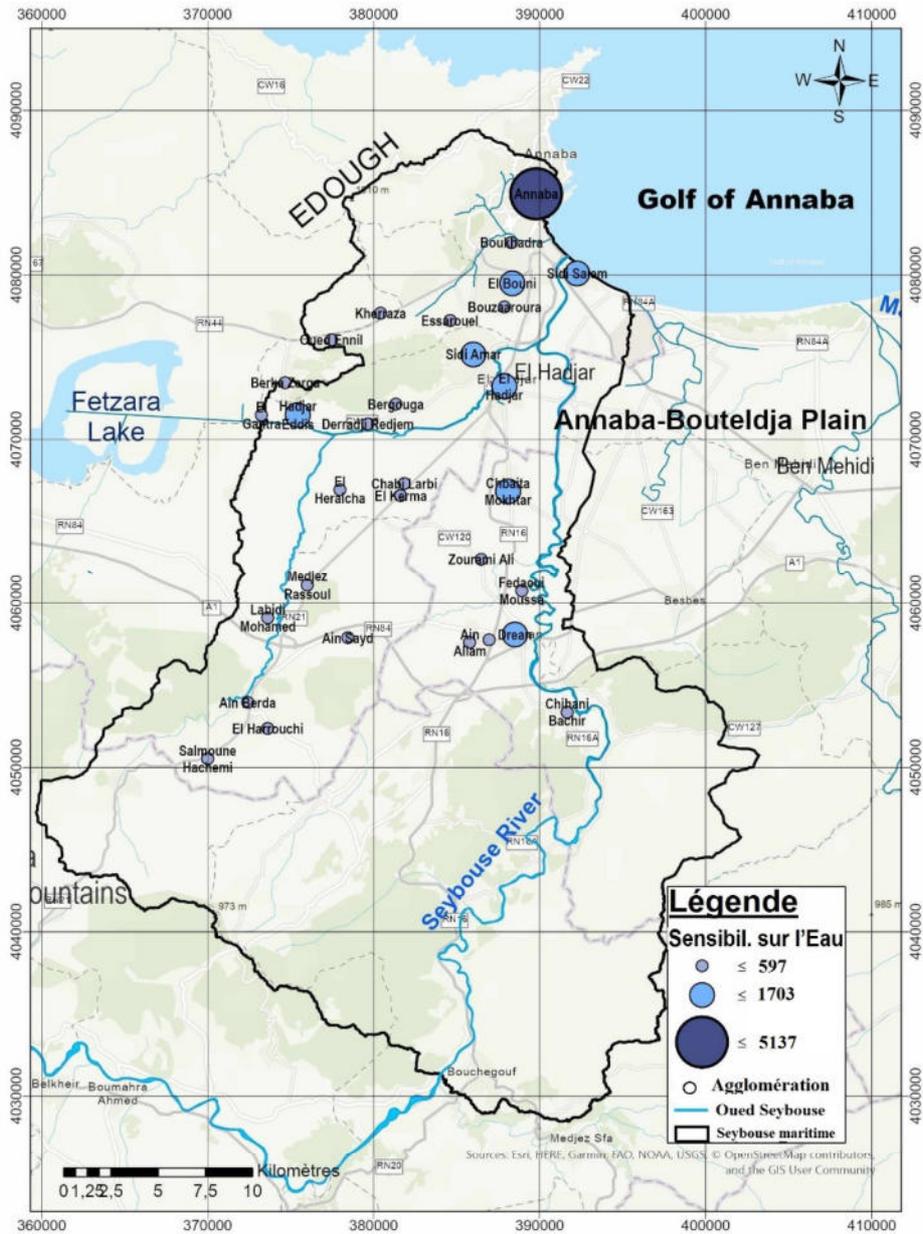


Figure 41 : Distribution spatiale De L'Efficacité des Systèmes d'Information pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse



Comparaison La Sensibilisation sur l'Eau des Agglomérations

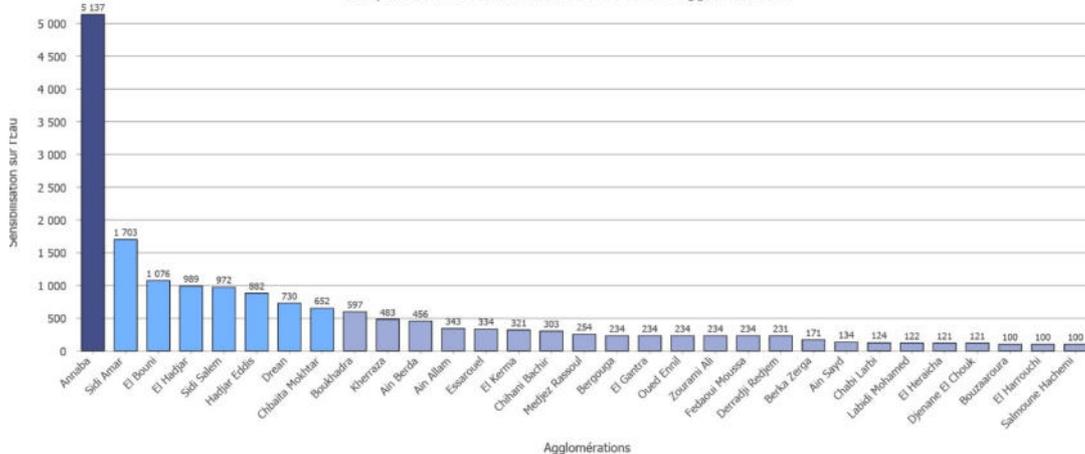


Figure 42 : Distribution spatiale De La Sensibilisation sur l'Eau pour la partie basse du bassin de l'oued Seybouse

I.1.2. Conclusion

La technique DPSIR dans un environnement SIG est un outil précieux qui contribue à l'évaluation intégrée des pressions environnementales et socio-économiques et de leurs effets sur les ressources en eau à l'échelle du bassin. Il fournit une base commune de compréhension et d'encodage d'informations précieuses qui peuvent être facilement conçues et examinées dans le cadre de la planification stratégique et de l'évaluation. De cette façon, il permet une corrélation directe avec les bassins adjacents, ou des études comparatives du même bassin à différents moments, tout en contribuant à la conception et à la mise en œuvre efficaces de mesures spécifiques aux sites et aux problèmes en vue de la protection et de la restauration d'un environnement hydrogéologique donné.

Chapitre III :
Chapitre III :

Acquisition des données

II.1. Cadre géologique de la basse Seybouse :

La région de Annaba a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de (JOLEAUD, 1936), (HILLY, 1980), (LAHONDERE, 1987). Ces études ont montré deux types de terrains :

- L'un sédimentaire, occupe la majeure partie de la plaine.
- L'autre métamorphique, occupe la partie Ouest de la plaine (le massif de l'Edough, Bellilita et Bouhamra).

II.1.1. Stratigraphie :

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

II.1.1.1. Formations sédimentaires :

Sont représentées par des calcaires surmontés tectoniquement par des flyschs schisteux surmontés sur leur tour par des grés numidiens. En commençant par les terrains les plus récents jusqu'aux les plus anciens suivant l'échelle stratigraphique, on distingue :

II.1.1.1.1. Le Quaternaire actuel :

Formé par des dépôts du lit actuel de l'oued Seybouse, il s'agit de matériaux argileux, sableux et caillouteux résultant de l'érosion des formations traversées par l'oued.

II.1.1.1.2. Le Quaternaire récent :

Il correspond à la basse et moyenne terrasse représentée par des dépôts alluvionnaires et limoneux de part et d'autre de la Seybouse.

II.1.1.1.3. Le Quaternaire moyen :

Correspondant à la base terrasses de 20 à 50m, constitué par des argiles et des sables. Elle se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse.

II.1.1.1.4. Le Quaternaire ancien :

Disposé sous forme de terrasse de 100 à 150 m d'altitude au-dessous de la Seybouse et formé essentiellement par des formations alluviales (argile, limons, sables, graviers et galets)

II.1.1.2. Le Tertiaire :

Présente une épaisseur importante dans la zone d'étude avec trois systèmes.

II.1.1.2.1. Le Mio-Pliocène :

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine d'Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe profonde.

II.1.1.2.2. L'Oligocène :

Comporte des niveaux argilo-gréseux numidiens qui forment le relief des montagnes du Sud de la plaine d'Annaba d'une épaisseur de 150 m.

II.1.1.2.3. L'Eocène inférieur :

Série transgressive formée de calcaires massifs à faciès épinéritique.

II.1.1.3. Le Secondaire :

Ce sont des terrains allochtones composés de Silex du Jurassique et des flyschs du Crétacé.

II.1.1.3.1. La chaîne de calcaires :

(VILLA, 1970) a signalé sur le banc Nord d'El Mellaha, comme sur le flanc Sud de Bellielita du massif de l'Edough, l'existence de terrains probablement transgressifs ayant une couverture sédimentaire de type pré-Kabyle, comportant de bas en haut des calcaires à silex représentant le Lias.

II.1.1.3.2. Domaine des flyschs :

Il s'agit essentiellement d'une alternance de micro-brèches, de marnes et de marno-calcaires dont l'âge va du Barrémien jusqu'au Sénonien ; subdivisé selon (VILLA, 1966) en deux types :

- Flyschs Massiliens: occupent la position externe dans le domaine des flyschs
- Flyschs Mauritaniens : occupent la position interne dans le domaine des flyschs.

Ces formations flyschoides sont développées surtout dans la région de Ain-Berda, Chétaibi et Ain-Barbar (*J.M.VILLA, 1966*).

II.1.1.4. Formation métamorphique :

Il s'agit d'un massif cristallin qui occupe la partie Ouest de la wilaya de Annaba (l'Edough, Cap de fer et Bellielita), elles sont datées du Primaire et caractérisées par la superposition de trois unités :

II.1.1.4.1. L'unité supérieure :

Elle est datée de l'Ordovicien-Dévonien et caractérisée par trois séries cristallophylliennes :

- Une série des gneiss ocellés et sombres.
- Une série de micaschistes, grenats et cipolins.
- Une série d'amphibolites.

Ces trois unités présentent peu d'importance hydrogéologique à l'exception des gneiss altérés ou les cipolins fissurés qui peuvent constituer le siège d'une nappe aquifère.

II.1.1.4.2. L'unité intermédiaire :

Affleure dans la zone périphérique de l'Edough, elle est constituée par les schistes, des micaschistes riches en Biotite et Muscovite et de Grenat, parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'oeil nu.

Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme des Skarnes marquant le tracé de l'horizon carbonaté initial.

II.1.1.4.3. L'unité inférieure :

Elle est datée du précambrien et constituée par des gneiss quartzo-feldspathiques et micacés (riches en Biotite) formant le coeur de la structure anticlinale du massif de l'Edough.

Cette description géologique a montré que dans la région d'étude, seuls les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eaux importants.

II.1.2. Tectonique :

La thèse de Numidien autochtone avancée par (JOLEAUD, 1936) est réfutée actuellement par les résultats des travaux de recherche sur la géologie structurale de l'Algérie du Nord-Est.

Il en ressort d'après (VILLA, 1977), que l'unité numidienne apparaît comme plissée principalement Oligocène, elle n'est pas en place et repose en contacts anormaux sur n'importe quel terme de série sous numidienne et tellienne.

II.1.2.1. Les unités tectoniques :

La tectonique régionale de l'Algérie du Nord est complexe. L'allochtonie pose particulièrement de difficultés ardues dans l'investigation sur la connaissance hydrogéologique des structures qui peuvent constituées des réservoirs d'eau importants.

Les unités tectoniques qui constituent la région d'étude sont :

II.1.2.1.1. Le cristallin de l'Edough :

Il se manifeste très intensivement par les plissements métamorphiques à plusieurs reprises (HILLY, 1967); le soulèvement de la montagne s'est déroulé au cours du Mioène, il s'agit de l'unité Kabyle.

II.1.2.1.2. Série de Flyschs d'âge Eocène :

Se présente comme une unité charriée en nappes de recouvrement et reposant en partie sur le cristallin de l'Edough et en partie sur les unités telliennes qui sont développées en profondeur. Au-dessous des flyschs, cette unité et les unités telliennes sous-jacentes sont bien plissées.

II.1.2.1.3. Mio-pliocène :

Il présente une unité post nappe reposant d'une manière discordante, soit sur le cristallin de l'Edough, soit sur les nappes de flyschs d'âge Eocène.

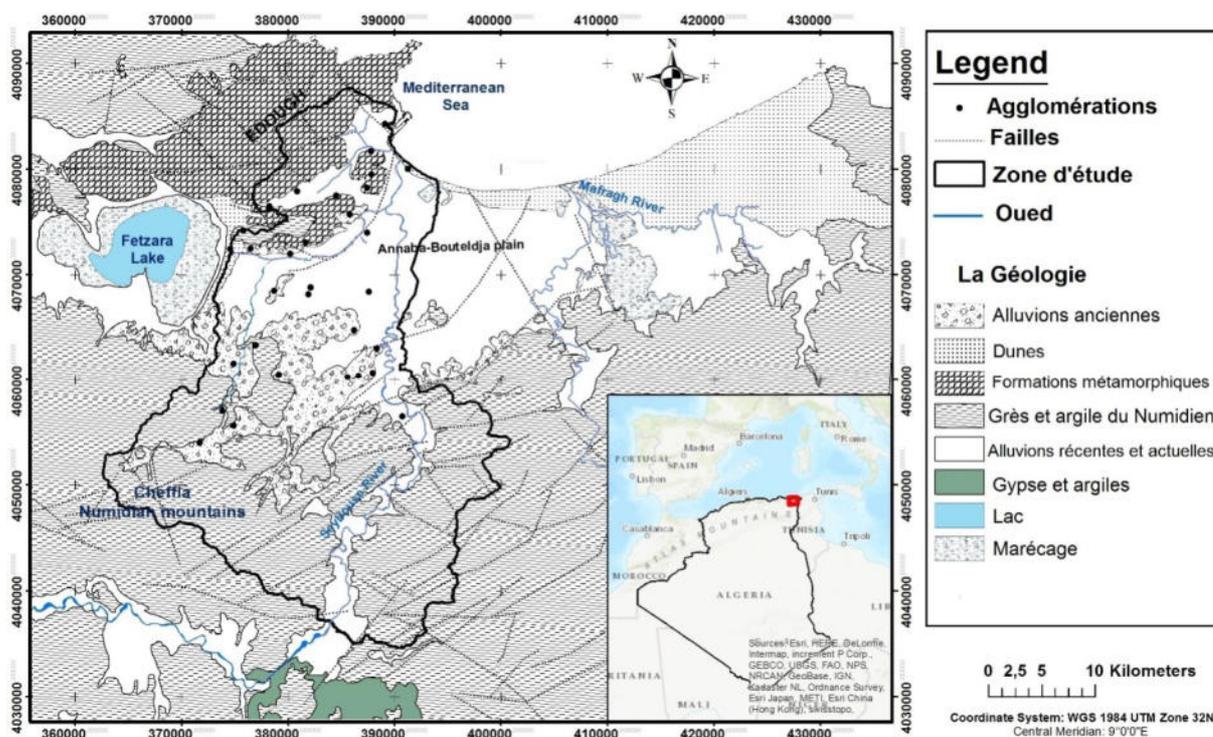
II.1.2.1.4. Quaternaire :

Forme la couverture la plus récente sur les unités précédentes.

II.1.2.2. Effondrement de la plaine d'Annaba :

L'effondrement de la plaine de Annaba avait lieu durant le Néogène (Miocène inférieur), l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques ayant pour conséquences, la naissance des plis numidiques et l'isolement complet du massif de l'Edough.

Au Pliocène récent, le fossé d'effondrement va connaître un remplissage par les marnes, puis par des matériaux détritiques au Paléo-Quaternaire.



II.2. Géométrie du Système aquifère de la basse Seybouse :

Après avoir fait la connaissance de la nature géologique des différentes formations qui constituent le réservoir du système aquifère d'Annaba, nous décrivons ci-dessous les différentes formations aquifères et nous tenterons d'appréhender la géométrie des principales nappes exploitées par de nombreux ouvrages de captage.

Les formations du système aquifère sont constituées de sédiments Mio-pliocènes et quaternaires de fosse (Ben Ahmed). Le remplissage de ce fosse (Ben Ahmed) s'est effectué de manière hétérogène, formant une alternance d'argiles sableuses, de sables, de graviers et de travertins, où l'on distingue 5 réservoirs d'importance inégale (Gaud, 1976, et Hani, 2003)

II.2.1. Aquifère superficiel :

D'après (Khérici, 1993) Selon la variation horizontale des faciès lithologiques, l'aquifère superficiel englobe 3 nappes : la nappe des gneiss altérés, la nappe des cailloutis de terrasse et la nappe des alluvions récentes et actuelles

II.2.1.1. La nappe des gneiss altérés :

Alimentée par les eaux de pluie, elle se localise dans la région Nord-Ouest, sur le flanc Est du massif métamorphique de Bouhamra et de Belleilita, où son épaisseur moyenne, le débit moyen des captages et la perméabilité des roches sont respectivement de l'ordre de 15m, de 2l/s et de 10^{-6} à 10^{-5} m/s (Khérici, 1993).

Elle est captée par des puits et des forages et utilisée pour divers usages (industrie, élevage, alimentation humaine).

II.2.1.2. La nappe des terrasses :

Localisée au sud de la région, dans des cailloutis et galets. D'après (Gaud, 1976) la transmissivité de cette nappe est faible variant de 10^{-5} à 10^{-4} m²/s. Etant donnée ses faibles potentialités hydrauliques, cette nappe n'est exploitée que par des puits destinés à l'agriculture et à l'alimentation de petites localités (Khérici, 1993).

II.2.1.3. La nappe des alluvions récentes et actuelles :

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba et la plaine d'El-Tarf, elle est contenue par des alluvions récentes et actuelles à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables de porosité efficace de l'ordre de 2% (Gand, 1976) et l'épaisseur moyenne de 10m, tandis que la transmissivité varie de 10^{-6} à 10^{-3} m²/s selon la texture des alluvions comme indiqué ci-dessous (Khérici, 1993).

Tableau 1 : Variations de la transmissivité selon la texture des alluvions d'après (Khérici, 1993)

	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}

II.2.2. Aquifère profond :

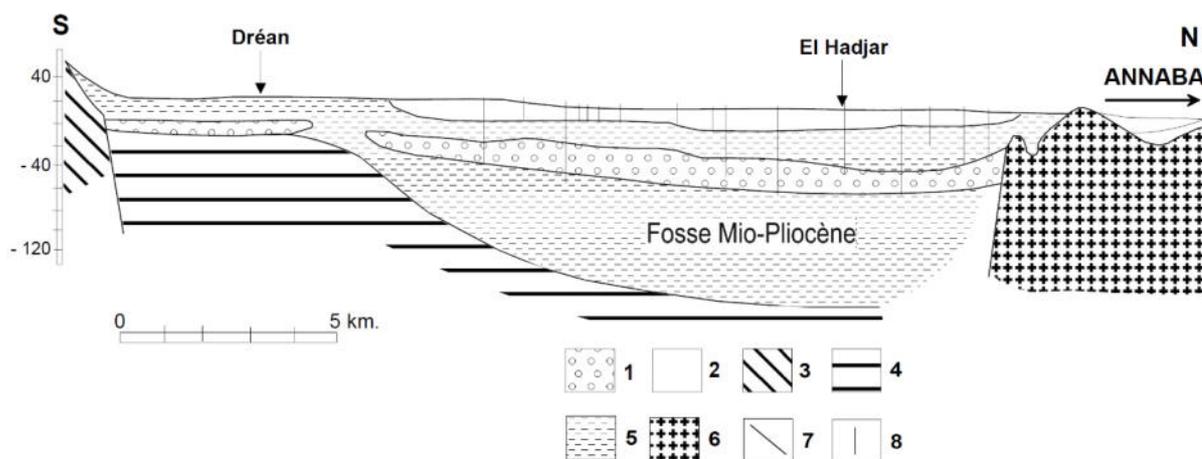
Globalement on note deux nappes d'importance très inégale: nappe des cipolins et nappe des graviers.

II.2.2.1. La nappe des cipolins :

Elle est contenue dans des cipolins fissurés localisée au Nord-ouest dans les massifs de Bouhamra .et du Belleilita profonde de 12 à 80 m, les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de 15l/s et les transmissivités varient entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s (Khérici, 1993).

II.2.2.2. La nappe profonde des graviers :

Elle se situe au-dessous de l'aquifère superficiel s'étendant sur toute la superficie de la plaine. Elle est contenue dans des graviers sable et galets plio-quadernaires et encaissée dans le bassin d'effondrement, son toit est perméable, semi perméable à imperméable formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. A travers ce toit intervient localement le phénomène de drainance. Dans la zone centrale l'épaisseur de l'horizon aquifère est variable selon les zones. Elle varie de 2 à 70m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. Ainsi alors que les valeurs de transmissivités sont parfois assez élevées celles du coefficient d'emmagasinement (S) sont parfois très faible 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. Cette variation des coefficients S s'explique par le fait que dans la nappe libre le volume d'eau libre est dû au drainage par gravité. Par contre quand elle est captive (Fig.44), il ne s'agit plus de vidange partielle des vides, mais d'un double mécanisme lié à la faible compressibilité de l'eau et du matériau aquifère, donc la nappe reste toujours saturée tant qu'elle est captive (Khérici, 1993).



1 = cailloux et graviers, 2 = sable, 3 = argile numidien, 4 = marne cénomaniennne et calcaire marneux, 5 = argiles détritiques plio-quadernaires, 6 = formations métamorphiques, 7 = faille, 8 = forage ; source

Figure 44 : Coupe Hydrogéologique au travers de la plaine d'Annaba (ANRH, 1976, modifiées 2009).

II.2.3. La carte piézométrique :

La piézométrie joue un rôle déterminant quant à la connaissance des écoulements souterrains, Elle permet de déterminer la profondeur de la nappe, 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.

II.2.3.1. Etablissement la carte piézométrique de La nappe profonde d'Annaba :

Le système aquifère composé de la nappe des graviers et de la nappe superficielle ; est marqué par un écoulement orienté Sud - Nord avec une dépression piézométrique autour du champ de captage des Salines (Fig.45). L'alimentation de la nappe s'effectue principalement par l'infiltration des eaux de pluie. Cependant, la forte sollicitation de cet ensemble aquifère a entraîné une baisse très sensible des niveaux et l'apparition de zones de dépression. De petits apports d'eau souterraine peuvent avoir lieu à partir des matériaux limitant la plaine ; cependant l'écoulement superficiel du réseau hydrographique du bassin versant est l'apport le plus important après l'apport météorique (Hani, 2003).

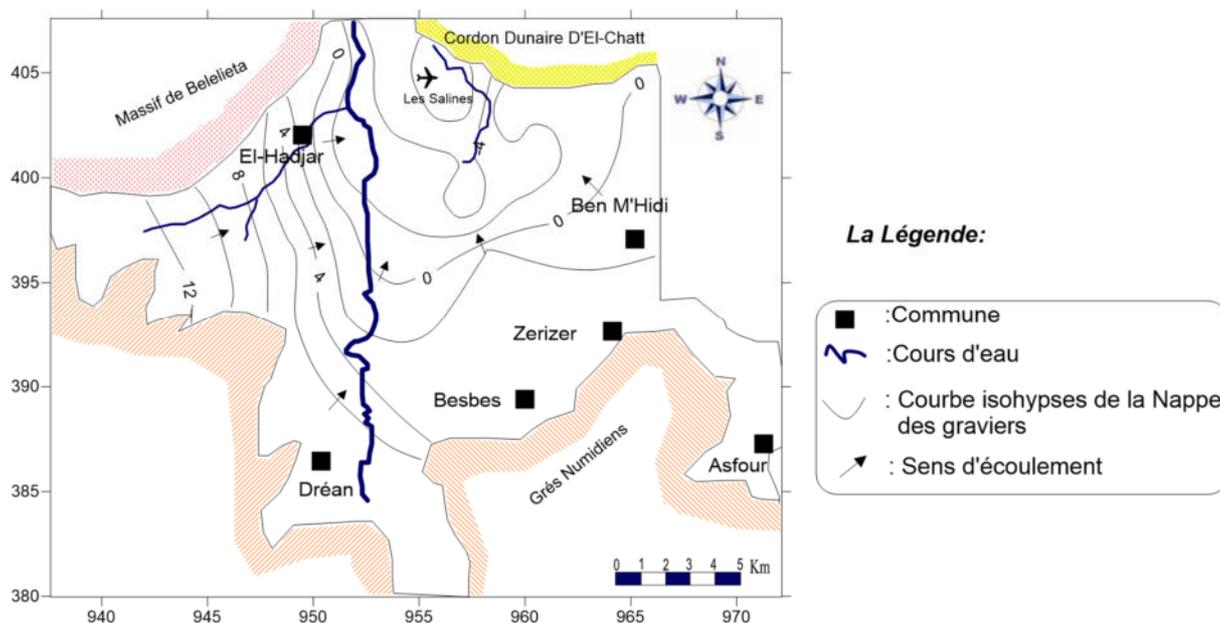


Figure 45 : Carte des isohypses de l'aquifère de la nappe des graviers (octobre 1996, d'après Hani 2003).

