

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عنابة

Année 2017

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

THÈSE

Présentée par

Samia BOUNAB

En vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Hydrogéologie

Thème

RESSOURCES EN EAU ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

CAS DE LA REGION ANNABA-EL TARF

(NORD-EST ALGERIEN)

DIRECTRICE DE THÈSE: Mme. KHERICI- BOUSNOUBRA Houria Professeur. U.B M. Annaba

DEVANT LE JURY:

Mr. BENHAMZA Moussa	Professeur.	Univ.Badji Mokhtar-Annaba	Président
Mr. MAOUI Ammar	Professeur	Univ.08 Mai 1945-Guelma	Examineur
Mr. KACHI Slimane	Professeur	Univ.08 Mai 1945-Guelma	Examineur
Mr. LABAR Sofiane	M C A	Univ.El Tarf	Examineur
Mr. BOUTAGHANE Hammouda	M C A.	Univ.Badji Mokhtar-Annaba	Examineur
Mr. SAYAD Lamine	M C B.	Univ.Badji Mokhtar-Annaba	Invité

ملخص

تعتبر ندرة المياه مصدر قلق رئيسي لكل الدول و لا سيما بلدان البحر الابيض المتوسط التي تشمل الجزائر و التي تعاني بالفعل من ندرة الموارد المائية لتحقيق تنمية مستدامة . وإدراكا منها لهذه الحالة ، فإن جميع الجهود التي تبذلها الجزائر من حيث الاستثمارات وكذلك على الصعيدين المؤسسي والتنظيمي تدور حول تطوير هذا المورد من أجل مواجهة التحديات وتحقيق الانسجام مع أهداف الألفية في قطاع المياه.

ومن هذا المنظور تمت دراسة نظام "الموارد المائية عنابة - الطارف" باستخدام أدوات جيومورفولوجية هيدرولوجية مناخية ، هيدرولوجية وهيدروجيوكيميائية . فقد اظهرت نتائج توصيف المياه الجوفية معدلات مثيرة للقلق 73.53 ٪ من المياه تمثل تآكل شديد ، 82 ٪ من الماء هو من نوع كلوريدات الصوديوم ، هذه النوعية الجيوكيميائية مرتبطة إلى حد كبير بتحلل المعادن القابلة للتبخر و / أو ترسب الكربونات ، تحول السيليكات وكذا تقدم مياه البحر. وتمثل المياه السطحية درجة منخفضة إلى متوسطة من التلوث العضوي ويؤكد مؤشر جودة المياه الخام هذه النتيجة.

ويهدف تطبيق التحليل النظامي لنظام "الموارد المائية عنابة - الطارف" إلى دمج انشغالات تسيير الموارد المائية وتوفير الحلول المستدامة للتوفيق بين الاستخدامات الاقتصادية والمحافظة على الموارد المائية.

كلمات مفتاحية : الهيدروجيوكيمياء، الموارد المائية، تحليل النظم ، عنابة -الطارف، تسيير مستدام .

Résumé

La satisfaction durable des besoins en eau est une préoccupation majeure de chaque nation, notamment les pays de la méditerranée dont fait partie l'Algérie qui souffre déjà du stress hydrique. Conscient de cette situation, tous les efforts engagés par l'Algérie, tant sur le plan des investissements, que sur le plan institutionnel et organisationnel, s'articulaient autour du développement de cette ressource afin de relever les défis et être en harmonie avec les objectifs du millénaire dans le secteur de l'eau.

Sur cette optique, on a abordé l'étude du système « Ressource en eau Annaba-El Tarf » à l'aide des outils géomorphologiques, hydro-climatologiques, hydrogéologiques et hydrogéochimiques. La caractérisation des eaux souterraines, montre des taux alarmants, soient 73,53% des eaux représente une corrosion intolérable. Les eaux sont à 82 % chlorurées- sodiques, l'acquisition de cette typologie est en grande partie due à la dissolution des minéraux évaporitiques et/ou la précipitation des minéraux carbonatés, l'altération de silicates et à l'influence marine. Les eaux de surface représentent un degré de pollution organique faible à modérée, l'indice de qualité des eaux brutes confirme ce résultat.

L'application de l'analyse systémique au système « ressources en eau Annaba-El Tarf » vise l'intégration des problèmes de gestion des ressources en eau et apporter des solutions durables pour concilier les usages économiques et la préservation des ressources en eau.

Mots clés : hydrogéochimie, ressources en eau, analyse systémique, Annaba-El Tarf, gestion durable.

ABSTRACT

The sustainable satisfaction of needs in water is a major preoccupation concern of each nation, including the countries of the Mediterranean which is part the Algeria which already suffers of water stress. Aware of this situation, all the efforts undertaken by the Algeria, in terms of investments, as well as at the institutional and organizational levels, were articulated around the development of this resource in order to take up the challenges and be in harmony with the objectives of millennium in the water sector.

On this view, it has approached the study of the system «water resource Annaba-El Tarf» using the tools geomorphological, hydro-climatological, hydrogeological and hydro-geochemical. The characterization of groundwater shows alarming rates be 73.53% of water represents an intolerable corrosion. The water type dominant is chloride-sodium 82%, the acquisition of this typology is in large part due to the dissolution of evaporitic minerals and/or the precipitation of the carbonate minerals, the alteration of silicates and to the marine influence. The surface water represents a low degree of organic pollution to moderate, the index of the quality of the raw water confirms this result.

The application of systemic analysis to the system « water resources Annaba-El Tarf» aims to integrate water resources management problems and provide sustainable solutions to reconcile economic uses and the preservation of water resources.

Key words: Hydro-geochemical, water resources, systemic analysis, Annaba-El Tarf, sustainable management.

DEDICACE

À LA M1MOIRE DE MES PARENTS

Je rends un HOMMAGE fervent à mes parents pour leurs multiples sacrifices

« Que dieu ait pitié de leurs âmes »

Samia

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la patience et la volonté pour terminer ce travail.

Cette thèse de doctorat est le fruit de longues années de recherches, alternées avec mes activités pédagogiques d'enseignement au département Mine et Géologie à l'université de Bejaia. Son aboutissement doit beaucoup à l'appui de Madame, **HOURLA KHERICI-BOUSNOUBRA**, Professeur à la Faculté des Sciences de l'université Badji Mokhtar Annaba, ma directrice de thèse, à qui je tiens à exprimer ma vive gratitude de m'avoir encadré à partir de l'Ingéniorat (1993), le Magister (2006) et le Doctorat (2017). Je la remercie également pour la confiance qu'elle m'a accordé « MERCI MADAME ».

Mes vifs remerciements également pour le Professeur **M. BENHAMZA**, de l'université d'Annaba, d'avoir bien voulu accepté de me faire le grand honneur de présider le Jury de ma soutenance.

Je tiens à remercier Monsieur **A. MAOUI**, Professeur à l'université de Guelma, d'avoir aimablement accepté d'examiner et de faire partie du jury de cette thèse.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Monsieur **S. KACHI**, Professeur de l'université de Guelma, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Monsieur **S. LABAR**, Maître de conférences à l'université d'El Tarf, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Monsieur **H. BOUTAGHANE**, Maître de conférences à l'université d'Annaba, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Mes remerciements s'adressent à notre invité et collègue Monsieur **L. SAYAD**, Maître de conférences à l'université d'Annaba, d'avoir accepté d'être membre du jury et pour son aide et ses conseils

Je réserve une marque de reconnaissance au **Dr Abdelhamid SAOU**, de département d'Hydraulique, Université de Béjaia, qui m'a apporté sa contribution et qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude. Je t'adresse mes remerciements les plus sincères pour ta disponibilité tes encouragements et tes multiples conseils.

Mes remerciements vont également à ceux qui m'ont grandement facilité l'accès aux données et à la documentation, en particulier Monsieur **DRICI** (ABH, Annaba), Monsieur **T. RAHMANI** (SETA Annaba) et Monsieur **N. MHAMDIA** (chef de département du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux Annaba (ADE)).

Je remercie **ma famille** pour son encouragement et son soutien.

Mes remerciements vont également à mes amies qui m'ont aidé et encouragé pour finaliser cette thèse, **S. BAHROUNE** et **W. CHAIB**.

***LISTE
DES
FIGURES***

LISTE DES FIGURES

Titre	Page
Chapitre I	
Figure I.1: Les différentes conférences sur le développement durable au niveau international	6
Figure I.2 : Les trois piliers du Développement Durable	7
Figure I.3: Organigramme d'interactions des systèmes	15
Figure I.4: Les quatre concepts de base de la Systémique	17
Figure I.5: Vue systémique des objectifs de la stratégie nationale de l'eau	21
Figure I.6: Structure simplifiée d'un système de gestion des ressources en eau	22
Figure I.7: Interaction entre les ressources en eau et leur utilisation	23
Chapitre II	
Figure II.1: Pluies du mois de Décembre 2007	28
Figure II.2: Evapotranspiration potentielle moyenne, du mois de décembre 2007	29
Figure II.3: Découpage de l'Algérie en bassins hydrographiques	30
Figure II.4: Apport hydrologique (en hm ³ /an) des bassins de l'Algérie du Nord période 1965/66-1994/95.	31
Figure II.5: Répartition des écoulements du mois de décembre 2007	32
Figure II.6: Zones de débits spécifiques dans l'Est algérien	33
Figure II.7: Structure simplifiée du système « Eau » en Algérie	34
Figure II.8: Evolution des capacités et volumes régularisables des barrages	35
Figure II.9: Nombre de barrages à l'horizon 2030	36
Figure II.10: Capacités de transferts et adductions par région.1999-2012	36
Figure II.11: Barrages-réservoirs et grands transferts hydrauliques de l'Est algérien	37
Figure II.12: Evolution du nombre des périmètres et surfaces irriguées en Ha. Période 1962-2012	39
Figure II.13: Ressources en eaux souterraines du Nord-Est Algérien	41
Figure II.14: Schéma des deux grandes nappes du Sahara	42
Figure II.15: Comparaison des volumes caractéristiques des STEP	45
Figure II.16: Stations d'épuration et barrages de l'Algérie orientale	46
Figure II.17: Localisation des stations de dessalement d'eau de mer de grosses capacités (Situation 2009)	48
Figure II.18: Organigramme du secteur des ressources en eau en Algérie	49
Figure II.19: Le nouveau cadre institutionnel de gestion des services de l'eau en Algérie.	53
Figure II.20: Les tarifs de vente d'un m ³ d'eau pratiqués dans les pays développés	56
Figure II.21: Répartition actuelle par modes de gestion des services de l'eau en Algérie	60
Chapitre III	
Figure III.1: limite géographique et découpage administratif de la région Annaba-El Tar	67
Figure III.2: Les unités morphologiques dans la région d'Annaba-El Tarf	68
Figure III.3: Les unités géomorphologiques (PNE, 2010)	70

Figure III.4:	carte du couvert végétal de la région Annaba-El tarf	71
Figure III.5:	Coupe géologique dans l'extrême Nord-est algérien (modifiée)	72
Figure III.6:	Carte géologique des plaines de la région de Annaba -El-Kala	75
Figure III.7:	Bloc diagramme au travers de la plaine Annaba	78

Chapitre IV

Figure IV.1:	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles aux stations Salines, Ain assel, El Kala et Bouteldja (90/91-09/10).	81
Figure IV.2:	Précipitation moyenne saisonnière des quatre stations (90/91-09/10)	82
Figure. IV.3:	Températures moyennes mensuelles des quatre stations (90/91/-09/10)	83
Figure. IV.4:	Indice de De Martonne	86
Figure. IV.5:	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls pour les quatre stations	87
Figure. IV.6:	Diagramme de WUNDT	92
Figure. IV.7:	Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite dans les quatre stations (90/91/-09/10)	96
Figure IV.8:	Le réseau hydrographique de l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba-El Tarf)	100
Figure. IV.9 :	Débits mensuels interannuels à la station d'Ain Assel. 1963-2003	101
Figure IV.10:	Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations de l'Oued Kébir Est à la station d'Ain Assel (63/64-02/03)	101
Figure IV.11:	Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations à l'oud Bounamoussa à la station Cheffia (1976/77-2002/03)	102

Chapitre V

Figure V.1:	Coupe schématique du système aquifère Annaba-El Tarf (modifiée)	106
Figure V.2:	Coupes hydrogéologiques à travers la plaine et le massif dunaire de Bouteldja	108
Figure. V.3(a) :	Coupe NW-SE dans la plaine d'Annaba (Hani.2003) modifiée	109
Figure. V.3(b) :	Coupe S-N dans la plaine d'Annaba (Hani.2003) modifiée.	110
Figure V.4:	Carte des isohypses de l'aquifère de la nappe des graviers	111
Figure V.5:	Carte piézométrique du massif dunaire de Bouteldja	112
Figure V.6:	Carte piézométrique de la nappe superficielle	113
Figure V.7:	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf	114
Figure V.8:	Carte piézométrique de la Nappe du Cordon Dunaire d'El Chatt	115
Figure V.9:	Carte de répartition des valeurs de la transmissivité dans la nappe du massif dunaire de Bouteldja	116
Figure V.10:	Répartition du coefficient de perméabilité en 10^{-5} m/s de la nappe du massif dunaire de Bouteldja	117
Figure. V.11:	Carte de répartition des forages dans la région Annaba-El Tarf	119

Chapitre VI

Figure VI.1:	Situation de la zone d'étude et localisation des points d'échantillonnages	121
Figure VI.2:	Le réseau réacteur d'après LEVI-1995)	125
Figure VI.3:	Etats d'équilibre des eaux en fonction de l'indice de Langelier	127
Figure VI.4:	Représentation du TAC par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.	129
Figure VI.5:	Représentation du Cl^- par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.	130
Figure VI.6:	Représentation de la CE par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.	130
Figure VI.7:	Caractéristique de l'eau en onction du pH	131
Figure VI.8:	Représentation de la variation du pH par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.	132
Figure VI.9:	Représentation du pHs par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.	133
Figure VI.10:	Indice de Langelier des eaux souterraines de l'extrême Nord-est Algérien	134
Figure VI.11:	Représentation de l'Indice de Ryznar par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey	135
Figure VI.12:	Corrélation pH- Indice de Langelier	135
Figure VI.13:	Diagramme de Piper pour les eaux de l'extrême Nord-est Algérien	138
Figure VI.14:	Représentation graphique $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / (Na^{+} + K^{+})$ vs CE des eaux souterraines Annaba-El Tarf	139
Figure VI.15:	Représentation graphique $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^{+} + K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$ des eaux souterraines Annaba-El Tarf	140
Figure VI.16:	Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F2	142
Figure VI.17:	Rapport Ca^{+2}/Mg^{+2} versus points d'eaux	144
Figure VI.18:	Evolution des minéraux carbonatés : (a) : dolomite, (b) : calcite, (c) : aragonite	148
Figure VI.19:	Evolution des indices de saturations en fonction de la conductivité Electrique (en $\mu S/cm$) pour les minéraux carbonatés	149
Figure VI.20:	Evolution des indices de saturations en fonction de la conductivité Electrique (en $\mu S/cm$) pour les minéraux évaporitiques	149
Figure VI.21:	Indices de saturation vis-à-vis de la calcite, dolomite, gypse et halite en fonction des teneurs en sulfates	150
Figure VI.22:	Evolution des indices de saturation des minéraux carbonatés en fonction du pH	151
Figure VI.23 (a, b, c, d):	Indices de saturation vis-à-vis de la calcite, dolomite, Gypse et halite en fonction des teneurs en sulfate	153
Figure VI.24:	(a) IS calcite vs. IS aragonite, (b): IS calcite vs. IS dolomite	154
Figure VI.25:	Classification des eaux en fonction de : a : Diagramme de Richards b : Diagrammes de Wilcox	157
Figure VI.26:	Evolution des paramètres TAC, TH, Rs. Dans les eaux du barrage Cheffia- Mexa (2015).	159
Figure VI.27:	Evolution de la concentration des éléments majeurs Dans les eaux des barrages Cheffia et Mexa (2015)	160

Chapitre VII

Figure VII.1: Situation des Nappes Aquifères de la région Annaba- El Tarf	
Bassin Constantinois	166
Figure VII.2: Situation des barrages Cheffia, Boulatane et Bouhaloifa.	168
Figure VII.3: Situation des barrages Mexa et Bougous	169
Figure VII.4: Ressources mobilisables (Hm ³) du système Annaba-El Tarf (Capacités totales des barrages)	173
Figure VII.5: Ressources mobilisables (Hm ³) du système Annaba-El Tarf (Capacités régularisables des barrages)	173
Figure VII.6: Transferts des eaux superficielles dans le système Annaba El Tarf	174
Figure VII.7: Transferts des eaux souterraines dans le système Annaba El Tarf	175
Figure VII.8: Représentation du sous système « usage »	181
Figure VII.9: Confrontation ressources/besoins à l'horizon 2030	182
Figure VII.10: Indicateur taux de raccordement au réseau d'AEP (Annaba 2015)	183
Figure VII.11 : d'indicateur Dotation journalière en eau potable dans les communes de la Wilaya d'Annaba (1999-2015).	184
Figure VII.12: Indicateur fréquence de distribution d'eau potable par commune et total wilaya d'Annaba 2015	185
Figure VII.13: Dotation journalière réelle et taux de satisfaction en eau potable par commune 2015	186
Figure VII.14: Situation des barrages en exploitation et en projet dans le bassin côtier Est	188
Figure VII.15: Projection des barrages Enkouche et Koudiat Mahcha dans la wilaya d'Annaba	189
Figure VII.16 : Situation de la future station de dessalement Annaba-El Tarf	190

***LISTE
DES
TABLEAUX***

LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
 <i>Chapitre I</i>	
Tableau I.1: Eléments de comparaison entre l'approche analytique et systémique	18
Tableau I.2: Définition des exigences du plan national de l'eau	20
Tableau I.3: relation de compatibilités et incompatibilités entre les différents usages d'eau	24
 <i>Chapitre II</i>	
Tableau II.1: Type du climat en fonction des zones	27
Tableau II.2: Apports et précipitation annuels des régions hydrographiques de l'Algérie du nord	30
Tableau II.3: Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du nord	40
Tableau II.4: Estimation des ressources en eau souterraine de l'Algérie du Nord	40
Tableau II.5: Evolution de la production des eaux usées brutes (Hm ³)	44
Tableau II.6: Programme de construction de STEP	44
Tableau II.7: Volumes, en m3, des eaux usées épurées et produite et les capacités des stations gérées par l'ONA	45
Tableau II.8: Les unités de dessalement d'eau de mer de grosse capacité	47
Tableau II.9: La structure tarifaire de l'eau potable pour les différentes Catégories d'utilisateurs	54
Tableau II.10: Evolution des indicateurs d'accès à l'eau potable et l'assainissement Période 1999- 2014.	62
 <i>Chapitre IV</i>	
Tableau IV.1: Situations géographiques des stations étudiées	80
Tableau IV.2: Variation saisonnière des précipitations aux quatre stations	81
Tableau IV.3: Quotient pluviométrique pour les quatre stations	82
Tableau IV.4: Températures mensuelles annuelles pour les quatre stations.	83
Tableau IV.5: Moyenne mensuelle et annuelle de l'humidité relative en %	84
Tableau IV.6: Vitesses des vents moyennes mensuelles et annuelles Pour les deux stations	85
Tableau IV.7: Classification des climats selon l'indice de De Martonne	85
Tableau IV.8 : Indice d'aridité des quatre stations (90/91-09/10).	86
Tableau IV.9 : Evapotranspiration potentielle (méthode de THORNTHWAITE)	89
Tableau IV.10: Evapotranspiration potentielle (méthode de SERRA).	90

Tableau IV.11: Valeurs de l'ETR par la formule de Turc.	91
Tableau IV.12: Valeurs de l'ETR par la formule de M Coutagne	91
Tableau IV.13: Valeurs du Déficit d'écoulement par la formule de WUNDT.	92
Tableau IV.14: Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite pour la station d'El Kala	93
Tableau IV.15: Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite pour la station des Salines	94
Tableau IV.16: Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite pour la station d'Ain Assel	94
Tableau IV.17: Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwaite pour la station de Bouteldja	95
Tableau IV.18: Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes.	97
Tableau IV.19: Valeurs du ruissellement.	97
Tableau IV.20: Valeurs de l'infiltration efficace.	98
Tableau IV.21: Les données morpho métriques des deux bassins versant (Le Kébir-Est et la Seybouse	99

Chapitre V

Tableau V.1: Le débit (moyen, min et max) des sources	117
Tableau V.2: Indice de variabilité des sources	118

Chapitre VI

Tableau VI.1: Tendance de l'eau en fonction de l'indice de Ryznar	127
Tableau VI.2 : Statistiques descriptives des : pH, pHs, CE, TAC, Cl ⁻ , Indice de Langelier et Indice de Ryznar	128
Tableau VI.3: Teneurs des éléments chimiques	137
Tableau VI.4: Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée	141
Tableau VI.5 : Matrice de corrélation entre les variables	142
Tableau VI.6 : Indices de saturation des eaux souterraines dans la région Annaba-El-Tarf.	146
Tableau VI.7 : Paramètres et classes de l'IPO (Leclercq & Maquet, 1987)	161
Tableau VI.8 : Indicateurs de pollution organique des barrages Cheffia et Mexa (2015)	161
Tableau VI.9: Grille de qualité de l'eau brute (in Demmak.A, 2014)	162
Tableau VI.10: Indice de qualité de l'eau des barrages Cheffia et Mexa (2015).	162

Chapitre VII

Tableau VII.1 : les ressources d'eaux souterraines des aquifères Annaba-El Taf	166
Tableau VII.2: Caractéristiques physiques des barrages Cheffia et Mexa	167
Tableau VII.3: Exploitation des deux barrages pour le 1 ^{er} Semestre 2010	170
Tableau VII.4: Répartition et l'état des retenues collinaires de la Wilaya D'El-Tarf	171
Tableau VII.5: Répartition par commune des retenues collinaires de la Wilaya d'Annaba	171
Tableau VII.6: Les stations d'épuration dans les wilayas : Annaba-El-Tarf	172
Tableau VII.7: Typologie Agglomérations/strates de population	176
Tableau VII.8: Taux de majorations liés aux autres usages	176
Tableau VI.9: Surcroît de population estival	177
Tableau VII.10: Prévisions d'évolution de la population Annaba-El Tarf 2010/2030	177
Tableau VII.11: Estimation des besoins en AEP Annaba-El Tarf 2010/2030.	178
Tableau VII.12: Besoins en eau industrielle en m ³ /an à l'horizon 2010/2030	179
Tableau VII.13: Projection des besoins totaux en eau des GPI.	180
Tableau VII.14: Besoins en eau des différents secteurs à l'horizon 2015/2030	180
Tableau VII.15: Indicateur de développement dans la wilaya d'Annaba 2015/2030	183

TABLE DES MATIÈRES

ملخص.....	I
Résumé	II
Abstract	II
Dédicace	III
Remerciement	IV
Liste des Figures.....	V
Liste des tableaux.....	IX
Table des matières.....	XII
Introduction Générale.....	1

Partie I

Chapitre I : P4.....P25

CH I : Etat de l'art sur le développement durable et Les ressources hydriques.

I.1/ Introduction.....	4
I.2/ Evolution du concept du Développement Durable	5
I. 3/ L'Eau et le Développement Durable.....	8
I.3.1/ La protection des Eaux entre une perspective de développement durable et un conflit entre différents pays.....	11
I.4/ Evaluation de développement durable.....	12
I.4.1.1/ Notion d'indicateur.....	12
I.4.1.2/ Définitions d'indicateur	12
I.4.1.3/ Objectif de l'indicateur.....	14
I.5/ Approche systémique.....	14
I.5.1/ La systémique : essai de définition.....	14
I.5.2/ Apport de l'approche systémique	14
I.5.3/ Définition d'un système	15
I.5.4/ Le concept de système.....	16
I.5.5/ Notion et concept de la systémique	16
I.5.6/ Comparaison entre l'approche Analytique et Systémique	18
I.5.7/ Gestion des Ressources en Eau et l'Approche systémique	18
I.5.7.1/ Le concept de « Ressources »	19
I.5.7.2/ Le concept de « Gestion »	19
I.5.8/ Vue systémique de la stratégie nationale pour les ressources en eau.....	19
I.6/ Le système ressources en eau	21
I.6.1/ Interactions entre ressources et utilisations.....	22
I.6.2/ Les relations entre utilisations des ressources en eau.....	23
I.7/ Conclusion	25

Chapitre II : P26.....P65

CH II : Le système ressource en eau en Algérie: Analyse et diagnostique

II.1/ Introduction.....	26
II.2/ L'eau en Algérie.....	27
II.2.1/ Contexte géographique et climatique	27

II.2.2/ Régime hydrologique en Algérie	29
II.3/ Le Système Ressources en Eau en Algérie	33
II.3.1/ Sous système mobilisation superficielle.....	34
II.3.1.1/Evolution de l'infrastructure de mobilisation des eaux superficielles de 1962 à 2010et prévision pour l'horizon 2030	35
II.3.2/ Sous système : Les grands transferts et adductions	36
II.3.2.1/Les Sept systèmes de transfert	37
II.3.2.2/ Le transfert des eaux des nappes du Sahara.....	38
II.3.3/ Sous système : Les grands périmètres irrigués	39
II.3.4/ Sous système Eau Souterraine.....	39
II.3.5/ Sous système : Assainissement et épuration des eaux	42
II.3.5.1/ Aspect Règlementaire.....	43
II.3.5.2/ Evolution de la production des eaux usées	43
II.3.5.3/ Programme de construction des STEP	44
II.3.6/ Sous système : Dessalement d'eau de mer.....	46
II.3.7/ Sous système : Contextes législatif et institutionnel.....	48
II.3.7.1/ Introduction	48
II.3.7.2/ Les structures du secteur de l'eau en Algérie	48
II.3.7.3/ Les différentes stratégies nationales de l'eau	50
II.3.7.4/ Cadre institutionnel	51
II.3.7.4.1/ Tarification de l'eau en Algérie.....	53
II.3.7.4.2/ Une législation intégrant le concept de gestion durable des ressources.....	56
II.3.7.4.3/ Une gestion de l'eau centralisée.....	57
II.3.7.4.4/ La participation du secteur privé à la gestion des services d'eau.....	59
II.4/ Synthèse sur la stratégie de développement	61
II.5/ Aperçu sur la problématique de l'eau en Algérie.....	62
II.6/ Conclusion.....	65

Partie II

Chapitre III : P66.....P79

CH III : présentation de la zone d'étude (Annaba-El Tarf)

III.1/Cadres géographique et hydrographique.....	66
III.1.1/ Limite de la zone d'étude.....	66
III.1.2/ Aspect géomorphologique.....	67
III.1.3/ Le couvert végétal	70
III.2/ Aperçu géologique.....	71
III.2.1-Cadre lithostratigraphique :	71
III.2.1.1/ Introduction.....	71
III.2.1.2/Le Paléozoïque.....	72
III.2.1.3/ Le Mésozoïque.....	73
III.2.1.4/ Le Cénozoïque	73
L'Eocène inférieur	73
L'Oligocène	73
Le Mio-Pliocène	74
L' Quaternaire	74
Quaternaire ancien	74
Quaternaire récent.....	74
Quaternaire actuel	74
III.2.2/ Caractéristiques physico-chimiques des dunes.....	75

III. 3/Cadre structural.....	76
III.3.1/Les Monts de la Chefia	76
III.3.2/ La Plaine d'Annaba.....	76
III.4/Conclusion	79

Chapitre IV : P80.....P104

CH IV : Caractéristiques hydro- climatologiques de la région Annaba-El Tarf

IV.1/Introduction	80
IV.2/ Les facteurs climatiques.....	80
IV.2.1/ Les précipitations.....	80
IV.2.1.1/ Précipitations moyennes mensuelles.....	80
IV.2.1.2/ Répartition saisonnière des précipitations	81
IV.2.1.3/ Le quotient pluviométrique.....	82
IV.2.2 Les températures.....	83
IV.2.3/ L'humidité relative.....	84
IV.2.4/ Le vent.....	84
IV.3 / Caractérisation du climat	85
IV.3.1/ L'indice d'Emmanuel De Martonne	85
IV.3.2/ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	87
IV.4/ Le bilan hydrique	87
IV.4.1/ L'évapotranspiration.....	88
IV.4.1.1/ Évapotranspiration potentielle (ETP)	88
IV.4.1.1.1/Formule de C.W Thornthwaite.....	88
IV.4.1.1.2/ Formule de SERRA.....	89
IV.4.1.2/ Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	90
IV.4.1.2.1/ Formule de L .Turc 1954	90
IV.4.1.2.2/ Formule de M Coutagne.....	91
IV.4.1.3/ Estimation du déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT	92
IV.4.2./ Le calcul du bilan hydrique par Méthode de THORNTHWAITE	93
IV.4.3/ Le ruissellement de surface	97
IV.4.4/ Estimation de l'infiltration	98
IV.5/ VI.5/ Hydrologie	99
VI.5.1/ Introduction	99
VI.5.2/ Le Régime de l'Oued Kébir-Est à la station d'Ain Assel.....	100
VI.5.3/ Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations des oueds Kébir-Est et Bounamoussa	101
VI.5.4/ Lac et Marécage	102
VI.5.4.1/ Lac Tonga.....	102
VI.5.4.2/ Lac Oubeïra.....	102
VI.5.4.3/ Lac des Oiseaux.....	103
VI.5.4.4/ Lac Mellah.....	103
VI.5.4.5/Tourbière du Lac Noir.....	103
VI.5.4.6/ Les Marais de Mekhada.....	103
VI.5.4.7/ Lac Fetzara.....	103
IV.6/ Conclusion.....	104

Chapitre V : P105.....P119

CH V : Aperçu hydrogéologique et identification des Ressources souterraines

V. 1/ Introduction.....	105
V.2/ Nature des nappes.....	105
V.2.1/Les Nappes libres	105
V.2.2/Les nappes captives	105
V.3/Géométrie et propriétés hydraulique du système aquifère	105
V.3.1/ Aquifère superficiel	105
V.3.1.1/ La nappe des gneiss altérés.....	106
V.3.1.2 / La nappe du cordon dunaire	106
V.3.1.3/ la nappe libre du massif dunaire.....	107
V.3.1.4/La nappe des terrasses.....	107
V.3.1.5/La nappe des alluvions récentes et actuelles.....	107
V. 3.2/ Aquifère profond.....	108
V.3.2.1/ La nappe des cipolins	108
V.3.2.2/ La nappe profonde des graviers.....	108
V.4/ Interprétation des cartes piézométrique.....	110
V.4.1/La nappe profonde d'Annaba.....	110
V.4.2/ Le massif dunaire de Bouteldja.....	111
V.4.3/La Nappe Superficielle d'El-Hadjar.....	112
V.4.4/La Nappe d'El-Tarf.....	113
V.4.5/ La Nappe libre du Cordon Dunaire d'El Chatt.....	114
V.5. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du massif dunaire de Bouteldja :	115
V.5.1/ Répartition de la transmissivité.....	115
V.5.2/ Répartition de la perméabilité.....	116
V.6. Inventaire des points d'eau :	117
V.6.1/Les sources.....	117
V.6.1.1/Calcul de l'indice de variabilité « R »	118
V.6.2/ Les puits.....	118
V.6.3/ Les forages :	118
V.7/ Conclusion.....	119

Partie III

Chapitre VI : P122.....P163

CH VI : diagnostique qualitatif de la ressource en eau et sa durabilité à Annaba- El Tarf

VI.1/ Les eaux souterraines	120
VI.1.1/ Introduction.....	120
VI.1.2/ Matériel et méthodes	121
VI.1.3/ Détermination de l'agressivité et la corrosivité des eaux souterraines de la région Annaba- El-Tarf (Nord-est Algérien)	122
VI.1.3.1/Introduction	122

VI.1.3.2/ Méthodologie	125
VI.1.3.3/ Résultats et Discussions	128
VI.1.4/ Typologie hydrogéochimique des eaux souterraines	136
VI.1.4.1/ Introduction.....	136
VI.1.4.2/ Résultats et discussions.....	136
VI.1.4.2.1/Faciès chimiques des eaux.....	137
VI.1.4.2.2/ Classification hydro-chimique des eaux souterraines.....	138
Le rapport binaire (Ca+Mg+HCO ₃)/ (Na+Cl+SO ₄) vs CE	138
Le rapport binaire du (Ca ⁺² + Mg ⁺²)-(Na ⁺ K ⁺) vs HCO ₃ ⁻ - (SO ₄ ⁻² + Cl ⁻)	139
VI.1.4.2.3/Analyse en Composantes Principales (ACP).....	140
VI.1.5/ Modélisation géochimique des eaux.....	144
VI.1.5.1/ Introduction.....	144
VI.1.5.2/ Indice de Saturation.....	144
VI.1.5.2.1/Les minéraux carbonatés.....	147
VI.1.5.2.2/Les minéraux évaporitiques.....	150
VI.1.5.2.3/ Indices de saturation vis-vis des minéraux carbonatés et évaporitiques.....	151
VI.1.5.3/ Estimation du pouvoir alcalinisant des eaux.....	154
VI.2/ Qualité des eaux de surface.....	157
VI.2.1/Introduction.....	157
VI.2.2/ Discussion des résultats	158
VI.2.2.1/ Evolution des paramètres physico-chimiques	158
Les paramètres physiques	158
Les paramètres chimiques	158
Les éléments majeurs	159
VI.2.2.2/ Evaluation de la pollution organique	160
VI.2.2.3/ Calcul de l'Indice de qualité.....	161
VI.3/ Conclusion	163

Chapitre VII : P164.....P193

CH VII Le système « Ressource en eau Annaba-El Tarf » Aspect quantitatif

VII.1/ Introduction.....	164
VII.2/Situation actuelle du système « ressource en eau Annaba-El Tarf ».....	165
VII.2.1/ Le sous système « Ressources souterraines ».....	165
VII.2.2/ Le sous système « Ressources superficielles ».....	167
VII.2.2.1/ Les barrages en exploitation.....	167
VII.2.2.2/Petits barrages et retenues collinaires.....	170
VII.2.2.3/Les prises au fil d'eau.....	172
VII.2.2.4/Les sources.....	172
VII.2.3/Le sous système « Epuration des eaux usées ».....	172
VII.2.4/Bilan hydrique du système « ressources en eau Annaba-El Tarf ».....	173
VII.2.5/Affectation de la ressource au niveau du système	174
VII.2.6/Sous système « usage » (besoins en eau).....	175
VII.2.6.1/Alimentation en eau potable (AEP).....	175
VII.2.6.1.1/Evolution des besoins en eau potable à l'horizon 2015/2030.....	178
VII.2.6.2/Besoin industriels.....	178
VII.2.6.2.1/Evolution des besoins en eau industriels à l'horizon 2015/2030.....	179

VII.2.6.3/Besoins agricole.....	179
VII.2.6.4/Bilan des besoins.....	180
VII.2.6.5/Confrontation offre /besoins.....	181
VII.3/Evaluation des indicateurs de développement dans la wilaya d'Annaba.....	182
VII.3.1/Indicateur d'accès à l'eau potable et l'assainissement.....	182
VII.3.2/Indicateur sur la satisfaction des usages.....	184
VII.3.2.1/Indicateur fréquence de distribution.....	184
VII.3.2.2/Indicateur satisfaction en eau potable.....	186
VII.4/Recherche de l'équilibre hydrique du système	
« Ressources en eau Annaba-El Tarf ».....	186
VII.4.1/ Mobilisation des eaux conventionnelles.....	187
VII.4.2/ Mobilisation des eaux non conventionnelles.....	189
VII.4.2.1/Dessalement des eaux de mer.....	190
VII.4.2.2/Epuration des eaux usées.....	190
VII.4.3/Contraintes du système « ressources en eau Annaba-El Tarf » et défis a relever.....	191
VII.5/Conclusion et recommandations	192
Conclusion générale et perspectives.....	194
Références Bibliographiques.....	198
Annexes.	

Introduction générale

Introduction générale

Le développement socio-économique d'un pays ou d'une région, est un objectif principal de tout gouvernant, mais hélas cela affecte inévitablement les ressources tant du point de vue qualité que quantité. L'évaluation des ressources en eau est d'une importance capitale dans l'économie d'un pays; elle est assez complexe, difficile, mais permet de définir une stratégie, une politique et une vision. Il est désormais largement admis que la mise en place d'un développement durable exige de mettre en équation des préoccupations sociales et économiques avec des préoccupations environnementales en tenant compte du facteur essentiel et limitatif, à savoir *l'eau*.

Au milieu du XXe siècle, le « développement durable » ne faisait pas partie du vocabulaire des stratégies de développement. Aujourd'hui, on estime que 20% de la population mondiale utilise 80 % des ressources naturelles (COSTERMANS. Dominique, 2003). Depuis une trentaine d'années, notre société a pris conscience de la nécessité de privilégier le développement durable : mieux prendre en compte l'avenir des générations futures, partager les fruits de la Terre

Il n'y aura pas de développement durable sans une gouvernance sociétale (équitable et raisonnable) gérant l'eau comme un patrimoine commun local mais aussi mondial dont la valeur vitale doit être reconnue de tous (Baudru, Maris, 2002). Il est reconnu donc que, l'eau est un facteur limitant majeur dans le développement socio-économique. 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.

En l'an 2000, les cinq pays méditerranéens du nord de l'Afrique (l'Algérie, l'Égypte, la Libye, le Maroc et la Tunisie) avaient des problèmes d'eau. À l'horizon 2025, la pénurie d'eau guette cinquante pays dans lesquelles vivent 40% de la population mondiale et la région la plus touchée par cette rareté est celle du bassin méditerranéen (Antoine-Tristan, 2011) et l'Algérie n'en est pas épargnée.

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 (Mebarki A, 2010). 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 (Demmak.A, 2014). Il faudrait mobiliser 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 colossal 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.

La région d'étude (Annaba-El Tarf) est située à 600 Km à l'Est de la capital Alger. Les ressources hydriques actuelles de la wilaya d'Annaba dépendent de celles provenant principalement de la wilaya de Tarf. Dans cette wilaya (El-Tarf) les ressources sont particulièrement abondantes mais confrontées à une situation préoccupante du fait de sa vulnérabilité à la pollution et du développement économique et social importants. Ceux ci entraînent une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, dégradations et manque de protection de la ressource. Plus des perturbations 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 souterraine et superficielle.

Conscient des situations du secteur des ressources en eau, de la complexité et l'interaction étroite des aménagements hydrauliques ; il convient d'adopter une nouvelle façon de penser, l'approche systémique, elle-même fondée sur l'analyse systémique.

Dans ce contexte et pour mener à bien cette étude, notre travail est composé de (03) trois parties principales.

Dans la première partie, nous allons présenter une synthèse bibliographique répartie en deux chapitres. Dans **le premier chapitre**, nous allons réaliser un état de l'art sur le développement durable et les ressources hydriques. Plusieurs points seront exposés exemples de la place allouée à l'eau dans le concept du développement durable et l'intérêt de l'évaluation de la durabilité. Dans **le deuxième chapitre**, nous allons analyser la problématique de l'eau en Algérie. Nous allons présenter un bref historique sur la gestion du secteur de l'eau.

Dans la **deuxième partie**, nous allons exposer les caractéristiques géographiques, géologiques et hydrogéologiques de la région Annaba-El Tarf. Elle se développe sous trois chapitres : **Le troisième chapitre**, donne un aperçu sur le cadre général de la zone d'étude par sa situation géographique, sa géomorphologie et sa géologie.

Le **quatrième chapitre** sera consacré à l'étude des conditions climatologiques en se basant sur une synthèse du bilan hydrique relative aux stations pluviométriques évoquées dans la région d'étude. **Le cinquième chapitre** présente l'hydrogéologie de la zone d'étude. Il traite les caractéristiques hydrogéologiques, où nous avons abordé la nature des nappes, la géométrie des aquifères et les paramètres hydrodynamiques des nappes.

La troisième partie comporte **le sixième et le septième chapitre**.

Le sixième chapitre sera consacré à l'analyse qualitatif du système ressource en eau de la région Annaba-El Tarf. Il évoque en première partie, la détermination de l'agressivité et la corrosivité des eaux souterraines, la typologie hydrogéochimique des eaux et à la modélisation des données physico-chimiques par le calcul des indices de saturation de tous les minéraux résultant de l'interaction eau- roche par le phénomène dissolution/précipitation. En deuxième partie traitera la qualité des eaux de surface en se basant sur la méthode de l'indice de pollution organique, la priorité est donnée à la qualité des eaux des barrages Cheffia et Mexa.

Le septième chapitre, est consacré aux enjeux de la gestion des ressources en eau dans la région, où nous avons abordé l'évaluation de la confrontation (offre /demande), des différents secteurs utilisateurs de l'eau suivi par une analyse de l'évolution des indicateurs du développement durables. Par la suite, nous allons exposer la stratégie opérée par les autorités locale pour l'aménagement et la gestion des ressources en eau.

Cette thèse se termine par **une conclusion générale**, qui rappelle les principaux résultats de ce travail et les recommandations qu'ils permettent d'envisager.

PARTIE I :
Synthèse bibliographique

Chapitre I : Etat de l'art sur le développement durable et les ressources hydriques

I.1/ Introduction

L'eau source de la vie, ressource naturelle, don gratuit de la biosphère est pourtant devenue en quelques décennies un enjeu crucial pour l'humanité. L'eau douce, en effet, ne représente que 3% du stock d'eau mondial, dont 2/3 sont (encore !) en glacier, et 1% seulement en eau douce véritablement utilisable. L'humanité ne dispose que d'un stock d'eau mondial limité qui, certes, se reconstitue, mais sous condition d'une utilisation raisonnée des flux tant en termes de prélèvements quantitatifs qu'en termes d'effluents respectant la qualité de la ressource avant son retour dans le milieu naturel et sans compromettre les usages ultérieurs. Or depuis 50 ans la consommation d'eau dans le monde a triplé et de nombreuses rivières sont transformées en égouts.

La part d'eau disponible pour chaque individu ne peut que diminuer si la population de la planète continue à croître. Le Courrier de l'Unesco (1999) précise : « *De combien d'eau un terrien dispose-t-il en moyenne ? D'un volume deux fois plus petit qu'il y a 50 ans. En 1950, les réserves mondiales (après déduction de l'eau utilisée par l'agriculture, l'industrie et les ménages) se montaient à 16 800 m³ par personne et par an. Elles sont aujourd'hui tombées à 7 300 m³ et devraient se limiter à 4 800 m³ dans 25 ans.* »

Le stress hydrique menace déjà certains territoires : est très élevé si les réserves sont inférieures à 1000 m³/an/habitant, élevé si elles sont de 1 000 à 2 000 m³, modéré si elles sont de 2 000 à 5 000 m³, or l'Afrique et l'Asie sont déjà au seuil de 2 000 m³ (Guesnier Bernard, 2012). Le Conseil Mondial de l'eau a dressé un bilan alarmant. Un milliard de personnes ne dispose pas d'une eau potable, saine et accessible, 2,6 milliards ne disposent pas d'évacuation des eaux usées et 6 à 8 millions de personnes meurent chaque année de maladies dues à l'absorption d'une eau polluée impropre à la consommation. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime que chaque année environ 450 Km³ (375 millions de litres) d'eaux usées sont rejetés dans les rivières, les lacs et sur les côtes. La dilution et le transport d'une telle quantité de déchets requièrent au minimum 6 000 Km³ (5 milliards de litres) d'eau claire. La FAO estime qu'au rythme actuel, d'ici 40 ans, la masse d'eau de l'ensemble du système des rivières stables sera requise rien que pour diluer et transporter les déchets humains (Olivaux., 2007).

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays. Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée.

Ce premier chapitre introductif est consacré à la définition des concepts fondamentaux que la recherche menée a permis d'approfondir. Il permet de souligner les efforts théoriques et méthodologiques nécessaires pour mener à bien une réflexion structurée et objective sur le thème général de la ressource en eau, dans la perspective du développement durable. Il présente les résultats d'une synthèse bibliographique menée principalement auprès d'un corpus d'ouvrages et d'articles scientifiques récents, voir d'actes de colloques consacrés aux thématiques du développement durable et de la gestion des ressources en eau. Il fixe les objectifs généraux en définissant les étapes principales de la recherche dans le souci d'y inclure un certain nombre de points méthodologiques.

Il s'articule autour de trois thématiques principales, dans le premier point, nous allons présenter un aperçu sur la définition et l'historique de la notion du développement durable, ainsi que la place importante qui a été attribuée à l'eau dans le concept du développement durable. L'intérêt de l'évaluation de la ressource en eau sera abordé dans le deuxième point, cette évaluation sera réalisée à travers une approche systémique développée dans le troisième point.

I.2/ Evolution du concept du Développement Durable

Le concept de développement durable est formulé pour la première fois de façon sectorielle à la fin du siècle dernier par des écoles de sylviculture françaises et allemandes préoccupées par le risque d'épuisement d'une ressource naturelle difficilement renouvelable. Elles développent alors la notion de « rendement soutenu » traduit en anglais par « Sustainable Management » et retraduit en français par « développement durable ».

Depuis le début des années 70, des scientifiques, des économistes, des organisations non gouvernementales, des représentants politiques, etc., s'interrogent sur les limites des ressources naturelles face au processus de la croissance d'après-guerre visant à « produire toujours plus » et face à l'explosion démographique des pays du sud.

La conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm en 1972 est qualifiée par le premier sommet de la terre. Elle est à la source de la création de la notion du

développement durable. L'environnement apparaît comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures (Déclaration Stockholm, 1972).

En 1980, l'union internationale pour la conservation de la nature a publié un rapport intitulé « *La stratégie mondiale pour la conservation* » ou apparaît pour la première fois la notion de « *développement durable* », traduite de l'anglais « *sustainable development* ». Par la suite, lors des travaux de la commission mondiale sur l'environnement et le développement, créée en 1983 par l'ONU et présidée par Mme Gro Harlem Brundtland (ancien Premier Ministre de Norvège), a publié son rapport, en 1987, intitulé « *Notre avenir à tous* » que l'on appelle le *rapport Brundtland* (Brundtland, 1987). Ce rapport a popularisé le concept de *Sustainable development* traduit d'abord en Français par développement soutenable, puis par le terme consensuel de « *Développement Durable* ». Dans ce rapport, le développement durable est défini comme : « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les générations futures de répondre aux leurs* » et c'est la définition régulièrement utilisée (Michiel *et al.* 2000). Lors du Deuxième Sommet de la Terre organisé à "Rio de Janeiro en 1992, il ya eu consécration du terme « *développement durable* ». Le concept commence à être largement médiatisé devant le grand public (Fig. I.1).