II.2.4. Condition aux limites :

Le système aquifère d'Annaba est caractérisé par :

- une limite étanche à l'Ouest du côté du massif cristallin de l'Edough ;
- des apports à partir des alluvions dans le secteur Sud ;
- un potentiel imposé au Nord (mer Méditerranée). Ce secteur représente la zone de déversement de la nappe.

L'alimentation principale de la nappe se fait par l'infiltration des eaux pluviales qui ont été considérées homogènes dans la zone d'étude.

II.3. Caractéristique hydroclimatologiques :

Pour mieux comprendre l'état des réserves des eaux souterraines et de surface, l'étude des conditions climatiques et des caractéristiques hydrodynamiques demeure indispensable.

II.3.1. Climatologie de la zone d'étude :

Comptant parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie, la zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et un été chaud et sec, dont le régime dépend principalement de la précipitation et de la température. Parmi les stations pluviométriques implantées dans la région d'étude, on s'est limité aux données pluviométriques des deux stations : les Salines, Pont Bouchet, du fait de leur répartition dans la zone d'étude.

Les données s'étalent sur la période allant de 1985 jusqu'à 2017 (Tableau 02).

Tableau 2 : Situations géographiques des stations étudiées

Les Station d'Observation	Code	X (km)	Y (km)	Z (km)	Longitude	Latitude	Période d'Observation
Les Salines	60360	955.80	403.8	3	07° 49' E	36° 50' N	1985-2017
Pont Bouchet	140631	950.25	402.8	6	07° 45' E	36° 58' N	1985-2017

II.3.1.1. Les facteurs climatiques :

II.3.1.1.1. Les précipitations :

Constituants un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elles jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

- **Les précipitations mensuelles :**

Sur une période d'observation qui s'étale sur plus de 32 ans.

Les précipitations moyennes mensuelles dans les deux stations sont représentées sur les histogrammes (Fig.46). Ces histogrammes, donnent un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. Décembre est le mois le plus pluvieux au niveau de la station des Salines, où on a enregistré une moyenne de l'ordre de 105.96 mm et 101.71 mm pour là celle de Pont Bouchet. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on note une moyenne pour les deux stations variantes entre 2.74 et 3.78 mm.

Tableau 3 : Précipitations moyenne mensuelle et saisonnières aux stations étudiées (1985-2017)

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Station	Les Salines											
<i>P(mm)</i>	39,88	56,64	92,34	105,96	99,47	81,75	69,34	52,71	37,56	12,99	3,78	9,32
<i>Précipitations saisonnières</i>	188,86			287,18			159,61			26,09		
Station	Pont Bouchet											
<i>P(mm)</i>	36,51	52,97	88,20	101,71	92,00	90,40	61,20	51,84	34,64	12,31	2,74	10,30
<i>Précipitations saisonnières</i>	177.69			305.72			147.69			25.36		

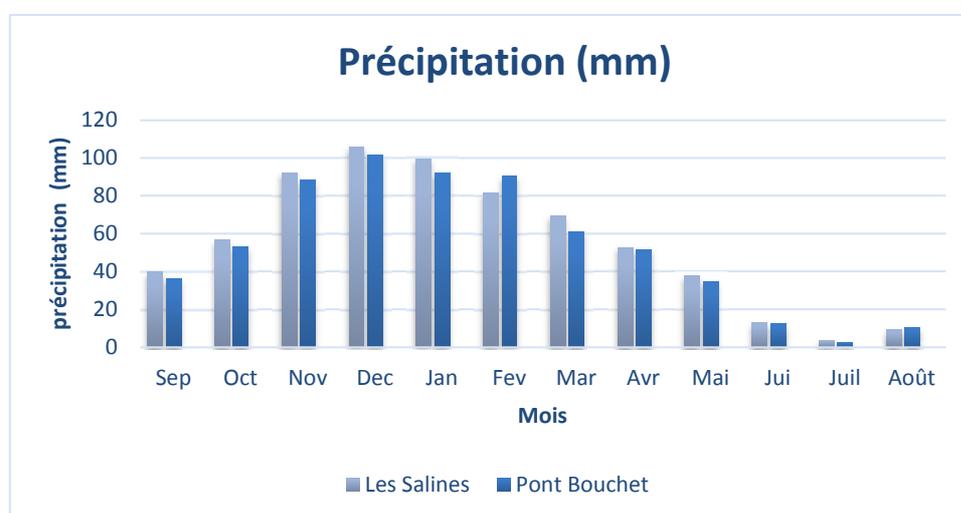


Figure 46 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en mm (1985-2017)

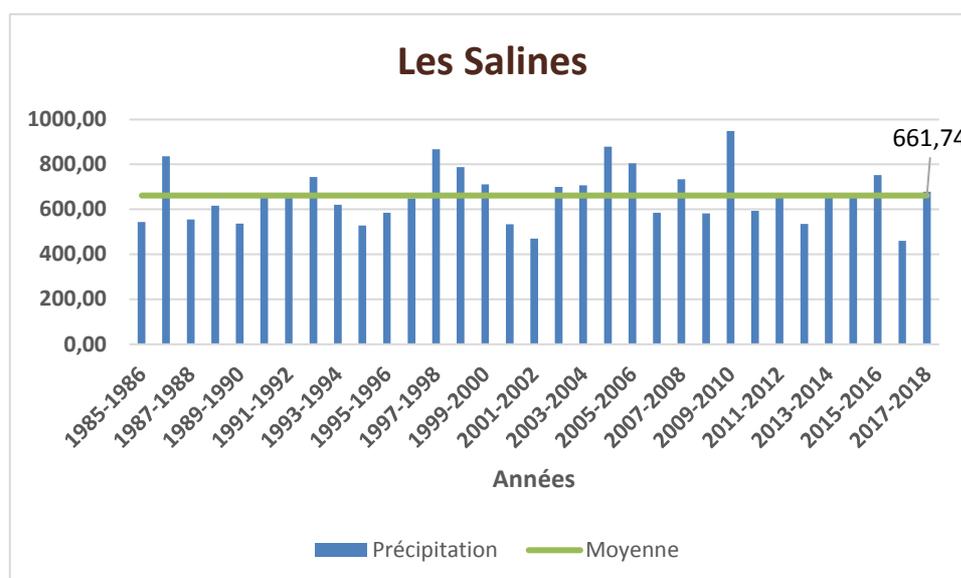


Figure 47 : Variation interannuelle des précipitations à la station Les Salines (1985/2018)

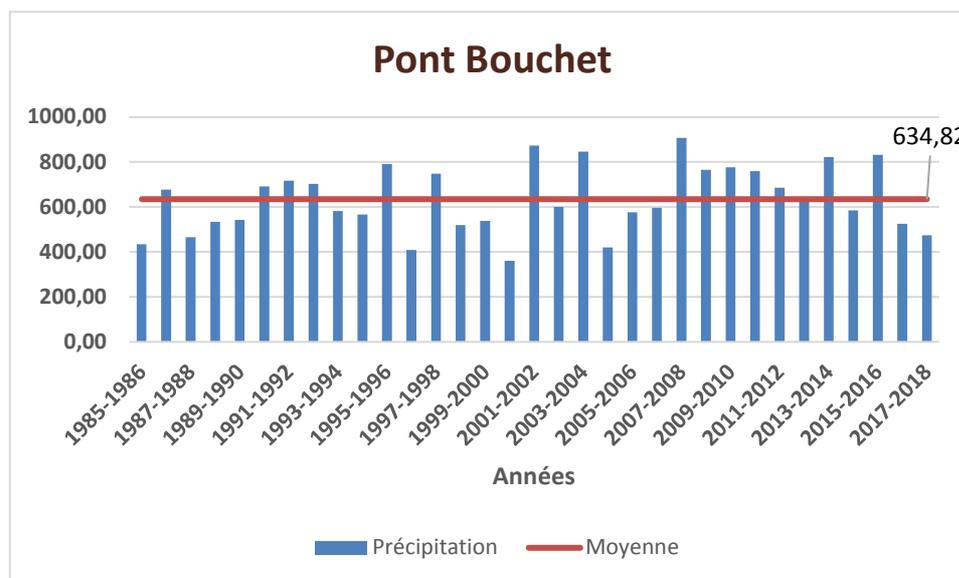


Figure 48 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Pont Bouchet (1985/2018)

II.3.1.1.2. La température :

Les températures constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région.

Elles permettent d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement et interviennent dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique.

Les seules données fiables des températures moyennes mensuelles sont enregistrées dans la station des Salines (Tableau 4), elles constituent une référence crédible utilisable pour les autres stations.

Tableau 4 : Température moyenne mensuelle (°C) à la station des salines (1985-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Station												
Les Salines	23,2	20,6	16,1	13,7	11,9	12,00	13,4	15,4	18,2	21,9	24,8	25,6

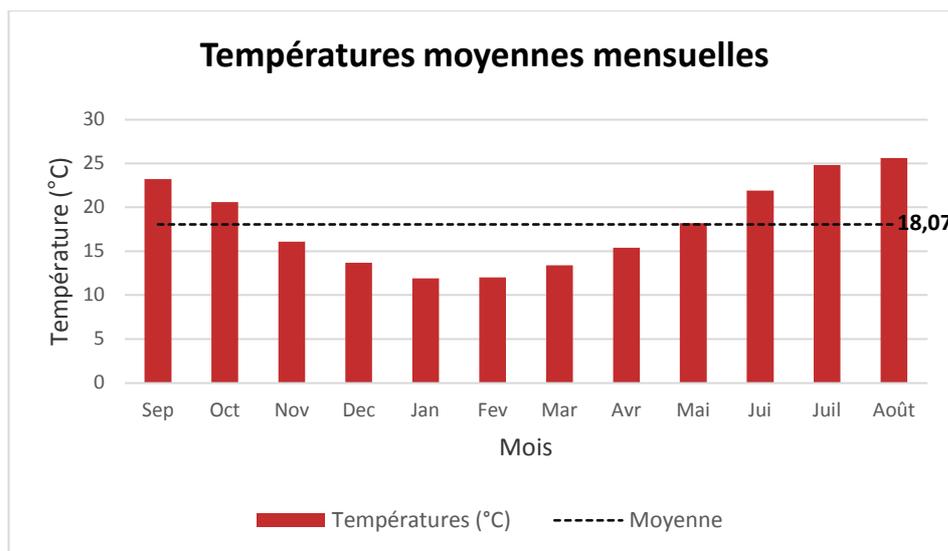


Figure 49 : Variation des Températures moyennes mensuelles (Station des salines 1985-2017)

A partir du tableau 46 on constate une variation des températures moyennes mensuelles au cours de l'année, cette variation est bien représentée dans la Figure variation des températures moyennes mensuelles (Station des salines 1985-2017)

On remarque que le mois le plus froid est Janvier avec une température moyenne mensuelle de l'ordre de 11,9°C alors que le mois le plus chaud et Août avec une température moyenne mensuelle avoisinant 25,6°C.

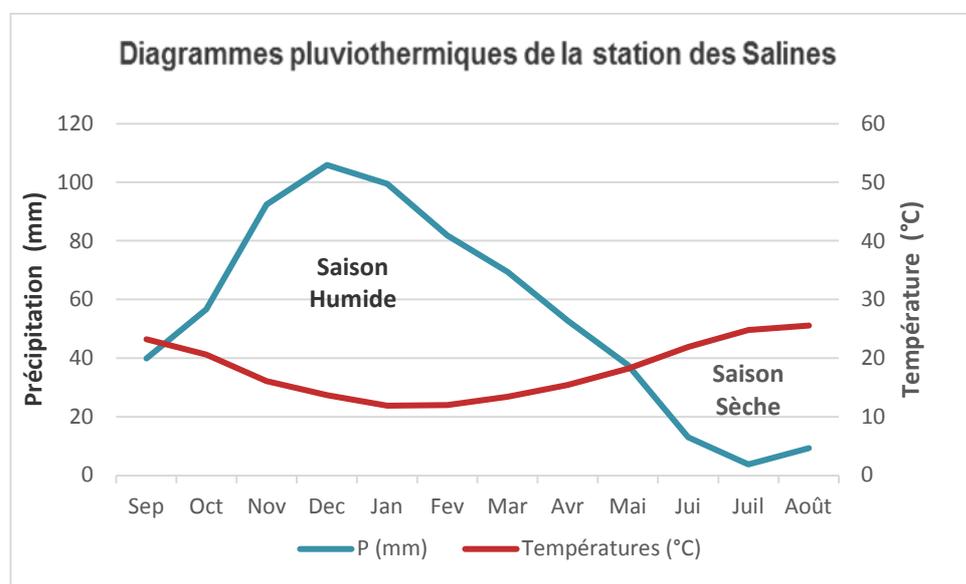


Figure 50 : Diagrammes pluviothermiques de la station des Salines (1985-2017)

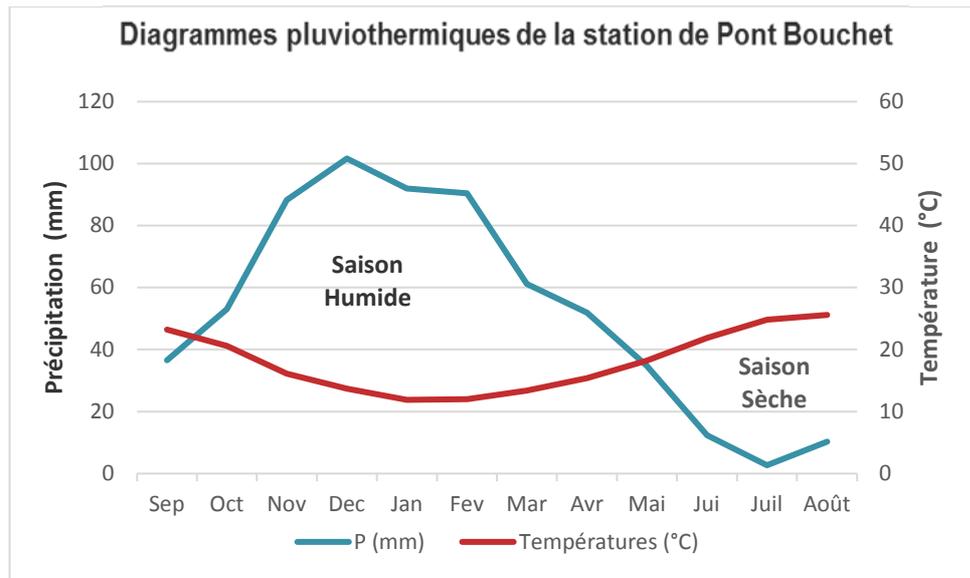


Figure 51 : Diagrammes pluviothermiques de station de Pont Bouchet (1985-2017)

A partir de diagrammes pluviométriques des différentes stations, on constate que l'année hydrologique de la zone d'étude est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

L'une humide, s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai, et l'autre saison sèche s'étale du mois de juin au mois d'août.

II.3.1.1.3. L'humidité :

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. Les moyennes mensuelles de l'humidité relative varient de 75.07% en hiver (au mois de janvier) à 78.21% en été (au mois de juillet).

II.3.1.1.4. Le vent :

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation de précipitation et à un degré moindre sur les températures. La région d'étude est prédominée par des vents de direction NW-SE et leur vitesse moyenne est de l'ordre de 3. m/s.

II.3.1.2. Détermination des indices climatiques :

II.3.1.2.1. Indice d'aridité de De Martonne :

En 1923 DE. Martonne avait établi un indice en fonction des températures et des précipitations (Figure 52)

Il est calculé par les relations suivantes :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Où

P : précipitation annuelle moyenne (mm)

T : température annuelle moyenne (°C)

Suivant les valeurs de I obtenues, DE. Martonne a établi la classification suivante :

- $I < 5$: Climat hyper aride.
- $5 < I < 7.5$: Climat désertique.
- $7.5 < I < 10$: Climat steppique
- $10 < I < 20$: Climat semi-aride.
- $20 < I < 30$: Climat tempéré.

Application :

$P = 661,74$

$T = 18,07$ °C ce qui donne : $I = 23,57$

D'après cette dernière on peut dire que le climat annuel de la région d'Annaba est de type tempéré.

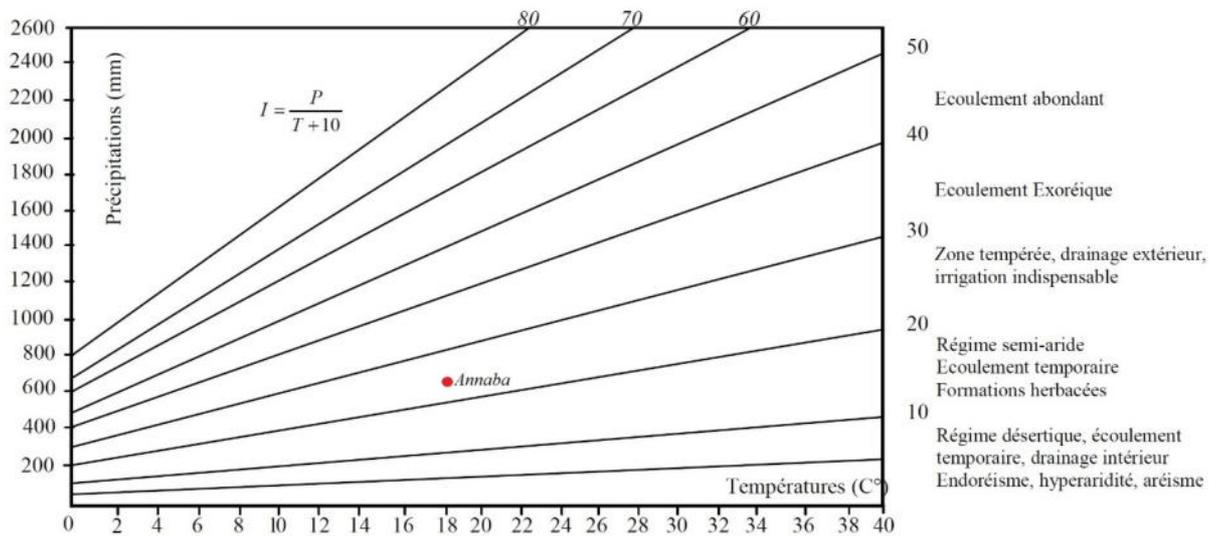


Figure 52 : Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de DE Martonne 1923

Indice d'aridité mensuelle :

L'indice d'aridité mensuel i donne par la formule

$$I = \frac{12 * P}{T + 10}$$

Avec : P : précipitation mensuelle moyenne (mm)

T : température mensuelle moyenne (°C)

Tableau 5 : Indice d'aridité mensuel

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Août
I	14,41	22,20	42,46	53,65	54,50	44,59	35,56	24,90	15,98	4,89	1,30	3,14

D'après les résultats du tableau 5, on remarque que les mois de juillet et août présente un climat hyperaride, le mois de juin présente un climat steppique. Les mois de novembre, décembre,

janvier et février jouissent d'un écoulement abondant. Le mois de mars présente un écoulement exoréique alors que le climat tempéré marque les mois avril et octobre. (Figure 53)

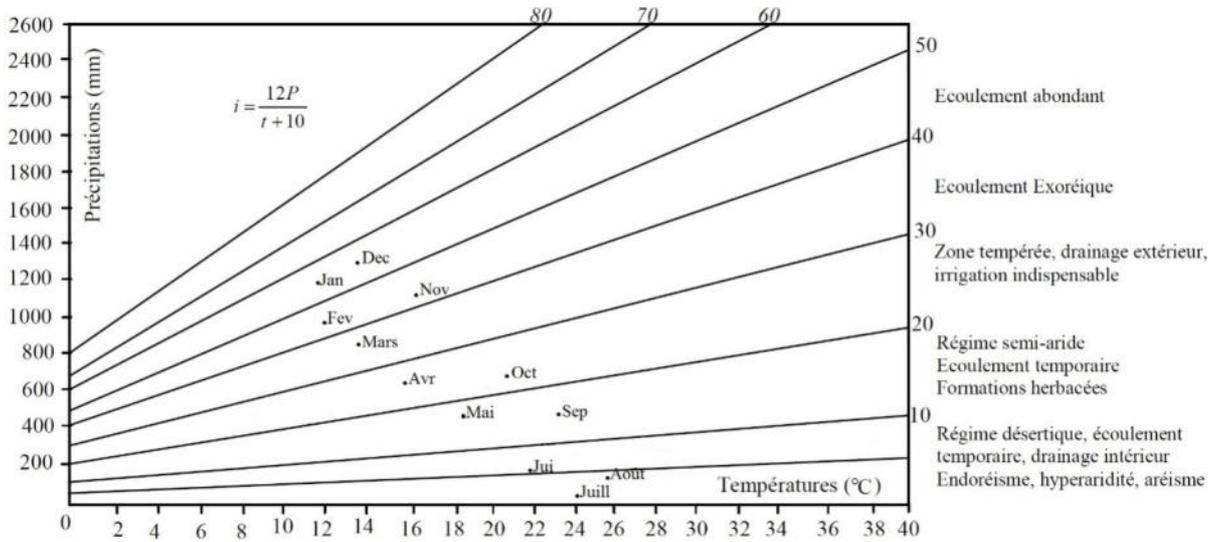


Figure 53 : Abaque de l'Indice d'aridité Mensuel de de Martone 1923

II.3.2. Le bilan hydrique :

II.3.2.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle :

L'évapotranspiration est la quantité d'eau évaporée à partir du sol, des surfaces d'eau libres et celle transpirée par les végétaux.

II.3.2.1.1. Formule de Turc :

Cette formule consiste à évaluer directement l'évapotranspiration réelle à partir de la hauteur moyenne de la pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

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

T : température moyenne annuelle en °C

Tableau 6 : L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc

Paramètres	P(mm)	ETR(mm)
Stations		
Les Salines	661.74	580.46
Pont Bouchet	634.82	563.80

II.3.2.1.2. Formule de Thornthwaite (bilan d'eau) :

Cette méthode est basée sur la notion de **RFU** (réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes). Dans les conditions de la région on admet une **RFU** égale à 100 mm comme valeur maximale. Outre que les données pluviométriques et la température, cette méthode introduit le coefficient thermique **K** et l'indice de température mensuel **i** pour l'estimation de l'**ETR** selon la relation suivante :

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

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

$$\text{Et } a = \frac{1,6}{100}I + 0,5$$

Avec :

t : Température moyenne annuelle C°

i : Indice thermique mensuel

I : Somme des indices mensuels

ETP : Evapotranspiration potentiel mensuelle en mm

K : terme correctif dépend de la durée d'insolation

Les résultats de calculs effectués selon cette méthode sont reportés dans les tableaux 7 et 8.