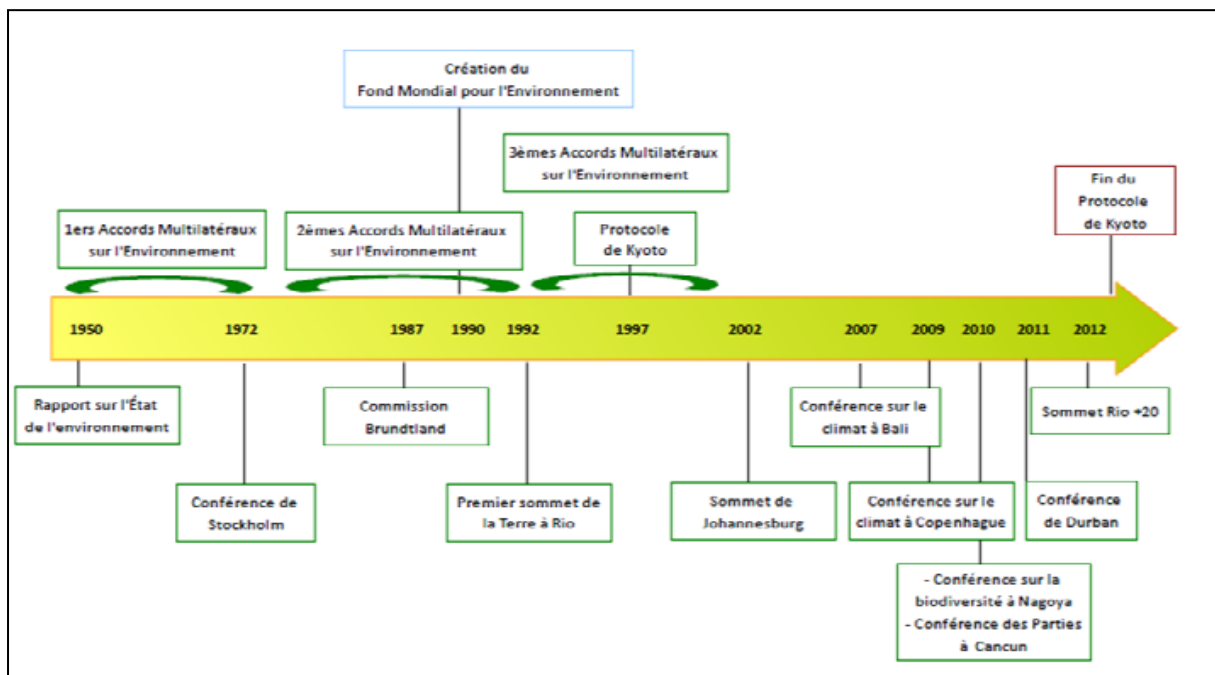


Figure I.1. Les différentes conférences sur le développement durable au niveau international (Grenelle de l'environnement, 2012)

La définition Brundtland (1ère définition du DD), axée prioritairement sur la préservation de l'environnement et la consommation prudente des ressources naturelles non renouvelables, sera modifiée par la définition des « *trois piliers* » qui doivent être conciliés dans une perspective de développement durable : **le progrès économique, la justice sociale, et la préservation de l'environnement**. Ces trois aspects sont les piliers du développement durable. Dans chaque pilier, un objectif général est défini (Fig. I.2).

L'Economique : traduisant la recherche par le développement durable d'un objectif de croissance et d'efficacité économique.

Le Social : exprime le fait que ce développement durable doit prendre en compte les besoins humains et donc répondre à un objectif d'équité sociale.

L'Environnemental : signifiant que l'objectif de développement durable est de préserver, améliorer et valoriser l'environnement et les ressources pour le long terme. Aujourd'hui, une quatrième dimension est ajoutée au processus de développement. Il s'agit de la gouvernance qui suggère de nouveaux modes d'organisation et de gestion.

Il n'y aura pas de développement durable sans protection préventive et partage équitable de la ressource en eau. Le cycle hydrologique doit être appréhendé dans sa globalité par une « gouvernance sociétale » qui, seule, peut garantir la pérennité du couple eau-développement durable, en impliquant gouvernements et citoyens (Froger et alii, 2005). (Guesnier Bernard, 2012)



Figure I.2. Les trois piliers du Développement Durable

I. 3/ L'Eau et le développement durable

« La pénurie d'eau douce est le plus grand danger pesant sur la planète »

(Koïchiro Matsuura, directeur général de l'UNESCO)

L'eau, facteur d'implantation de l'habitat humain, source de vie et long temps revêtu d'un caractère sacré (Luciani, 2002) peut donc, à l'extrême, devenir un vecteur de mort, par excès ou par manque. Le stock d'eau mondial est inépuisable. C'est une ressource renouvelable soumise au cycle hydrologique : ce cycle immuable d'évaporation-précipitation devrait garantir les conditions d'un développement durable. Or il subit des variations dans le temps et dans l'espace en fonction de lois naturelles qui modifient la répartition des pluies et des sécheresses entre les différentes régions du monde.

« Pourquoi et comment l'eau source première de la vie humaine sur terre serait-elle une menace sur le développement durable ? »

Depuis la tenue de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain, à Stockholm en 1972, de nombreuses conférences internationales, dont certaines étaient exclusivement consacrées à l'eau, ont eu pour objet d'élaborer des définitions du développement durable adaptées à diverses circonstances. Les débats internationaux consacrés aux politiques et aux problèmes de gestion de l'eau remontent à très longtemps. Le meilleur point de départ est peut-être la Conférence de Dublin de 1992, dont a découlé la Déclaration de Dublin sur l'eau dans la perspective d'un développement durable. Cette conférence était une contribution à la préparation du Sommet Planète Terre de Rio de Janeiro. La même année, en juin 1992, plus de 100 chefs d'Etat se sont rencontrés à Rio de Janeiro, Brésil, pour la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (UNCED). Cette conférence marque le début d'une dynamique de développement durable par la Consolidation des Accords Multilatéraux sur l'Environnement avec l'adoption de la **Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques** et l'adoption de l'**Agenda 21** ou **Action 21**. Ce dernier est un plan d'action pour le XXI^e siècle. Ce plan d'action décrit les secteurs où le développement durable doit s'appliquer dans le cadre des collectivités territoriales. On retrouve bien sur le chapitre *« la gestion des ressources en eau et de l'assainissement »*. Par la suite des programmes Agenda 21 locaux ont été créés à l'échelle nationale. Un Agenda 21 local offre un cadre de travail aux collectivités locales et à leurs habitants pour y mettre en œuvre les concepts de développement durable. La définition la plus utilisée est celle de la Conférence de Rio de Janeiro : *« c'est un instrument politique visant à*

traduire, à l'échelle locale, les grandes lignes du programme Agenda 21 par la mise en place de processus participatifs, multisectoriels et multi acteurs appropriés» (Mellakh, 2011).

Par la suite, la **Commission du Développement Durable (CDD)** a été créée en décembre 1992 pour assurer un suivi efficace de la Conférence de Nations Unies sur l'environnement et le développement (UNCED), contrôler et faire le suivi de la mise en œuvre des accords du Sommet de la Terre tant au niveau local, national, régional qu'international. Sa création était la conséquence d'une recommandation de l'**Agenda 21** (Agenda 21, 1992); cette commission est remplacée en 2013 par le **Forum politique de haut niveau sur le développement durable**. Il a été convenu que l'Assemblée générale des Nations Unies se réunirait en session extraordinaire en 1997 pour examiner les progrès accomplis au bout de cinq ans. En juin 1997, l'Assemblée a fait le bilan de la manière dont les pays, les organisations internationales et les différentes composantes de la société civile ont relevé le défi du Sommet planète Terre. L'assemblée a adopté un programme de mise en œuvre de l'Agenda 21 dont le suivi sera effectué par la **Commission du Développement Durable** (Agenda 21, 1992).

Actuellement, le **forum mondial de l'eau** est le principal événement international concernant les questions de l'eau. Il est organisé tous les trois ans depuis 1997 par le conseil mondial de l'eau. Il s'inscrit dans le processus de collaboration mondiale sur les problématiques liées à l'eau, en offrant aux politiques et aux décideurs le seul espace international de débat et de contributions d'experts (**Maroc, 1997; Pays-Bas, 2000; Japon, 2003; Mexique, 2006; Turquie, 2009; France, 2012; Corée du Sud, 2015**).

Il ressort de ces différentes conférences, un objectif majeur à atteindre, il s'agit de : « *Assurer la sécurité de l'eau au XXIème siècle* ». Cet objectif ne peut se concrétiser qu'à travers la mise en place de politiques efficaces tout en gardant à l'esprit le premier principe de Rio « *Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature* » (Rio de Janeiro, juin 1992). Le texte élaboré à la Conférence de Dublin de 1992 contient plusieurs points positifs appelés les principes de Dublin. Ils sont repris dans le chapitre 18 (Agenda 21, 1992) du programme Action 21, élaboré à Rio, aux termes duquel : « *Une gestion globale de l'eau douce en tant que ressource limitée et vulnérable ainsi que l'intégration des plans et des programmes sectoriels relatifs à l'eau dans le cadre des politiques économiques et sociales nationales sont absolument indispensables à toute action dans les années 90 et au-delà* » (WWAP, 2001). Une prière exhaussée au secrétaire général de la conférence des nations

unies. En rédigeant le rapport de l'assemblée générale de mars 2000 l'article 281, «*Concrètement, je prie instamment le sommet d'adopter l'objectif visant à réduire de moitié, d'ici à 2015, la proportion de personnes qui n'ont pas accès de façon durable à des sources d'approvisionnement en eau potable à un prix raisonnable*» (Nations Unies, mars 2000). Ce qui devient par la suite la cible C de l'objectif 7 des objectifs du millénaire pour le développement (OMD, 2013).

En 2002, le Sommet mondial sur le développement durable, tenu à Johannes bourg, les nations participantes se sont entendues sur un certain nombre d'actions visant en premier lieu à réduire de moitié la proportion de personnes qui n'ont pas accès à une eau potable sûre ou qui ne disposent pas d'installations élémentaires d'assainissement. Ce plan d'action engageait entre autres les nations à atténuer les effets de la contamination des eaux souterraines ainsi qu'à élaborer et mettre en œuvre des stratégies de gestion des bassins versants et des eaux souterraines (SMDD, 2002).

Malgré l'existence de ces réunions, les critiques continuent de faire valoir qu'elles n'ont pas fait progresser la gestion durable de l'eau de façon mesurable (Gleick, 2007). S'il faut penser globalement les relations entre l'eau et le développement durable, il faut agir localement pour réduire les effets néfastes de ces perturbations. Le développement durable implique une régulation quantitative et qualitative de l'utilisation des flux de ressources en eau. *Il n'y aura pas de développement durable sans une gouvernance sociétale (équitable et raisonnable) gérant l'eau comme un patrimoine commun local mais aussi mondial dont la valeur vitale doit être reconnue de tous* (Baudru, Maris, 2002). En raison de la multiplicité des interactions avec la biosphère, l'eau doit être traitée comme « *un bien de responsabilité collective* », ce que le Forum Mondial de Mexico en 2006 a adopté comme principe. A cela s'ajoute les recommandations des différents Forums. La plus importante est la Déclaration ministérielle du Forum mondial de l'eau de La Haye en mars 2000. Elle recensait sept défis pour la communauté mondiale. La contribution d'autres Forum à l'élaboration du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau a permis de dégager quatre nouveaux défis. Tous les défis seront mentionnés ci-dessous ;

1. Satisfaire les besoins fondamentaux ;
2. Assurer l'approvisionnement alimentaire ;
3. Protéger les ressources en eau ;
4. Partager les ressources en eau
5. Gérer les risques ;

6. Valoriser l'eau ;
7. Gérer l'eau de manière responsable ;
8. L'eau et l'industrie ;
9. L'énergie et l'eau ;
10. Les connaissances de base ;
11. L'eau et les villes.

En l'Algérie, une nouvelle politique orientée vers l'application de la notion du «*développement durable*» dans tous les secteurs en particulier celui de l'alimentation en eau potable. Durant la dernière décennie, elle est engagée dans des réformes mises en application. (Chapitre II)

I.3.1/ La protection des Eaux entre une perspective de développement durable et un conflit entre différents pays

Une gestion non coopérative de la ressource en eau peut avoir des conséquences sur la qualité, la quantité, l'environnement, ou encore sur la disponibilité à long terme en raison d'une surexploitation, notamment de l'eau fossile d'un aquifère, et finalement nuire au développement durable. Les activités polluantes exercées par un pays peuvent affecter la qualité de ressources partagées. Le lac Peipsi (ou Peipous), situé entre la Russie et l'Estonie, est gravement pollué par l'exploitation de schistes bitumineux côté russe. Malgré les efforts de l'Europe, le dialogue entre les deux Etats est au point mort (Dupont, 2008). Deuxième cas, environ 260 bassins fluviaux sont partagés entre deux ou plusieurs pays dans le monde. Des Etats hydro hégémoniques exploitent l'eau à leur profit. Troisième exemple, l'Euphrate et le Tigre sont mobilisés par des barrages en Turquie qui limitent le débit, en quantité et en qualité à l'aval, disponible pour la Syrie qui, elle-même par ses propres barrages, limite encore ce débit vers l'Irak, laissant chaque Etat sans véritable limite contraignante (Daoudy, 2000). Le même processus existe pour le Mékong, le Vietnam se plaignant des barrages construits en Chine, tout en faisant de même aux dépens du Cambodge et pourtant des accords existent entre les pays riverains. Quatrième exemple, des centaines d'aquifères de tailles variables sont communs à plusieurs Etats. L'aquifère de Disi en Jordanie, partagé avec l'Arabie Saoudite, dispose d'une eau fossile restée sous terre depuis 36 000 ans, non renouvelable et non durable. Le prélèvement, prévu par la Jordanie, de 1 00 millions de mètres cubes chaque année, pendant 50 ans dans une cinquantaine de puits, pour approvisionner la capitale Amman par un pipeline de 320 km est-il compatible avec le développement durable alors que l'Arabie Saoudite prélève déjà un milliard de mètres cubes par an pour l'irrigation. Cinquième

exemple, Guarni, un gigantesque aquifère constitué il y a 65 millions d'années, s'étend sur 1,2 millions de km². L'eau, située à une centaine de mètres sous la surface, est exploitée sans contrôle par le Brésil, l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay. La nappe qui a commencé à baisser et aussi vulnérable aux pollutions. Cependant, les Etats riverains ont adopté en 2004 une déclaration commune qui doit déboucher sur un accord de gestion visant la lutte contre la pollution, la gestion rationnelle durable et équitable de l'eau.

Dupont, 2008. *« Selon certains experts la signature d'accords sur les eaux frontalières pourrait permettre, par une coopération concrète, d'améliorer de mauvaises relations entre voisins ».* L'exemple de l'Algérie, le Maroc, la Tunisie qui ont signé un accord pour partager les 60 000 milliards de m³ d'eau souterraines dans le nord du Sahara (La Recherche, 2008). Cette mobilisation des Etats ne doit pas cacher ce qui doit relever d'une gouvernance plus complexe pour coordonner les prélèvements et les rejets en provenance d'une diversité d'acteurs publics et privés. (Guesnier Bernard, 2012)

I.4/ Evaluation de développement durable

I.4.1.1/ Notion d'Indicateur

La complexité du risque pour la santé publique, de la durabilité économique et la qualité de l'environnement sont difficiles à comprendre. Ces difficultés ont contribué à promouvoir les approches indicatrices base de gestion

I.4.1.2/ Définitions de l'indicateur

Un indicateur est un instrument d'évaluation et un outil d'aide à la décision grâce auquel on va pouvoir mesurer une situation ou une tendance , de façon relativement objective, à un instant donné, dans le temps et dans l'espace. Un indicateur se veut être une sorte de résumé d'informations complexes offrant la possibilité à des acteurs différents (scientifiques, gestionnaires, relations internationales et citoyens) de dialoguer entre eux.

Dans ce contexte plusieurs définitions de l'indicateur ont été énumérées;

OCDE, 1993 : un indicateur est un paramètre ou une valeur dérivée de paramètres donnant des informations sur un phénomène.

Mitchell et al. (1995) : l'indicateur est une mesure de rechange utilisé pour décrire un état ou une situation lorsque des mesures directes ne sont pas possibles.

IIDD, 1995 : Les indicateurs sont des agrégats de matières premières et des données traitées, mais elles peuvent être agrégées pour former des complexes indices.

Brugmann, 1997 : un indicateur peut décrire et communiquer les conditions actuelles, favoriser la réflexion critique sur les mesures correctives nécessaires et faciliter la participation des diverses parties prenantes dans les processus décisionnels.

Bossel, 1999 : les indicateurs devraient fournir des renseignements essentiels sur la viabilité d'un système et son taux de variation, et sur la façon dont ils contribuent au développement durable de l'ensemble du système.

Van Der Werf et Petit, 2002 : Un indicateur est une variable qui reflète ou explique autres variables qui sont plus difficiles à comprendre ou à quantifier.

Parris et Kate, 2003 : les indicateurs sont définis comme des mesures quantitatives des progrès accomplis dans l'objectif déclaré.

Alberti et al., 2004 ; Hezri et al., 2006 : ils ont été conçus et utilisés pour la détermination des conditions de base, la prédiction des tendances futures, et les systèmes de surveillance et d'alerte ; des comparaisons, évaluation des performances, et l'amélioration de la compréhension scientifique ; éclairer la prise de décision et faire évoluer des politiques.

Van Passel et al. 2007 : Les indicateurs sont un outil pragmatique utilisé pour simplifier la description *des systèmes complexes*. Ils peuvent être utilisés individuellement, en tant que partie d'un ensemble, ou regroupés dans un ensemble pour améliorer la compréhension par les utilisateurs finaux.

Picazo-Tadeo et al., 2008 : les indicateurs de performance ont à communiquer des informations liées au développement durable dans un sens large telle que la gestion, la santé, les aspects environnementaux et financiers.

B. Ulmann, 2008 : 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.

L'Institut international pour le développement durable: Un indicateur quantifie et simplifie des phénomènes et nous aide à comprendre des réalités complexes.

L'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE): a défini l'indicateur comme "la valeur observée représentant d'un phénomène à étudier".

I.4.1.3/ Objectif de l'indicateur

L'objectif de l'indicateur est de permettre le pilotage, l'ajustement, la correction, la comparaison et l'évaluation des progrès réalisés. Les trois fonctions de l'indicateur sont de simplifier, de quantifier et de communiquer facilement. Au niveau des exploitations, évaluation directe de l'état écologique des ressources en eau peuvent être la meilleure approche pour évaluer la durabilité.

Dans notre cas un indicateur est une valeur observée, représentant un phénomène à étudier (**IIDD**), c'est un outil pragmatique utilisé pour simplifier la description *des systèmes complexes*

(**Van Passel et al. 2007**), peut décrire et communiquer les conditions actuelles, favoriser la réflexion critique sur les mesures correctives nécessaires (**Brugmann, 1997**), une donnée quantitative qui permet de caractériser une situation évolutive (**B. Ulmann, 2008**) et faciliter la participation des diverses parties prenantes dans les processus décisionnels (**Hezri et al., 2006**).

I.5/ Approche systémique

I.5.1/ La systémique : essai de définition

La Systémique : moyen de comprendre qui repose sur la logique de système. Elle s'appuie sur une approche globale (vision holistique) ce qui lui permet d'aborder des sujets complexes. Née aux Etats Unis au début des années 50, connue et pratiquée en France depuis les années 70, l'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse à la recherche et à l'action (CHARNAY, 2010).

L'approche systémique est une méthodologie permettant de rassembler et d'organiser les connaissances en vue d'une plus grande efficacité de l'action (DE ROSNAY J., 1975). A la différence de l'approche analytique, l'approche systémique englobe la totalité des éléments du système étudié et s'attache à leurs interactions et interdépendances.

I.5.2/ Apport de l'approche systémique

La théorie de la vision globale, non fragmentée possède un double souci d'interdisciplinarité et de théorisation. Une vision synthétique des problèmes complexes est

envisagée, avec l'essence de la communication résidant dans les processus relationnels. C'est un outil, plus global, qui réduit un système à ses composants et à des interactions élémentaires. Il permet d'aborder un problème de manière séquentielle, détaillée, n'oubliant aucun élément du système (MALDAGUE A., 2004).

I.5.3/ Définition d'un système

Un système peut être défini comme étant : un ensemble de phénomènes et d'événements interdépendants que l'on extrait du monde extérieur par une démarche intellectuelle, en vue de traiter cet ensemble comme un tout.

(DE ROSNAY J., 1975) : « *Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but* ». Ce n'est pas la somme des éléments qui fait un système mais les interactions entre ces éléments.

(Serge Frontier, Denis Pichot-Vial., 1998) : « *Un système est tout un ensemble de parties (ou d'éléments) interconnectés par des liaisons fonctionnelles* ». L'ensemble d'éléments peut être représenté sous forme d'organigramme d'interactions dont lequel les lettres désignent des compartiments (éléments du système) et les flèches les interactions de toutes natures (Fig. I.3).

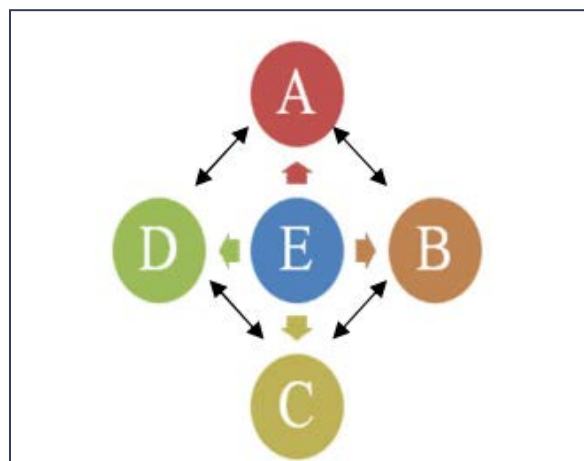


Figure I.3: Organigramme d'interactions des systèmes.

I.5.4/ Le concept de système

Le concept de système sous-tend trois notions fondamentales (WALLISER B., 1977)

- une unité composée de sous-systèmes,
- une unité identifiable dans un environnement donné et possédant des relations avec cet environnement, de telle sorte qu'elle possède une certaine autonomie,
- une unité subissant des modifications dans le temps tout en conservant une certaine permanence.

I.5.5/ Notion et concept de la systémique

L'approche systémique est une nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe. (AFSCET (Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, 1994)) .

L'approche systémique consiste à aborder des objets jugés complexes de façon globale en évitant leur parcellisation et leur réduction comme le ferait une approche analytique (GUIGO M., 1995). La démarche a déjà donné lieu à de nombreuses applications, aussi bien en biologie, en écologie, en économie, dans les thérapies familiales, le management des entreprises, l'urbanisme, l'aménagement du territoire, etc. L'approche systémique est reprise au niveau mondial dans le domaine de l'eau par le **Global Water Partnership (1999-2000)**, le Plan Bleu réalise pour le 3^{em} forum mondial de la Haye "Vision méditerranéenne pour l'eau, la population et l'environnement" et par **Bérengère CHARNAY(2010)** « Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie) » En Algérie, **Bouchrit ROUISSAT(2013)** « Analyse systémique appliquée aux aménagements hydrauliques ».

Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que : système, interaction, rétroaction, régulation, organisation, finalité, vision globale, évolution, etc. (Gérard Donnadieu, 2003)

Pour appréhender la complexité, la systémique fait appel à un certain nombre de concepts spécifiques que l'on peut regrouper de la manière suivante :

- quatre concepts de base à caractère général, articulés entre eux et pouvant donner lieu en préalable à une présentation simple,
- une dizaine de concepts complémentaires plus techniques et orientés vers l'action

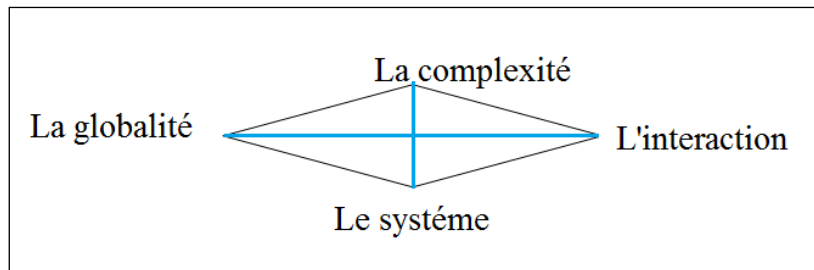


Figure I.4 : Les quatre concepts de base de la Systémique

La complexité : Ce concept renvoie à toutes les difficultés de compréhension (flou, incertain, imprévisible, ambiguë, aléatoire) posées par l'appréhension d'une réalité complexe et qui se traduisent en fait pour l'observateur par un manque d'information (accessible ou non).

Le système : Ce concept constitue le socle sur lequel repose la Systémique. Etymologiquement, le mot provient du grec *Sustêma*, qui signifie "ensemble cohérent". Plusieurs définitions peuvent en être données et nous retiendrons ici :

- la définition "large" donnée par Jacques Lesourne : « *Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique* »
- la définition "étroite" donnée par Joël de Rosnay : « *Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but* ». Cette définition met l'accent sur la finalité ou le but poursuivi par le système.

La globalité : Il s'agit d'une propriété des systèmes complexes, souvent traduite par l'adage "le tout est plus que la somme des parties" et selon laquelle on ne peut les connaître vraiment sans les considérer dans leur ensemble. Cette globalité exprime à la fois l'interdépendance des éléments du système et la cohérence de l'ensemble.

L'interaction : Ce concept, un des plus riches de la systémique, complète celui de globalité car il s'intéresse à la complexité au niveau élémentaire de chaque relation entre les constituants du système pris deux à deux. (Gérard Donnadieu, 2003).

I.5.6/ Comparaison entre l'approche Analytique et Systémique

Tableau I.1: Eléments de comparaison entre l'approche analytique et systémique
(Le Gallou F. et al., 1992).

Approche Analytique	Approche Systémique
Isole : se concentre sur les éléments	Relie : se concentre sur les interactions entre les éléments
Considère la nature des interactions	Considère les effets des interactions
S'appuie sur la précision des détails	S'appuie sur la perception globale
Modifie une variable à la fois	Modifie des groupes de variables simultanément
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles	Intègre la durée et l'irréversibilité
La validation des faits se réalise par la preuve Expérimentale dans le cadre d'une théorie	La validation des faits se réalise par comparaison du Fonctionnement du modèle avec la réalité
Modèles précis et détaillés, mais difficilement Utilisables dans l'action	Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base de connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes
Conduit à un enseignement par discipline (juxta disciplinaire)	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire
Conduit à une action programmée dans son détail	Conduit à une action par objectifs
Connaissance des détails, buts mal définis	Connaissance des buts, détails flous

I.5.7/ Gestion des Ressources en Eau et l'Approche systémique

La gestion des ressources en eau s'organise en fonction des ressources en eau disponibles, des besoins des usagers à satisfaire, ainsi que du niveau d'aménagement du territoire déterminant à la fois les usages et la capacité d'exploitation des ressources disponibles. (Charnay,2010). La gestion de l'eau et de ses usages s'inscrit certainement dans un système complexe d'influences et de relations économiques, sociales, culturelles et politiques. Cette complexité se manifeste dans les relations des paramètres de la gestion de l'eau qui existent à des échelles spatio-temporelles différentes (logique hydrologique amont-aval, effets « retardés » de pollution des eaux souterraines...). Pour comprendre la nature de ces relations et identifier les facteurs déterminants d'une politique équitable et durable de

l'eau, la méthode systémique est apparue la plus adaptée. Elle permet de poser les différents facteurs et processus intervenant dans le fonctionnement, la structure et l'évolution de la gestion intégrée de l'eau. Elle permet, par ailleurs, de s'interroger sur les limites spatiales et fonctionnelles du système « gestion de l'eau » et sur les différents sous-systèmes qui le composent. (Charnay 2010)

I.5.7.1/ Le concept de « Ressources »

Dans le domaine de l'eau, le concept de « ressource » est apparu avec la prise de conscience de sa rareté et de la nécessité de l'évaluer précisément pour la gérer au mieux. Un écoulement de surface ou souterrain ne devient ressource que s'il est possible techniquement économiquement et écologiquement, de l'exploiter tout en le maîtrisant et en le préservant.

Le passage de l'eau « d'élément naturel » à une « ressource » est directement lié aux relations Homme/Nature. L'eau, du fait de son cycle naturel, présente un caractère renouvelable. Mais il est essentiel de distinguer plusieurs types de ressources qui n'ont pas les mêmes caractéristiques en termes de disponibilité, de quantité et de qualité : les eaux de surface et les eaux souterraines en tant que « ressource flux » et les réserves en tant que « ressource stock ».

I.5.7.2/ Le concept de « Gestion »

La gestion vise en premier lieu à maintenir le fonctionnement d'un territoire en assurant le renouvellement de ses différentes ressources tant d'un point de vue économique qu'à des fins écologique, concernant aussi bien la faune, la flore, l'air, l'eau et la qualité des sols. (M.G.Durand., 1997)

La gestion sous-tend trois dimensions : une dimension écologique, une dimension temporelle et une dimension fonctionnelle (celle du territoire).elle implique aussi une intervention humaine : les acteurs du territoire (producteurs, gestionnaires, utilisateurs).

La notion de système apparaît, à ce titre, incontournable, pour traiter toute forme de gestion globale (puisque elle intègre la complexité de fonctionnement et d'évolution de tout territoire).

I.5.8/ Vue systémique de la stratégie nationale pour les ressources en eau

L'Algérie avec sa superficie de 2.381.741 km² est divisée en 48 wilayas (départements). Le ministère des ressources en eau coordonne l'ensemble des activités liées à l'eau au niveau national. En Algérie, les ressources en eau sont limitées, vulnérables et

inégalement réparties. Elles subissent depuis plus de deux décennies les effets néfastes de la sécheresse et de la pollution (Rouissat. Bt,2015). L'accroissement brutal des besoins, les retards enregistrés dans les programmes de mobilisation et de transfert et l'absence d'outils de planification et de gestion, ont généré des situations de déficit chronique, et se répercutant de façon négative sur le développement socio- économique du pays (Bouchedja A., 2012). L'analyse de cette politique de développement ne peut être efficace qu'au niveau d'une vision d'ensemble et donc **systemique**. En effet l'ensemble des actions définissant la stratégie générale de mobilisation des ressources en eau sont des sous systèmes du système mère qui est le développement du secteur des ressources en eau afin qu'il soit en harmonie et adéquation avec les diverses besoins exprimés à l'aval. C'est ainsi qu'outre les investissements considérables déjà consentis, toute la priorité vient d'être accordée au secteur des ressources en eau, dans le cadre des plans de développement (Tab. I.2).

Tableau I.2 : Définition des exigences du plan national de l'eau. (Benblida. M, 2010)

Domaine	Stratégie	Objectifs et Impact
Mobilisation superficielle	Réalisation et mise en exploitation des grands barrages Réalisation de transferts et /ou interconnexions	Porter la capacité à 12 milliards de m ³ Affectations spatiales et équilibre de la mobilisation
Dessalement d'eau de mer	Réalisation de stations de dessalement	Production de 2,4 millions de m ³ /j
Lutte contre les fuites et normalité des réseaux	Réalisation et réhabilitation des réseaux des grandes villes	Maitrise des aspects quantitatifs et qualitatifs liés aux fonctionnements des réseaux de distribution
Gestion des réseaux	Contrats de gestion conclus avec des sociétés spécialisées	Maitrise des contraintes d'exploitation et de fonctionnement
Epuration des eaux	Réhabilitation des stations non fonctionnelles et réalisation de nouvelles stations d'épuration	Porter les capacités d'épuration à 1,2 Milliards de m ³ Protection de l'environnement réutilisation pour l'agriculture
Mobilisation pour l'agriculture	Réalisation et équipement de grands périmètres d'irrigation Réalisation de retenues collinaires et petits barrages	Contribution à la promotion des surfaces irriguées
Mobilisation souterraine	Exploitation de la nappe albienne au sud-Transfert à partir des grandes potentialités souterraines (Chotts et autres)	Alimentation des hauts plateaux et développement de ces régions

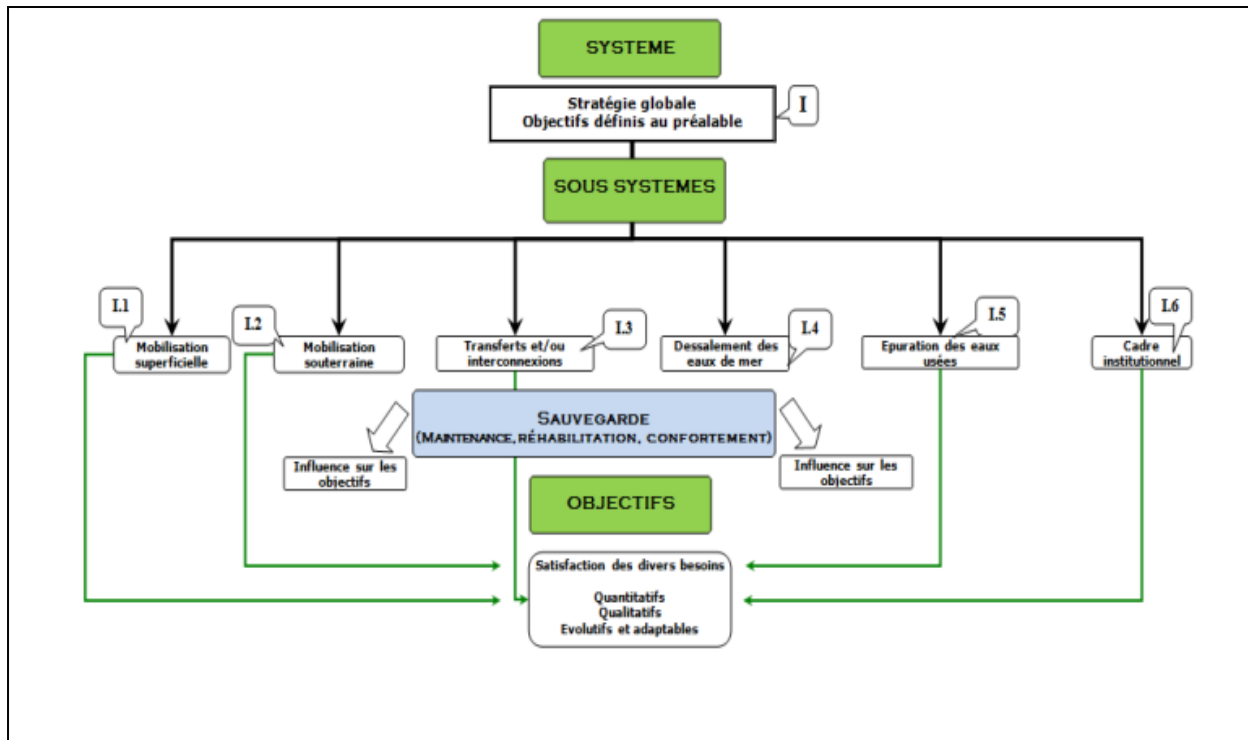


Figure. I.5 : Vue systémique des objectifs de la stratégie nationale de l'eau
(Rouissat Bouchrit, 2015)

Les projets d'aménagements hydrauliques sont souvent très complexes et dépendant d'un ensemble de paramètres et critères. La fiabilité, la performance, l'économie, le fonctionnement ainsi que l'amortissement des aménagements hydrauliques ne sont pas liés uniquement à la réussite technique des projets eux-mêmes. L'intégration de ces projets dans un contexte de systèmes crée la dépendance entre sous-systèmes, voire entre systèmes. Cette dépendance peut revêtir des divers aspects suscités. L'Approche Systémique, permet l'anticipation des contraintes liées à la réussite des systèmes sur le plan de la performance et de l'atteinte des objectifs (Rouissat . B 2015).

I.6/ Le système gestion des ressources en eau

L'eau est un bien commun dont l'administration est généralement confiée à un ou plusieurs représentants, privés ou publics (administration publique locale ou nationale, agence régionale, sociétés privées...). Les biens sont constitués par les ressources naturelles, superficielles ou souterraines (offre) et la demande est assurée par les différents types d'utilisateurs, le tout formant un système que l'on pourrait représenter de la manière suivante (MARGAT.J, 1999) (Fig. I.6).

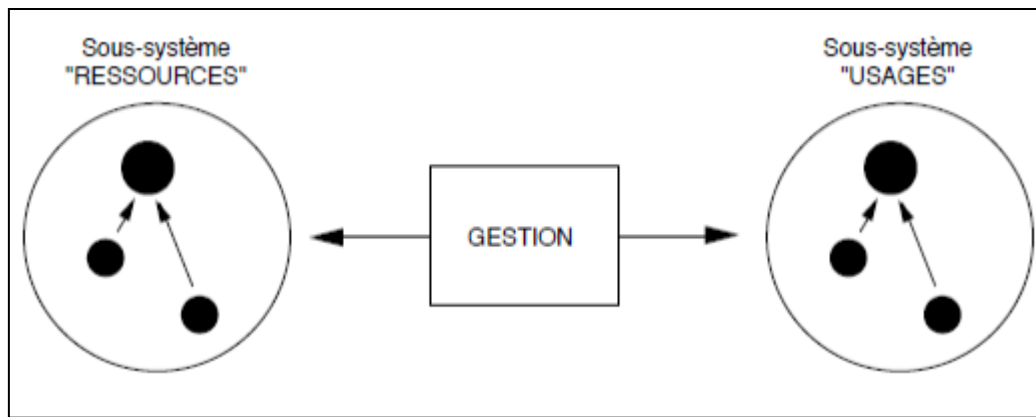


Figure. I.6 : Structure simplifiée d'un système de gestion des ressources en eau

(in ROUISSAT. Bouchrit, 2015)

I.6.1/ Interactions entre ressources et utilisations

Les différents types d'utilisation de l'eau sont fortement dépendants de la qualité et de la quantité de la ressource. Les contraintes qualitatives et quantitatives induisent des impacts directs sur les utilisateurs, mais également des impacts indirects qui se traduisent généralement par des surcoûts (Fig. I.7). Les utilisations provoquent des rétroactions positives ou négatives sur l'état de la ressource (quantitative ou qualitative).

Dans l'analyse des interactions de la demande dans le système eau, il se fait donc de distinguer la demande sollicitant le milieu en amont et en aval des usages, la ressource en eau « matière première » en amont et milieu récepteur à l'aval. Certaines fonctions de l'eau satisfont principalement la demande aval (fonction d'épuration), d'autres agissant à la fois à l'amont et à l'aval des usages.

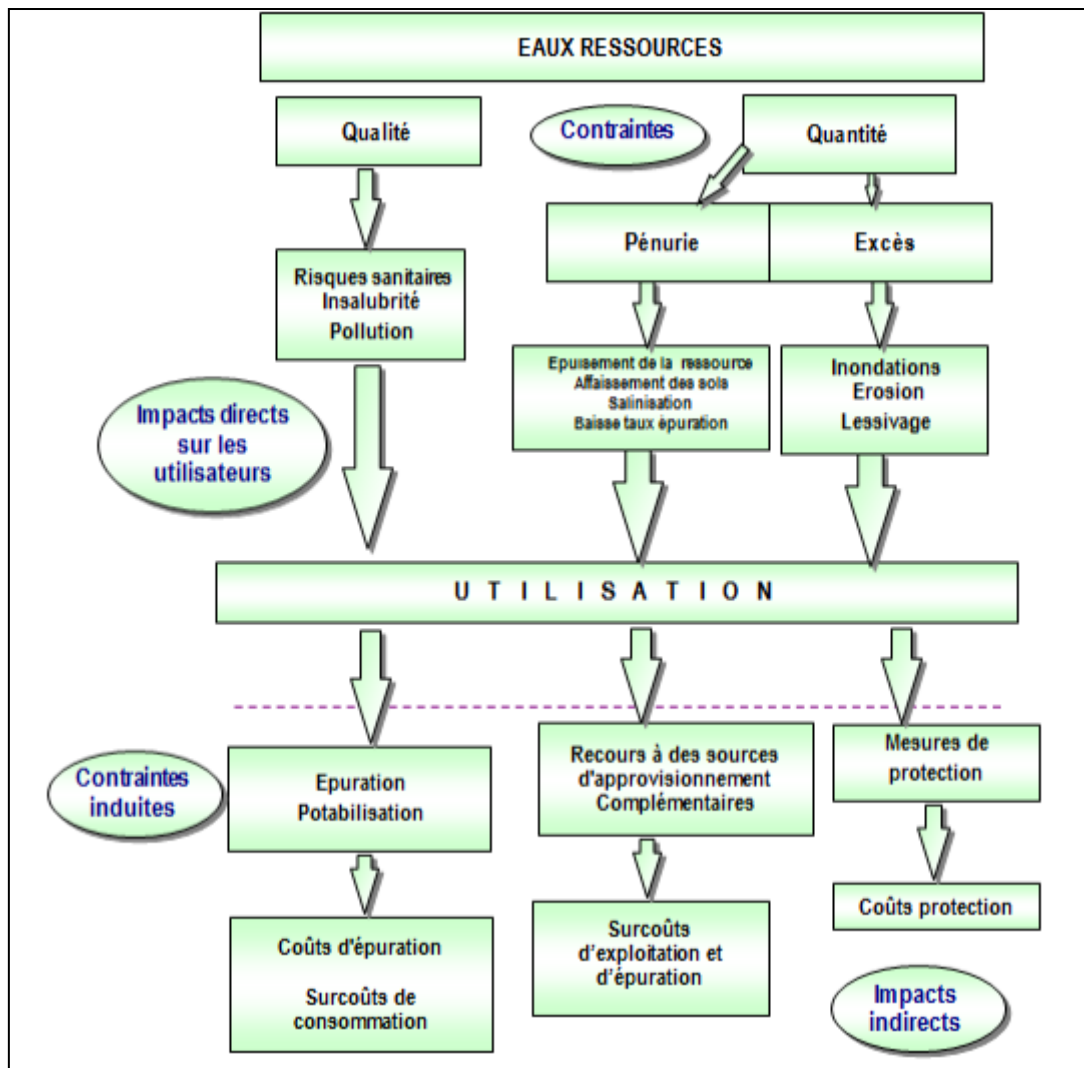


Figure I.7 : Interaction entre les ressources en eau et leur utilisation (Rouissat. B, 2015)

I.6.2/ Les relations entre utilisations des ressources en eau

L'eau est essentielle à la vie humaine, animale et végétale : Il soutient les activités productives, l'agriculture, l'hydro-électricité, l'industrie, la pêche, le tourisme et le transport. L'eau peut avoir aussi des effets néfastes, elle peut être porteuse de maladies et d'inondation. Un manque d'eau ou une sécheresse prolongée peut faire de nombreuses victimes. L'eau peut également causer ou aggraver des conflits entre les différents usagers.

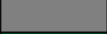
Les différents usagers des ressources en eau ont des intérêts et des objectifs complémentaires ou antagonistes, la fonction d'alimentation en eau potable se heurte souvent à la fonction d'alimentation en eau industrielle ou agricole soit du point de vue de la qualité que de la quantité tandis que la fonction de support et celle de délassement sont en général

complémentaires. De même la fonction énergétique entre souvent en conflit avec celle de milieu de vie (question des débits minimaux).

Ces conflits d'usages sont inévitables dans la mesure où la ressource en eau est un système dont tous les éléments sont interconnectés, ceci solidarise de fait les utilisateurs. Les situations de compatibilités et incompatibilités entre les usages de la ressource en eau (Tableau I.3), montrent que les diverses relations de ce genre permet de donner les bases de la gestion des utilisations d'eau en définissant des ordres de priorité entre les différents usages.

Tableau I.3: relation de compatibilités et incompatibilités entre les différents usages d'eau (Rouissat.B, 2015)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

1 : Protection contre les crues 2 : Contrôle de l'écoulement 3 : Irrigation 4 : Drainage 5 : Hydroélectricité 6 : Alimentation en eau potable 7 : Industries 8 : Navigation 9 : Récréation 10 : Pêche et conservation du milieu 11 : Problèmes de pollution 12 : Priorités stratégiques du pays	LEGENDE  Interrelations  Relations de complémentarité  Relation conflictuelles  Priorités stratégiques
--	---

I.7/ Conclusion

La notion de développement durable adoptée par plusieurs conférences et débats au niveau international a bouleversé les habitudes, elle est considérée comme un résumé des préoccupations et des constats d'une population d'acteurs, qui vise à orienter tous les individus vers une rationalité dans leurs actions pour un meilleur avenir de la planète.

L'application de développement durable a été admise à l'unanimité à tous les secteurs en particulier à celui de la gestion de l'eau. Il ressort de ces différentes conférences, un objectif majeur à atteindre, il s'agit de : « *Assurer la sécurité de l'eau au XXIème siècle* ».

La complexité de la gestion de l'eau renvoie à l'étude du système dans sa globalité et de ses interdépendances qui le caractérisent. Il s'agit de gérer des ressources, des écosystèmes et des utilisations et non uniquement les usages de l'eau, l'approche systémique apparaît la mieux adaptée pour comprendre la nature de ces relations et identifier les facteurs déterminants d'une politique intégrée et durable de l'eau.

Chapitre II :

Le Système ressource en eau

en Algérie

Analyse et diagnostique

Chapitre II : Le Système ressource en eau en Algérie

Analyse et diagnostique

II.1/ Introduction

L'Algérie est confrontée à la rareté de l'eau (Kettab, 2008; Mebarki A, 2010 ; Remini B, 2010). Sa répartition à l'échelle nationale est inéquitable, principalement situées dans le Nord du pays. 90 % de la totalité des écoulements superficiels se trouvent dans la région littorale (7 % de la superficie du territoire), les 10 % restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens (Kettab, 2001; MRE, 2004; Thivet, 2010 ; Benblidia, 2011). Cette rareté est due à la désertification et sera accentuée par les effets du changement climatique (CNES 2000; MATE, 2001; MRE, 2004; Blinda et Thivet, 2009). Le volume d'eau moyen annuel en Algérie du Nord est évalué entre 95 et 100 10^9 m^3 . Plus de 80 10^9 m^3 s'évaporent, 3 10^9 m^3 s'infiltrant et 12,5 10^9 m^3 s'écoulent dans les cours d'eau (Remini. B, 2010).

La demande globale en eau a considérablement augmenté. Elle est de 4 fois plus au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables (Benblidia, 2011). 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 m^3 par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m^3 , elle n'était plus que de 720 m^3 en 1990, 680 m^3 en 1995, 630 m^3 en 1998, 500 m^3 elle ne sera que de 430 m^3 en 2020 (Ghosn, 2013). La disponibilité en eau potable en Algérie en $\text{m}^3/\text{habitant}/\text{an}$ dépassera légèrement le seuil des 400 $\text{m}^3/\text{h}/\text{an}$ (OMS).

L'impossibilité de se contenter des ressources naturelles pour faire face aux besoins croissant en eau douce a fait des eaux de mer, des eaux saumâtres et des eaux usées l'objet d'étude et de développement de divers procédés permettant l'amélioration et la satisfaction de la demande (dessalement, réutilisation des eaux usées, etc...)

Le cœur du présent chapitre réside réellement dans la synthèse bibliographique consacrée à la problématique de l'eau en Algérie. L'analyse de ce travail bibliographique met en évidence la permanence des thématiques et problèmes de gestion des ressources en eau en

Algérie. Elle a pour objectif d'identifier les paramètres et indicateurs nécessaires à une réflexion globale sur la question de l'eau en Algérie.

II.2/ L'eau en Algérie

II.2.1/ Contexte géographique et climatique

Du Nord au Sud du territoire algérien, on distingue trois ensembles qui diffèrent par leur relief et leur morphologie : la chaîne du Tell et le littoral, la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, et le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. Cette disposition du relief, marqué par des conditions climatiques différentes, détermine l'agriculture des régions et le volume des ressources en eau. La majeure partie du territoire algérien est un désert (87 %) où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord, caractérisée par son climat méditerranéen, dispose de ressources en eau renouvelables tant pour les eaux de surface que pour les nappes phréatiques. 90 % des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 4 % du territoire (Ghosn, 2013), (Tab.II.1). Le pays se caractérise par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaine mais bénéficie de faibles précipitations. La région orientale est une zone montagneuse où coulent les principaux cours d'eau du pays.

Tableau II.1 : Type du climat en fonction des zones (Ghosn, 2013)

Région	superficie en (%)	Type de climat
Région tellienne (Nord)	4	Méditerranéen sur le littoral
Région steppique des hauts plateaux (entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien)	9	Semi-aride
Région saharienne (Sud)	87	Aride

Le facteur climatique joue a priori un rôle déterminant dans la problématique globale ; il influence directement la recharge des réserves hydrologiques. Le climat de l'Algérie est connu pour sa diversité géographique et sa grande variabilité pluviométrique interannuelle. Les volumes des précipitations sont très variables dans le temps : concentration sur quelques mois dans le Nord et quelques jours par an dans le Sud. Des années de fortes pluies peuvent être suivies par des périodes de sécheresses sévères. Des fluctuations aussi marquées vont

affecter, d'une année à l'autre, le volume des ressources renouvelables disponibles (écoulements superficiels et alimentation des nappes souterraines).

Les précipitations annuelles moyennes durant les deux dernières décennies sont évaluées à 95 000 millions de m³ dont 87,6% s'évaporent naturellement alors que 12,6 % seulement des précipitations profitent à l'écoulement (Fig. II.1, Fig. 11.2), auxquels s'ajoute l'apport externe d'eaux de surface et d'eaux souterraines pour donner la quantité d'eau douce renouvelée.