Tableau 7 : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station des Salines (1985-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Années
Précipitation(mm)	39,88	56,64	92,34	105,96	99,47	81,75	69,34	52,71	37,56	12,99	3,78	9,32	661,74
Température(°C)	23,2	20,6	16,1	13,7	11,9	12	13,4	15,4	18,2	21,9	24,8	25,6	18,07
i	10,21	8,53	5,87	4,60	3,72	3,76	4,45	5,49	7,07	9,36	11,30	11,85	86,22
a	1,88												
ETPnc	102,83	82,24	51,75	38,21	29,32	29,79	36,65	47,60	65,16	92,26	116,56	123,72	
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETPc	105,91	79,77	44,50	32,48	25,51	25,32	37,75	51,89	78,84	111,64	143,36	143,52	880,49
P-ETPC	-66,03	-23,13	47,84	73,48	73,96	56,43	31,59	0,82	-41,28	-98,65	-139,58	-134,20	
RFU100	0,00	0,00	47,84	100	100	100	100	100	58,72	0,00	0,00	0,00	606,56
ETR	39,88	56,64	44,5	32,48	25,51	25,32	37,75	51,89	78,84	71,71	3,78	9,32	477,62
Exèdent (EX)	0,00	0,00	0,00	21,32	73,96	56,43	31,59	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	184,12
Déficite Agricole (DA)	66,03	23,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,93	139,58	134,20	402,87
Ecoulement	0,65	0,32	0,16	10,66	42,31	49,37	40,48	20,65	10,33	5,16	2,58	1,29	183,96

Formules de vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad P = 477,62 + 184,12 = 661,74$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad ETP = 477,62 + 402,87 = 880,49$$

Tableau 8 : Bilan de l'eau selon C.W Thornthwaite, station de Pont Bouchet (1985-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Août	Années
Précipitation(mm)	36,51	52,97	88,20	101,71	92,00	90,40	61,20	51,84	34,64	12,31	2,74	10,30	634,82
Température(°C)	23,20	20,60	16,10	13,70	11,90	12,00	13,40	15,40	18,20	21,90	24,80	25,60	18,07
i	10,21	8,53	5,87	4,60	3,72	3,76	4,45	5,49	7,07	9,36	11,30	11,85	86,22
a	1,88												
ETPnc	102,83	82,24	51,75	38,21	29,32	29,79	36,65	47,60	65,16	92,26	116,56	123,72	
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETPc	105,91	79,77	44,50	32,48	25,51	25,32	37,75	51,89	78,84	111,64	143,36	143,52	880,49
P-ETPC	-69,40	-26,80	43,70	69,23	66,49	65,08	23,45	-0,05	-44,20	-99,33	-140,62	-133,22	
RFU100	0,00	0,00	43,70	100,00	100,00	100,00	100,00	99,95	55,75	0,00	0,00	0,00	599,40
ETR	36,51	52,97	44,50	32,48	25,51	25,32	37,75	51,89	78,84	68,06	2,74	10,30	466,87
Exèdent (EX)	0,00	0,00	0,00	12,93	66,49	65,08	23,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	167,95
Déficite Agricole (DA)	69,40	26,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,58	140,62	133,22	413,62
Écoulement	0,58	0,29	0,14	6,47	36,48	50,78	37,11	18,56	9,28	4,64	2,32	1,16	167,81

Formules de vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad P = 466,87 + 167,95 = 634,82$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad ETP = 466,87 + 413,62 = 880,49$$

Ainsi, on remarque que la réserve en eau du sol RFU dans les trois stations, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum 100 mm à partir de décembre jusqu'à avril, période pendant laquelle apparaît un excédent qui va se traduire en écoulement ou une infiltration qui alimente les nappes. A partir du mois de Décembre (Figure 51) la réserve commence à s'épuiser jusqu'au mois de Mai où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole, et la nécessité d'irriguer...

A partir du tableau comparatif de l'évapotranspiration réelle calculée par les différentes Méthodes (Turc, Thornthwaite) (Tableau 9), on remarque que les valeurs sont assez proches avec une moyenne de 529.04 mm/an pour les Salines et 515.33 mm/an pour celle de Pont Bouchet.

Tableau 9 : Valeurs de l'ETR d'après les Deux méthodes Turc et Thornthwaite

Méthodes	L'évapotranspiration réelle (mm/an)	
	Turc	Thornthwaite
Stations		
Les Salines	580.46	477.62
Pont Bouchet	563.80	466.87

II.3.2.2. Le ruissellement :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau au cours d'une précipitation, échappée à l'infiltration et à l'évaporation.

Le coefficient de ruissellement R a été estimé avec la formule de Tixeront-Berkaloff

$$R = P^3/3(ETP)^2 \quad \text{quand : } P < 600 \text{ mm.}$$

$$R = P^3/3 \quad \text{quand : } P > 600 \text{ mm.}$$

Avec :

R : ruissellement en mm.

P : précipitation moyenne mensuelle en mm.

ETP : évapotranspiration potentielle.

Les résultats de ruissellement calculé à partir de cette formule sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau10 : Détermination du ruissellement dans les stations étudiées

Stations	Les Salines	Pont Bouchet
Paramètres		
P (mm)	661.74	634.82
R (mm)	96.59	85.27

II.3.2.3. L'infiltration :

L'infiltration est un paramètre très important dans le bilan hydrique, est définie comme étant le mouvement de l'eau dans un sol en passant par la surface, elle dépend de plusieurs facteurs, les plus importants sont :

- ❖ La nature du sol.
- ❖ La perméabilité et la porosité du terrain
- ❖ La couverture végétale.
- ❖ L'intensité de la pluie
- ❖ Topographie du terrain

Elle peut être calculée par la formule du bilan globale :

$$P = R + I + ETR$$

$$\text{Donc : } I = P - R - ETR.$$

Avec : R : ruissellement en mm.

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

I : Infiltration en mm.

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

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

Les résultats de l'infiltration sont notés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Estimation de l'infiltration en (mm) par la méthode de Thornthwaite

Paramètres	P(mm)	ETR (mm)	R(mm)	I(mm)
Stations				
Les Salines	661.74	477.62	96.59	87.53
Pont Bouchet	634.82	466.87	85.27	82.68

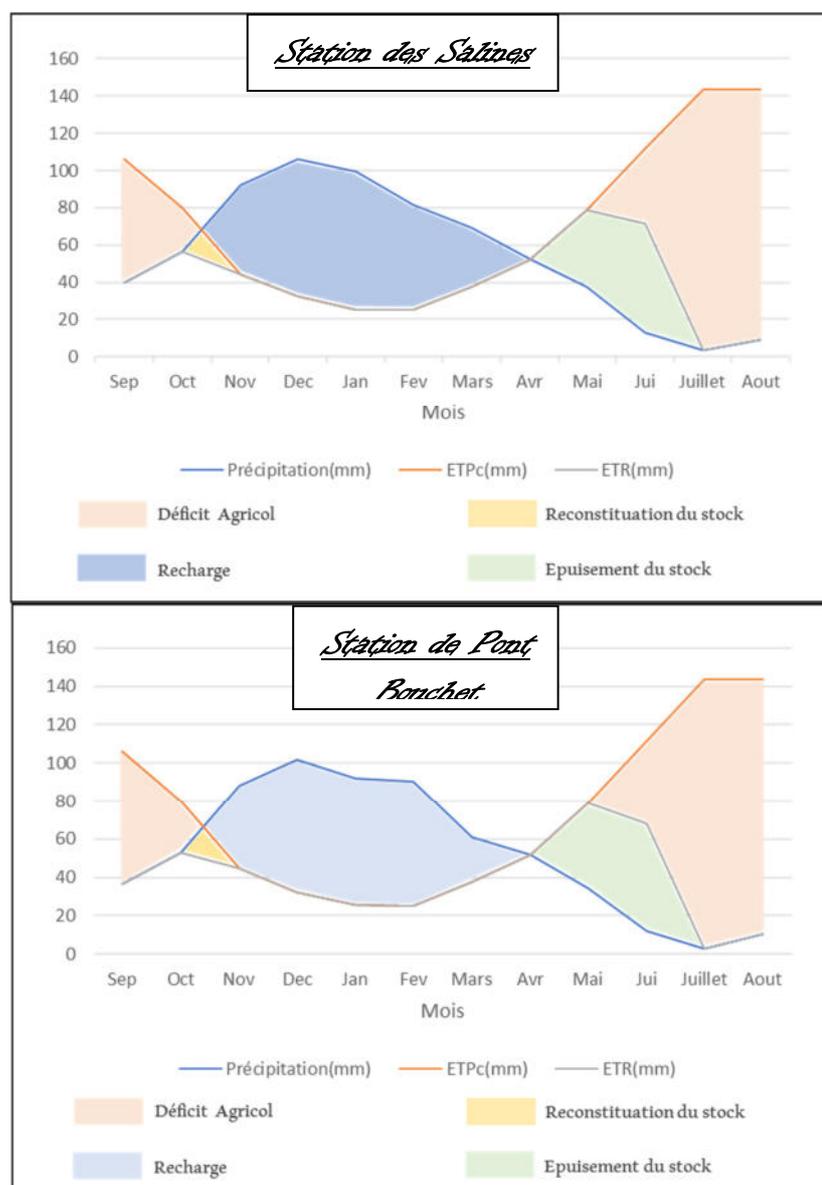


Figure 54 : Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite dans les Stations les Salines, Pont Bouchet (1985-2017)

II.4. Conclusion :

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les alluvions (sable, gravier, cailloutis, ...), les grès, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine d'Annaba, nous a permis de distinguer les réservoirs d'eau suivants :

- le réservoir de la nappe superficielle (plaine d'Annaba), représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique et par les sables de la nappe du cordon dunaire ;

- le réservoir de la nappe des graviers (plaine d'Annaba), représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile.

- Les plaines de Annaba sont constituées par des sédiments mio-plio-quaternaires 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 2 principales nappes ; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses et la nappe des graviers.

Ces deux nappes sont largement exploitées par de nombreux ouvrages de captage destinés à l'alimentation des populations et pour répondre aux besoins de l'industrie et de l'agriculture.

- La région d'étude compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie. Elle est soumise à un climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud et sec en été. La moyenne annuelle des précipitations varie entre 634.82mm et 661.74mm sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,07°C.

La réserve en eau RFU, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum de 100 mm à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de 184.12mm et 167.95mm respectivement pour les stations les Salines, Pont Bouchet.

A partir du mois de Mai, la RFU commence à s'épuiser jusqu'au mois de Juin où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole.

Les valeurs de ruissellement et celle de l'infiltration déduites à partir de l'équation du bilan hydrique de Thornthwaite donnent respectivement 96.59mm et 87.53mm pour la station les Salines, et 85.27 mm et 82.68 mm pour Pont Bouchet.

Chapitre IV :
Chapitre IV :

Modélisation

IV.1. Les Réseaux de Neurones Artificiels (ANN)

IV.1.1. Présentation de la méthode neuronale

Les réseaux de neurones artificiels (RNA ou ANN) constituent une nouvelle approche de modélisation des systèmes complexes, particulièrement utile lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser à l'aide des méthodes statistiques classiques. Les réseaux de neurones artificiels sont issus des premiers travaux réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle pour modéliser le fonctionnement du cerveau humain (McCulloch et Pitts, 1943) en se basant principalement sur le concept des neurones. Il s'agit d'un modèle empirique non linéaire (Fortin et *al.*, 1997). Il se compose d'éléments de traitement interconnectés (neurones) travaillant conjointement pour résoudre un problème spécifique. R. Hecht Nielsen 1990 donne la définition suivante : un réseau de neurones est un système de calcul composé d'éléments de traitement simples fortement interconnectés, qui traitent l'information par leur changement d'état dynamique en réponse à une entrée externe.

IV.1.2. Connections entre les neurones

Les réseaux de neurones sont organisés en couches ; ces couches se composent d'un certain nombre de neurones interconnectés qui contiennent une fonction d'activation. Des entrées (X_1, X_i, \dots, X_n) sont présentées au réseau par l'intermédiaire de la couche d'entrée, qui les communique aux couches cachées où le traitement s'effectue en utilisant des connexions pondérées.

Puis, les couches cachées transmettent la réponse à la couche de sortie (S). Les connections entre les neurones se font par des poids (W_1, W_i, \dots, W_n) (Fig. 55).

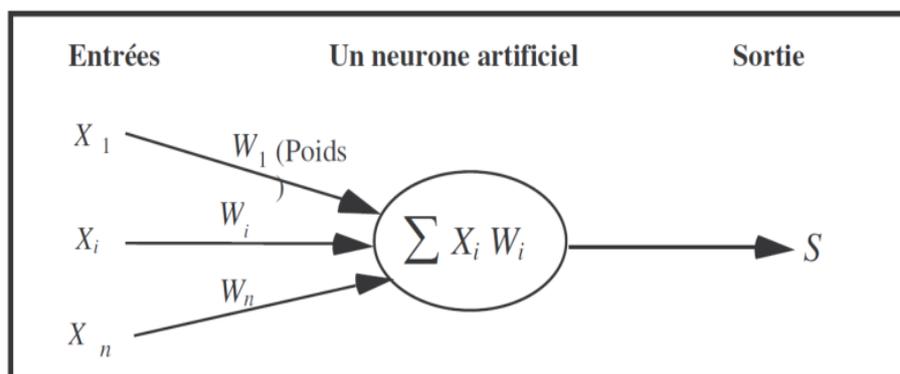


Figure 55 : Schéma d'un neurone artificiel

IV.1.3. Perceptron Multicouche (PMC)

Il existe une grande variété d'agencements possibles de neurones artificiels (Lippmann, 1987), mais le type de réseau le plus utilisé pour la prévision de phénomènes hydrologiques est le Perceptron Multicouche (PMC). Ce réseau comporte une couche de neurones artificiels pour capter les entrées, une ou plusieurs couches cachées (MLP ou MultiLayers Perceptron) et une couche de neurones artificiels pour émettre les sorties du modèle. Chaque couche contient des unités de calcul (neurones) connectées à d'autres neurones par la voie des poids (W_{ij} et W_{kj}) [Najjar and Zhang (2000), Najjar and Ali (1998a) & (1998b)].

La fonction de transfert ou d'activation de non-linéarité peut avoir plusieurs formes différentes.

La fonction la plus utilisée est en général une somme pondérée de type sigmoïde car il s'agit d'une fonction continue, non décroissante, différentiable et bornée, mais aussi elle introduit de la nonlinéarité et dérivée d'elle-même.

A chaque connexion entre les neurones de deux couches successives est associé un poids modifiable au cours de l'apprentissage en fonction des jeux de données en entrée et en sortie. Un PMC peut contenir autant de couches cachées que l'on désire mais il a été montré que quel qu'en soit le nombre, il existe un MLP équivalent avec une seule couche cachée. Ainsi, on se limitera dans cette étude à l'utilisation de MLP comportant une seule couche cachée.

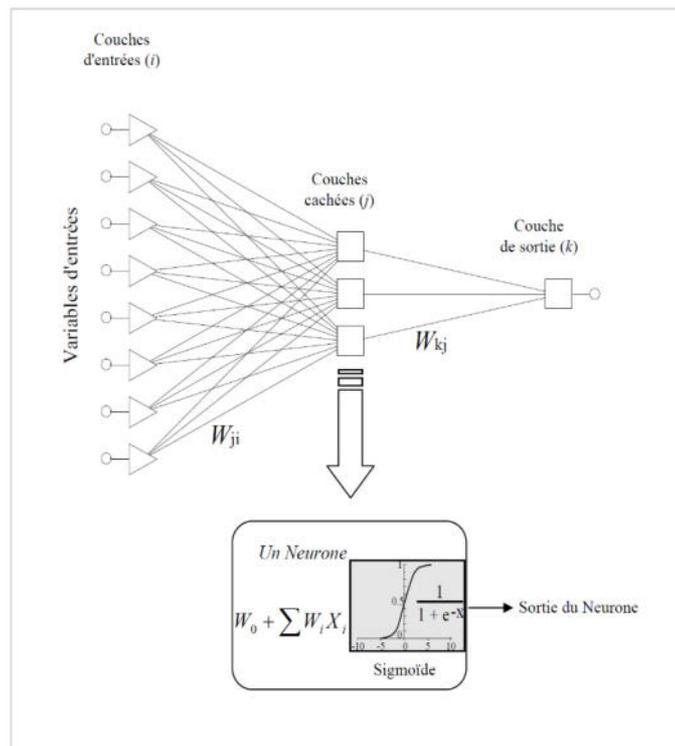


Figure 56 : L'Architecture d'un MLP à Trois Couches

IV.2. Application du model de RNA (ou ANN)

Les réseaux de neurones artificiels, connus généralement sous l'acronyme *ANN* (*Artificial Neural Network*), sont des modèles mathématiques non linéaires de type "boîte noire" capables d'établir des relations entre les entrées et les sorties d'un système.

Les performances de ces derniers dans la modélisation non linéaire ont été prouvées dans plusieurs domaines de l'ingénierie et de la science. Dans le domaine de l'ingénierie essentiellement en géotechnique on peut citer Najjar et al (1996), Najjar and Ali (1998a) & (1998b) et Najjar and Zhang (2000) qui ont appliqué les RNA pour l'évaluation de la perméabilité des argiles et la liquéfaction des sols.

L'ANN est utilisé dans le domaine d'hydrogéologie et hydrologie (Lallahem et Mania, 2003a, b), dans le domaine de la gestion de l'eau, l'ANN est utilisé pour la prévision des paramètres de la qualité de l'eau (Mier et Dandy, 1996), la prévision de la demande de l'eau (Liu et al, 2003), la modélisation pluie-débit (Minns et Hall, 1996), la prévision des flux (Coulibaly et al, 2000 ; Chang et al, 2003), la relation entre la pluie et le débit (Rajurkar et al 2004 ; Riad et al, 2004) la gestion des aquifère côtiers (Jalala S, 2005).

Les modèles ANN sont des outils mathématiques, capable de modéliser des fonctions extrêmement complexes (Najjar et al, 1997). Ces modèles ont une approche informatique inspirée par le système nerveux humain. Le modèle de réseau neuronal le plus populaire est le réseau MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation : le Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS Quasi-Newton) et le gradient conjugué (SCG). Le nombre de neurones dans la couche cachée est décidé après l'apprentissage et le test (Rumelhart et al, 1986). Actuellement, le MLP est le modèle le plus populaire (Hagan et al, 1996). Le MLP est capable de rapprocher toute fonction mesurable d'un espace de dimension finie à l'autre d'un degré souhaité de précision (Hornik et al, 1989).

IV.2.1. Le Calage du Modèle

Après que le nombre des neurones dans les trois couches ait été arrangé de façon que les résultats, statistiquement soient plus plausibles, trois partitions différentes de la base de données sont alors utilisées pour les simulations. La base de données a été divisée en trois phases afin d'éviter le sur-apprentissage (Xiao et Chadarasekar, 1997) : une phase d'apprentissage (Training) (50% de données), une phase de validation (Vérification) (25% de données) et une phase de test (Testing) (25%). La validation est une technique utilisée couramment dans les modèles ANN, et a un impact significatif sur la répartition des données (Burdon et al, 1997).

Pour détecter la perturbation du modèle, on utilise qu'une partie de données par l'apprentissage et une autre partie sera réservée pour tester la performance du modèle afin de décider l'arrêt de l'apprentissage avec des noeuds cachés optimales (Braddock et al, 1997). Cet arrêt est fait lorsque

l'erreur de la validation du modèle commence à augmenter (Lallahem et Mania, 2003a, b ; Hani et al, 2006).

IV.2.2. Détermination des Entrées du Model

Modèles RNA ont la capacité de déterminer quels intrants sont essentiels. Ils sont surtout utiles pour des problèmes complexes où le nombre d'entrées possibles est grand et où la connaissance a priori n'est pas disponible pour déterminer les apports appropriés (Lachtermacher et Fuller, 1994). Une analyse de sensibilité peut être réalisée afin d'identifier l'importance des variables d'entrée. Ceci indique quelles variables sont considérées comme les plus utiles pour être retenu par le modèle ANN. Les modèles ANN supprime les variables d'entrée avec une faible sensibilité. La sensibilité est présentée par le Ratio et Rang. La figure sensibilité de base est l'erreur. Cela indique la performance du réseau si cette variable est "indisponible". Les variables importantes ont une grande erreur, ce qui indique que les performances du réseau se détériorent gravement s'ils ne sont pas présents. Le ratio indique le rapport entre l'erreur et l'erreur de base (c'est à dire l'erreur du réseau si toutes les variables sont "disponibles"). Le Rang énumère simplement les variables dans l'ordre de leur importance.

IV.3. Analyses des Données : Résultats et Discussion

IV.3.1. L'Analyse par les RNA

Le Réseaux des Neurones Artificiels (RNA ou ANN) a été utilisé pour caractériser et classier par ordre de priorité les variables indépendantes des différentes catégories du modèle DPSIR. La linéarité et la normalité des données ne sont pas pré-requises pour l'utilisation du modèle RNA. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de transformer des données.

Les résultats des RNA pour les catégories : de la force motrice (D), de la Pression (P), de l'État de la qualité de l'eau (S), de l'impact (I) et de Réponses (R).

III.3.1.1 Les variables de la force motrice (Driving force)

Les variables représentant les facteurs socio-économiques : la population (Pop), le tourisme (Tour), l'occupation des sols (Occup Sol), le taux de raccordement aux réseaux AEP (Racc AEP), le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées (Racc E usées), la dotation journalière en eau potable (Dota), le prix de l'eau (Prix), la collection des taxes (Taxe), la consommation de l'eau pour l'agriculture (AEI), Le rôle des femmes (Rôle F), et les fuites d'eau (Fuites), sont considérés comme des variables d'entrée possible, tandis que la variable de sortie correspond au captage d'eau (Qext). Un schéma de ce réseau est donné dans la figure 57.

$$\{Q_{ext}\} = ANN [Pop, Occup Sol, Tour, dota, Racc E usée, Racc AEP, Prix, Taxe, AEI, Rôle F, Fuites]$$

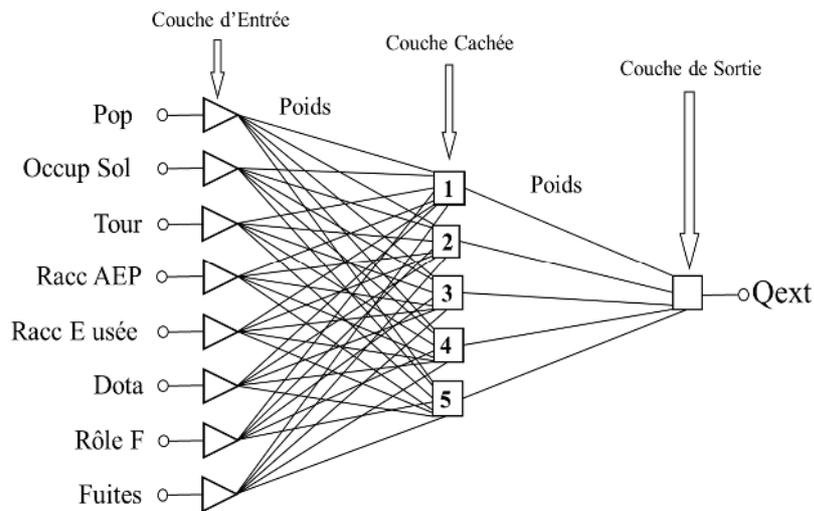


Figure 57 : Réseau MLP à trois couches des variables socioéconomiques

Légende :

- Qext : mobilisation de l'eau mesurée en hm³/an
- Pop : population mesurée en nombre
- Tour : nombre des hôteliers par an
- Occup sol : occupation du sol mesurée en hectares
- Racc AEP : taux de raccordement aux réseaux de l'AEP (%)
- Racc E usée : taux de raccordement aux réseaux des eaux usées (%)
- Dota : dotation journalière de l'eau potable l.hab⁻¹.j⁻¹
- Rôle F : des femmes (%)
- Fuites : pertes ou fuites d'eau (%)

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur modèle optimal ANN trouvé est un Perceptron Multicouche (MLP) trois (03) couches avec cinq (05) noeuds cachés et La RMSE (Racine Carrée de l'Erreur Quadratique Moyenne) du modèle est de 0.90.