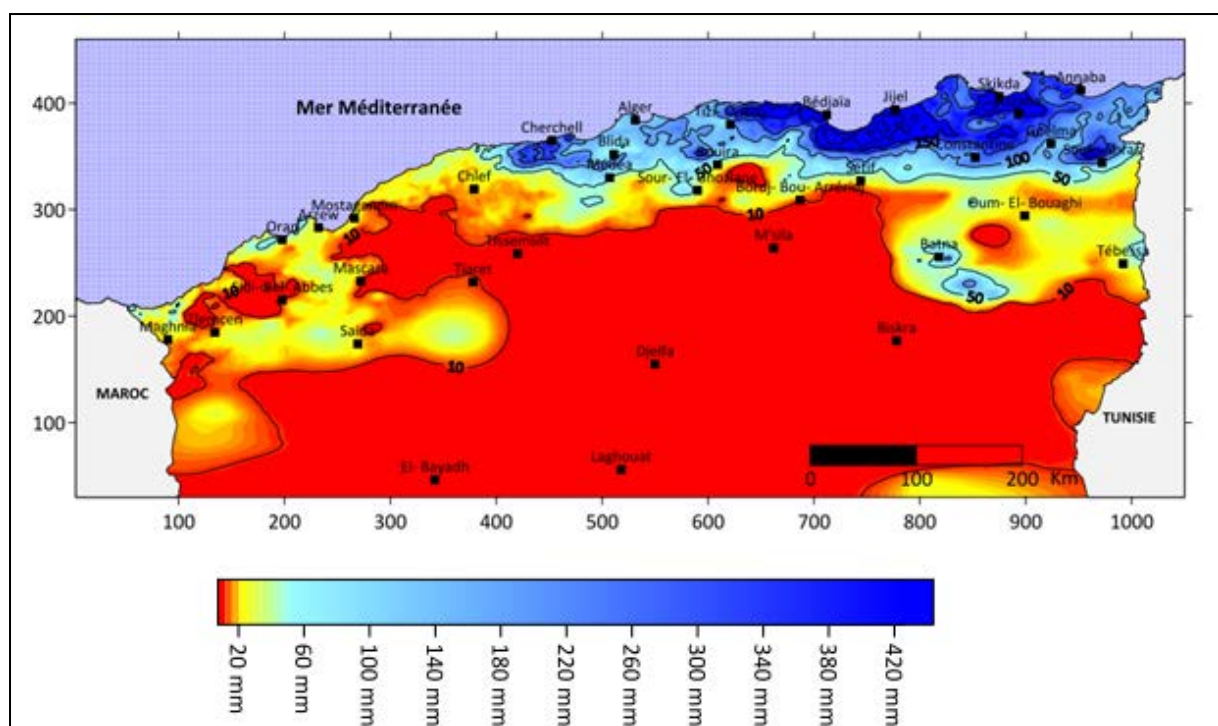


Figure II.1 : Pluies du mois de Décembre 2007 (Laborde, 2010)

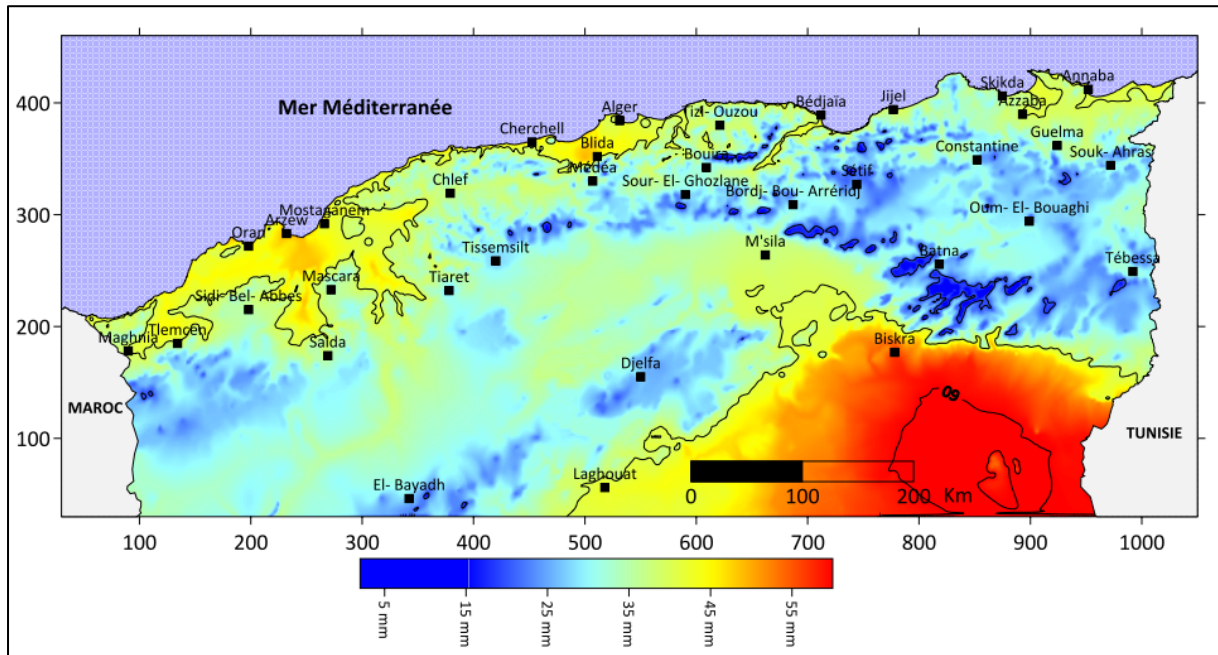


Figure II.2: Évapotranspiration potentielle moyenne (ETP) du mois de décembre 2007

(Laborde, 2010)

II.2.2/ Régime hydrologique en Algérie

Les variations saisonnières des débits des cours d'eau sont tributaires d'une multitude de facteurs climatiques et physiques du bassin versant (le régime de précipitations, la nature lithologique des bassins versants, les conditions climatiques, l'équipement des bassins en ouvrages hydrauliques, etc.).

Les ressources hydriques disponibles et mobilisables en Algérie sont réparties à travers cinq régions hydrographiques (Tab. II.2, Fig. II.3), à savoir :

- 1 : Oranie Chott-Chergui,
- 2 : Chellif- Zahrez,
- 3 : Algerois- Hodna- Soummam,
- 4 : Constantinois- Seybouse –Mellegue,
- 5 : Sahara



Figure II.3: Découpage de l'Algérie en bassins hydrographiques.

Échelle 1/12 000 000

La région littorale du Nord, qui regroupe les bassins méditerranéens et ne représente que 7% de la surface du territoire national, accapare 90% du total des écoulements superficiels du pays (estimée à 12,4 milliards de m³ par an), le reste étant partagé entre les Hauts Plateaux pour 6% et les bassins sahariens pour 4%. En outre, les précipitations étant, en moyenne, deux fois plus importantes à l'est qu'à l'ouest, le même déséquilibre se retrouve dans les potentialités hydriques de ces régions (Fig. II.4).

Tableau II.2: Apports et précipitation annuels des régions hydrographiques de l'Algérie du nord (MRE, 2010)

Région	Oranie Chott Chergui	Cheliff Zahres	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellégue	Total Algérie du nord
Superficie en (Km ²)	76 000	56 200	50 000	43 000	225 200
Pluviométrie (milliards m ³ /an)	24,5	23,5	21	26	95
Apport annuel moyen (millions m ³ /an)	958	1974	4 300	5 595	12 827

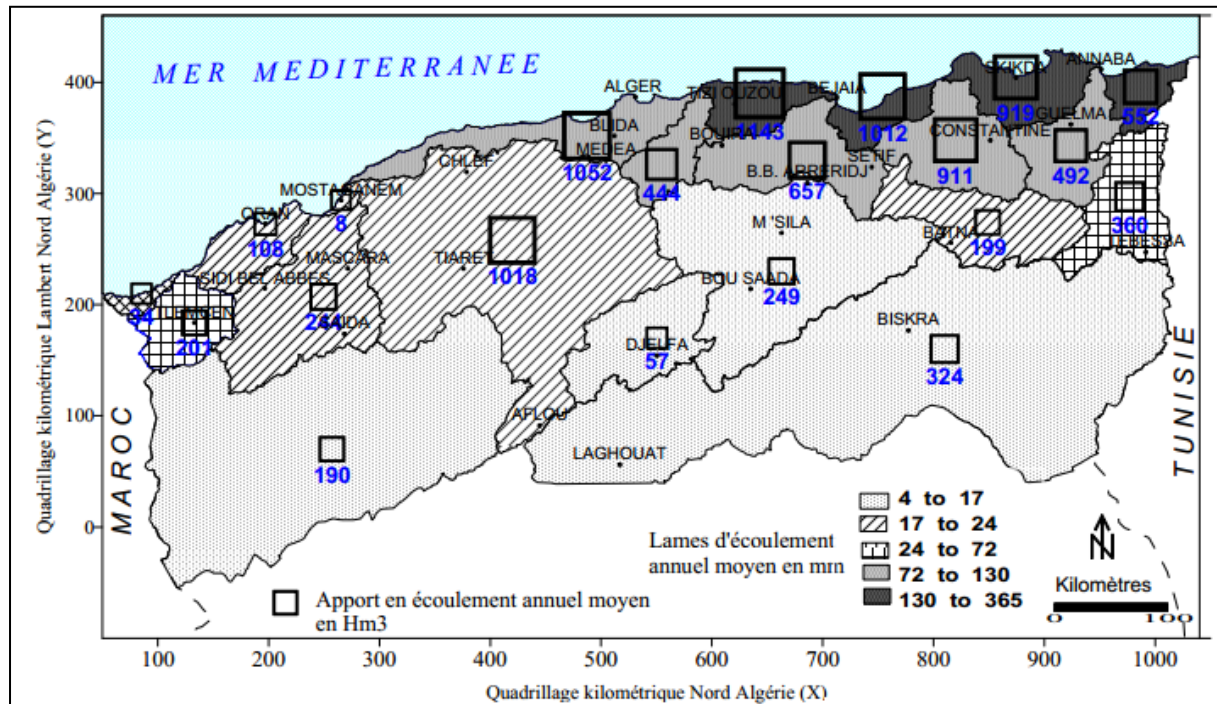


Figure II.4: Apport hydrologique (hm3/an) des bassins de l'Algérie du Nord période 1965/66-1994/95. (MEBARKI. A, 2010)

Les cours d'eau situés au Nord de l'Algérie se caractérisent par un régime hydrologique simple (alternance interannuelle de hautes et de basses eaux), traduisant ainsi la prépondérance d'un seul mode d'alimentation. En fait, le régime d'alimentation des cours d'eau dans le nord de l'Algérie, à climat méditerranéen, est de type pluvial. Le maximum des débits est enregistré pendant la période hivernale et le début du printemps, et le minimum s'étend sur quatre à cinq mois, période d'été (Fig. II.5, II.6). (Laborde, 2010)

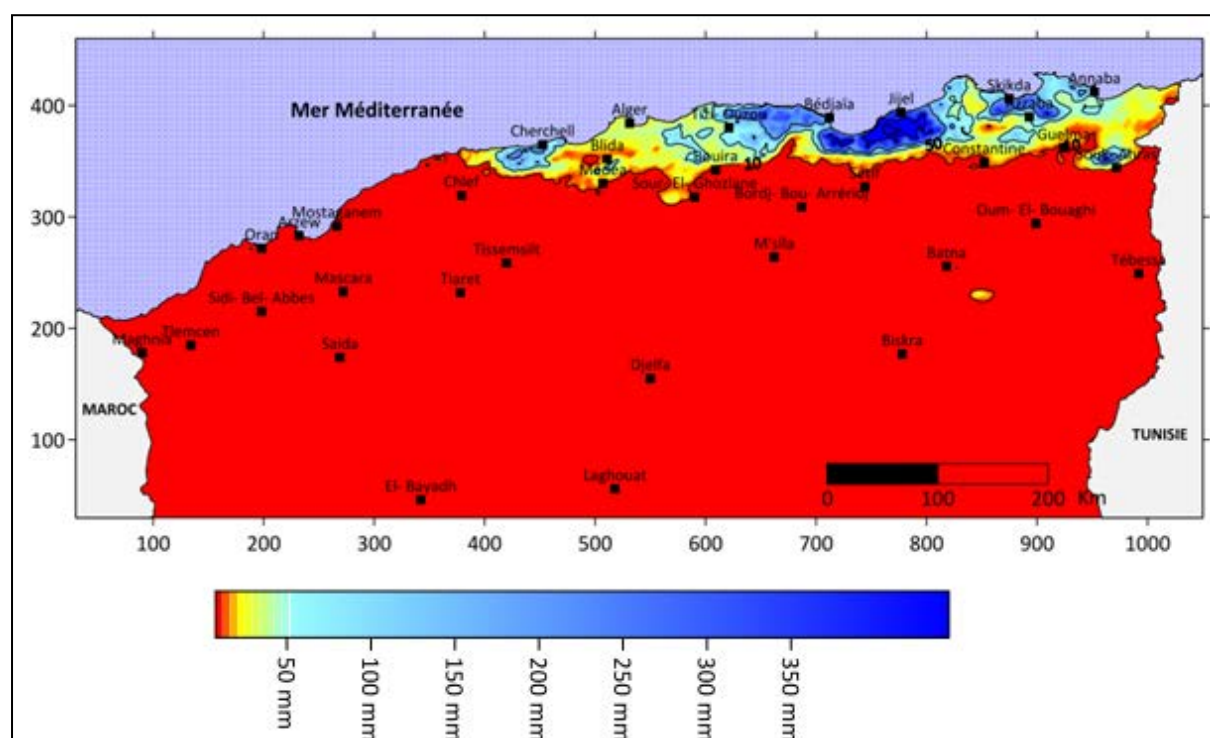


Figure II.5 : Répartition des écoulements du mois de décembre 2007.

(Laborde, 2010)

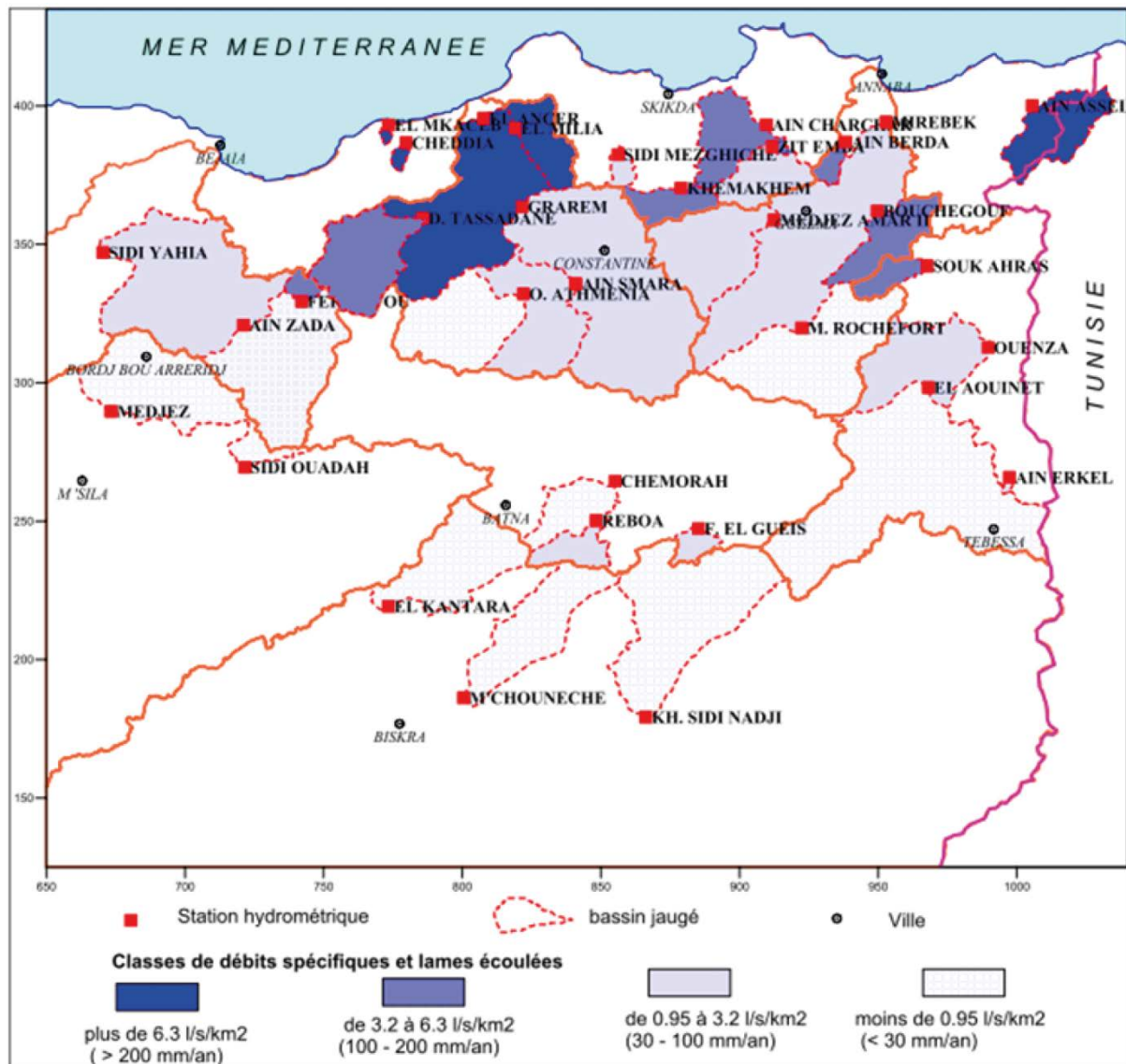


Figure II.6 : Zones de débits spécifiques dans l'Est algérien (MEBARKI. A, 2010)

II.3/ Le Système Ressources en Eau en Algérie

En Algérie, le secteur de l'eau fait l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics qui lui consacrent des moyens de plus en plus importants. Un programme d'investissement a été initié ciblant de grandes actions dans le domaine de la mobilisation superficielle et souterraines, la construction de nouveaux barrages, la réalisation de grands transferts régionaux et de grandes adductions urbaines et agricoles, l'épuration des eaux usées et de leur réutilisation pour le secteur agricole. Ainsi que des usines de dessalement ont permis d'augmenter nettement le volume des ressources en eau mobilisées et d'améliorer les conditions d'approvisionnement des régions et des agglomérations déficitaires (Fig. II.7).

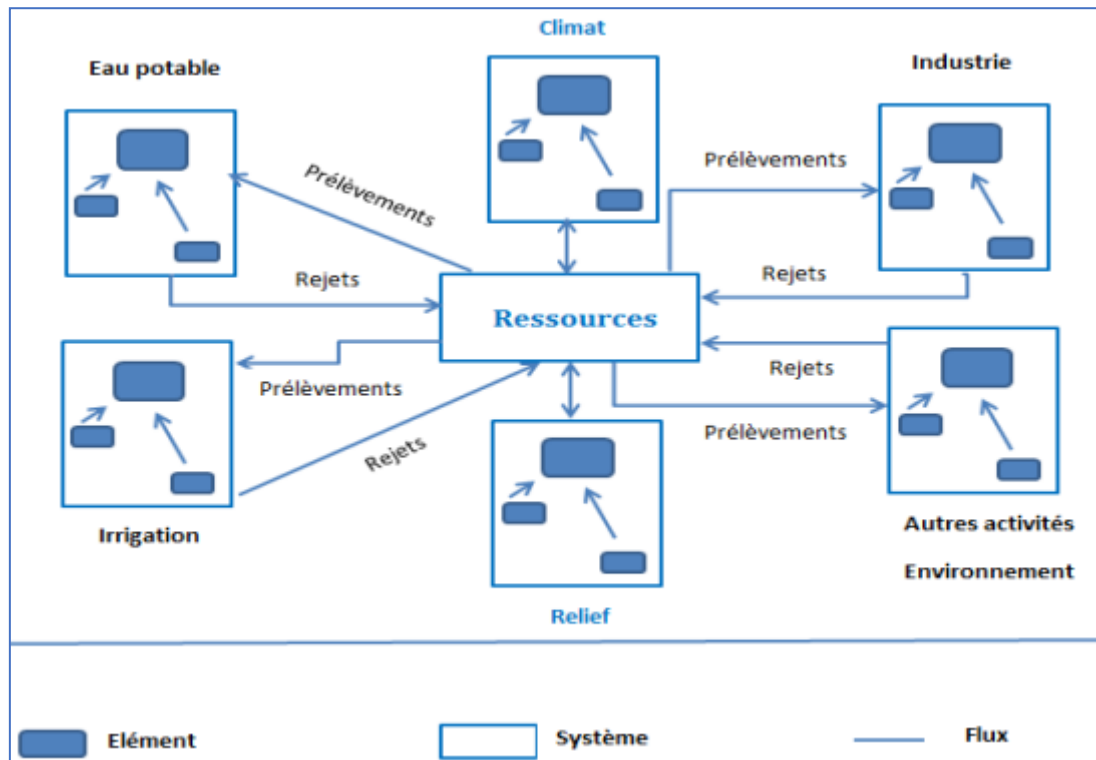


Figure II.7: Structure simplifiée du système « Eau » en Algérie

(in Rouissat. B, 2015)

II.3.1/ Sous système mobilisation superficielle

Les potentialités en eau de surface de l'Algérie sont estimées à quelques 12,4 milliards de m³. Les 63 barrages actuellement en exploitation, totalisant une capacité globale de 6.65 milliards de m³, et un volume régularisable de 2,65 milliards de m³.

Afin d'atténuer le déficit constaté dans la confrontation « besoins ressources » l'Algérie a entrepris un ambitieux programme de mobilisation complémentaire devant permettre à l'horizon 2030 la mobilisation de quelques 2 milliards de m³ supplémentaires.

En effet 61 nouveaux barrages sont actuellement en cours d'étude ou de réalisation :

- 14 barrages en construction
- 41 barrages en projet (études de faisabilité achevées, études d'APD achevées ou en cours).
- 06 barrages prévus pour être lancés en faisabilité (PNE 2010)

A l'horizon 2030, avec la réalisation d'environ 61 nouveaux barrages, le nombre de barrages en exploitation sera de 124 barrages. La capacité de stockage atteindra 9.5 Milliards

de m³. Les volumes régularisables par grands barrages sont estimés à 4, 493 milliards de m³. Ce volume avoisinera les 5 milliards de m³, si l'on tient comptes des volumes mobilisables par petits barrages, retenues collinaires et prises au fil de l'eau (Fig. II.8).

La ressource en eau mobilisable par un barrage s'exprime par le concept de « volume régularisable ». Le volume régularisable d'un barrage est le volume maximal qu'on peut garantir annuellement à partir d'une retenue de barrage par la régularisation des débits chronologiques dans un réservoir de dimension et de géométrie donnée.

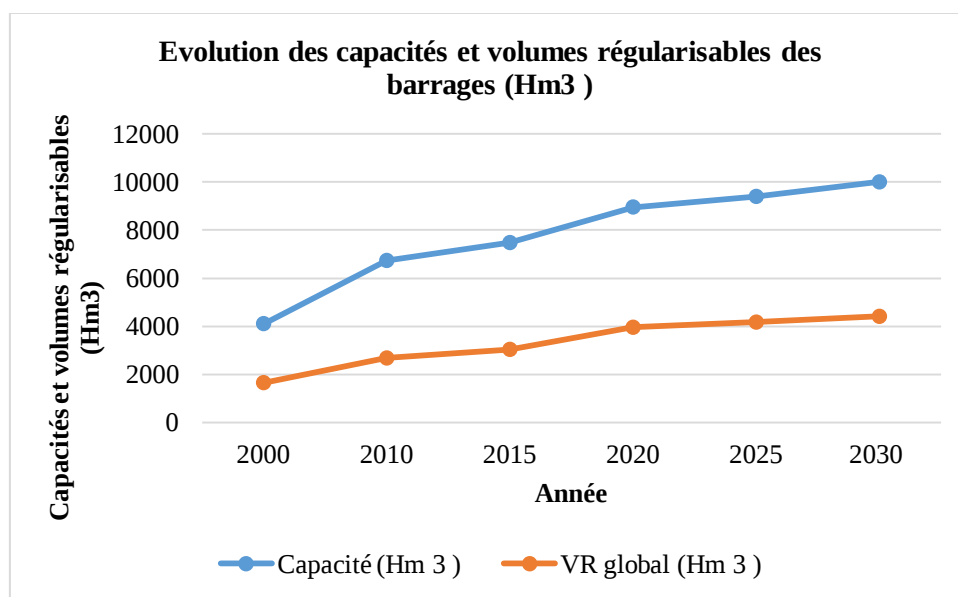


Figure II.8: Evolution des capacités et volumes régularisables des barrages

II.3.1.1/ Evolution de l'infrastructure de mobilisation des eaux superficielles de 1962 à 2010, et prévision pour l'horizon 2030

L'infrastructure hydraulique en Algérie s'est considérablement développée au cours des 40 dernières années passant de 14 barrages en exploitation en 1960, à 62 barrages en 2010. Une dizaine de barrages sont actuellement en cours de réalisation. Le programme d'étude en cours porte sur une cinquantaine de barrages en projet, réalisables à l'horizon 2030 (Fig. II.9), « suivant la programmation prévisionnelle de l'ANBT de mise en service des barrages concernés ».

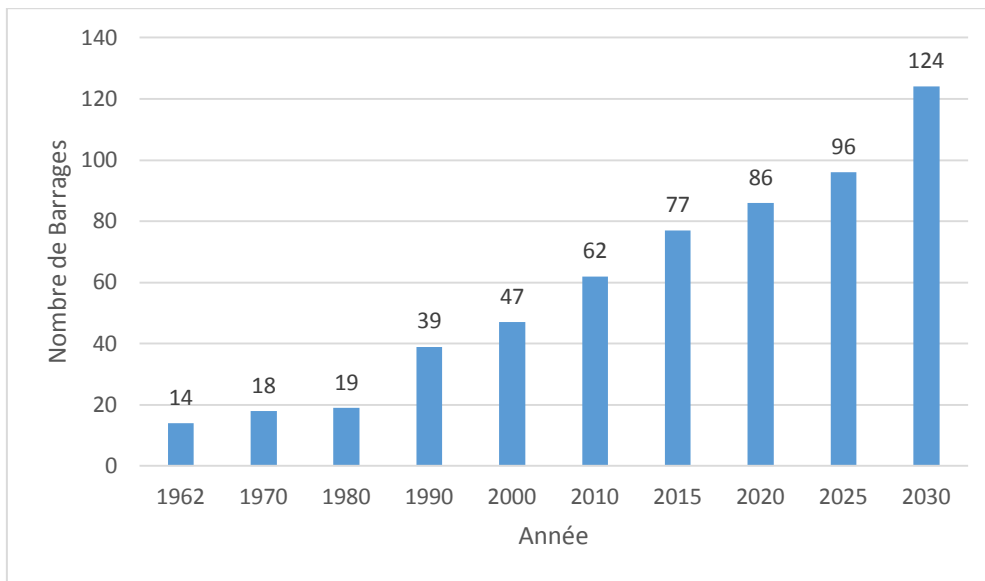


Figure II.9: Nombre de barrages à l'horizon 2030. (Laborde, 2010)

II.3.2/ Sous-système : Les grands transferts et adductions

La stratégie au niveau national est d'interconnecter les ouvrages de stockage en systèmes régionaux de transferts et d'adductions. Elle a englobé, pratiquement toutes les régions à savoir : grandes agglomérations, villes côtières et villes sub-littorales, villes du Tell et des plaines intérieures, villes des Hauts Plateaux et villes du Sud. Ainsi, entre 1999 et 2012, les transferts d'eau et adductions ont permis la mobilisation de capacités supplémentaires, par région, illustrées au niveau de la [figure II.10](#).

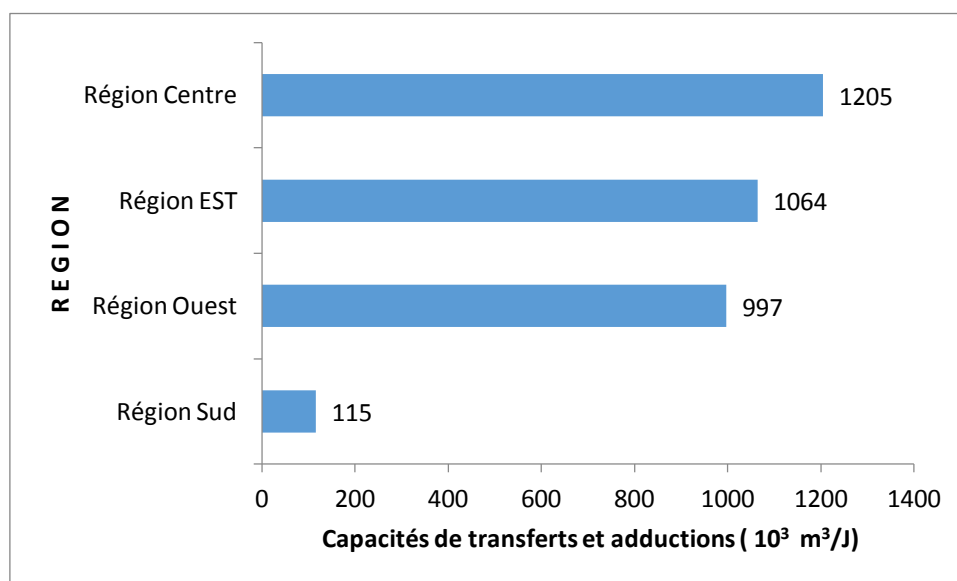


Figure II.10 : Capacités de transferts et adductions par région.1999-2012

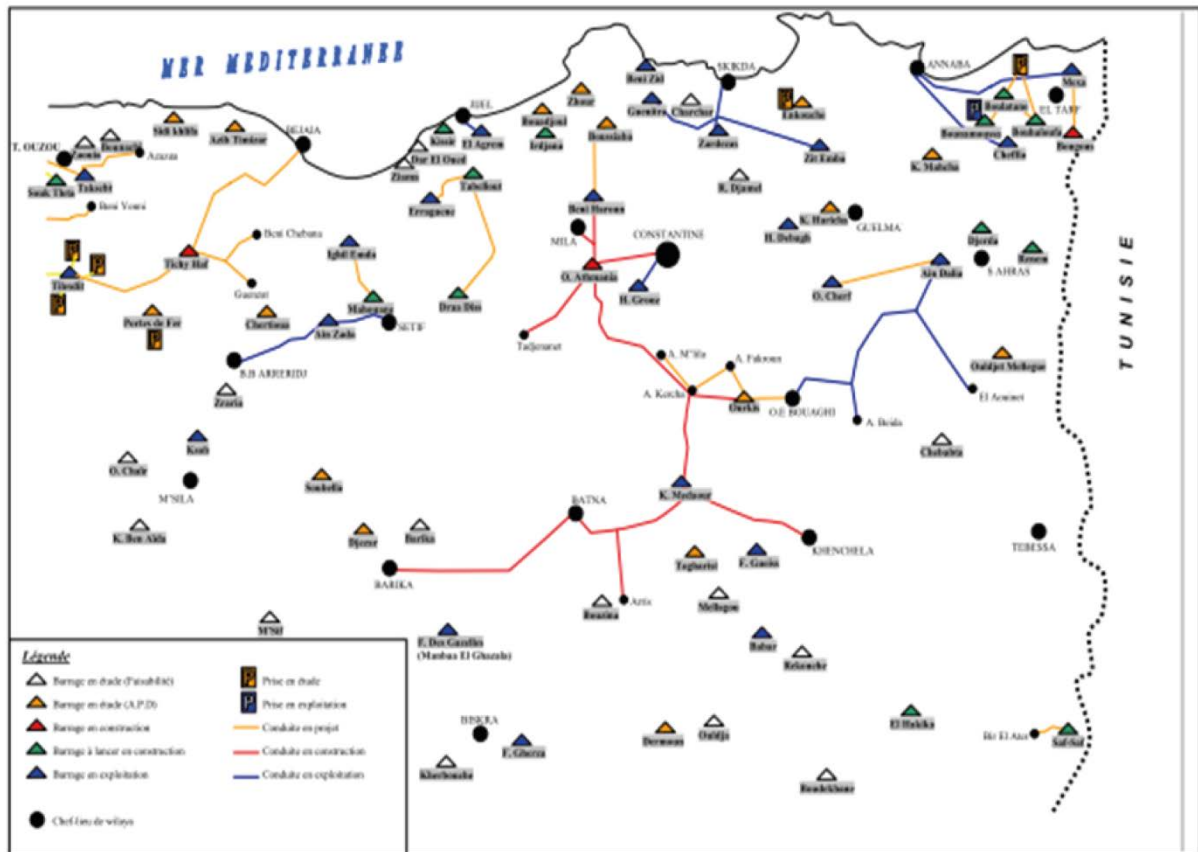


Figure II.11: Barrages-réservoirs et grands transferts hydrauliques de l'Est Algérien (A.N.B., 2005).

II.3.2.1/Les Sept systèmes de transfert considérés comme « grands projets structurants » sont d'Est en Ouest (MEBARKI. A, 2010) :

- *L'Aménagement d'El Tarf* ($300 \text{ hm}^3/\text{an}$), dispositif de six barrages (Cheffia, Mexa, Bougous, Bouhalloufa, Boulatane et Bounamoussa) devant desservir le pôle urbano industriel d'Annaba, ainsi que la région d'El Tarf- El Kala et ses grands périmètres irrigués (plaines d'El Kebir- Est et de Bounamoussa-Annaba) ;

- *le Système Béni Haroun-Hautes Plaines constantinoises* ($504 \text{ hm}^3/\text{an}$), aménagement complexe refoulent les eaux de l'oued Kébir-Rhumal au profit de plusieurs centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela....) et hautes terres sèches (irrigation de $40\,000 \text{ ha}$) ;

- *le Complexe hydraulique Sétif- Hodna*, commandé par les 2 anciens barrages hydroélectriques de basse Kabylie, destinés à alimenter 2 systèmes parallèles :

- *Système Ouest de Ighil-Emda-Mahouane (122 hm³/an)* : 31 hm³ pour l'AEP de la ville de Sétif et des agglomérations avoisinantes et 19 hm³ pour l'irrigation de 13 000 ha dans les Hautes Plaines sétifiennes ;

- *Système Est de Erraguène-Tabellout- Draa Diss (191hm³/an)* : 38 hm³ destinés à l'AEP de la ville d'El Eulma et 153 hm³ à l'irrigation de 30 000 ha ;

- *le Transfert Tichy Haf-Béjaia (150 hm³/an)*, desservant les villes de la vallée de la Soummam (Akbou, Béjaia), les périmètres d'irrigation du Sahel et de la Basse Soummam, ainsi que la plaine d'El Esnam ;

- *le Transfert Taksebt-Alger (180 hm³/an)* : le système de production d'eau Taksebt-Souk Tleta répond à un programme d'urgence d'AEP de la région d'Alger- Tizi Ouzou- Boumerdés ;

- *le transfert Koudiat Acerdoune-Hauts Plateaux (178hm³/an)*, en plus de son rôle d'appoint pour le barrage de Keddara , ce projet couvrira les besoins d'AEP de 300 000habitants (Bouira, Tizi Ouzou, M'sila et Médéa) ainsi que l'irrigation de 190 000ha (Issers de Mitidja) ;

- *le Système MAO (155hm³/an)*, aménagement de l'oued Chlif- Kerrada destiné à l'AEP des villes formant le couloir Mostaganrm- Arzew-Oran.

II.3.2.2/ Le transfert des eaux des nappes du Sahara

Le transfert des eaux souterraines du Sahara Septentrional vers deux couloirs de transfert (Djelfa et Biskra), une ressources optimale évaluée à 900 hm³/an (MEBARKI, 2005) Par ailleurs, le transfert d'In Salah- Tamanrasset consiste) acheminer les eaux de la nappe albienne, sur 750 km de distance, pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Tamanrasset et des agglomérations de la région de l'Ahaggar (Hoggar).le projet réalisé par sept entreprises nationales et étrangères, comprend 48 forages (d'une profondeur moyenne de 600 m), 6 stations de pompage et 2 conduites parallèles bordant la route transsaharienne. Le débit engagé est de 100 000 m³ par jour. Ce projet dont le cout initial est à 1,2 Milliards d'Euros (MEBARKI.A,2010).

II.3.3/ Sous système : Les grands périmètres irrigués

Sur les 8,5 millions d’hectares de surface agricole utile, ce sont 3,6 millions d’hectares qui dépendent de l’irrigation, intégralement ou en complément, en raison de la faible pluviométrie dans certaines régions (Fig. II.12). Les ressources en eau mobilisables pour l’agriculture ne permettent pourtant d’irriguer en moyenne et par an qu’entre 900 000 et un million d’Ha. Depuis que les besoins de la population en eau potable ont été couverts, l’objectif pour les autorités algériennes est de s’attaquer à couvrir au mieux ceux de l’agriculture afin que la consommation totale ne dépende plus autant des importations. Pour aller dans ce sens, le ministère des ressources en eau a renforcé sa coopération avec le ministère de l’agriculture et du développement rural en vue d’une bonne coordination pour l’utilisation rationnelle des ressources à des fins agricoles.

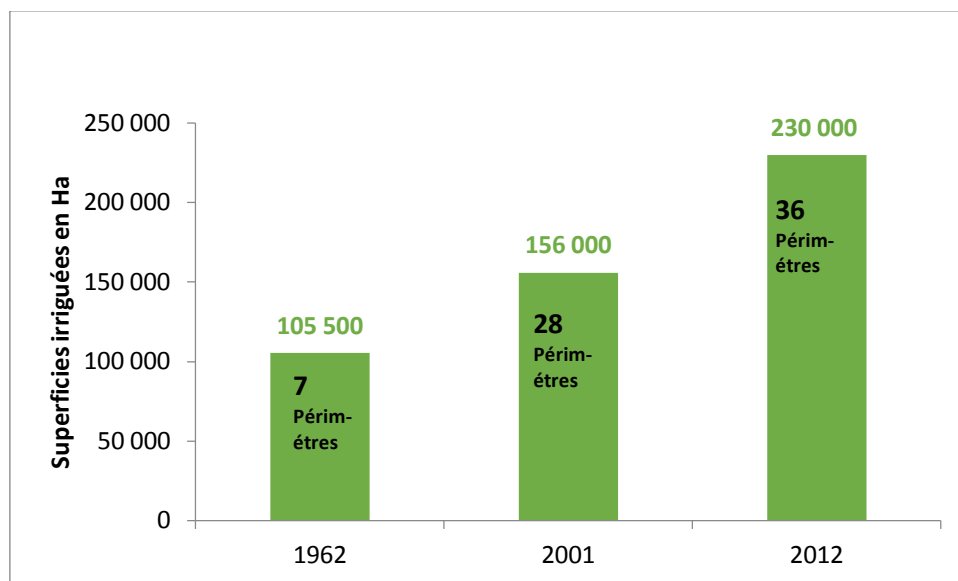


Figure II.12 : Evolution du nombre des périmètres et surfaces irriguées en Ha. Période 1962-2012. (Evolutions des périmètres irrigues en AlgerieMRE.2013).

II.3.4/ Sous système Eau Souterraine

Les ressources en eau souterraine dans l’Algérie du Nord sont évaluées à plus de 2 milliards de m³ (Tab. II.3), elles sont exploitées à plus de 90 % (PNE 2010), cette évaluation est effectuée à partir de la carte de délimitation des aquifères établis par l’ANRH 2009 (Fig. II.13), qui a identifié 170 aquifères avec un volume d’eau exploitable de 2 136,2 Hm³/an

en année moyenne (Tab. II.4), le PNE 2010 a ajouté Sept aquifères. Le nombre total des aquifères de la partie Nord- Est est de l'ordre de 177. Elles peuvent emmagasiner des ressources exploitables de l'ordre de 2 724 Hm³/an, en année moyenne et de 762 Hm³/an en année sèche.

Tableau II.3: Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du nord. (ONS, 2015)

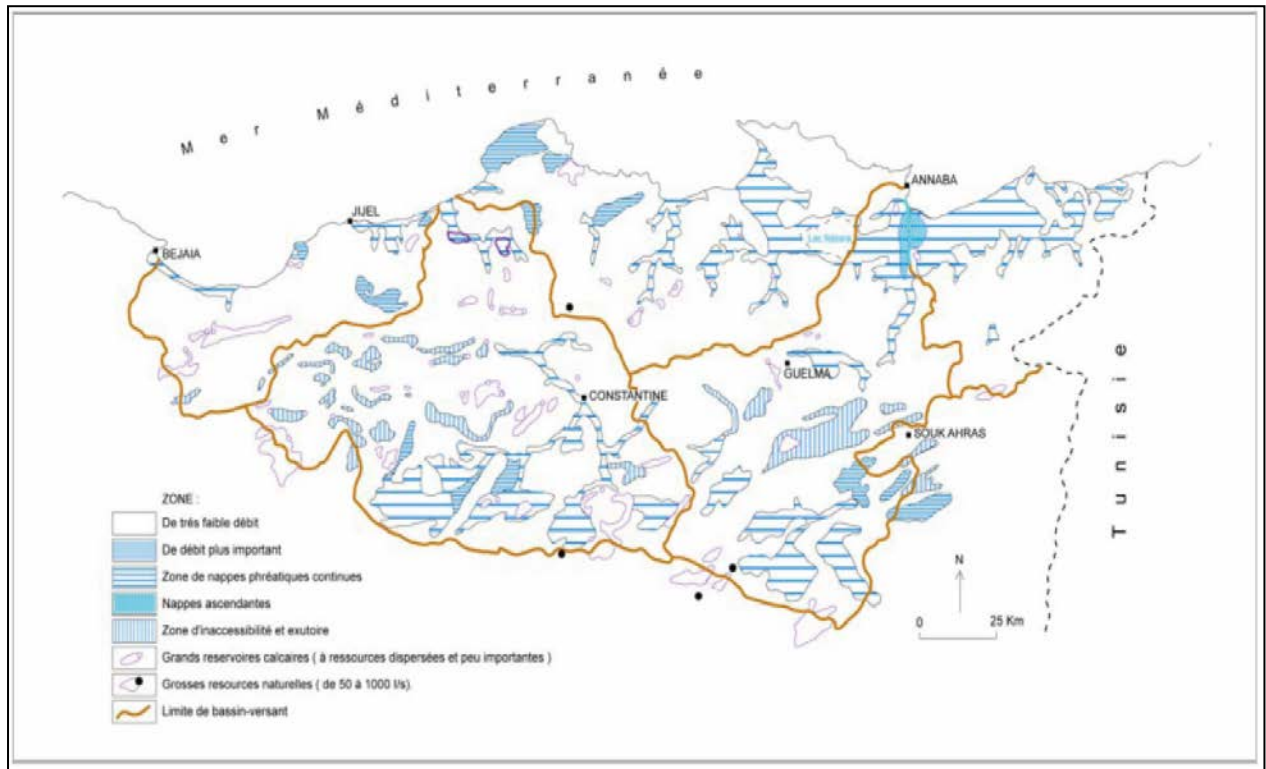
Région Désignations	Oranie- Chott Cherqui	Cheliff Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellégue	Total Algérie du nord
Ressources souterraines mobilisables (Mm3/an)	400	245	775	580	2000
Ressources souterraines mobilisées (Mm3/an)	375	230	745	550	1 900

Tableau II.4: Estimation des ressources en eau souterraine de l'Algérie du Nord

Région	Année moyenne (Hm ³ /an)	Année sèche (Hm ³ /an)
Région Ouest	428.52	110.3
Région Centre	922.70	339.6
Région Est	785.00	267.8
Total	2 136.2	717.6

(ANRH 2009)

La plupart des nappes du nord ont atteint leurs limites d'exploitation, certaines peuvent supporter une surexploitation temporaire, mais avec un suivi régulier de la piézométrie, et de la qualité. Cette recommandation est particulièrement importante pour les nappes côtières, et les nappes des chotts, dont la surexploitation entraîne leur contamination par les eaux salées (PNE 2010)



**Figure II.13 : Ressources en eaux souterraines du Nord - Est algérien
(d'après carte des eaux souterraines du S.E.S., Alger)**

Le sud du pays se caractérise par la présence des nappes phréatiques, souvent saumâtres. Le système aquifère du Sahara septentrional désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (Fig. II.14). La nappe du Continental Terminal, sise à 100 – 400 m de profondeur, couvre tout le Bas-Sahara et la nappe du continental intercalaire dite « albienne », sise à 1000-1500 m de profondeur, est d'une étendue plus grande (Castany, 1982). Elle couvre une superficie de plus de 10 millions de km², répartie entre les trois pays (Algérie–Tunisie et la Libye). Elles constituent des réserves importantes (de 30000 à 40000 km³) dont les potentialités exploitables sont actuellement estimées à 5 jusqu'à 6 km³/an, soit l'équivalent de 12 000 fois la capacité de nos barrages actuels mais malheureusement ces eaux ne sont pas renouvelables (ONS, 2015). Le caractère «non renouvelable» de cette ressource et les contraintes physiques et géologiques qui caractérisent ces systèmes, en font un patrimoine fragile, nécessitant une gestion rationnelle pour sa durabilité. Les prélèvements (1,6 km³ par forages et 85 hm³ par foggaras) représentent le 1/3 des ressources renouvelables, estimées à 5 km³ (4km³ dans le Continental Intercalaire et 1 km³ dans le Complexe Terminal) (MEBARKI. A, 2010).

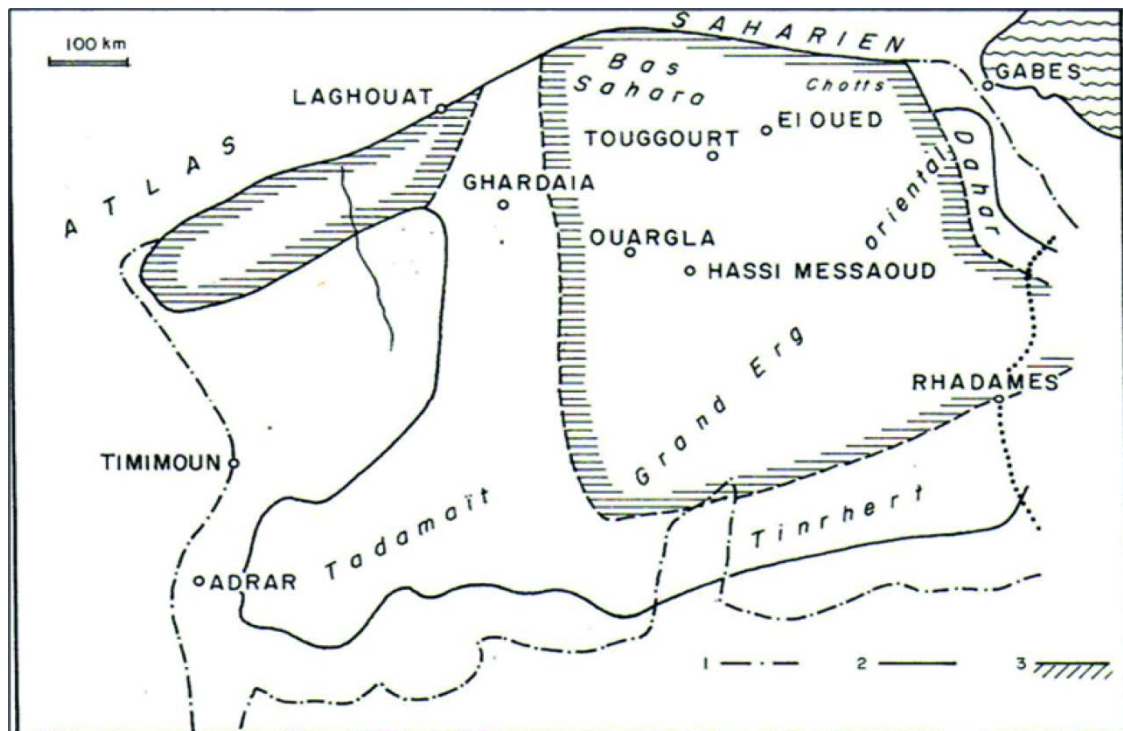


Figure II.14: Les deux grandes nappes du Sahara (Castany, 1982)

1. Continental intercalaire - 2. Complexe terminal - 3. Limite de l'aire d'exploitation du système aquifère du Complexe terminal

II.3.5/ Sous système : Assainissement et épuration des eaux

En Algérie, l'épuration des eaux usées devient une autre alternative pour valoriser la ressource en eau tout en protégeant le milieu naturel. Le réseau d'assainissement, fait état de 43.000 Kilomètres linéaire de réseau en service. Le taux de raccordement moyen national calculé sur la base de la moyenne des taux de raccordement des 48 wilayas est de 87 % (très élevés dans les agglomérations, un peu plus faibles dans le monde rural), pour un volume total d'eau usée rejetée de 1 milliards m^3 /an. (MRE, 2012).