Le modèle présente de très bonnes performances en termes de vérification, avec un ratio SD de 0,13. Les erreurs quadratiques moyennes (RMSE) pour l'apprentissage, la vérification et la validation sont faibles (tableau 12). En outre, le coefficient de corrélation des trois phases : apprentissage, vérification et validation est respectivement de 0.98, 0.99, 0.98, cela indique un excellent accord entre la mobilisation de l'eau (Qext) observée et mesurée (Figure 58).

Tableau 12 : Paramètres de la régression statistique pour la variable sortie (Qext) –Variables socioéconomiques

	Tr. Qext	Ve. Qext	Te. Qext
Data S.D.	10.38591	7.451588	7.72285
Error mean	-1.321292	0.2572612	0.89474
Error S.D.	4.144754	1.005675	1.46126
Abs. error mean	3.225454	0.6174237	1.305794
RMS error	0.9102	0.9081	1.495
S.D. ratio	0.194482	0.1349611	0.527613
Correlation	0.9809436	0.9912285	0.9811046

Legend: Tr: Training, Ve: Verification, Te: Testing

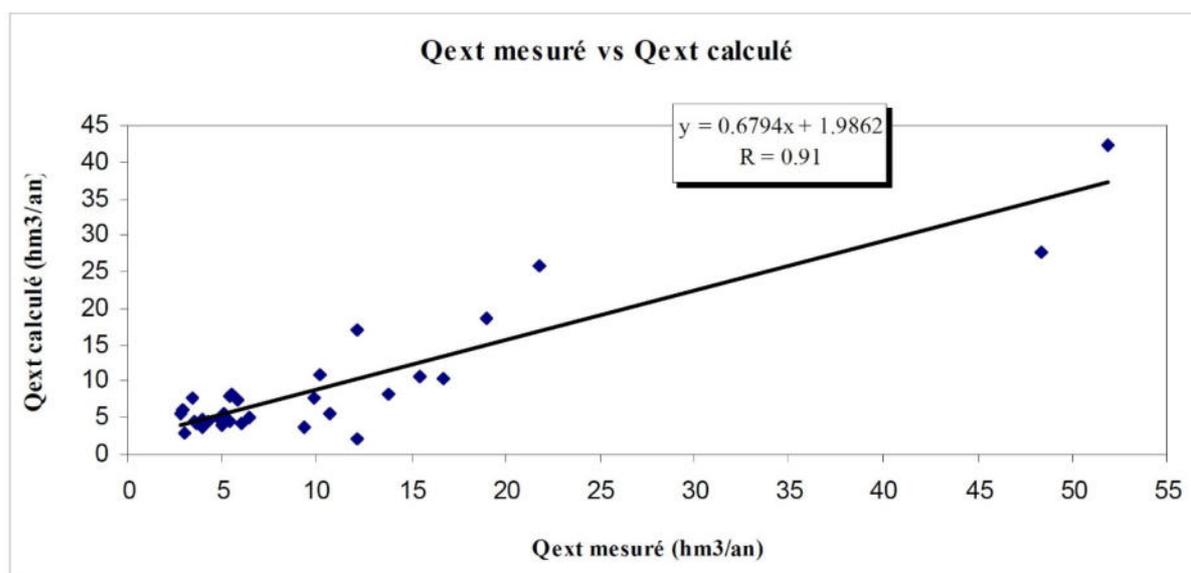


Figure 58 : Débits mesurés vs débits calculés par le modèle RNA

L'analyse de la sensibilité des variables socio-économiques dans la phase de vérification (tableau 13) indique que le rôle des femmes (Rôle F) est le facteur le plus pertinent pour les variables socioéconomiques suivie par les fuites d'eau. En fonction de leur classement, les autres facteurs socio-économiques les plus influents sont dans l'ordre : occupation des sols, la population, la dotation, le raccordement aux réseaux d'AEP et enfin le raccordement aux eaux usées.

Tableau 13 : Analyse de la sensibilité des variables socio-économiques

	Pop	Tour	Occup des Sol	Racc	Racc E	Dota	Role F	Fuites
Rank	3	8	2	5	4	6	1	7
Error	4.70991	4.07890	5.49966	4.26118	4.452877	4.259	6.1340	4.1500
Ratio	1.10469	0.95669	1.28992	0.99944	1.044405	0.998	1.4387	0.9733
Rank	4	8	3	6	7	5	1	2
Error	1.27853	0.87300	1.40891	0.96679	0.88863	1.273	5.4832	2.5466
Ratio	1.40785	0.96131	1.55142	1.06458	0.978515	1.402	6.0378	2.8042

Tableau 14 : Classement des variables d'entrée socio-économiques

Role F	Fuites	Occup des Sol	Pop	Dota	Racc	Racc E usée	Tour	
Rank	1	2	3	4	5	6	7	8

III.3.1.2 Les variables de Pression (Pollution)

Les données de la variable sortie le total des solides dissous (TDS) et celles des variables indépendantes de Pression ont été appliquées dans la création du modèle neuronal. Les variables indépendantes de Pression sont : Les Déchets Solides Sauvages (Déch S), La Génération des Eaux Usées Domestiques (E usée Dom), Les pesticides (Pest), Les Engrais Chimiques (Engr Chim), Les Engrais Organiques (Engr Org), Les Stations du Carburant (Stat Ess), Les Eaux Usées Industrielles (E usée Ind) et Le Dioxyde de Carbone (CO₂). Les variables indépendantes représentant la Pression ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable dépendante TDS (le total des solides dissous). Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{TDS\} = ANN [Dech S, E usée Dom, Pest, Engr org, Engr chim, Stat Ess, E usée Ind, CO_2, Intr Mar]$$

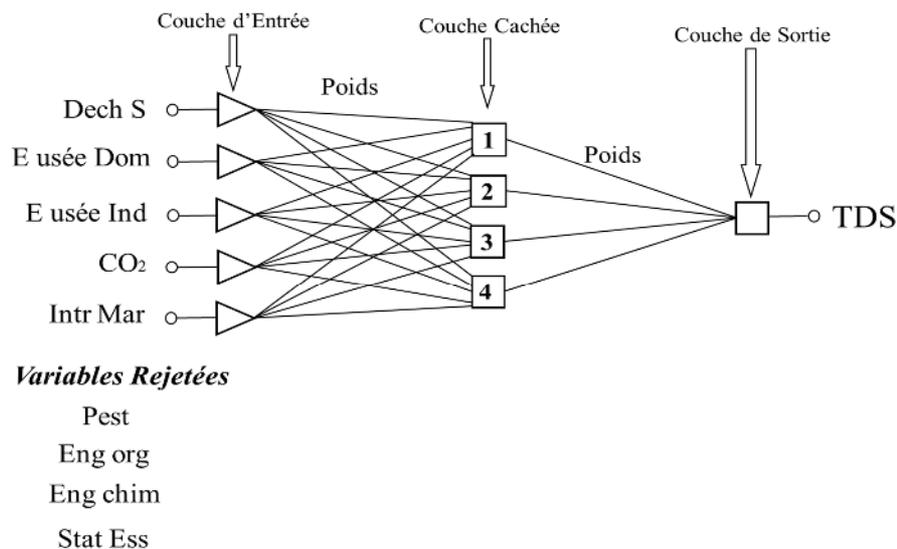


Figure 59 : Réseau MLP à trois couches des variables sources de pollution

Légende :

- TDS : Le total des sels dissous (ppm)
- Dech S : Les déchets solides exprimés en (t.j⁻¹)
- E usée Dom : Les eaux usées domestiques exprimées (hm³.an⁻¹)
- E usée Ind : Les eaux usées industrielles exprimées en (hm³.an⁻¹)
- CO₂ : Le Dioxyde de Carbone
- Intr Mar : Intrusion marine (hm³/an)
- Pest : Pesticides
- Engr org : Engrais organiques
- Engr chim : Engrais chimiques
- Stat Ess : Stations du carburant

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau neuronal trouvé est le MLP à trois (03) couches et à quatre (04) nœuds cachés (Figure 59) avec une RMSE de 25.56, la plus faible par rapport aux autres modèles. La performance du modèle est bonne pour la validation avec un ratio de déviation standard (ratio SD) de 0,01. La RMSE des différentes phases ; d'apprentissage, de validation et de test sont relativement faible, ce qui montre que les données des différentes variables appartiennent à la même population. Par ailleurs, le coefficient de corrélation est supérieur à 99 % pour la vérification et le test et 87% pour la validation (Tableau 15) traduisant un accord entre le TDS observé et simulé (Figure 60).

Tableau 15 : Paramètres statistiques de la sortie TDS des variables de la source de pollution

	Tr. TDS	Ve. TDS	Te. TDS
Data mean	2209.906	2620.833	2142.188
Data S.D.	1091.389	1231.062	954.9432
Error mean	-112.8458	-16.76796	115.2068
Error S.D.	595.6944	23.62893	129.9397
Abs. error mean	404.7289	22.67534	116.7138
RMS error	594.5	25.56	156.6
S.D. ratio	0.5458133	0.01919	0.1360706
Correlation	0.8789501	0.9998636	0.9907989

Legend: Tr: Training, Ve: Verification, Te: Testing

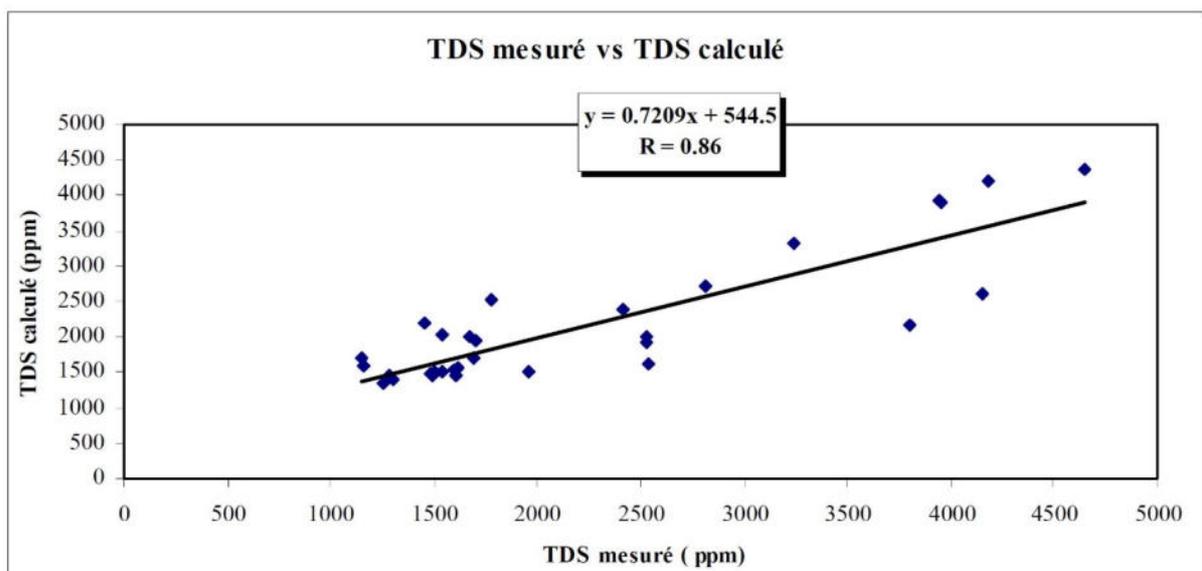


Figure 60 : TDS mesurés vs calculé par le modèle RNA

L'analyse de la sensibilité du modèle aux variables sources de pollution dans la phase de la validation (Tableau 16) indique que les eaux usées industrielles (E usée Ind) sont la principale

source de pollution suivie par l'intrusion marine (Intr Mar). Le classement des autres variables sources de pollution lors de la phase de la validation est le suivant : le CO₂, les déchets solides (Dech S) et les eaux usées domestiques (E usée Dom).

Tableau 16 : Analyse de la sensibilité des variables d'entrée de la source de pollution.

	Dech S	E usée Dom	E usée	CO ₂	Intr Mar
Rank	4	5	1	3	2
Error	725.203	656.0755	801.8969	728.4742	730.8205
Ratio	1.167607	1.056309	1.291088	1.27013	1.176651
Rank	4	5	1	3	2
Error	396.4911	238.3604	670.42	631.0517	604.3308
Ratio	1.386904	0.8337713	2.345092	2.0198	2.113915

Tableau 17 : Classement des variables d'entrée de la source de pollution

	E usée	Intr Mar	CO ₂	Dech S	E usée Dom
Rank	1	2	3	4	5

III.3.1.3 Les variables de l'État de la Qualité de l'Eau (State)

La mobilisation de l'eau à partir de la nappe des graviers d'Annaba et les paramètres physicochimiques ont été utilisés pour caractériser l'influence de la qualité des eaux sur la gestion de la ressource hydrique. Les paramètres de la qualité de l'eau considérée sont les Nitrates (NO₃⁻), les Chlorures (Cl⁻), le Sodium (Na⁺), le Calcium (Ca²⁺), le Magnésium (Mg²⁺), le Potassium (K⁺), les Sulfates (SO₄²⁻), le pH, le Résidu sec (RS), les Bicarbonates (HCO₃⁻) et la Conductivité Electrique (CE). Les paramètres de la qualité de l'eau ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable mobilisation de l'eau à partir de la nappe des graviers (Qext). Un schéma de ce réseau est donné dans la figure 61.

Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{Q_{ext}\} = ANN [Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^+, K^+, Cl^-, SO_4^{-2}, HCO_3^-, NO_3^-, CE, pH, RS]$$

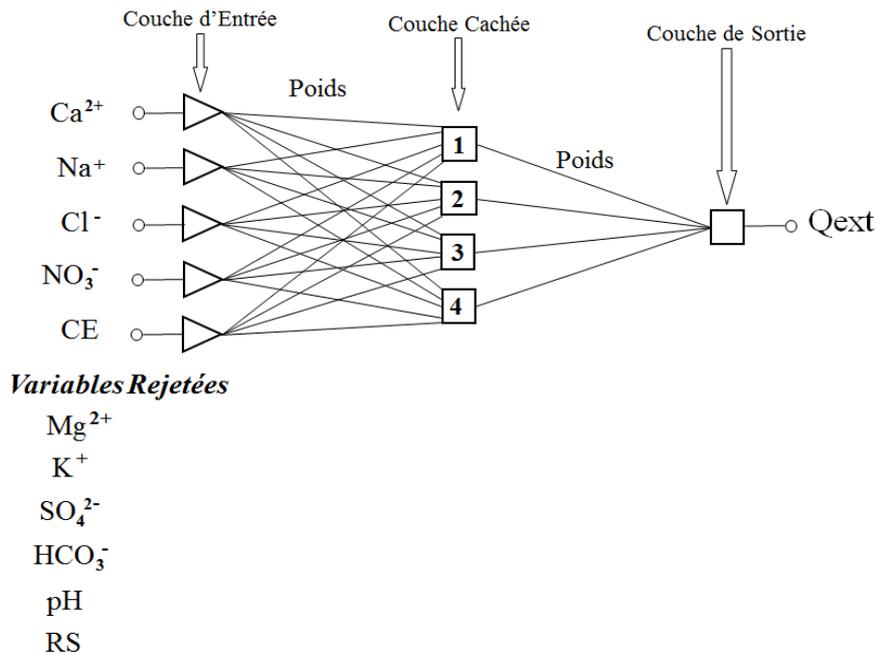


Figure 61 : Réseau MLP à trois couches des variables de la Qualité de l'Eau (State)

Légende :

- Ca²⁺: Calcium, (mg.l⁻¹)
- Mg²⁺: Magnesium, (mg.l⁻¹)
- Na⁺: Sodium, (mg.l⁻¹)
- K⁺: Potassium, (mg.l⁻¹)
- Cl⁻: Chlorures, (mg.l⁻¹)
- RS : Résidu sec, (mg.l⁻¹)
- SO₄²⁻: Sulfates, (mg.l⁻¹)
- HCO₃⁻ : Bicarbonates, (mg.l⁻¹)
- NO₃⁻ : Nitrates, (mg.l⁻¹)
- EC : Conductivité Electrique, mS.cm⁻¹
- pH : Potentiel en Hydrogène
- Qext : mobilisation de l'eau à partir de la nappe des graviers, (hm³.an⁻¹)

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau neuronal trouvé est le MLP à trois (3) couches avec quatre (04) nœuds cachés (Figure 61) est le meilleur modèle de par une RMSE minimale de 0,091. Le modèle présente une très bonne performance dans la phase de validation avec un ratio de déviation standard (ratio SD) de 0,29 et un coefficient de corrélation supérieur à 97% pour les trois phases (apprentissage, validation et test) ce qui indique un bon accord entre la mobilisation de l'eau observée et restituée par le modèle (Figure 62).

Tableau 18 : Paramètres statistiques de la sortie Qext des variables de la qualité de l'eau

	Tr. Qext	Ve. Qext	Te. Qext
Data mean	12.91034	4.884496	12.25741
Data S.D.	11.95233	0.9140903	8.577478
Error mean	-5.127481	-0.1374	0.691065
Error S.D.	8.253735	0.2705317	4.280636
Abs. error mean	7.127574	0.1716824	2.944339
RMS error	0.1166621	0.0914258	0.1273973
S.D. ratio	0.6905546	0.2959572	0.4990554
Correlation	0.9823898	0.9924537	0.9714513

Legend: Tr: Training, Ve: Verification, Te: Testing

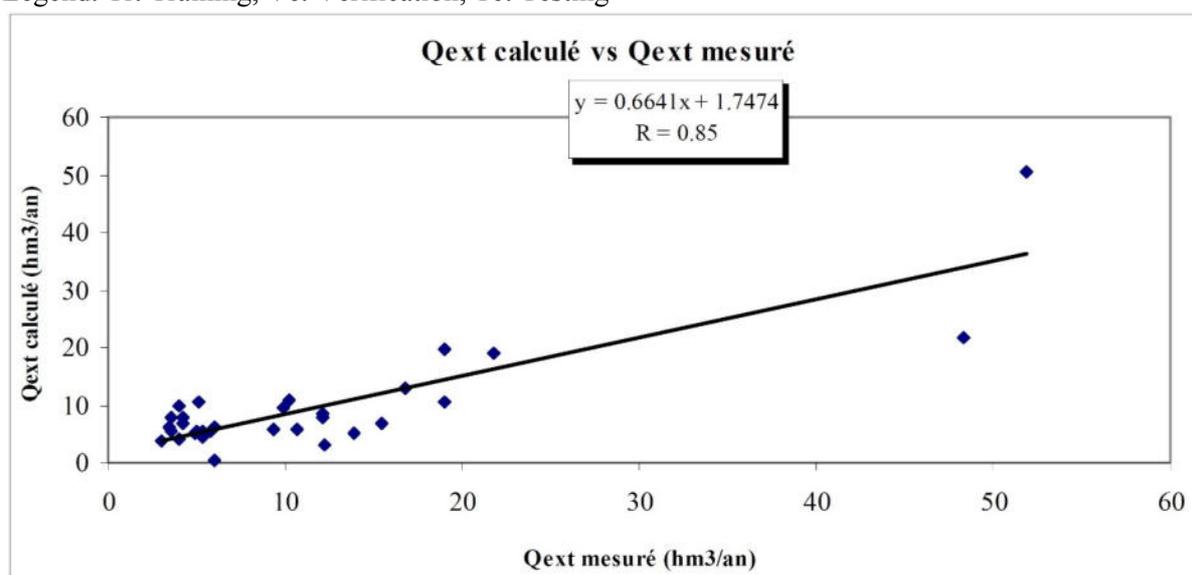


Figure 62 : Débits mesurés vs débits calculé par le modèle RNA ($y = 0.6641x + 1.7474$)

$$R = 0.85$$

L'analyse de la sensibilité de l'ANN aux variables de la qualité de l'eau dans la phase de validation (Tableau 19 : L'analyse de la sensibilité de l'ANN aux variables de la qualité de l'eau) indique que les Chlorures (Cl^-), les Nitrates (NO_3^-) et la Conductivité Electrique (CE) sont les principaux paramètres qui influent sur la qualité des eaux souterraines, suivis par le calcium (Ca^{2+}) et le Sodium (Na^+). Le modèle a rejeté le restant des variables à savoir le Magnésium (Mg^{2+}), le Potassium (K^+), les Sulfates (SO_4^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-) potentiel en Hydrogène (pH) et le Résidu sec (RS) en raison de sa faible sensibilité.

Les résultats du modèle ANN (tableau 20) sont identiques pour la variable approvisionnement en eau et ils diffèrent dans le classement des variables restantes.

Tableau 19 : Analyse de la sensibilité des variables d'entrée de la qualité de l'eau

	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	CE
Rank	3	5	1	2	4
Error	9.896936	9.714642	10.81463	10.20827	9.822055
Ratio	1.027149	1.00823	1.122392	1.059461	1.019378
Rank	4	5	1	3	2
Error	1.915556	1.824192	5.055606	3.073097	4.130911
Ratio	0.9918232	0.9445173	2.617656	1.591166	2.138874

Tableau 20 : Classement des variables d'entrée de la qualité de l'eau

	Cl ⁻	EC	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺
Rank	1	2	3	4	5

III.3.1.4 Les variables Réponses des Gestionnaires

Les données relatives à la mobilisation de l'eau et les variables relatives aux décisions des gestionnaires ont été utilisées pour analyser les effets des politiques sur la gestion des ressources en eau. Les interventions menées par les organismes chargés de la gestion des ressources en eau comportent le stockage des eaux pluviales (Stok E pluv), l'importation de l'eau (Import E), l'efficacité dans l'eau destinée à l'irrigation (Effic E irrig), l'efficacité de l'approvisionnement en AEP (Effic AEP), l'efficacité dans les systèmes d'information (Effic syst), l'éducation et la sensibilisation sur l'eau (Sensib). Un schéma de ce réseau est donné dans la figure 60.

L'élaboration d'un modèle des réseaux de neurones artificiels, avec comme entrée les variables relatives aux décisions des gestionnaires et comme sortie la mobilisation de l'eau, peut être représentée par l'équation suivante :

$$\{Q_{ext}\} = ANN [Stock E pluv, Import E, Effic E irrig, Effic AEP, Effic syst, Sensib]$$

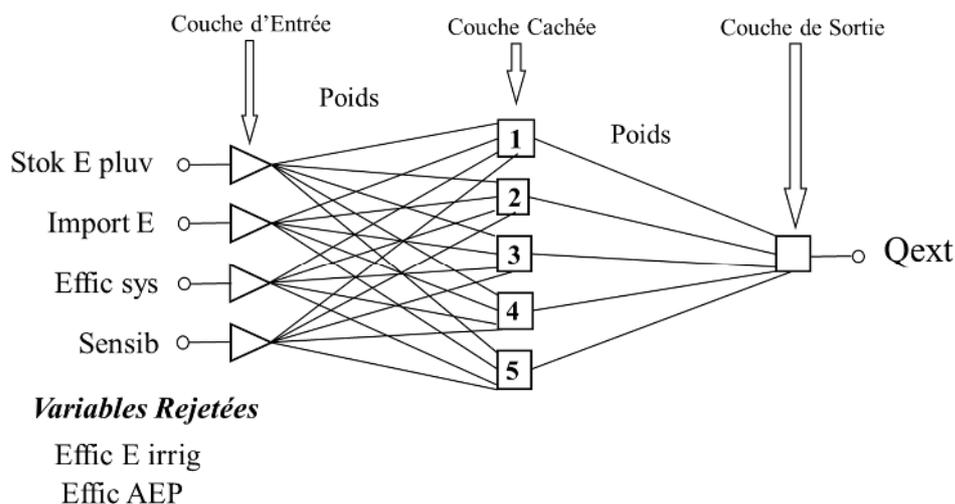


Figure 63 : MLP à trois couches pour les variables réponses des gestionnaires

Légende :

Stock E pluv : stockage des eaux pluviales, en ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$)
Import E : importation de l'eau, en ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$)
Effic sys : efficacité dans le système d'information, en %
Sensib : éducation et la sensibilisation sur l'eau, en nombre
Qext : mobilisation de l'eau, en ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$)
Effic E irrig : l'efficacité dans l'eau destinée à l'irrigation, en %
Effic AEP : l'efficacité de l'approvisionnement en AEP, en %

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau obtenu est le MLP à trois couches avec cinq nœuds cachés (Figure 60) et un minimum de 0.56 pour la RMSE (Tableau 21). Le modèle ANN choisie présente une bonne performance pour la validation avec un ratio de déviation standard (ratio SD) de 0.22. Le coefficient de corrélation est supérieur à 96% pour les trois phases (apprentissage, la validation, et le test, (Tableau 21). La corrélation entre la mobilisation de l'eau (Qext) observée et (Qext) calculée est donc acceptable (Figure 64).