Le volume des eaux usées rejetés à l'échelle nationale est estimé à près de 1 milliards m^3 et dépassera le double à l'horizon 2030. Un programme ambitieux de réalisation d'installations d'épuration a été initié dans ce sens et devra produire les suivant :

- Le nombre de stations d'épuration est de 95 STEP en 2010 avec une capacité d'épuration installée de l'ordre de 600 millions m^3 /an.

- Le programme en cours prévoit, la fin 2015, la réalisation de 176 stations, ce qui porterait la capacité d'épuration installée à 1.2 milliards m³/an, soit l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité.
- En l'an 2020, le nombre de STEP devra être de l'ordre de 216 avec une capacité d'épuration installée de 1 250 millions m³/an, soit l'équivalent de 14 barrages de moyenne capacité.

La stratégie nationale en matière d'exploitation des EUE à des fins agricole consiste à contribuer à l'extension des terres irriguées, à l'augmentation de la production agricole et à la préservation des ressources hydriques superficielles et souterraines.

Les questions relatives au traitement et à la réutilisation des eaux usées sont en prise directe avec celles du développement durable et indiquent que les enjeux autour de la qualité et de la quantité des ressources en eau sont liés entre eux, puisque les rejets (nitrates, phosphates, etc.) dans l'environnement entraîneront plus tard des coûts non négligeables dans le traitement de l'eau potable.

II.3.5.1/ Aspect Règlementaire

L'expérience mondiale du développement de la réutilisation des eaux usées montre que l'existence d'une réglementation spécifique n'est pas le principal facteur qui détermine l'aboutissement d'un projet; d'autres éléments socio-économiques comme la viabilité économique, l'existence de financements, la volonté politique et l'opinion publique sont tout aussi essentiels.

Le statut juridique de la REUE a été institué progressivement en Algérie. L'intervention du législateur pour former le nouvel arsenal juridique dans le domaine de l'eau est apparu d'une manière explicite dans le code des eaux, loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 modifiée et complétée par l'ordonnance n° 96-13 du 15 Juin 1996. Elle c'est renforcée dans Loi n° 05-12 du 28 du 4 août 2005 relative à l'eau. Les arrêtés interministériels publiés le 15 juillet 2012 ont fixé respectivement la liste des cultures autorisées et les spécifications normatives de qualité des eaux usées épurées.

II.3.5.2/ Evolution de la production des eaux usées

En Algérie qui considérer le volume de ruissellement de pluie dans l'estimation des eaux usées. La majorité des réseaux d'assainissement en Algérie sont de type unitaire et dans une proportion moindre de type pseudo-séparatif. La contribution de la pluie est évidemment

proportionnelle à la pluviométrie de la région. Le volume des eaux usées passe de 940,7 Hm³ en 2010 à 1 649 Hm³ en 2030 (Tab. II.5).

Tableau II.5: Evolution de la production des eaux usées brutes (Hm³)

Région	2010	2015	2020	2025	2030
Algérois- Soummam Hodna	341,7	405,3	453,3	514,5	591,9
Cheliff- Zahrez	93,4	111,8	125,6	143,4	165,8
Constantine-Seybouse-Mellegue	209,5	249,5	279,0	317,2	365,5
Sahara	151,6	184,5	209,8	241,9	281,8
Oranie- Chott-Cherqui	144,6	170,1	189,0	213,3	244,1
Total Algérie	940,7	1 121,2	1 256,7	1 430,3	1 649,

II.3.5.3/ Programme de construction des STEP

Le programme du ministère actuel prévoit la construction de cinquante STEP par quinquennal (Tab. II.6).

Tableau II.6: Programme de construction de STEP

Période	2010	2011-15	2016-2020	2021-25	2026-30
Nombre de STEP à construire		84	50	50	50
Nombre de STEP total	95	179	229	279	329
Extension des anciennes STEP, Hm ³		30	20	30	30
Capacité installée, Hm ³	600	1205	1325	1418	1533

Tableau II.7: Volumes, en m³, des eaux usées épurées et produite et les capacités des Stations gérées par l'ONA (ONA, 2009).

Zones /Direction d'assainissement	Eau Usée Epurée (m ³)	Eau Usée Produite (m ³)	Capacité Nominale (m ³)
Oran	25 844 161	30 000 000	56 188 830
Saida	232 744	400 000	1 704 185
Tiaret	6 478 243	8 000 000	13 870 000
Ouargla	2 151 994	3 000 000	3 655 475
Constantine	2 102 811	5 500 000	21 735 750
Batna	2 784 949	4 000 000	16 060 000
Annaba	4 641 082	7 000 000	18 323 000
Chlef	6 030 013	8 000 000	17 865 290
Tizi-Ouzou	15 913 002	19 500 000	33 063 890
Sétif	10 582 357	12 000 000	41 454 875
Alger	4 385 275	6 000 000	26 061 000
Total général	81 146 631	103 400 000	249 982 295

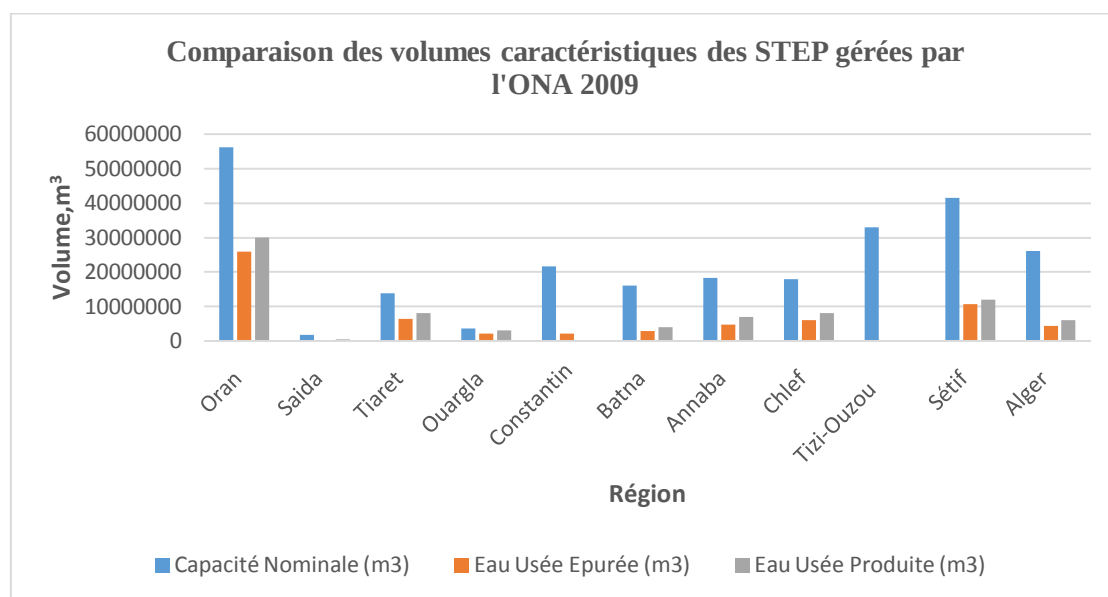


Figure II.15 : Les volumes caractéristiques des STEP (ONA 2009)

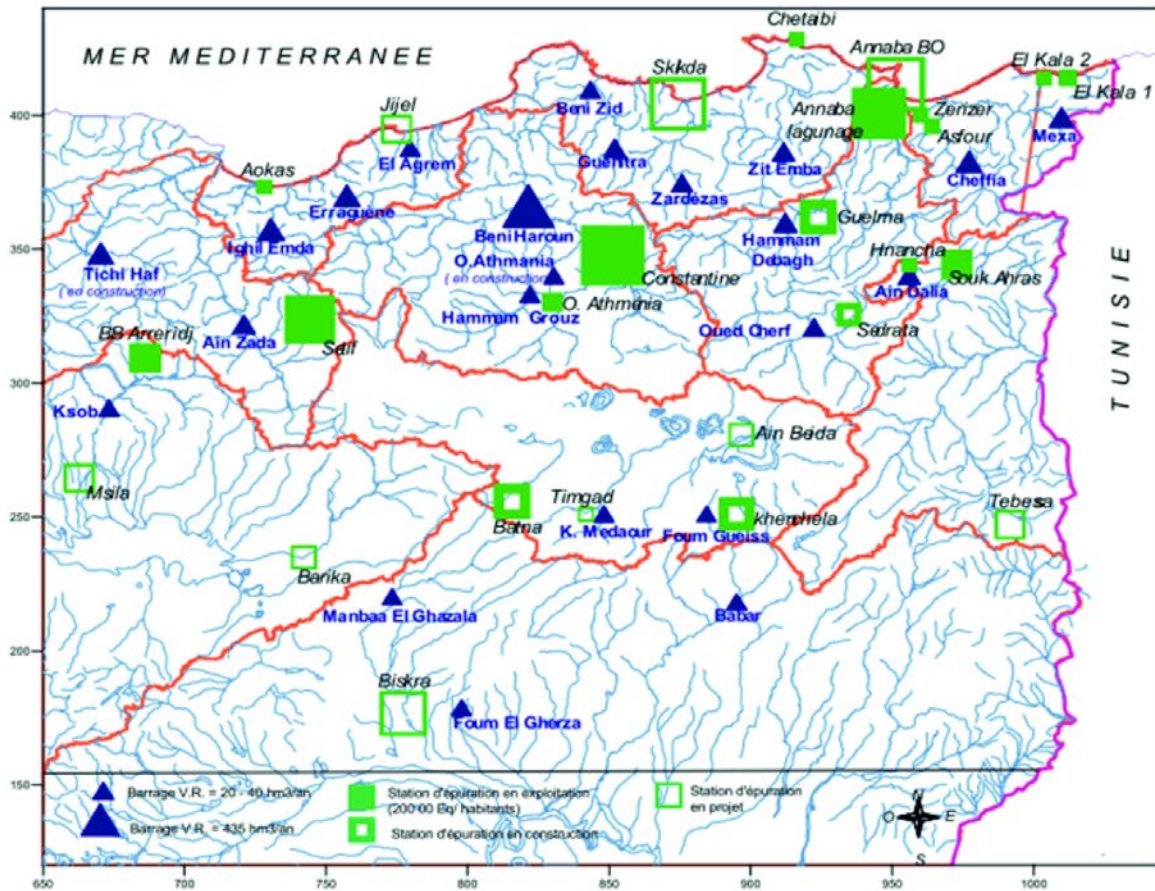


Figure II.16 : Stations d'épuration (existantes et en projet) et barrages de l'Algérie orientale (MEBARKI, 2005)

II.3.6/ Sous système : Dessalement d'eau de mer

L'Algérie, qui dispose de 1 200 km de côtes, a mis en œuvre l'alternative du dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre pour alimenter en eau potable des villes et localités du littoral, et jusqu'à 60 km alentours. Le coût de cette technique est passé de 10 \$/m³ à 0,6-0,8 \$/m³ d'eau entre les années 1980 et aujourd'hui. Cette réduction des coûts a rendu cette technique compétitive et les spécialistes estiment à plus de 10 % par an l'augmentation de capacité installée grâce à ces usines à travers le monde.

La stratégie nationale consiste en un programme ambitieux d'installation d'usines de dessalement de petite et de grande taille (Fig. II.17). L'Algérie compte en 2013 neuf grandes stations de dessalement en exploitation à même de produire jusqu'à 1,4 millions de m³ d'eau dessalée par jour (Tab. II.8). La mise en exploitation de deux autres stations portera la

capacité de production totale à 2,1 millions de m³/jour, ce qui représente 0,860 milliards de m³ par an. Remis en perspective par rapport à l'ensemble des ressources mobilisables, d'ici 2030 (environ 10 milliards de m³ par an), ce volume représente presque 10 % du total des ressources. (secteur de l'eau en Algérie 2013Ghosn, 2013).

Tableau II.8: Les unités de dessalement d'eau de mer de grosse capacité

Wilaya	Commune	Sites	Capacité Nominale (m ³ /j)	Dates de mises en exploitation
Tlemcen	Honaine	Honaine	200 000	Aout 2010
Ain Temouchent	Beni saf	Chatt el Hillal	200 000	Mai 2009
Tlemcen	Tlemcen	Souk Tleta	200 000	Janvier 2010
Oran	Mers El Hadjadj	Mactaa	500 000	Prévision 1 ^{er} trimestre 2011
Oran	Arzew	Kahrama	90 000	Février 2005
Mostaganem	Mostaghanem		200 000	Prévision février 2010
Chlef	Ténès	Mainis	200 000	Novembre 2010
Tipaza	Gouraya	Oued Sebt	100 000	Prévision Nove 2010
Tipaza	Tipaza	Fouka	120 000	Prévision Avril 2010
Alger	Alger	Hamma	200 000	Février 2008
Boumerdes	Boumerdes	Cap Djinet	100 000	Prévision Juillet 2010
Skikda	Skikda	Plage Oued Kikha	100 000	Octobre 2008
El Tarf	El Taref	Echatt	50 000	-

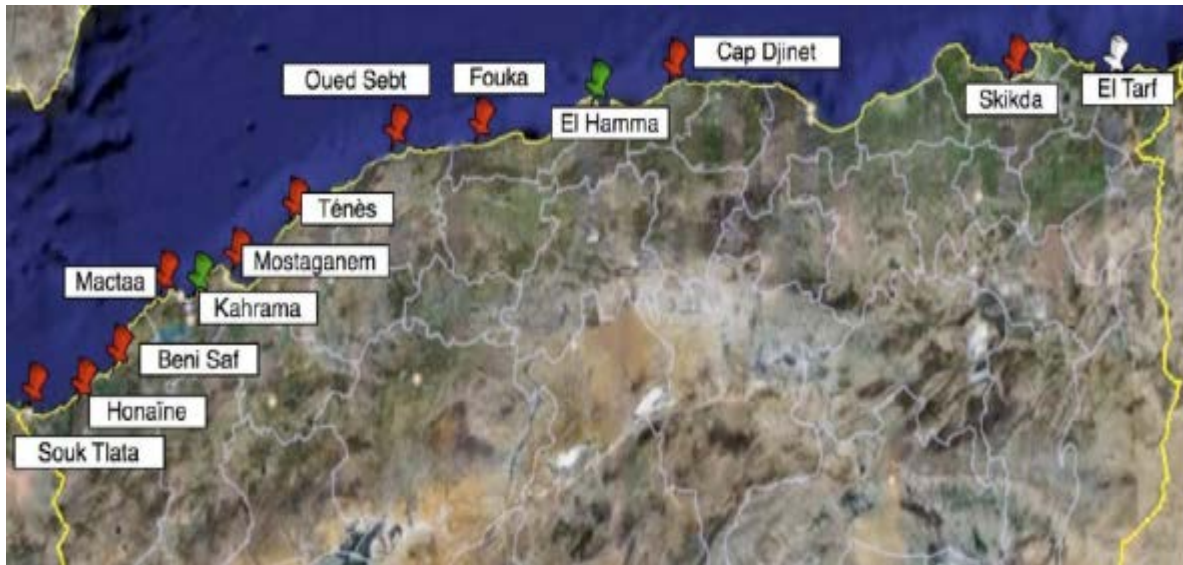


Figure II.17 : : Localisation des stations de dessalement d'eau de mer de grosses capacités (Situation 2009) : Vert - en service ; Rouge - en cours de construction ; Blanc - appel d'offres infructueux

II.3.7/ Sous système : Contextes législatif et institutionnel

II.3.7.1/ Introduction

Conscient des situations du secteur des ressources en eau, de la complexité et l'interaction étroite des aménagements hydrauliques et afin de relever les défis que posent les problèmes de l'eau en Algérie, le gouvernement algérien, a mis en place une nouvelle politique de l'eau, fondée sur des nouveaux principes de gestion intégrée de la ressource, ainsi que sur des réformes institutionnelles, juridiques et organisationnelles profondes, en adéquation avec la gravité des problèmes à résoudre.

II.3.7.2/ Les structures du secteur de l'eau en Algérie

Au plan institutionnel, le secteur de l'eau relève du domaine de compétences du Ministère des Ressources en Eau, qui a été créé dans le cadre de la structure gouvernementale de décembre 1999. Les structures du secteur de l'eau sont l'administration centrale et déconcentrée et les établissements publics sous tutelle. L'organigramme du secteur des ressources en eau est le suivant (Fig. II.18).

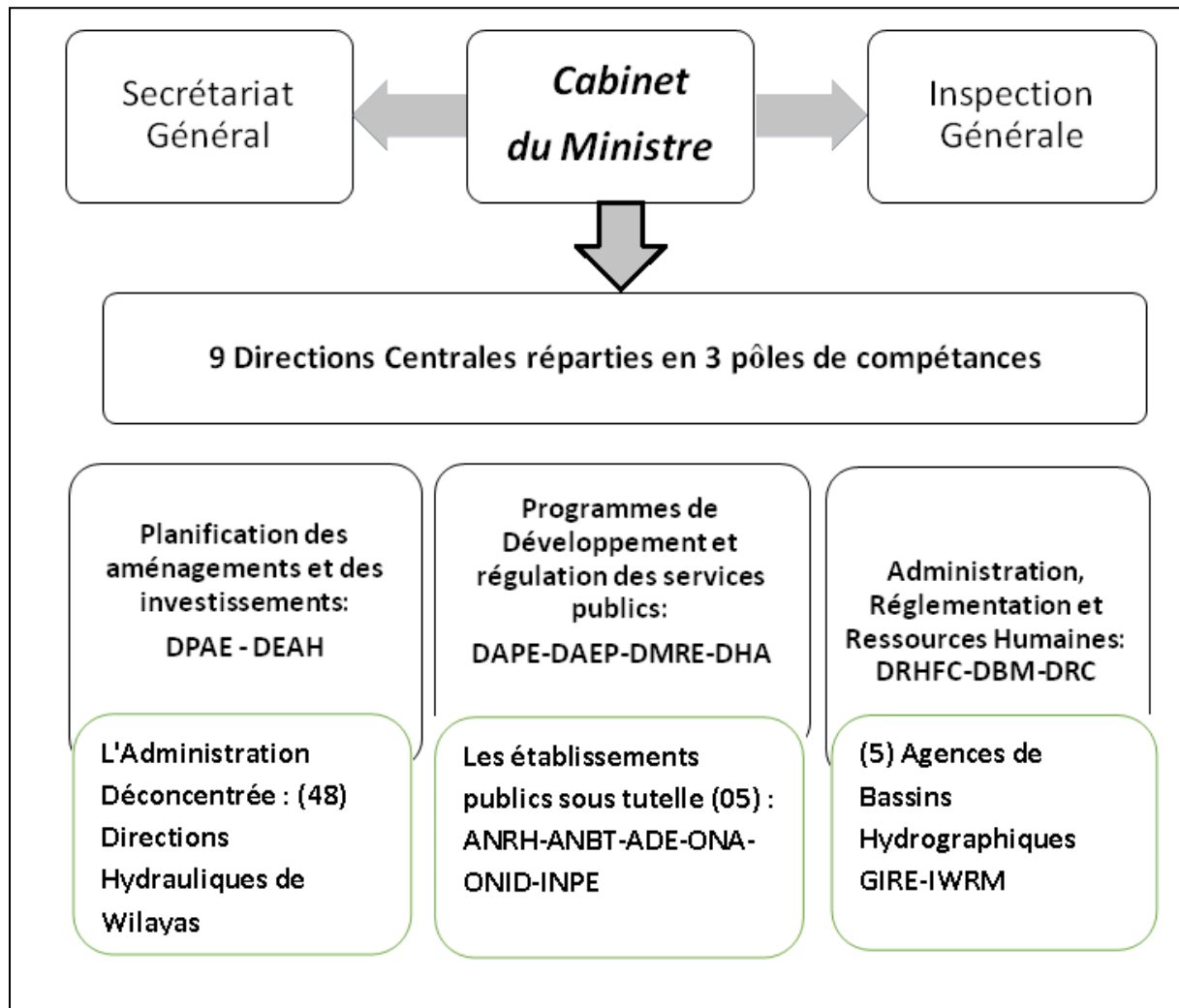


Figure II.18: Organigramme du secteur des ressources en eau en Algérie

Les principales missions du secteur de l'eau sont :

- L'évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau et la planification du développement des infrastructures hydrauliques ;
- La mobilisation et la gestion intégrée des ressources en eau superficielles, souterraines et non conventionnelles ;
- L'alimentation en eau potable et industrielle ;
- L'irrigation dans les grands périmètres et les aménagements de petite et moyenne hydraulique ;
- L'assainissement urbain et la protection contre les inondations ;
- L'adaptation du cadre juridique et institutionnel

II.3.7.3/ Les différentes stratégies nationales de l'eau

Nous dressons dans ce qui suit une synthèse des différentes politiques engagées par l'état Algérien sur diverses périodes de développement :

Période 1962-1970 : Les actions engagées sur cette période visaient principalement :

- La prise en charge des projets en cours et mise en œuvre de nouveaux projets dans le cadre du plan triennal 1967 – 1969
- L'algérianisation et renforcement progressif des structures centrales et déconcentrées en charge de l'eau. En juillet 1970, ces structures ont été unifiées avec la création d'un Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique.

Période 1971-1989 :

- La mise en œuvre d'un développement hydraulique sur quatre périodes de planification successives, en cohérence avec la politique nationale de développement industriel, agricole et urbain,
- Refonte du cadre juridique de l'eau basé sur le principe de la propriété publique des ressources en eau (code civil, ordonnance révolution agricole, code des eaux de 1983),
- Création d'établissements publics et d'entreprises publiques d'études et de réalisation des infrastructures hydrauliques,
- Restructuration des opérateurs en charge de la gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement.

Période 1990-1999 : Cette étape constituait une étape de transition marquée par :

- La mise en œuvre d'investissements prioritaires pour mettre à niveau l'approvisionnement en eau potable et industrielle,
- La création d'agences de bassins hydrographiques en charge de la gestion intégrée des ressources en eau incluant un système de redevances d'utilisation et de protection des ressources en eau.

Période 2000-2012 : Cette période importante de développement du secteur s'est articulée autour des actions fondamentales ci-dessous :

- Mise en œuvre d'une nouvelle stratégie de l'eau soutenue par des programmes d'investissements de grande ampleur assurant la multiplication du nombre de barrages et de retenues collinaires ainsi que des grands transferts d'eau,
- La promotion de la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles avec des unités de dessalement d'eau de mer et leurs aménagements aval ainsi que des stations d'épuration d'eaux usées permettant la réutilisation des eaux traitées, le renforcement de l'accès à l'eau pour tous les usages sur l'ensemble du territoire national en ciblant la sécurisation et l'économie de l'eau.
- Mise en place des instruments d'une meilleure gouvernance de l'eau s'appuyant sur la création en 1999 d'un ministère chargé des ressources en eau, la promulgation, en 2005, d'une nouvelle loi relative à l'eau et des textes d'application, la refonte organisationnelle des établissements publics de l'eau sous tutelle et la création de filiales de distribution d'eau et d'assainissement au niveau des grandes pôles urbains du pays.

Toutes ces actions ont permis principalement l'élaboration du plan national de l'eau pour doter le secteur d'un outil de planification à l'horizon 2030 (TERRA.M, 2013).