Tableau 21 : Les paramètres statistiques variable réponses des gestionnaires

	Tr. Qext	Ve. Qext	Te. Qext
Data mean	12.11364	6.09163	9.428795
Data S.D.	13.56716	2.726404	8.228003
Error mean	0.08512	-0.1913	0.9410033
Error S.D.	5.365236	0.6085702	1.867226
Abs. error mean	3.723782	0.5197082	1.214614
RMS error	2.744	0.56	1.87
S.D. ratio	0.3954576	0.2232135	0.2269354
Correlation	0.961451	0.9893823	0.99913

Legend: Tr: Training, Ve: Verification, Te: Testing

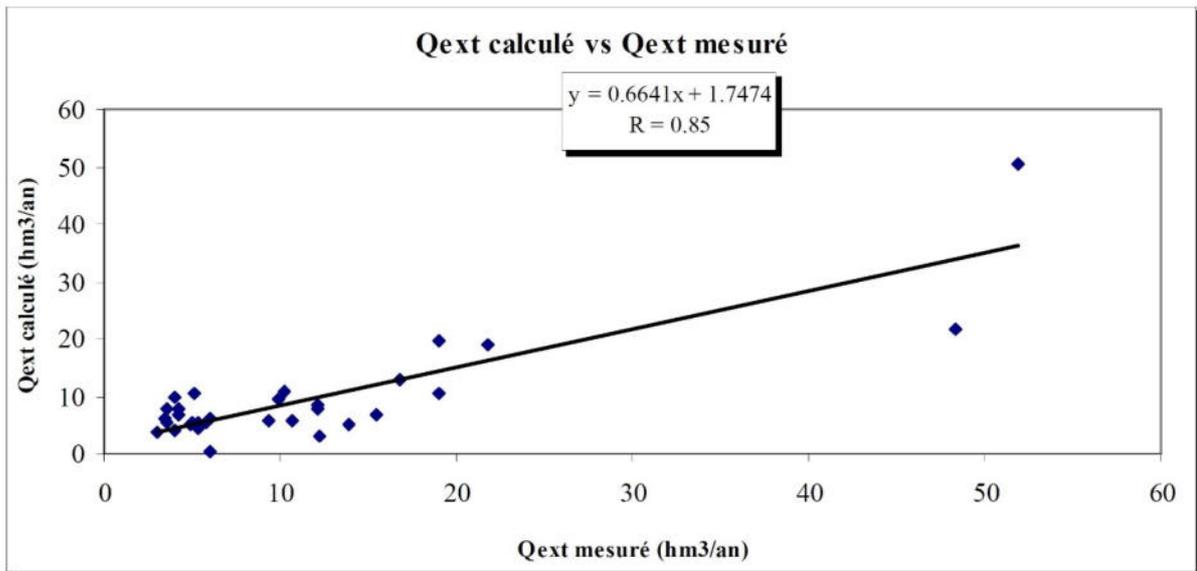


Figure 64 : Débits mesurés vs débits calculé par le modèle RNA

L'analyse de la sensibilité du réseau de neurone aux variables décisions des gestionnaires des ressources en eau (Tableau 22) indique que la sensibilisation et l'éducation (Sensib) sont les interventions les plus importantes. Les autres interventions sont dans l'ordre d'importance, selon leur classement dans la phase de la validation : l'efficacité dans le système d'information (Effic sys), l'importation de l'eau (Import E) et enfin le stockage des eaux pluviales (Stock E pluv).

Tableau 22 : Analyse de la sensibilité des variables d'entrée réponses des gestionnaires.

	Stock E pluv	Import E	Effic sys	Sensib
Rank	4	3	2	1
Error	5.27848	5.371168	5.443238	11.44435
Ratio	1.007992	1.025692	1.039455	2.185444
Rank	4	3	2	1
Error	0.5328201	0.6169177	2.488828	4.961382
Ratio	0.950317	1.10031	4.438976	8.848926

Tableau 23 : Classement des variables d'entrée réponses des gestionnaires

	Sensib	Effic sys	Import E	Stock E pluv
Rank	1	2	3	4

IV.4. Conclusion

Les remarques et les conclusions tirées de l'analyse des données en utilisant les RNA, peuvent être résumées comme suit :

- Les résultats obtenus dans l'analyse ANN indiquent que le Perceptron Multicouche MLP avec l'algorithme de rétro-propagation BFGS (Broyden Fletcher Goldfarb Shano) s'est avéré être la meilleure structure ANN pour modéliser et simuler la relation entre la mobilisation de la ressource

en eau (**Qext**) et les variables de la catégorie **D**, **S**, et celle **R** d'une part, et la relation entre le **TDS** et les variables de la catégorie **P** d'autre part. En outre, les réseaux MLP permet de caractériser et de hiérarchiser les variables efficaces dans chaque catégorie.

- Les modèles RNA peuvent être utilisés pour des jeux de données indépendants en sciences de l'eau et de l'environnement.
- Le modèle ANN caractérise les indicateurs efficaces selon leurs priorités (poids), le Rôle des femmes (**rôle F**) et les **Fuites** d'eau sont les deux principaux variables force les plus effective dans la catégorie force motrice, Une démarche participative et responsabilisante des femmes pourrait aider à mieux utiliser la ressource. Des mesures de réhabilitation et de recherche des fuites sur les réseaux.

Les eaux usées industrielles (**E usée Ind**) comme source de pollution la plus influente en renforçant les normes et réglementations et en mettant en place des dispositifs de suivi et des systèmes de pénalités, le deuxième facteur à prendre en considération dans le cadre de la pollution c'est l'intrusion marine (**Intr Mar**) qui peut être évité en exploitant les nappes d'eaux souterraine avec modération et mettant en place des périmètres de protection.

Les Chlorures (**Cl⁻**), les Nitrates (**NO₃⁻**) et la Conductivité Electrique (**CE**) sont les principaux facteurs de la dégradation des eaux souterraines, ce qui implique que des mesures adéquates devraient être prises pour stopper cette dégradation.

L'éducation et la sensibilisation sur l'eau (**Sensib**) est la première intervention dans la catégorie de Réponse, il est indispensable de mener des campagnes de sensibilisation et d'éducation ainsi que des actions conjuguées et de mettre en place des guides pratiques par type d'usagers.

Par conséquent, la production de la recherche aide les décideurs et les gestionnaires de l'eau pour obtenir une meilleure compréhension sur les réels problèmes touchant le secteur de l'eau.

Chapitre V :
Chapitre V :

Analyses des données

V.1. Le Plan d'Analyse

Les objectifs du plan d'analyse est de faire un modèle de prévision reliant la mobilisation de la ressource en eau d'une part et les variables forces motrices (D), les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (S), et les variables des réponses politiques (P) d'une autre part. La prévision entre la qualité de l'eau et les variables de pression de pollution a été également mise en place. Les étapes de l'analyse de données sont :

L'étape (1) : Test de normalité des variables pour les cinq catégories du DPSIR.

L'étape (2) : Transformation des données qui n'est pas normalement distribuée.

L'étape (3) : Présente les matrices de corrélation pour les cinq catégories du DPSIR.

L'étape (4) : Trois techniques d'analyses multivariées (Cluster, ACP, AF) sont entreprises pour grouper les variables sélectionnées par les RNA ayant les mêmes caractéristiques et les identifier les municipalités sous stress d'eau.

V.2. Les Outils d'Analyses

Les outils d'analyse utilisés dans ce travail sont : les statistiques descriptives, Test de normalité l'analyse des matrices de corrélation, l'analyse multivariée inclue L'Analyse du Cluster (AC) l'analyse des composantes principales (ACP) et l'analyse des facteurs (AF).

V.2.1. Analyse Critique des données

V.2.1.1. Normalité :

De toutes les distributions de probabilité couramment utilisées, la distribution normale est la plus utilisée en raison de ses performances en tant que distribution de base pour la comparaison et l'analyse des erreurs. Les statistiques paramétriques reposent sur l'hypothèse d'une distribution normale de la population. De légers écarts par rapport à la normalité n'ont généralement pas d'effets significatifs. Des écarts importants par rapport à la normalité, en particulier sous la forme d'une asymétrie ou d'un manque de symétrie, peuvent invalider les résultats, entraîner de graves erreurs dans l'analyse et des conclusions incorrectes. Les transformations (par exemple, la transformation logarithmique) des données non normales sont souvent utilisées pour supprimer l'asymétrie et produire des valeurs normalement distribuées.

V.2.1.2. Distribution empirique :

La distribution empirique des observations est généralement représentée par des histogrammes de fréquence, qui fournit une indication visuelle de la symétrie des distributions de probabilité. Les histogrammes étaient construits pour des ensembles de données originaux et transformés en logarithme pour tous les paramètres. Par exemple, L'Histogramme de l'Occupation du Sol montrée dans la figure 65 est présenté afin d'effectuer une inspection visuelle de la normalité comme le montre la figure 66 en log [Occup Sol (%)] présentant une distribution normale.

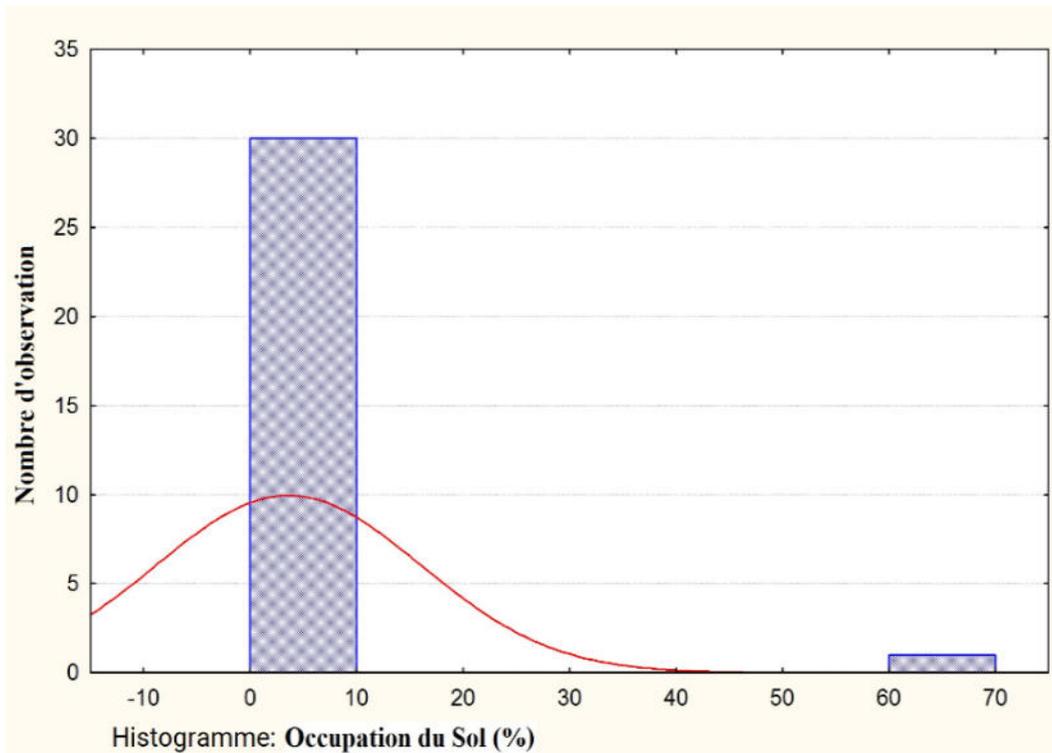


Figure 65 : Histogramme de l'Occupation du Sol

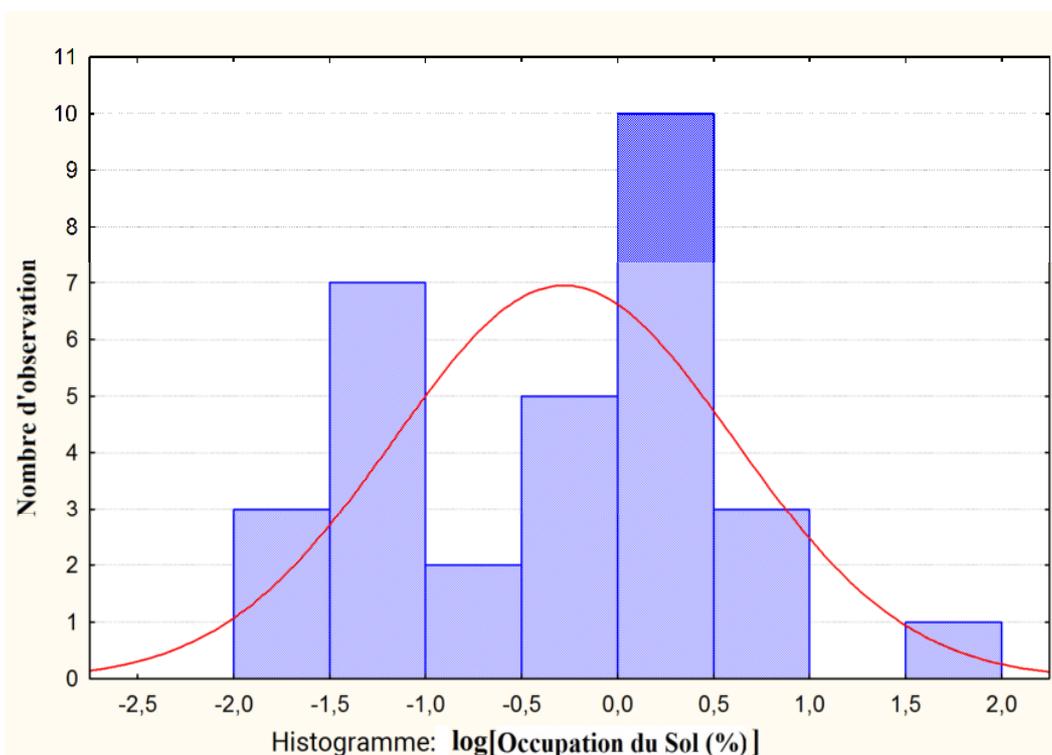


Figure 66 : Histogramme log (Occupation du Sol)

Au cours de ces dernières années, le test W de Shapiro-Wilk est devenu le test de normalité de référence en raison de ses bonnes propriétés de puissance par rapport à de nombreux autres

tests. La transformation de toute variable qui n'est pas normalement distribuée est une condition préalable, d'où la transformation en logarithme (base e) de l'ensemble des variables étudiées, est sélectionné (Log), où $e = 2,718$.

Au cours de ces dernières années, le test W de Shapiro-Wilk est devenu le test de normalité de référence en raison de ses bonnes propriétés de puissance par rapport à de nombreux autres tests.

V.2.2. Les Matrices de Corrélation :

Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. C'est une mesure de la liaison linéaire, c'est à dire de la capacité de prédire une variable x par une autre y à l'aide d'un modèle linéaire. Il permet de mesurer l'intensité de la liaison entre deux caractères quantitatifs. C'est donc un paramètre important dans l'analyse des régressions linéaires (simples ou multiples). En revanche, ce coefficient est nul ($r = 0$) lorsqu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables (ce qui n'exclut pas l'existence d'une relation autre que linéaire). Par ailleurs, le coefficient est de signe positif si la relation est positive (directe, croissante) et de signe négatif si la relation est négative (inverse, décroissante).

Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de -1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- Une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens);
- Une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire);
- Une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

V.2.3. Application des analyses multivariées

V.2.3.1. L'Analyse du Cluster (AC) :

L'analyse du cluster a été choisie pour classer les observations et les variables dans la même catégorie de l'ensemble de données, en groupes plus significatifs afin que chaque groupe soit plus homogènes (propriétés communes) et distinct des autres clusters. Le regroupement est effectué pour les catégories suivantes : la catégorie des variables socioéconomiques, les variables sources de pollution, les variables de l'état de la qualité de l'eau de la nappe côtière et la catégorie des variables de réponses des questionnaires. Les variables ont été normalisées, le

lien complet de regroupement a été choisi de façon que la distance euclidienne entre les deux groupes soit déterminée par la distance entre les observations éloignées de ces deux groupes.

V.2.3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) :

Le but de l'application de cette analyse est de réduire le nombre de variables en un nombre restreint de facteurs qui combine et classe les variables et les communes présentant des caractéristiques similaires en fonction de ces facteurs. En outre, les variables supprimées de l'analyse neuronale ont été prises comme des variables supplémentaires.

L'ACP a été effectué pour les variables des cinq catégories du modèle DPSIR (Force motrice D, Pression P, l'état de la qualité de l'eau S, Impact I et les réponses des gestionnaires R).

V.2.3.3. L'Analyse des Facteurs (AF) :

A été utilisée à des fins de comparaison avec les résultats de l'ACP. Cette analyse permet de réduire le nombre de variables observées par catégorie à un petit nombre de facteurs latents non observés qui ne sont pas corrélés avec les autres, et classe les variables au sein de ces facteurs. Le nombre de facteurs importants résultant de l'ACP pour les cinq catégories de variables, ont été utilisés pour l'analyse factorielle. Le principe de rotation Varimax normalisée a été adopté afin de maximiser la variance des facteurs sur les nouveaux axes et d'obtenir un modèle de charges variables sur chaque facteur. L'analyse factorielle a été réalisée pour les variables des cinq catégories du modèle DPSIR (Force motrice D, Pression P, l'état de la qualité de l'eau S, Impact I et les réponses des gestionnaires R).

Résultats et Discussion

V.3. Les variables socio-économiques (Forces motrices) D

Les variables de la force motrice analysées sont : la population (Pop), l'occupation du sol (Occup sol), le tourisme (Tour), le taux de raccordement aux réseaux AEP (Racc AEP), le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées (Racc E usées), la dotation journalière en eau potable (Dota), la consommation de l'eau pour l'agriculture (AEI), Le rôle des femmes (Rôle F), et les fuites d'eau (Fuites) et la variable de la mobilisation de la ressource en eau (Qext).

V.3.1. Teste de normalité

Le tableau 24 montre que la majorité des variables de la Force motrice « D » La population, le tourisme, l'occupation du sol, le taux de raccordement au réseau des eaux usées, le taux de raccordement au réseau AEP, la consommation en eau d'agriculture, l'intégration des femmes et les pertes d'eau (fuites) et La mobilisation de l'eau (Qext) ont une distribution des données non normale à l'exception du Dotation qui présentent une distribution de données

raisonnablement normale. La distribution de toutes les variables est testée par le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors (Lilliefors, 1967) et le test W de Shapiro-Wilk.

Le tableau 24 : Tests de normalité des variables socioéconomiques.

Variable	N	max D	K-S P	Lilliefors P	W	P
Pop	31	0,358008	p < ,01	p < ,01	0,359807	0,000000
Tour	31	0,530552	p < ,01	p < ,01	0,179780	0,000000
Occup Sol	31	0,391314	p < ,01	p < ,01	0,268837	0,000000
Racc E usées	31	0,193869	p < ,15	p < ,01	0,930738	0,045921
Racc AEP	31	0,190591	p < ,15	p < ,01	0,899948	0,007187
Dota	31	0,125072	p > .20	p > .20	0,946024	0,121178
AEI	31	0,120882	p > .20	p > .20	0,921367	0,025668
Role F	31	0,420989	p < ,01	p < ,01	0,536489	0,000000
Fuites	31	0,164519	p > .20	p < ,05	0,921400	0,025719
Prix	31	1,000000	p < ,01	p < ,01		
Taxe	31	0,428801	p < ,01	p < ,01	0,590728	0,000000
Qext	31	0,372218	p < ,01	p < ,01	0,401503	0,000000

V.3.2. La Matrice de Corrélation

Une analyse de la matrice de corrélation a été entreprise pour étudier l'importance de la relation entre deux variables dans la même catégorie de jeu de données. La transformation de toute variable qui n'est pas normalement distribuée est une condition préalable, d'où la transformation en logarithme (base e) de l'ensemble des variables étudiées. **Le tableau 25** montre que (L'abstraction de l'eau) présente une relation linéaire positive avec log (Rôle des femmes), la Dotation journalière de l'eau potable, log (Raccordement aux réseaux de l'AEP) et log (Population). La corrélation positive est plus grande entre les captages d'eau et les rôles des femmes et la dotation journalière de l'eau potable et plus basse avec le raccordement au réseau AEP et la population.

Les rôles des femmes et la croissance de la population sont des facteurs importants qui influencent la demande en eau.

Il existe une relation linéaire positive entre log (Population) et, log (Occupation des sols), log (Tourisme), log (Raccordement aux réseaux de l'AEP) et Log (Rôles des Femmes), la Dotation journalière de l'eau potable, log (Fuites) et log (Abstraction de l'eau). La croissance de la population présente une relation linéaire négative avec log (consommation d'eau pour l'agriculture).

Le Log (Occupation du sol) présente une corrélation positive avec log (Raccordement aux réseaux de l'AEP), log (Rôles des Femmes) et (la Dotation journalière de l'eau potable).

Le Log (tourisme) présente des relations linéaires positives avec log (Occupation des sols), log (Raccordement aux réseaux de l'AEP) et Log (rôles des femmes), log (fuites) et (la Dotation journalière de l'eau potable). Le Log (Raccordement aux réseaux de l'AEP) présente une relation linéaire positive avec log (Rôles des femmes) et la Dotation journalière de l'eau potable.

La Dotation journalière de l'eau potable présente une corrélation positive avec le log (Rôles des Femmes), log (fuites) et (Abstraction de l'eau). Le Log (consommation d'eau pour l'agriculture) présente une relation linéaire négative avec le log (Population), log (Occupation des sols), log (Raccordement aux réseaux de l'AEP).

Tableau 25 : Matrice de Corrélation de Pearson des variables socioéconomiques

	LogPop	LogTour	LogOccup sol	LogRacc E usées	LogRacc AEP	Dota	LogAEI	LogRole F	LogFuites	Qext
LogPop	1,00									
LogTour	0,73	1,00								
LogOccup sol	0,87	0,60	1,00							
LogRacc E usées	0,26	0,22	0,19	1,00						
LogRacc AEP	0,78	0,54	0,68	0,30	1,00					
Dota	0,66	0,66	0,52	0,33	0,49	1,00				
LogAEI	-0,54	-0,21	-0,54	-0,06	-0,58	-0,08	1,00			
LogRole F	0,78	0,66	0,65	0,40	0,73	0,61	-0,20	1,00		
LogFuites	0,49	0,50	0,28	0,03	0,29	0,39	-0,33	0,34	1,00	
Qext	0,35	0,12	0,27	0,08	0,36	0,42	0,12	0,56	-0,01	1,00

V.3.3. Application des analyses multivariées

V.3.3.1. Analyse du cluster

L'analyse du cluster a été choisie pour classer les observations et les variables dans la même catégorie de l'ensemble de données, en groupes plus significatifs afin que chaque groupe soit plus homogènes et distinct des autres clusters.

La figure 67(a) montre trois groupes distincts de variables :

- Le premier groupe des variables renferme la population, le tourisme, Raccordement aux réseaux de l'AEP, Raccordement aux réseaux des Eaux usées.

Ces variables peuvent traduire l'importance de la population et de ses besoins en eau pour son développement.

- Le deuxième groupe comporte la dotation journalière en eau potable. Cette variable peut être considérée comme un indicateur de la quantité d'eau disponible et réservée à l'alimentation en eau potable des populations.
- Le troisième groupe de variables est l'occupation des sols, les fuites, l'emploi des femmes, consommation d'eau pour l'agriculture et le captage d'eau. Il peut être labélisé captage d'eau.

La Figure 67(b) indique trois groupes dissemblables de communes assez distinctes ; le premier groupe se compose de Annaba et El Hadjar. Le deuxième groupe de communes comprend El Bouni, Kherraza, El Heraicha, Ain Berda, El Harrouchi, Boukhadra, Bouzaaroura, Sidi Salem, Sidi Amar, Drean, Fedaoui Moussa, Chihani Bachir et Chbaita Mokhtar. Le troisième groupe rassemble les communes Berka zerga, Essarouel, Salmoune Hachemi, El gantra, Medjez Rassoul, Zourami Ali, Oued Ennil, Derradji Redjem, Chabi Larbi, Ain Allam, Djenane El Chouk, El Kerma, Hadjar Eddis, Bergouga, Labidi Mohamed et Ain Sayd.

Le premier groupe de communes est caractérisé par la dotation journalière en eau potable et le deuxième groupe est étiqueté et se caractérise par le captage des eaux souterraines, le troisième groupe rassemble les communes à vocation agricole et est caractérisé par l'occupation du sol probablement et consommation d'eau pour l'agriculture.

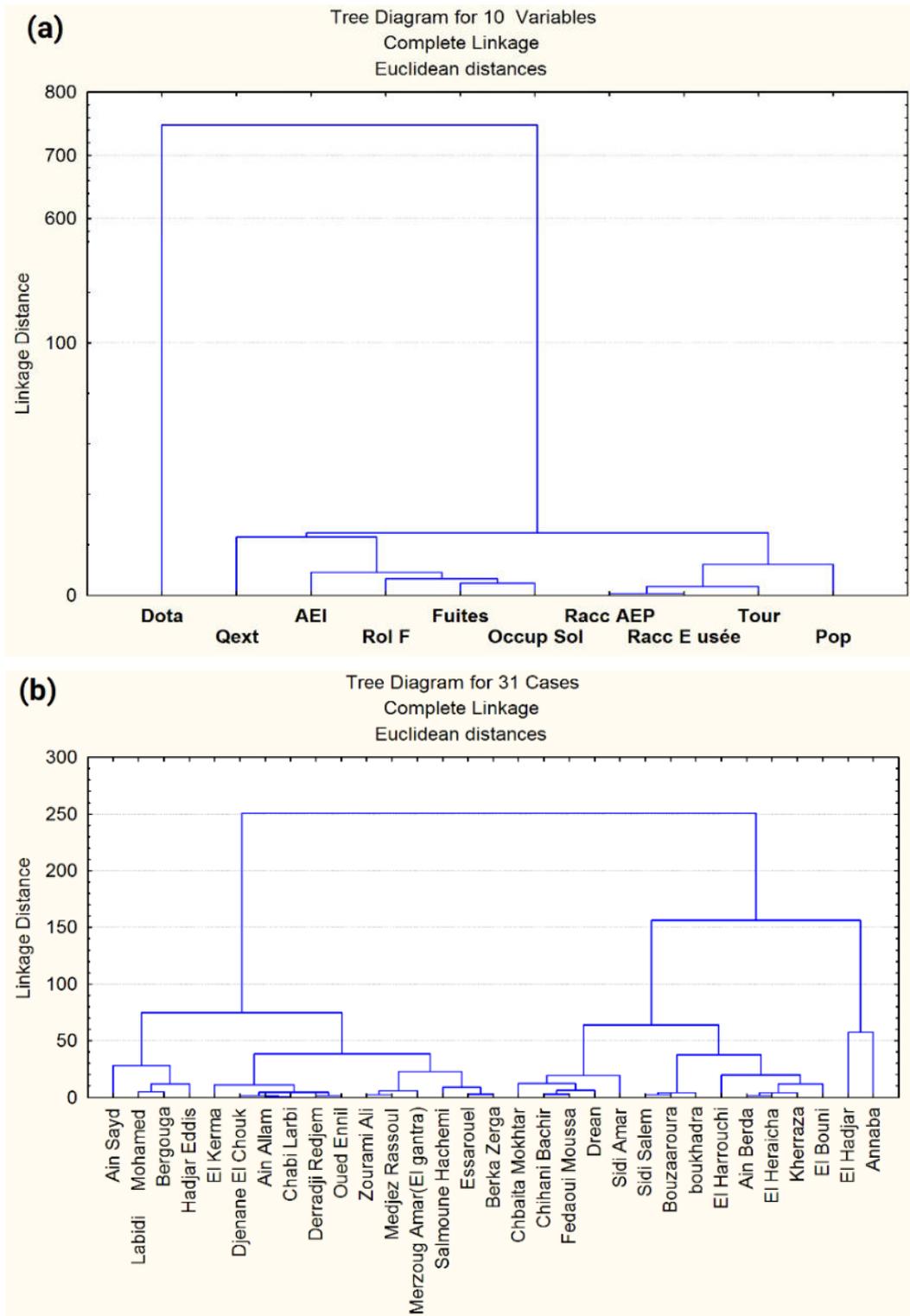


Figure 67 : **(a)** résultats des analyses de cluster pour les variables socio-économiques et **(b)** cluster des communes en fonction des facteurs socio-économiques

V.3.3.2. Analyse en composante principales (ACP)

L'analyse en composante principales (ACP) des variables socio-économiques montre que le premier facteur correspond à la plus grande valeur propre (5,08) et représente environ 50,84% de la variance totale. **Le facteur 1** est corrélé à la population (Pop), le tourisme (tour), l'occupation du sol (Occup sol), le raccordement AEP (Racc AEP), la Dotation journalière de l'eau potable (Dota) le rôle des femmes (Role F) et les Fuites. **Le deuxième facteur** correspondant à une valeur propre de 1,43 et représente 14,31% de la variance totale est fortement corrélé à l'alimentation en eau d'irrigation (AEI) et le débit extrait de la nappe (Qext). **La figure 68(a)** représentant le cercle des variables socio-économiques, montre que **le facteur 1** est caractérisé par les besoins en eau urbain, **le deuxième facteur** représente le débit extrait de la nappe (Qext) et l'alimentation en eau d'irrigation (AEI).

Dans le plan des individus, **la figure 68(b)** présente la projection des municipalités sur les plans factoriels (1x2), montre que les secteurs d'El Hadjar se distinguent par prélèvement d'eau. La commune d'Annaba se distingue par la population, le tourisme, Occupation du sol, Raccordement AEP. Sidi Amar est caractérisée par les fuites. Dréan et El Bouni sont semblables en termes de raccordement aux réseaux des eaux usées. Salmoune El Hachemi, Laabidi Mohamed Ain Sayd, El Kerma, Zourami Ali, Ain Allam, Berka Zerga, El Harrouchi, Fedaoui Moussa, Bergougga, Medjez Rassoul et El Heraicha sont similaires en termes de consommation en eau pour l'agriculture.

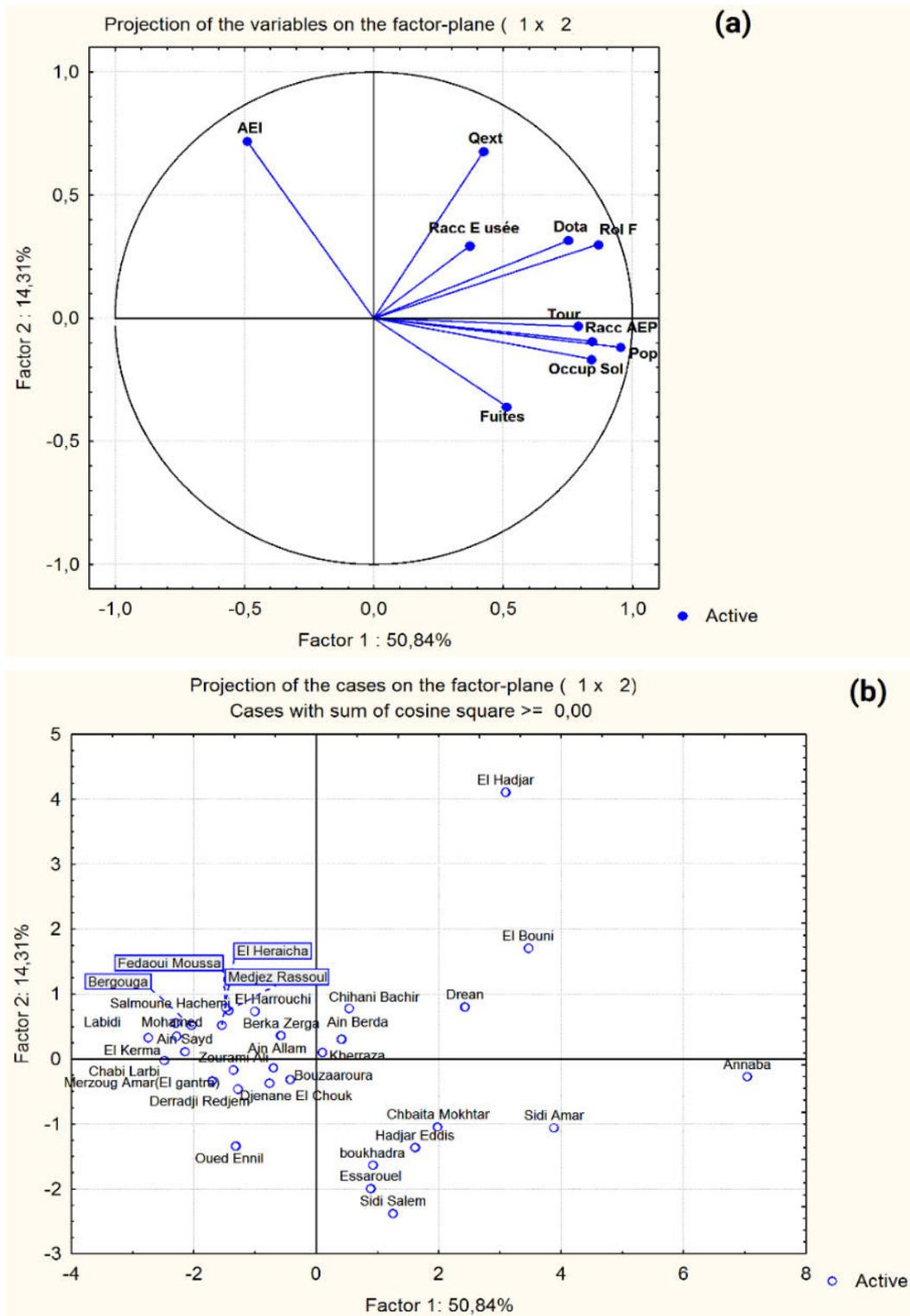


Figure 68 : (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II

V.3.3.3. L'analyse des facteurs

Le tableau 26 donne les variances des facteurs et de leurs poids à partir des variables analysées. L'alimentation en eau d'irrigation est supposée augmenter à fur et à mesure que la quantité d'eau extraite des puits augmente or dans cette analyse elle y est opposée. Nous pensons que cela est dû à l'intervention du facteur « fuite en eau » qui représente non seulement les pertes à partir des réseaux d'alimentation mais aussi en raison de l'utilisation illicite des eaux.

Tableau 26 : Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables socioéconomiques

Variable	Factor 1	Factor 2
Pop	0,95	-0,12
Tour	0,79	-0,03
Occup sol	0,84	-0,17
Racc E usées	0,37	0,29
Racc AEP	0,84	-0,09
Dota	0,75	0,32
AEI	-0,49	0,72
Role F	0,87	0,30
Fuites	0,51	-0,36
Qext	0,42	0,68
Expl.Variance	5,08	1,43
Propre Totale	0,508	0,143

V.4. Les variables de la pression Pollution P

Les données des sels dissous totaux (TDS) et des variables de pollution ont été utilisées pour approcher l'effet des variables de pollution sur les ressources en eau. Les variables sources de pollution sont les déchets solides (Dech S), les eaux usées domestiques (E usée Dom), les pesticides (Pest), les engrais chimiques (Engr Chim), les engrais organiques (Engr Org), les stations-services (Stat Ess), les eaux usées industrielles (E usée Ind), et le dioxyde de Carbone (CO₂) et L'intrusion marine (Intr Marine).

V.4.1. Teste de normalité

Tableau 27 Test de normalité des variables de la catégorie pollution Les variables de la Pression « P » montre que toutes les variables ont une distribution des données non normale. La distribution de toutes les variables est testée par le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors (Lilliefors, 1967) et le test W de Shapiro-Wilk.

Tableau 27 : Tests de normalité des variables de la catégorie pollution

Variable	N	max D	K-S P	Lilliefors P	W	P
E usée Dom	31	0,389100	p < ,01	p < ,01	0,325455	0,000000
Dech S	31	0,245586	p < ,05	p < ,01	0,667737	0,000000
Pest	31	0,187130	p < ,20	p < ,01	0,912573	0,015067
Engr Org	31	0,150107	p > .20	p < ,10	0,925074	0,032257
Engr Chim	31	0,134144	p > .20	p < ,20	0,912688	0,015171
Stat Ess	31	0,370968	p < ,01	p < ,01	0,445230	0,000000
E usée Ind	31	0,330812	p < ,01	p < ,01	0,695460	0,000001
CO ₂	31	0,231724	p < ,05	p < ,01	0,799566	0,000051
Intr Marine	31	0,283124	p < ,01	p < ,01	0,766539	0,000013
TDS	31	0,251339	p < ,05	p < ,01	0,828221	0,000180

V.4.2. La Matrice de Corrélation

La matrice de corrélation des variables « sources de pollution » montre que le total des sels dissous Log (TDS) est corrélé positivement avec Les eaux usées industrielles Log (E usée Ind), le dioxyde de carbone Log (CO₂) et l’Intrusion Marine Log (Intr Marine).

Les eaux usées industrielles ainsi que l’intrusion marine vont augmenter le TDS de l'eau. L’abondance des stations de carburant fait croître les concentrations du dioxyde de carbone Log (CO₂) dans l’atmosphère qui présente une relation linéaire avec le log (des eaux usées industrielles).

Ainsi que le Les eaux usées domestiques Log (E usée Dom) est corrélé positivement avec les eaux usées industrielles Log (E usée Ind) et L’intrusion marine log (Intr Marine).

Tableau 28 : Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie pollution

	LogE usée Dom	LogDech S	E usée Ind	LogCO ₂	logIntr Mar	logTDS
LogE usée Dom	1,00					
LogDech S	0,36	1,00				
LogE usée Ind	0,53	0,18	1,00			
LogCO ₂	0,46	0,21	0,66	1,00		
LogIntr Mar	0,54	0,22	0,66	0,50	1,00	
LogTDS	0,33	0,20	0,73	0,75	0,55	1,00

V.4.3. Application des analyses multivariées

V.4.3.1. Analyse du cluster

La Figure 69(a) montre deux groupes de variables distincts, le premier groupe peut être caractérisé par une pollution anthropique, il comporte deux sous-groupes : l'un formé par le TDS et le CO₂, exprime une pollution. Les déchets solides (Dech S), Les eaux usées domestiques (E usée dom) ainsi que les eaux usées industrielles (E usée Ind) se rassemblent pour former le deuxième sous-groupe indiquant une pollution par les rejets industriels et urbains à laquelle vient s'ajouter la contamination par les déchets solides, suite à l'infiltration dans le sol des eaux chargées d'éléments polluants provenant des décharges, après lessivage.

Le groupe l'intrusion marine (Intr mar), il exprime la pollution des eaux souterraines par les eaux de mer

La Figure 69(b) fait ressortir deux groupes : le premier rassemble les communes côtières ou se situant à faible distance par rapport à la mer ; où l'intrusion marine se fait sentir telle que Annaba, Sidi Salem, le deuxième groupe comporte deux sous-groupes d'une part les communes El Bouni, El Hadjar, Sidi Amar, Berka Zerga, Drean,..... où Les déchets solides, Les eaux usées domestiques et les eaux usées industrielles les déchets solides sont conséquents telle qu'à Berka Zerga qui représente la plus grande décharge de la région, et d'autre part les communes Ain Berda, Salmoune El hachemi, Ain Sayd, Medjez El Rassoul, El Harouchi, ont caractérisées par les TDS et le CO₂.

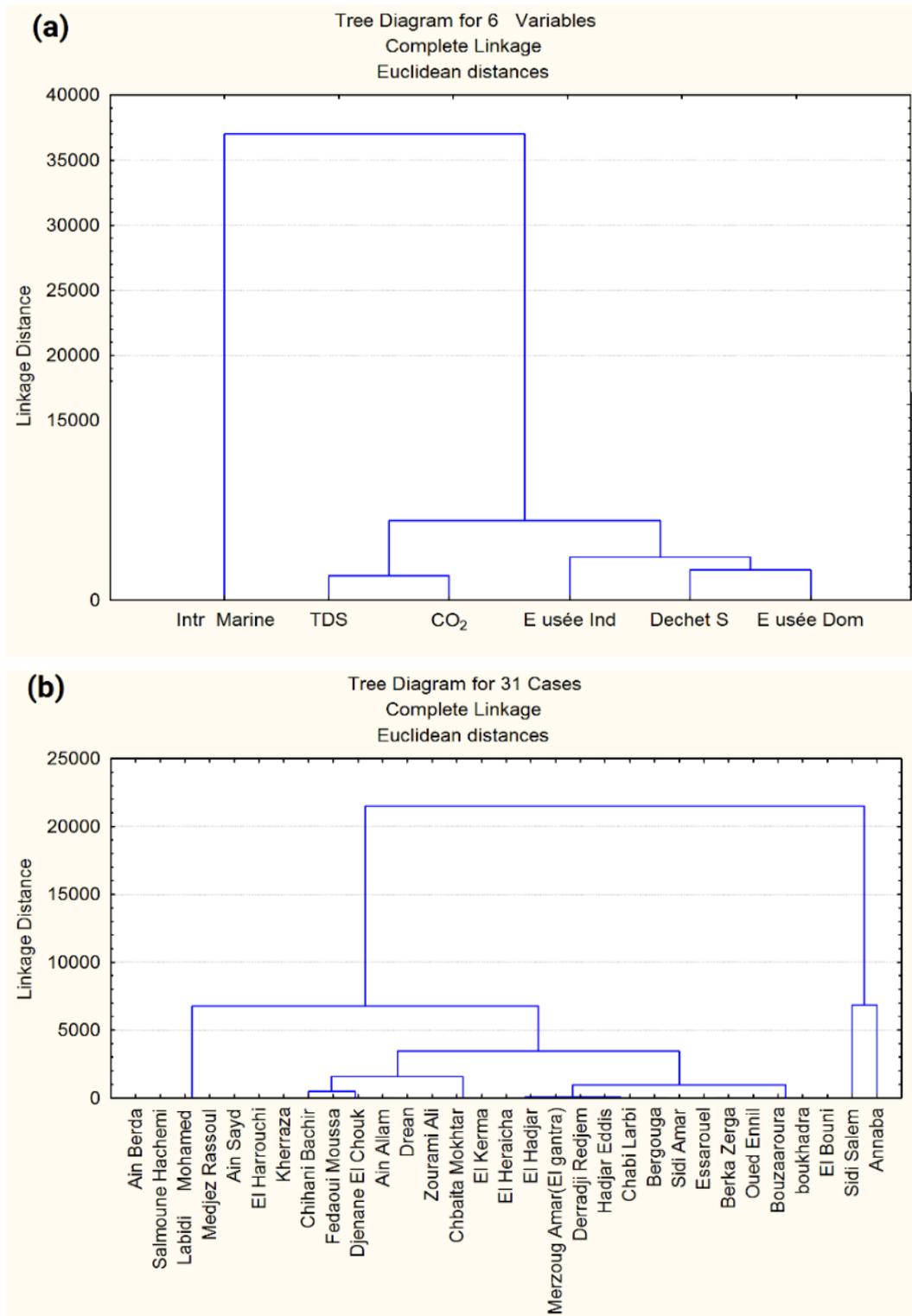


Figure 69 : **(a)** résultats des analyses de cluster pour les variables pollution et **(b)** cluster des communes en fonction des facteurs pollution

V.4.3.2. Analyse en composante principales (ACP)

Des variables « sources de pollution » considérées montrent que le premier facteur, correspondant à la plus grande valeur propre (5,57), représente 56,89% de la variance totale.

Figure 70(a), Il est très corrélé avec les variables d'eaux usées industrielles, eaux usées domestique, l'intrusion marine, le CO₂, TDS et le variable supplémentaire Station d'Essence (corrélation négative) D'autre part le facteur 1 est corrélé positivement avec les pesticides, les engrais chimiques et les engrais organiques. Ce facteur peut être caractérisé par la pollution d'origine domestique à laquelle s'ajoute la pollution d'origine industrielle.

Aussi marqué par des indicateurs de pollution d'origine agricole (les pesticides, les engrais chimiques et les engrais organiques).

Le deuxième facteur, correspondant à une valeur propre de 1,43 représente environ 16,66% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec la variable déchets solides (corrélation positive). Ce facteur permet donc d'opposer la pollution urbaine.

Dans le plan des individus,

Figure 70(b), les communes d'El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar se distinguent par l'intrusion marine, la pollution atmosphérique et par conséquent par des fortes valeurs de TDS. La commune d'Annaba se caractérise par les fortes quantités d'eaux usées domestiques en raison de la densité de la population. La commune de Berka Zarga qui abrite la plus grande décharge du secteur est caractérisée par les déchets solides. Enfin, la commune de Sidi Salem est représentée par les eaux usées industrielles. Les communes d'El Kerma, El Heraicha, Ain Allam, Djenane El Chouk,.... Caractérisées par la pollution d'origine agricole.

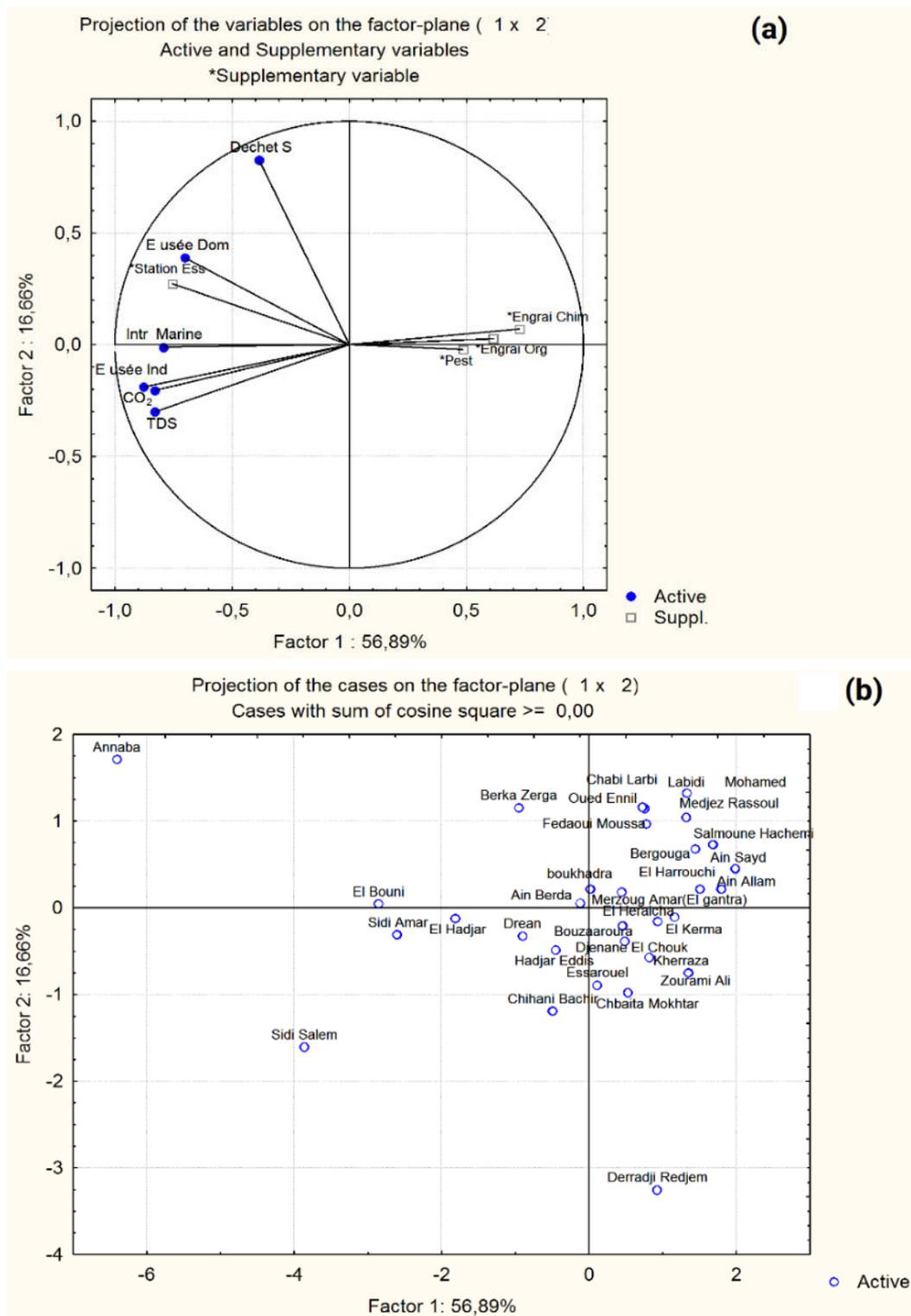


Figure 70 : **(a)** Projection des variables dans le plan I-II et **(b)** la projection des communes dans le plan I-II

V.4.3.3. L'analyse des facteurs

Tableau 29 : Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables pollution

Variable	Factor 1	Factor 2
E usée Dom	-0,70	0,39
Dech S	-0,39	0,83
E usée Ind	-0,88	-0,19
CO ₂	-0,83	-0,20
Intr Marine	-0,79	-0,01
TDS	-0,83	-0,30
*Pest	0,49	-0,02
*Engr Org	0,62	0,03
*Engr Chim	0,73	0,07
*Stat Ess	-0,75	0,27
Expl.Variance	5,57	1,43
Propre Totale	0,55	0,14

V.5. Les variables de la qualité de l'eau (State) S

La mobilisation de l'eau (Qext) à partir de la nappe des graviers d'Annaba et les paramètres physicochimiques ont été utilisés pour caractériser l'influence de la qualité des eaux sur la gestion de la ressource hydrique. Les paramètres de la qualité de l'eau considérée sont le Calcium (Ca²⁺), le Magnésium (Mg²⁺), le Sodium (Na⁺), le Potassium (K⁺), les Chlorures (Cl⁻), les Sulfates (SO₄²⁻), les Bicarbonates (HCO₃⁻), les Nitrates (NO₃⁻), la Conductivité Electrique (CE), le pH et le Résidu sec (RS).

V.5.1. Teste de normalité

les variables de la Qualité de l'eau « S » est testée par le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors (Lilliefors, 1967) et le test W de Shapiro-Wilk. **Le tableau 30** montre que le Potassium (K⁺), les Chlorures (Cl⁻), les Bicarbonates (HCO₃⁻), la Conductivité Electrique (CE) et La mobilisation de l'eau (Qext) ont une distribution des données non normale. Alors que le Calcium (Ca²⁺), le Magnésium (Mg²⁺), le Sodium (Na⁺), les Sulfates (SO₄²⁻), les Nitrates (NO₃⁻), le pH et le Résidu sec (RS) sont distribuées normalement.

Tableau 30 : Tests de normalité des variables de qualité de l'eau

Variable	N	max D	K-S P	Lilliefors P	W	P
Ca ²⁺	25	0,130272	p > .20	p > .20	0,964572	0,512785
Mg ²⁺	25	0,180419	p > .20	p < ,05	0,941477	0,160121
Na ⁺	25	0,119707	p > .20	p > .20	0,932979	0,101839
K ⁺	25	0,367213	p < ,01	p < ,01	0,579282	0,000000
Cl ⁻	25	0,209884	p > .20	p < ,01	0,820219	0,000504
SO ₄ ²⁻	25	0,131742	p > .20	p > .20	0,960621	0,426986
HCO ₃ ⁻	25	0,155603	p > .20	p < ,15	0,908343	0,027997
NO ₃ ⁻	25	0,182421	p > .20	p < ,05	0,932800	0,100873
CE	25	0,208419	p > .20	p < ,01	0,870186	0,004363
pH	25	0,168674	p > .20	p < ,10	0,935031	0,113607
RS	25	0,128916	p > .20	p > .20	0,941383	0,159324
Qext	25	0,359676	p < ,01	p < ,01	0,445049	0,000000

V.5.2. La Matrice de Corrélation

Le tableau 31 montre que captage d'eau (Qext) présente une relation linéaire positive avec le Sodium (Na⁺), captage d'eau (Qext) a également une relation linéaire négative avec les Bicarbonates log (HCO₃⁻). La corrélation négative entre les nitrates (NO₃⁻) et le Magnésium (Mg²⁺), le Sodium (Na⁺) et les Chlorures log (Cl⁻) peut être expliquée par le mélange des eaux, ont été observés dans les échantillons d'eau souterraine. Le NO₃⁻ a montré une corrélation négative significative avec Mg²⁺ (r = -0,52), Na + (r = -0,44), Log Cl⁻ (r = -0,46). Le Log CE avait une forte corrélation positive avec Na⁺ (r = 0,58), Log Cl⁻ (r = 0,68), SO₄²⁻ (r = 0,43). On constate que la charge de salinité dans les eaux souterraines est contrôlée d'abord par Na⁺, puis par Cl⁻ et SO₄²⁻. L'existence d'une forte corrélation positive de Na⁺ et Log Cl⁻ (r = 0,73) et une faible corrélation positive entre Ca²⁺ et Mg²⁺ (r = 0,47). Il existait une corrélation passivement significative entre Ca²⁺ avec Log K⁺ (r = 0,54), SO₄²⁻ (r = 0,59) et HCO₃⁻ (r = 0,53). L'engrais agricole et l'eau stagnante peuvent être attribués aux principales sources de cette évolution hydrochimique des eaux souterraines dans la zone d'étude.

On peut dire que l'interaction commune de l'eau de roche et les activités anthropiques sont responsables de l'altération ionique des eaux souterraines dans la zone d'étude et d'une faible corrélation entre Qext et Na⁺ (r = 0,40), Log HCO₃⁻ (r = -0,40). La matrice de corrélation entre les différents paramètres analysés montre que certaines variables (prises deux à deux) présentent des coefficients de corrélation variant entre 0,4 et 0,7 expliquant la complexité des influences exercées sur la chimie de l'eau.

Tableau 31 : Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie qualité de l'eau

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	LogK ⁺	LogCl ⁻	SO ₄ ²⁻	LogHCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	LogCE	pH	RS	Qext
Ca ²⁺	1,00											
Mg ²⁺	0,47	1,00										
Na ⁺	0,11	0,48	1,00									
LogK ⁺	0,54	0,00	-0,15	1,00								
LogCl ⁻	0,32	0,59	0,73	-0,08	1,00							
SO ₄ ²⁻	0,59	0,44	0,23	0,56	0,24	1,00						
LogHCO ₃ ⁻	0,53	0,38	-0,28	0,38	-0,21	0,37	1,00					
NO ₃ ⁻	-0,37	-0,52	-0,44	0,05	-0,46	-0,23	-0,05	1,00				
LogCE	0,38	0,15	0,58	0,25	0,68	0,43	-0,29	-0,21	1,00			
pH	-0,30	0,25	0,54	-0,48	0,24	-0,01	-0,29	-0,24	0,08	1,00		
RS	-0,09	0,32	0,30	-0,69	0,26	-0,15	-0,11	-0,03	-0,05	0,34	1,00	
Qext	-0,35	-0,11	0,40	-0,38	0,31	-0,15	-0,40	-0,06	0,31	0,33	0,15	1,00

V.5.3. Application des analyses multivariées

V.5.3.1. Analyse du cluster

L'analyse du cluster a été choisie pour classer les observations et les variables dans la même catégorie de l'ensemble de données, en groupes plus significatifs afin que chaque groupe soit plus homogènes et distinct des autres clusters.

La Figure 71(a) montre deux groupes de variables distincts, le premier groupe comprend différents sous-groupes, Cl⁻ et CE, NO₃⁻ et Qext sont dans un groupe avec le même poids en Ca²⁺, ce qui pourrait s'expliquer en combinant les sources de mélange, les oligo-éléments et la lixiviation des engrais de l'horizon du sol vers l'aquifère. Le deuxième groupe ne contenait que du Na⁺ élucidé par la dissolution des minéraux dans des conditions basiques. Mais expriment dans l'ensemble la minéralisation des eaux.

La Figure 71(b) fait ressortir deux groupes bien distincts ; le premier constitué des communes à vocation agricole où l'agriculture est intensément pratiquée à savoir : Chihani, Dréan, Derraji Rjem, Zourami, Feddaoui, Chaibi, El Karma. Ce groupe de communes à vocation agricole se caractérise par de fortes teneurs en NO₃⁻. Le deuxième groupe rassemblant les communes de Annaba, El Hadjar, Sidi Amar, El Bouni, et El Horaicha est identifié comme groupe indicateur de minéralisation car ce sont des communes qui se situent en bordure mer donc très sensible à l'intrusion marine.

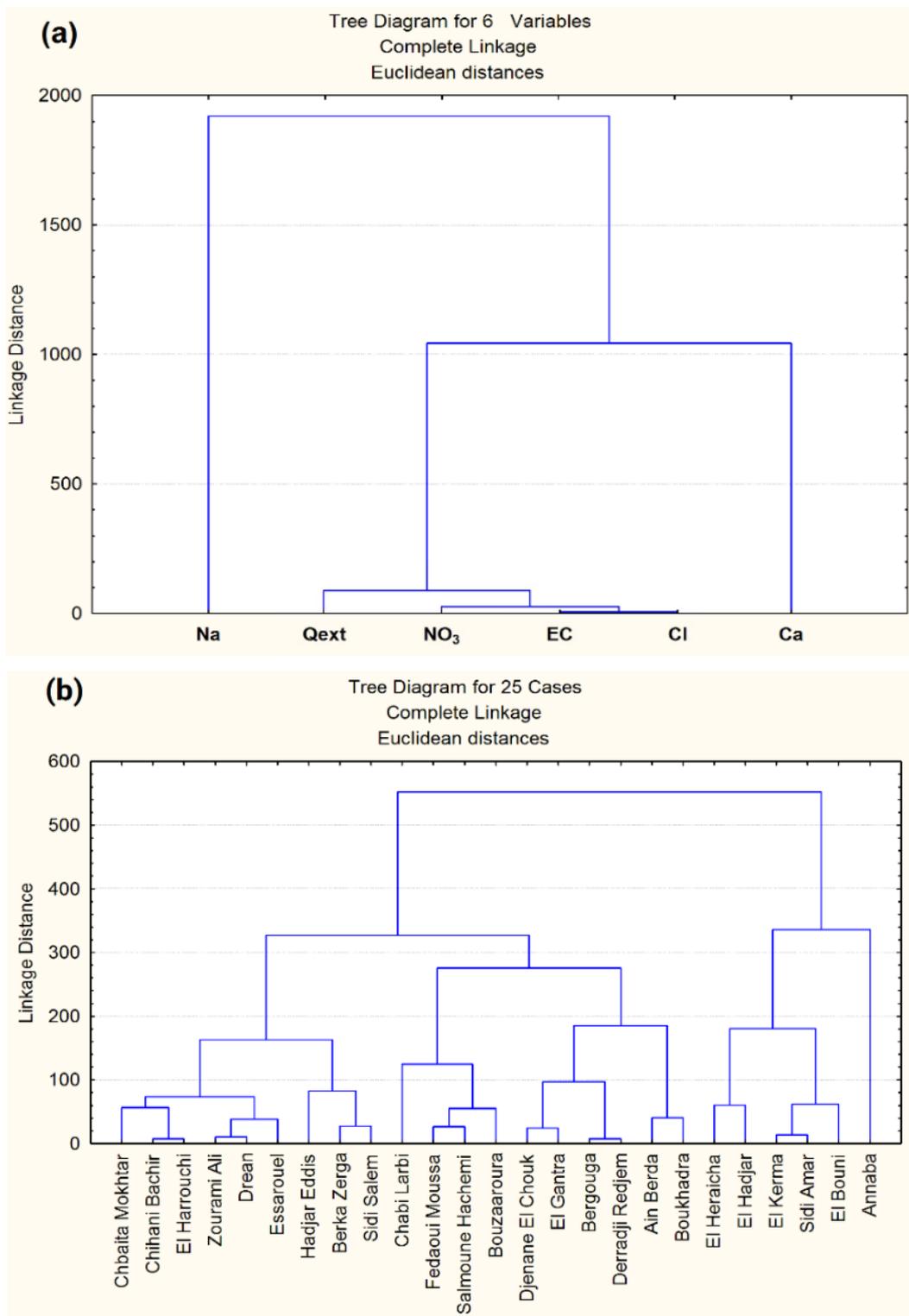


Figure 71 : **(a)** résultats des analyses de cluster pour les variables qualité de l'eau et **(b)** cluster des communes en fonction des facteurs qualité de l'eau

V.5.3.2. Analyse en composante principales (ACP)

L'analyse en composante principales (ACP) des variables qualité de l'eau démontre que les deux premiers facteurs (F1 et F2) fournissent une inertie justifiée de 72,2% qui semble plutôt bonne, ayant une inertie moyenne, un nombre considérable (25) d'échantillons analysés et (12) les variables prises en considération ; sachant que le pourcentage cumulé va progressivement vers 100%.

Présente les variances des facteurs et leurs charges par rapport aux variables.

Le premier facteur correspond à la plus grande valeur propre (2,88) et représente environ 47,96% de la variance totale. Il est le plus corrélé avec les variables Na^+ , Cl^- , CE (corrélations positives) et NO_3^- (corrélations négatives). Le deuxième facteur correspondant à la deuxième valeur propre (1,46) représente 24,27% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec Ca^{2+} (corrélations positives) et Qext (corrélations négatives).

Le deuxième facteur correspondant à la deuxième valeur propre (1,46) représente 24,27% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec Ca^{2+} (corrélations positives) et Qext (corrélations négatives).

La figure 72(a), (b) le premier facteur peut être étiqueté Chlorure. Le facteur deux peut être appelé Calcium. La figure 9 (b) présente les coordonnées des facteurs pour toutes les municipalités. La correspondance des **figures 72(a), (b)** pour les deux facteurs montre que les municipalités d'El Bouni et d'El Hadjar sont analogues en termes de captage d'eau. Sidi Amar, El Bouni et Annaba sont similaires dans les domaines de la conductivité électrique (CE) chlorurée (Cl^-), sodique (Na^+). Salmoune Hachemi, Fedaoui Moussa, Chabi Larbi, Chebaita Mokhtar et Zourami Ali se distinguent avec les nitrates (NO_3^-). Annaba et Hdjar Eddis avec Calcium (Ca^{2+}). Drean, El Kerma et El Heraicha sont similaires en termes de résidus sec (RS) comme variable supplémentaire. Ain Berda, Boukhadra, El Harouchi et El Gantra se distinguent par la variable Bicarbonate (HCO_3^-).

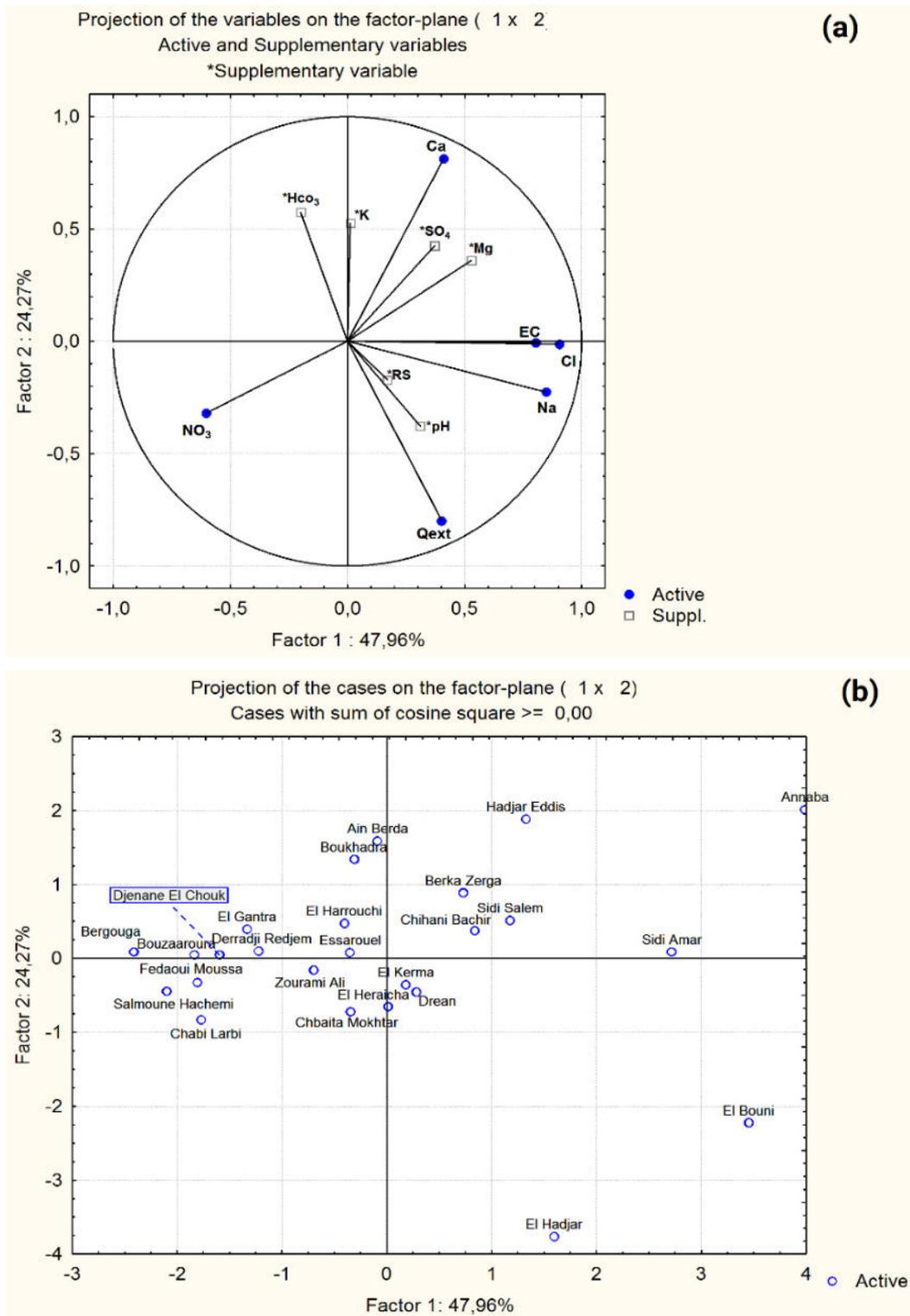


Figure 72 : **(a)** Projection des variables dans le plan I-II et **(b)** la projection des communes dans le plan I-II

V.5.3.3. L'analyse des facteurs

Le **tableau 32** donne les variances des facteurs et de leurs poids à partir des variables analysées. L'alimentation en eau d'irrigation est supposée augmenter à fur et à mesure que la quantité d'eau extraite des puits augmente or dans cette analyse elle y est opposée. Nous pensons que cela est dû à l'intervention du facteur « fuite en eau » qui représente non seulement les pertes à partir des réseaux d'alimentation mais aussi en raison de l'utilisation illicite des eaux.

Tableau 32 : Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables qualité de l'eau

Variable	Factor 1	Factor 2
Ca ²⁺	0,41	0,81
Na ⁺	0,85	-0,23
Cl ⁻	0,90	-0,01
NO ₃ ⁻	-0,60	-0,32
EC	0,80	-0,005
Qext	0,40	-0,80
*Mg ²⁺	0,53	0,36
*K ⁺	0,01	0,53
*SO ₄ ²⁻	0,37	0,43
*HCO ₃ ⁻	-0,20	0,57
*pH	0,31	-0,38
*RS	0,17	-0,17
Expl.Variance	2,88	1,46
Propre Totale	0,48	0,24

V.6. Les variables Réponses des Gestionnaires (R)

Les données relatives à la mobilisation de l'eau et les variables relatives aux décisions des gestionnaires ont été utilisées pour analyser les effets des politiques sur la gestion des ressources en eau. Les interventions menées par les organismes chargés de la gestion des ressources en eau comportent le stockage des eaux pluviales (Stok pluv), l'importation de l'eau (Import), l'efficacité dans l'eau destinée à l'irrigation (Effic irrig), l'efficacité de l'approvisionnement en AEP (Effic AEP), l'efficacité dans les systèmes d'information (Effic syst), l'éducation et la sensibilisation sur l'eau (Sensib).

V.6.1. Teste de normalité

Le **tableau 33** Test de normalité des variables de la catégorie décision des gestionnaires « R » montre que toutes les variables ont une distribution des données non normale. La distribution de toutes les variables est testée par le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors (Lilliefors, 1967) et le test W de Shapiro-Wilk.

Tableau 33 : Tests de normalité des variables Réponses des Gestionnaires

Variable	N	max D	K-S P	Lilliefors P	W	P
Stock E Pluit	31	0,444818	p < ,01	p < ,01	0,416119	0,000000
Import E	31	0,405737	p < ,01	p < ,01	0,358435	0,000000
Effic Irrig	31	0,214712	p < ,10	p < ,01	0,878950	0,002238
Effic AEP	31	0,277626	p < ,01	p < ,01	0,807707	0,000072
Effic Syst	31	0,207816	p < ,15	p < ,01	0,902483	0,008319
Sensib	31	0,305182	p < ,01	p < ,01	0,483287	0,000000
Qext	31	0,372218	p < ,01	p < ,01	0,401503	0,000000

V.6.2. La Matrice de Corrélation

Les variables décisions des gestionnaires retenues montrent une corrélation positive entre le débit extrait (Qext) d'une part et la sensibilisation sur l'eau log (Sensib) et log (Efficacité dans le système d'information) d'autre part contrairement au log (Efficacité dans l'eau d'irrigation) qui est corrélé négativement avec log (Efficacité dans le système d'information) et log (Importation de l'eau).

Une corrélation positive et significative entre log (Efficacité dans le système d'information) est log (Sensibilisation sur l'eau), la variable log (Importation de l'eau) a une relation linéaire positive avec log (Efficacité dans le système d'information) et log (Sensibilisation sur l'eau).

Tableau 34 : Matrice de Corrélation de Pearson des variables de la catégorie Réponses des Gestionnaires

	Stock E Pluit	LogImport E	Effic Irrig	LogEffic AEP	LogEffic Syst	LogSensib	Qext
Stock E Pluit	1,00						
LogImport E	-0,01	1,00					
Effic Irrig	0,15	-0,57	1,00				
LogEffic AEP	0,06	-0,03	-0,12	1,00			
LogEffic Syst	0,02	0,68	-0,53	-0,10	1,00		
LogSensib	0,06	0,62	-0,31	-0,35	0,77	1,00	
Qext	0,02	0,26	-0,26	-0,01	0,40	0,35	1,00

V.6.3. Application des analyses multivariées

V.6.3.1. Analyse du cluster

L'analyse du Cluster des variables réponses des questionnaires « R » **La Figure 73(a)** montre deux groupes de variables :

- Le premier groupe de variables comprend différents sous-groupes L'Efficacité dans le système d'information, La Sensibilisation sur l'eau et le stockage des eaux pluviales sont dans un groupe avec le même poids en débit extrait (Qext). Cette catégorie représente les ressources en eaux non conventionnelles.
- Le deuxième groupe contient l'Importation de l'eau.

Le dendrogramme des individus de **la Figure 73(b)** indique deux groupes de communes ; le premier se compose des communes d'El Hadjar et El Bouni ces communes représentent le facteur « ressource en eaux non conventionnelles ». Le deuxième groupe constitué des communes d'Annaba, Hajar Eddis, Drean, Sidi Salem, Zourami, Berka Zarka, Boukhadra, Ain Berda, Essarouel, Derraji Rjem, Chbaita, Chihani, Sidi Amar, Khareza, Bouzaaroura, Oued Nil, Djene Chouk, Boufara, El Gantra, El Horaicha, Ain Sayd, El Harrochi, Labidi M, Feddaoui, Chaibi, Selmoun et Medjez Rassoul sont caractérisées par l'Importation de l'eau (Import E).

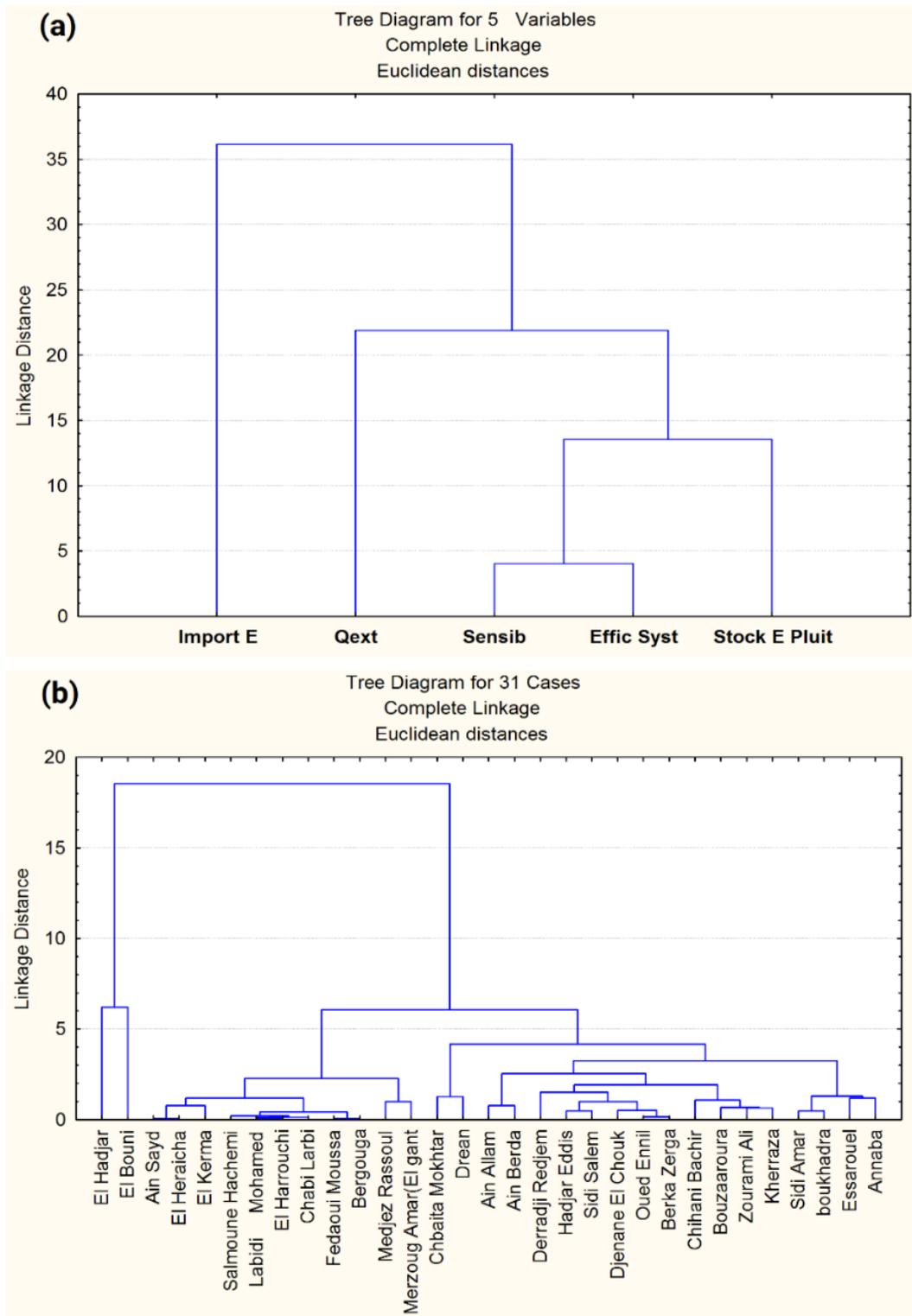


Figure 73 : **(a)** résultats des analyses de cluster pour les variables Réponses des Gestionnaires. et **(b)** cluster des communes en fonction des facteurs Réponses des Gestionnaires

V.6.3.2. Analyse en composante principales (ACP)

La Figure 74(a) indique que le premier facteur correspond à la valeur propre (2.60) et représente 52.07% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec l'Efficacité des Systèmes d'information, l'Importation de l'eau, La Sensibilisation sur l'eau et le débit extrait (Qext) . Ce facteur peut traduire l'utilisation des eaux supplémentaires (Corrélations négatives) (Tableau 35).

Le deuxième facteur correspondant à la valeur propre (1.00) représente environ 20.08% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec le stockage des eaux de pluie et exprime l'utilisation des eaux non conventionnelles (Tableau 35)

La Figure 74(b) présente la projection des municipalités sur les plan factoriels (1x2), montre que les secteurs des communes de Annaba, El Bouni, Sidi Amar, El Hajar sont caractérisés par l'utilisation des eaux additionnelles et les communes de Ain Berda et Ain Allam se distinguent par leur faculté d'approvisionner l'eau.

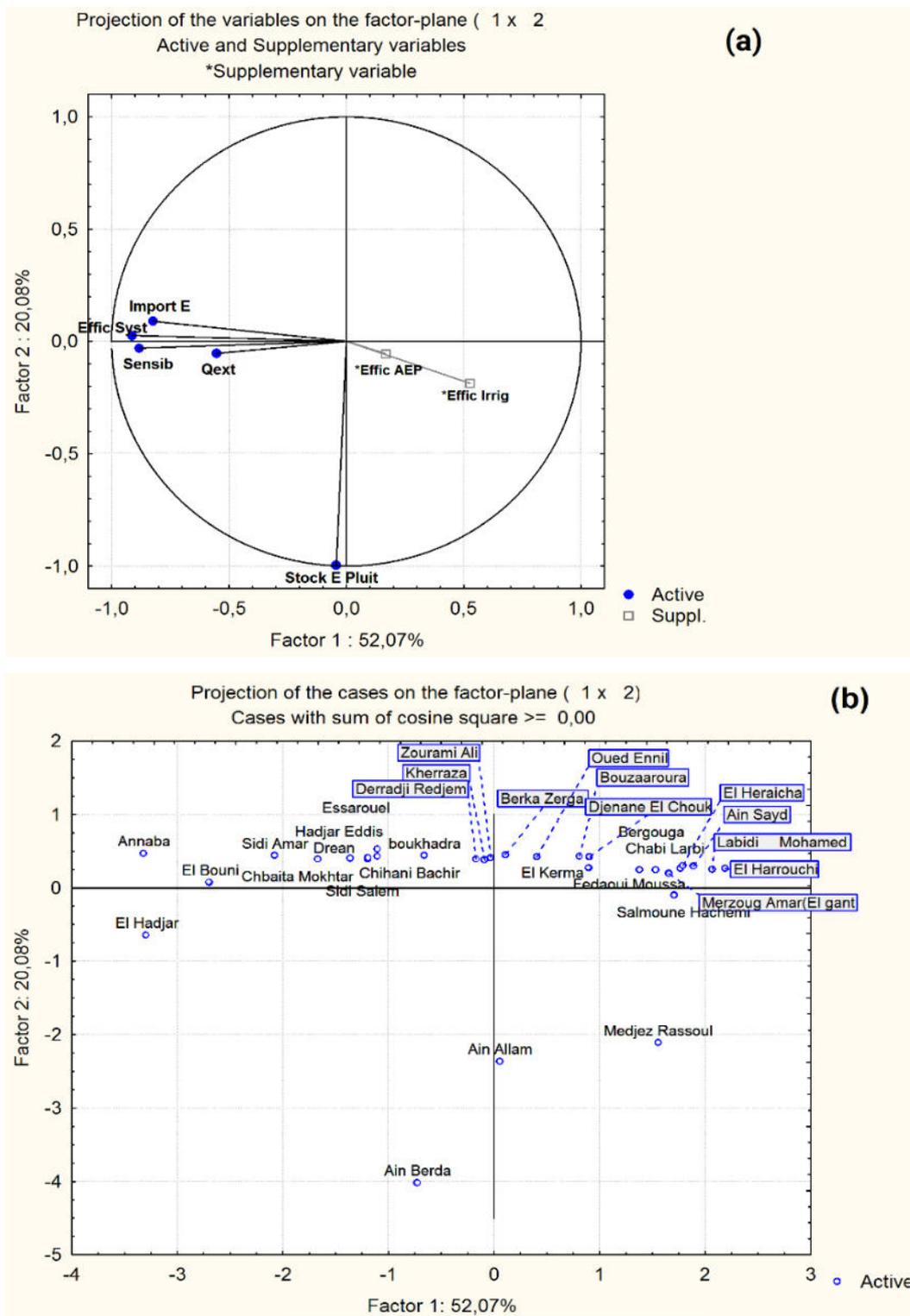


Figure 74 : (a) Projection des variables dans le plan I-II et (b) la projection des communes dans le plan I-II

V.6.3.3. L'analyse des facteurs

Tableau 35 : Corrélations facteur-variable (charges de facteur), variables Réponses des Gestionnaires

Variable	Factor 1	Factor 2
Stock E Pluit	-0,04	-0,99
mport E	-0,82	0,09
Effic Syst	-0,91	0,03
Sensib	-0,88	-0,03
Qext	-0,55	-0,05
*Effic Irrig	0,53	-0,19
*Effic AEP	0,17	-0,05
Expl.Variance	2,60	1,00
Propre Totale	0,52	0,20

V.7. Conclusion

L'analyse en composantes principales donne plus de détails sur les groupes de variables (facteurs) et les variables correspondantes (les municipalités). Elle donne le poids de chaque groupe de variables (facteurs) reflété par la valeur de la variance et présente l'importance et la priorité de chaque facteur. Par conséquent, les résultats de l'analyse ACP peuvent être appliqués pour la formulation des programmes de stratégie prioritaire pour gérer le problème de l'eau dans les zones géographiques déterminées. Toutefois, l'analyse Cluster peut être utilisée comme un outil exploratoire pour enquêter sur la hiérarchie et les formes de cas et de groupes possibles ainsi que de leurs variables correspondantes.

Les conclusions de l'analyse des données en utilisant les techniques connexes, statistiques de base, l'analyse multivariée peut être résumée comme suit :

- Les communes de Sidi Salem, El Bouni, El Hadjar, Annaba sont caractérisées par leur besoin en ressources supplémentaires sous forme d'adduction d'eau. Elles se distinguent aussi par leurs pollutions anthropiques significatives générées par les activités socioéconomiques.
- Ainsi les communes de Sidi Salem et d'Annaba sont différenciées, respectivement par les eaux usées industrielles et domestiques et
- Les communes d'El Bouni, El Hadjar et Sidi Amar sont caractérisées par l'intrusion marine et la forte concentration en Cl. Ces dernières sont également marquées par les quantités importantes de fuites d'eau.

Les communes de Fedaoui Moussa, Chaibi Larbi, Selmoun, Derraji Rejem, El Karma, El Harrouchi se distinguent par les teneurs en nitrates élevées en raison de l'activité agricole. Elles se caractérisent aussi par l'occupation des sols.

Conclusion Générale

Dans ce travail de recherche, un modèle conceptuel intégré de la gestion des eaux a été élaboré sur la base de la relation de cause-effet. Le nouveau modèle décrit les éléments et les sciences relatives à l'eau les plus importants et indiquent que le développement et la gestion des ressources en eau doivent être dans les limites écologiques. Le nouveau modèle conceptuel intégré de la gestion des eaux a été appliquée au cycle de vie de la gestion des ressources en eau dans le sous-bassin de la basse Seybouse.

Les variables efficaces ont été caractérisées et classifiées en utilisant l'analyse multicritères par SIG et RNA.

Les variables retenues ont été organisées et groupées en utilisant les techniques multivariées qui sont l'analyse du Cluster (AC) l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse des Facteurs (AF). Les principales conclusions de ces techniques d'analyse sont les suivants :

- Le rôle des femmes (Rôle F) est la variable force motrice la plus effective dans la catégorie « D » suivie par les fuites d'eau. Le reste des variables effectives en fonction de leurs classements dans la phase de vérification sont les suivantes : occupation des sols, la population, la dotation, le raccordement aux réseaux d'AEP et enfin le raccordement aux eaux usées.
- Les eaux usées industrielles (E usée Ind) est la variable source de pollution la plus pressante sur la qualité des eaux dans la catégorie de Pression suivie par l'intrusion marine (Intr Mar). Le reste des variables en fonction de leurs rangs dans la phase de vérification sont les suivantes : le CO₂, les déchets solides (Dech S) et les eaux usées domestiques (E usée Dom).
- Les Chlorures (Cl⁻), les Nitrates (NO₃⁻) et la Conductivité Electrique (CE) sont les principaux paramètres qui influencent sur la qualité des eaux suivis par le calcium (Ca²⁺) et le Sodium (Na⁺), Le modèle a rejeté le restant des variables à savoir le Magnésium (Mg²⁺), le Potassium (K⁺), les Sulfates (SO₄²⁻), les bicarbonates (HCO₃⁻) potentiel en Hydrogène (pH) et le Résidu sec (RS) en raison de sa faible sensibilité.
- La sensibilisation et l'éducation (Sensib) est l'intervention la plus influente dans la catégorie de Réponse sur la Mobilisation des Ressources en Eau (MRE) suivie par l'efficacité dans le système d'information (Effic sys), l'importation de l'eau (Import E) et enfin le stockage des eaux pluviales (Stock E pluv).

Le but de ce travail est de contribuer à l'avancement de la gestion des ressources en eau à travers le développement de nouveaux modèles de gestion intégrée conceptuel basé sur une approche

systematique et multidisciplinaire. Le nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée des ressources en eau peut être appliqué dans la région méditerranéenne. Ce travail de recherche a abordé la grande image de la GIRE, y compris les concepts de durabilité. En outre, il a été basé sur des approches intégrées en vue d'optimiser la gestion des ressources en eau, tout en soutenant les limites écologiques et la capacité de la mobilisation des ressources en eau. Ce travail de recherche définit pour la première fois, les critères multi paramètres efficaces pour l'analyse et la surveillance du secteur de l'eau et des zones géographiques sous stress d'eau sur une base scientifique objective. Il conclut également les interventions potentielles nécessaires pour assurer la disponibilité de l'eau et l'équilibre offre-demande. Le nouveau modèle a adressé un objectif clé sur les niveaux de la région méditerranéenne en général et en particulier le sous-bassin de la basse Seybouse pour parvenir à une utilisation et une gestion durable des ressources naturelles en eau et la protection efficace de l'environnement.

Recommandations pour l'amélioration de la gestion du secteur de l'eau

1. La Gestion des ressources en eau devrait être basée sur des approches intégrées de prévention, et de l'écosystème.
2. Le modèle conceptuel existant de gestion des ressources en eau en Algérie devrait être élaboré pour tenir compte les composantes de l'environnement.
3. Toutes les politiques, plans et programmes eau devraient subir une évaluation environnementale stratégique (EES), qui est un outil important vitale pour soutenir l'approche intégrée de la gestion des ressources en eau et pour assurer la durabilité de l'eau.
4. Le plan national de l'eau devrait être reformulé pour tenir compte des problèmes prioritaires de l'eau et les zones géographiques sous stress d'eau.
5. L'utilisation de l'eau sur l'écosystème et les exigences de la demande doivent être pris en compte lors du calcul de la demande globale de l'eau.
6. La protection de la qualité de l'eau de mer contre la pollution terrestre, parce que l'eau de mer est devenue une ressource stratégique pour l'eau dessalée.
7. La planification et la gestion des ressources en eau doivent être adaptées au changement climatique.

Références
Références
Bibliographiques
Bibliographiques

Bibliographie

1. **Al-Wabel. MI, El-Saeid. MH, El-Naggar. AH, Al-Romian. FA, Osman. K, Elnazi. K, Sallam. AS,** (2016) Spatial distribution of pesticide residues in the groundwater of a condensed agricultural area. DOI 10.1007/s12517-015-2122-y.
2. **Aichouri I, Bougherira N,** (2013) : Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria). *Desalination and Water Treatment*. DOI: 10.1080/19443994, 855662, 1-6.
3. **Aoun Sebaiti B,** (2010) : Gestion Optimisée des ressources en eau d'une nappe côtière application à la plaine d'Annaba (nord-est algérien) thèse Doct, Université des Sciences et Technologies de Lille, P.113-121, 138-140.
4. **ArcGIS** : (2015) version 10.3.1;
5. **ArcGIS Pro** : (2021) version 2.6;
6. **Arouwa N,** (2012) : Les ressources en eau dans le schéma national d'aménagement du territoire en Algérie. Entre nécessités économiques et exigences écologiques, Colloque International Francophone « Les représentations Nord-Sud du Développement Durable » 19-20 Décembre 2012, IUFM d'Auvergne.
7. **Asadollahfardi G,** (2015) : Water Quality Management. Assessment and Interpretation. SpringerBriefs in Water Science and Technology. DOI 10. 1007/978-3-662-44725-5.
8. **Attoui B,** (2014) : Etat de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eaux souterraines de la région de Annaba- El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets, Thèse Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba.
9. **Attoui B, Kherici N, Kherici-Bousnoubra H,** (2014) : Use of a new method for determining the vulnerability and risk of pollution of major groundwater reservoirs in the region of Annaba-Bouteldja (NE Algeria). *Environ. Earth Sci* 72, 891-903.
10. **Bachir S,** (2013) : Développement durable, vers un modèle de gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant Saf-Saf, Nord-est algérien, Thèse Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba.
11. **Bechiri N,** (2011) : Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien) Mémoire de magister Université d'Annaba.P14-21.
12. **B. W. Yap & C. H. Sim** (2011): Comparisons of various types of normality tests, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81:12, 2141-2155, DOI: 10.1080/00949655.2010.520163
13. **Cave R.R, Ledoux L, Turner K, Jickells T, Andrews J.E, Davis H,** (2003) : The Humber catchment and its coastal area: from UK to European perspectives. *The Science of the Total Environment*, Article in Press.
14. **Chaffai H, Djabri L, Lamrous S,** (2005) : Réserves hydriques de la Wilaya d'Annaba .Inventaire, Evaluation et besoins Futurs en ressources en eau.*Hydrogéologie* n°4.P31
15. **Debiechet H,** (2002) : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté .P199.

16. **Djabri L, Fehdi. C, Hani A, Saâd Bouhsina F, Nouiri I, Djouamaa M.C, Boch A.P, Baali F**, (2015): Climate Change and Water Resources: Seasonal Hydrochemical Changes of Water from Alluvium Aquifers: Dreaan-Annaba Aquifer Case Study (Ne Algeria). P2
17. **Elliott AC, Woodward WA**, (2007) : Statistical analysis quick reference guidebook with SPSS examples. 1st ed. London: Sage Publications.
18. **European Environmental Agency (EEA)**: The DPSIR framework used by the EEA. Available online: <http://glossary.eea.europa.eu//terminology/sitesearch?term=DPSIR> (accessed on 1 April 2014).
19. **Ghrieb A, Baali F, Fehdi Ch, Hani A, Chaffai H & Djabri L** (2019) : On the use of GIS and DPSIR methods to analyse water quality in Seybouse Valley (North East of Algeria). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES). Vol. 14, No. 6, p. 114-125.
20. **Ghrieb A, Baali F, Fehdi Ch, Hani A, Chaffai H & Djabri L** (2021): Use of Artificial Neural Networks and Multivariate statistical analysis for modelling the pollution pressure of water resources in the Seybouse valley (north-eastern Algeria). Journal of Faculty of Food Engineering, Volume XX, pag. 68 – 80.
21. **Ghrieb L**, (2007) : Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi- aride : cas de la plaine bekkaria-tebessa (extrême est algérien), mémoire de magister Université d'Annaba.p94-101.
22. **Halimi S, Baali F, Kherici N, Rechachi H, Younsi A.K**, (2016) : Impact of agricultural activities on the evolution of nitrate and nitrite levels in groundwater of Annaba plain (North East of Algeria). European Scientific Journal February 2016 edition, vol. 12, No6, 241-254.
23. **Hamzaoui W**, (2007) : Caractérisation de la pollution des eaux en milieux industriels et urbain cas de la plaine d'El-Hadjar Mémoire de magister .Université d'Annaba.P21-24-25.
24. **Hani A**, (2003) : Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : Application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen, Thèse Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 214p. P18-33.
25. **Hani A, Aoun-Sebaiti B, Aichouri I, Djabri L, Saaidia B, Lallahem S**, (2012) : A new Conceptual Water Integrated Model for the Seybouse basin, Annaba region. Journal of Desalination and Water Treatment
26. **Hani A, Lallahem S, Mania J, Djabri L** (2006) : On the use of finitedifference and neural network models to evaluate the impact of underground water overexploitation. Hydrol Process 20:4381– 4390. doi:10.1002/hyp.6173.
27. **Hani A, Lallahem S, Mania J, Djabri L & Kachi S**, (2003) : Impact of aquifer intensive use on groundwater quality and on wetlands on coastal aquifer. Technologie de l'Intrusion d'eau de mer dans les nappes aquifères côtières : Pays méditerranéens, TIAC'03, Mars 2003, Alicante (Espagne). IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470- 8. 777-784.
28. **IAHS-International Association of Hydrological Sciences** (2003) : International hydrology today.
29. **Jalala S**, (2005) : Characterizing the multi-criteria parameters of integrated water

- management model in the semi-arid Mediterranean region: application to Gaza Strip as a case study. thèse Doct, Université des Sciences et Technologies de Lille, 225 p.
30. **Jalala S, Mania J**, (2011) : Characterizing the Socio-Economic Driving Forces of Groundwater Abstraction with Artificial Neural Networks and Multivariate Techniques. *Water Resources Management* (2011) 25:2147–2175. Doi: 10.1007/s11269-011-9800-7.
 31. **Jeunesse I.L, Rounsevell M, Vanclooster M**, (2003) : Delivering a decision support system tool to a river contract: a way to implement the participatory approach principle at the catchment scale? *Journal of physics and Chemistry of the Earth*, Article in Press.
 32. **Kherici N**, (1993) : Vulnérabilité à la pollution chimiques des eaux souterraines d'un systèmes de nappes superposées en milieu industriel et agricole Annaba –la Mafragh Nord –Est Algérien. Doctoratd'Etat, univ de Annaba.
 33. **Lallahem S**, (2013) : gestion intégrée des ressources en eau, habilitation a diriger les recherches, université des sciences et technologies de lille, p.77-87.
 34. **Lallahem S, Mania J, Hani A, Najjar Y**, (2005) : On the use of neural networks to evaluate groundwater levels in fractured media. *Journal of Hydrology*. 307:92–111. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.10.005.
 35. **Najjar YM, Basheer IA, Hajmeer MN**, (1997) : Computational neural networks for predictive microbiology: I. methodology. *Int J Food Microbiol* 34:27–49. doi:10.1016/S0168-1605 (96)01168-3.
 36. **Oztuna D, Elhan AH, Tuccar E** (2006) : Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under different distributions. *Turkish Journal of Medical Sciences*.
 37. **Pearson K**, (1896) : Mathematical contributions to the theory of evolution III: Regression, heredity and panmixia. *Philos. Trans. R. Soc*.
 38. **Riad S, Mania J, Bouchaou L, Najjar Y**, (2004) : Predicting catchment flow in a semi-arid region via an artificial neural network technique. *Hydrol Process* 18:2387–2393. doi:10.1002/hyp.1469.
 39. **STATISTICA Electronic Manual StatSoft, Inc**(version 8; 2008) : STATISTICA data analysis software system.
 40. **Thode HJ**, (2002) : Testing for normality. New York: Marcel Dekker.
 41. **World Health Organization** (2004) : Guidelines for Drinking-Water Quality, third edn. Vol. 1, Recommendations. WHO, Geneva, Switzerland.