II.3.7.4/ Cadre institutionnel

Consciente des défis à relever dans la gestion des ressources en eau et de la nécessité de mettre en œuvre une nouvelle politique dans ce secteur, l'Algérie a organisé pour la première fois des assises nationales de l'eau en **1995**. Suite à cette rencontre, un état des lieux et un diagnostic des systèmes de distribution et d'assainissement d'eau (vétusté des réseaux, fuites, branchements illégaux, incapacité à assurer pleinement l'accès à l'eau des populations, etc.) fut établi et une stratégie nationale élaborée.

Entre 1995 et 2005, une série de réformes a repensé la mobilisation, la gestion et l'utilisation des ressources en eau en prenant en compte trois points clés: **les principes** (cadre réglementaire, gestion intégrée, efficience de l'eau agricole, politique tarifaire), **les institutions** (création du ministère des ressources en eau, des agences de bassins hydrographiques et restructuration des agences nationales et régionales), et **les priorités** (alimentation en eau potable, transferts d'eau, etc.) définissent la nouvelle politique nationale de l'eau. Le passage en revue des cadres juridique et institutionnel fournit une vision

synthétique du secteur de l'eau en Algérie et permet d'apprécier les changements intervenus pour répondre aux dysfonctionnements constatés.

En **2001** des réformes institutionnelles ont modifié en profondeur les établissements publics à compétence nationale qui sont sous la tutelle du Ministère des ressources en eau : L'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) est chargée d'étudier et d'évaluer les ressources en eaux et en sols irrigables, l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT) est responsable de mobiliser et de transférer les ressources en eau vers les lieux d'utilisation, l'Algérienne des eaux (ADE) a pour mission de gérer tout le processus d'alimentation en eau potable et industrielle y compris la mise en œuvre des programmes annuels et pluriannuels d'investissements, la gestion et le développement des infrastructures d'assainissement urbain sont les prérogatives de l'office national de l'assainissement (ONA), l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) est chargé de gérer les périmètres d'irrigation que l'état et les collectivités locales lui concèdent. Dans ce cadre, l'Office a également pour tâche de mettre en œuvre des stratégies pour rationaliser l'usage de l'eau d'irrigation.

Créé par décret en **2008**, le Conseil national consultatif des ressources en eau constitue le nouveau cadre de coordination institutionnelle sur les différents aspects de la politique de l'eau. L'autorité de régulation des services publics de l'eau créée par décret en 2008 a pour prérogatives d'évaluer les services d'eau et d'assainissement fournis aux usagers, de contrôler leurs coûts et les tarifs (Mozas.M & Ghosn A, 2012). La répartition de la gestion du service d'alimentation en eau potable est confiée à diverses structures (Assemblées populaires communales APC, l'Algérienne des Eaux ADE ainsi que sociétés par actions) (Fig. II.19).

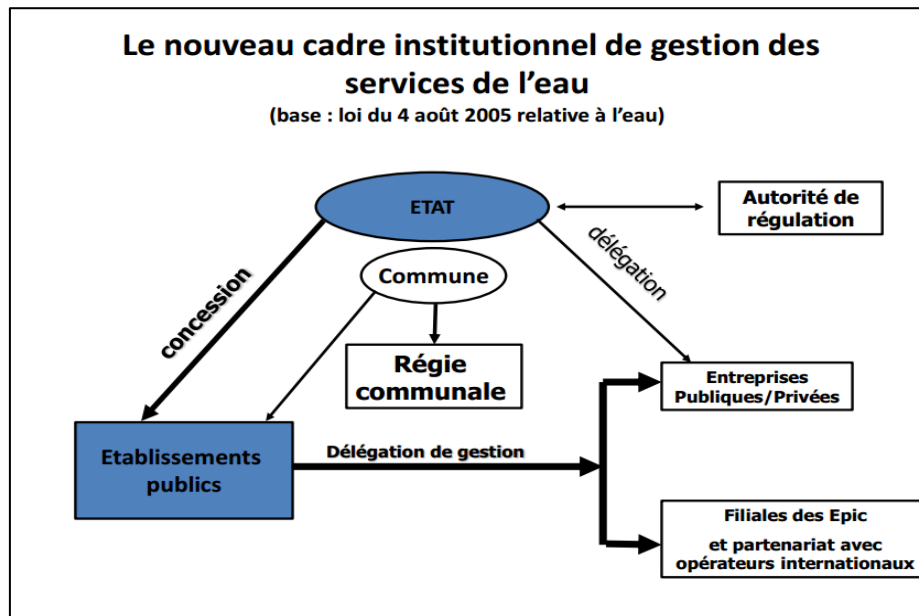


Figure II.19: Nouveau cadre institutionnel de gestion des services de l'eau en Algérie.

II.3.7.4.1/ Tarification de l'eau en Algérie

« L'eau est largement subventionnée par l'Etat »

La loi nationale algérienne définit l'eau comme un « bien de la collectivité nationale » et sa gestion est un service public encadré juridiquement quelles que soient les stratégies élaborées pour l'un ou l'autre mode d'exploitation ou de gouvernance.

La tarification du service public d'alimentation en eau potable est fondé sur le principe de progressivité des tarifs selon les catégories d'usagers et les tranches de consommation afin, d'une part, d'assurer aux usagers domestiques la fourniture, à un tarif social, de volumes suffisants pour la satisfaction des besoins vitaux et, d'autre part, de réguler la demande correspondant aux consommations élevées. L'application de ce principe se traduit par l'établissement, pour chaque zone tarifaire, de barèmes progressifs par catégories de consommateurs. La nouvelle tarification de l'eau potable décidée en 2005 (décret du 9 janvier 2005) avait cet objectif. Elle répondait aussi au principe de couverture des coûts réels du service de l'eau par les redevances payées par les usagers. Malgré l'augmentation de 2005, ce dernier objectif n'est pas encore atteint.

Après la modification de 2005, le tarif moyen de l'eau était passé de 24,7 DA/m³ à 40,5 DA/m³. Pour l'utilisateur domestique, le tarif était passé de 21,2 DA/m³ à 32 DA/m³.

En 2009, il est de l'ordre de 64 DA/m³ (comprenant les redevances d'assainissement et les redevances pour l'économie et la protection de l'eau). Ce prix de vente du m³d'eau potable est à comparer à son coût de production, estimé en 2005 à 90DA/m³ environ et qui doit être actuellement de l'ordre de 125 à 150 DA/m³ (compte tenu du dessalement d'eau de mer). Le prix de vente est le même pour tout le pays sauf pour les régions du Sud pour les quelles les redevances pour économie d'eau et la protection contre la pollution sont respectivement de 2 % du montant de la facture de consommation au lieu de 4 % (Benblidia, 2011).

La facture d'eau (Tab. II.9) est composée d'une partie fixe et d'une partie variable qui évolue suivant la consommation. Trois catégories d'usagers sont répertoriées : les ménages (4 tranches de consommation, la première étant la « tranche sociale »), les administrations et le secteur tertiaire, les unités industrielles et touristiques. Un coefficient multiplicateur et ensuite affecté selon les usagers.

Tableau II.9 : La structure tarifaire de l'eau potable pour les différentes catégories d'usagers depuis 2005

Catégories d'usagers		Tranche de consommation en m ³ / trimestre	Coefficient multiplicateur	Exemple Tarif de base : 6,30 DA
Catégorie I Les ménages	1 ^{er} tranche	[0- 25 m ³]	1.0	1 x Base = 6,30
	2 ^{em} tranche	[26- 55 m ³]	3,25	3,25 x Base = 20 ,475
	3 ^{em} tranche	[56- 82 m ³]	5,5	5,5 x Base = 34,65
	4 ^{em} tranche	Plus de 82 m ³	6,5	6, 5 x Base = 40,95
Catégorie II Administrations, et les artisans et les services du secteur tertiaire		Uniforme		34,65
Catégorie III : Les unités industrielles et touristiques		Uniforme		40,95

Source : ADE

En outre, les redevances (qualité de l'eau 4% du montant, économie de l'eau 4%, et la gestion – 3DA pour un mètre cube d'eau consommé) et la TVA 7 %. Le taux de recouvrement des factures d'eau potable est en moyenne inférieur à 70%.

Pour ce qui est de l'eau produite par dessalement de l'eau de mer, elle est vendue par la société de dessalement à l'Algérienne des Eaux à prix coûtant, le surcoût du dessalement étant supporté par l'Etat. La hausse des prix de l'énergie devrait pousser les prix du mètre cube d'eau de dessalement autour de 125 DA dès le début du fonctionnement de la station du Hamma et à environ 150 DA vers 2010.

Plusieurs spécialistes reconnaissent qu'une eau cédée à 10 % de son prix n'engendre pas un usage rationnel de la ressource. Dans l'inconscient collectif, il est souvent admis « **que l'eau est un don du ciel** », la mobilisation, le stockage, le transfert, la production et la distribution de l'eau nécessitent d'importants engagements financiers.

Dans le secteur agricole en effet, les tarifs sont trop bas pour encourager une utilisation rationnelle de l'eau et limiter les gaspillages. Le prix de l'eau ne représente que de 1 à 10% des charges d'exploitation des agriculteurs, alors que l'eau est le facteur fondamental de la production et de l'augmentation des rendements.

Les modalités de tarification de l'eau à usage agricole et les tarifs correspondants ont été fixés en 1998 (décret n° 98-156). Ces dispositions ont été modifiées par deux autres décrets en 2005 (décret n°05-14 du 9 janvier 2005) et en 2007 (décret n°07-270). Ces deux derniers décrets ont précisé les zones tarifaires et procédé à une augmentation des bases tarifaires.

Les tarifs dus par l'utilisateur au titre de la fourniture ou du prélèvement d'eau sont calculés suivant une formule binôme sur la base du débit maximum souscrit (partie fixe) et du volume effectivement consommé (partie variable). Actuellement, la partie fixe varie, selon la zone tarifaire, entre 250 et 400 DA par l/s/ha ; la partie variable est calculée sur la base de 2,50 DA par m³ consommé. La figure II.20, montre les tarifs de vente d'un m³ d'eau pratiqué dans les pays développés

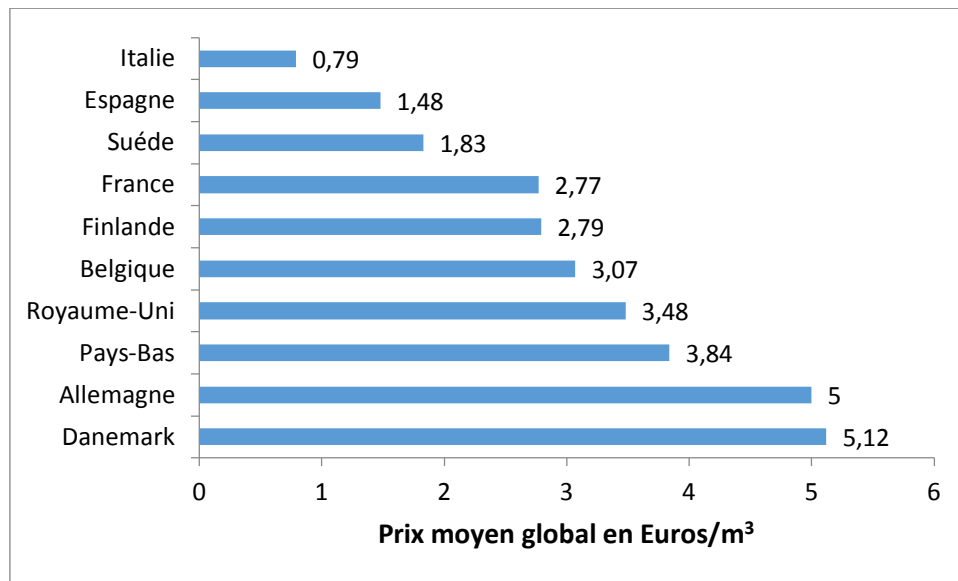


Figure II.20: Tarifs de vente d'un m³d'eau pratiqués dans les pays développés (Agence de l'eau Rhin-Meuse (2006)- www.eau-rhin-meuse.fr)

II.3.7.4.2/ Une législation intégrant le concept de gestion durable des ressources

La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005 « annexe 1 »). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle, cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous et fixe les objectifs suivants :

- l'utilisation rationnelle et planifiée des eaux pour la satisfaction des besoins des populations et de l'économie nationale,
- la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surexploitation,
- la prévention contre les effets nuisibles de l'eau.

Par rapport aux versions précédentes, elle apporte certaines dispositions innovantes et importantes :

- l'obligation d'élaborer un Plan national de l'eau et la planification de la gestion locale dans le cadre des bassins hydrographiques,
- l'établissement de règles régissant les systèmes de l'eau pour les usages domestique, industriel et agricole, appuyées sur la prise en tarification compte des coûts réels des services d'approvisionnement,
- la possibilité de concession ou de délégation du service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé.

La loi sur l'eau de 1996 prévoyait déjà et pour la première fois, la possibilité d'intervention du secteur privé dans la gestion des services d'eau. La loi de 2005 en apporte d'une certaine manière la confirmation et en précise les conditions juridiques et réglementaires.

Mais les principes de gestion décentralisée et de concertation que prône la loi relative à l'eau ne se traduisent pas encore nettement dans l'organisation, et encore moins dans le fonctionnement du secteur de l'eau, qui demeurent marqués par une forte centralisation.

II.3.7.4.3/ Une gestion de l'eau centralisée

L'organisation de la gestion de l'eau en Algérie est placée sous l'autorité directe ou sous la tutelle du ministère des Ressources en Eau (MRE). Depuis le transfert du secteur de l'irrigation qui relevait précédemment du ministère de l'Agriculture, le MRE est le principal responsable de la politique nationale de l'eau, politique dont il assure l'élaboration et la mise en œuvre. Sa compétence s'étend à l'ensemble des activités relatives à la recherche, l'exploitation, la production, le stockage, la distribution de l'eau pour tous les usages, ainsi qu'à l'évacuation et à l'épuration des eaux usées. Le MRE veille par ailleurs, avec les ministères de l'environnement et de la santé, à la préservation de la qualité des ressources en eau et à leur protection contre les pollutions. C'est au sein d'un Conseil national consultatif des ressources en eau, comme le prévoit la Loi sur l'eau, que doivent s'organiser et se développer les relations de concertation et de coordination avec les autres administrations, les différents secteurs économiques et, plus généralement, tous les utilisateurs. Mais cette instance n'est, dans les faits, pas fonctionnelle.

Au niveau national, le MRE exerce ses prérogatives et missions en s'appuyant en particulier sur des établissements publics à compétence nationale dans les domaines : des études et de la maîtrise d'ouvrage (barrages, transferts, irrigation...), de la gestion et de l'exploitation des grands périmètres irrigués et des installations de distribution d'eau et d'assainissement.

Au niveau local, dans chaque wilaya, les attributions du MRE sont exercées par la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (DHW) sous l'autorité administrative du Wali. Cette direction assure la conduite des projets locaux, l'assistance technique aux communes et veille à la protection et à la bonne gestion du domaine public hydraulique.

Au niveau communal, les municipalités ont la responsabilité explicite d'assurer l'alimentation en eau potable et l'assainissement des eaux usées. Elles assuraient jusque-là ces services, selon les cas, via leurs propres moyens humains, en les confiant à des régies ou en les déléguant à des établissements publics régionaux. Le décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001 a complètement modifié la situation en transférant la gestion des services de l'eau de toutes les communes du pays à l'Algérienne des Eaux (ADE), établissement public sous tutelle directe du MRE. Cette centralisation de la gestion de l'eau potable succède à une série d'opérations de « centralisation décentralisation » subies par ce secteur depuis 1970. Une réforme similaire a été adoptée parallèlement pour les compétences en matière d'assainissement transférées progressivement à l'Office National de l'Assainissement (ONA). Les restructurations importantes des systèmes d'organisation, successives et contradictoires, et les remises en cause d'options déjà bien engagées, sont certainement pour beaucoup dans la faiblesse des performances et les difficultés des services de distribution d'eau potable et d'assainissement.

Un niveau régional de gestion des ressources en eau est apparu en 1996 avec la création des Agences de Bassin Hydrographique (ABH). Couvrant des territoires constitués de plusieurs bassins hydrographiques, ne correspondant pas à un découpage administratif, ces agences ont pour but de promouvoir la gestion intégrée et concertée de l'eau par bassin. Leurs missions essentielles portent sur l'évaluation des ressources, la surveillance de l'état de pollution des eaux, les plans directeurs d'aménagement et d'affectation des ressources, ainsi que l'information et la sensibilisation des usagers à l'utilisation rationnelle de l'eau. Il faut souligner que les Agences de Bassin sont les premières institutions dont les statuts prévoient

effectivement la participation des usagers au fonctionnement des agences et à l'élaboration des plans directeurs.

La volonté politique de changement dans la manière de conduire désormais la gestion des ressources hydrauliques qui s'exprimait dans la loi instituant les ABH ne s'est cependant traduite, jusqu'à présent, que par une mise en œuvre partielle. Les ABH rencontrent des difficultés pour s'imposer en tant qu'instruments essentiels d'une gestion intégrée, décentralisée et concertée des ressources en eau. Le chevauchement d'attributions avec des services et établissements relevant de l'administration centrale, se conjuguant avec des moyens financiers réduits, expliquent en partie cette situation. Il manque aux Agences de bassin l'appui politique fort qui leur permette d'affirmer la nécessité et l'utilité de leur rôle. (Benblidia Mohammed et Gaëlle Thivet, M a i 2 0 1 0).

II.3.7.4/ La participation du secteur privé à la gestion des services d'eau

La décision de faire appel au secteur privé pour améliorer la qualité et l'efficacité des services d'eau et d'assainissement n'a pas fait l'unanimité. De nombreuses critiques et oppositions se sont manifestées contre l'intervention de sociétés privées étrangères. Ces réticences ont conduit les responsables du secteur de l'eau à adopter une démarche prudente, à limiter la participation privée à des contrats de gestion dans une première étape, se réservant la possibilité, dans une deuxième phase, de passer à des formules engageant davantage le partenaire privé (affermage par exemple), (Fig. II.21) .

La première opération a concerné l'agglomération d'Alger en 2006 avec la conclusion d'un contrat entre l'entreprise Suez Environnement et la Société publique SEEAL, filiale commune de l'ADE et de l'ONA, concessionnaire des services de distribution d'eau et d'assainissement d'Alger. Le contrat prévoit la mise à disposition, pour une période de cinq ans, de cadres et de techniciens, la formation des personnels et le transfert des connaissances. La société Suez s'engageait à atteindre un certain nombre de performances dans les gestions administrative, commerciale et technique : parmi celles-ci, la réduction des pertes et fuites, et surtout l'atteinte d'une distribution continue (H24) dans tous les quartiers.

Trois autres opérations de partenariat public-privé ont suivi en 2007 et 2009 : Oran avec la société Agbar de Barcelone, Annaba avec la société allemande Gesselwasser et Constantine avec la Société des Eaux de Marseille. Le schéma contractuel adopté pour ces

trois villes est sensiblement le même que celui d'Alger avec quelques différences quant au mode de rémunération du partenaire privé. Quinze autres villes vont prochainement bénéficier du même système de participation d'entreprises privées à la gestion de leurs services d'eau, selon une récente déclaration du ministre des Ressources en eau. (Benblidia. M et Gaëlle Thivet, 2010).

On constate que les réformes ainsi adoptées par le MRE conduisent vers une nouvelle décentralisation dans l'organisation du système de gestion de l'eau et de l'assainissement. Cette réorganisation progressive est accompagnée et consolidée par une amélioration des moyens et des capacités des sociétés de gestion locale, garantie d'efficacité et de durabilité.

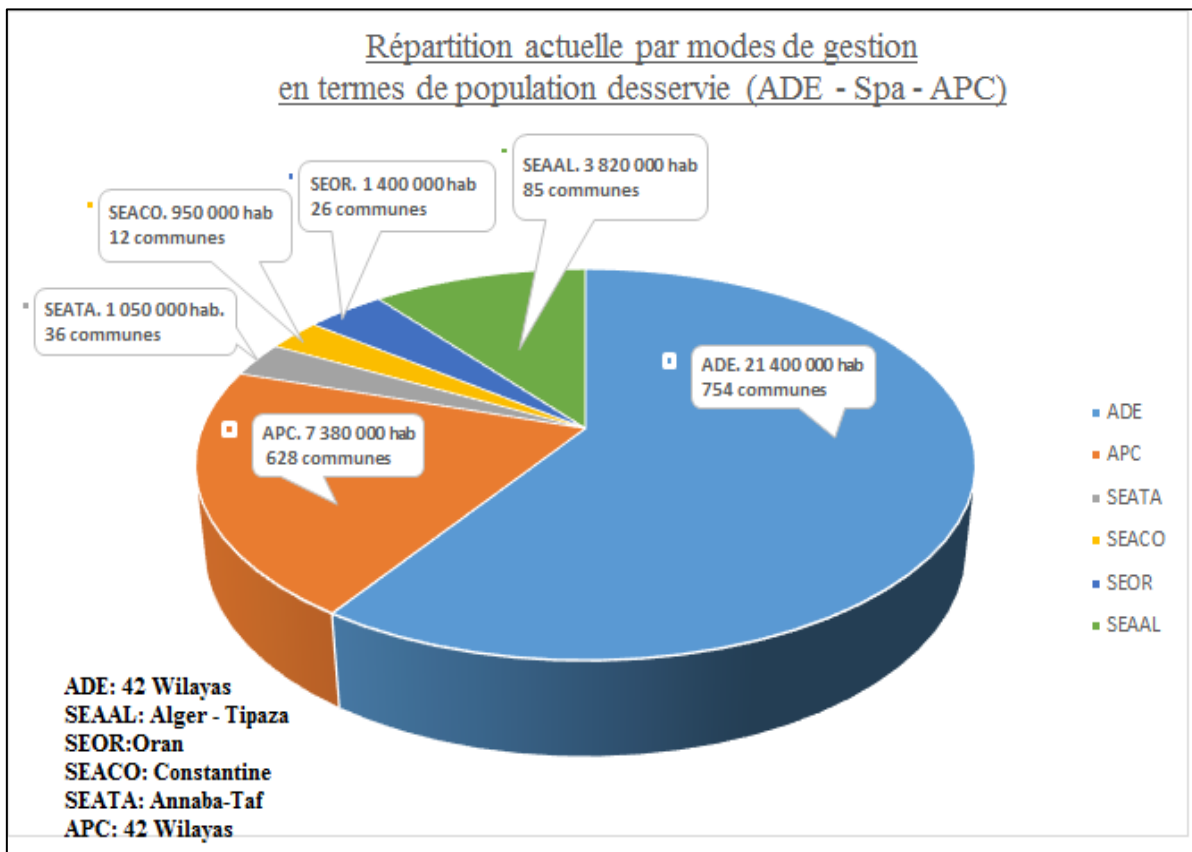


Figure II.21 : Répartition actuelle par modes de gestion des services de l'eau en Algérie

II.4/ Synthèse sur la stratégie de développement

La politique engagée vise à créer un outil de décision à moyen terme, actualisable ultérieurement sans intervention extérieure, pour le développement et la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Elle s'articule autour des concepts suivants :

- Préciser l'étendue et la qualité des ressources hydriques y compris les ressources non conventionnelles,
- Evaluer les demandes en eau, actuelle et avenir,
- Dresser l'inventaire des infrastructures existantes et projetées, identifier de nouvelles potentialités et engager les actions pour leur mobilisation et transfert,
- Confronter, d'une manière dynamique, les ressources et les besoins et chiffrer les coûts et les bénéfices de chaque variante ainsi que son impact sur l'économie nationale,
- Examiner le cadre institutionnel et son adéquation pour la gestion et la protection de la ressource.

[Le tableau II.9](#) : donne une synthèse relative à l'évolution des indicateurs d'accès à l'eau potable et à l'assainissement durant la période 1999-2014.

Tableau II.10: Evolution des indicateurs d'accès à l'eau potable et l'assainissement
Période 1999- 2014. (TERRA. M, 2013)

Alimentation en eau potable	1999	2010	2012	2014
Linéaire des réseaux (km)	50 000	90 000	105 000	112000
Taux de raccordement (%)	78	93	95	98
Dotation (l/j.Hab)	123	168	175	195
Nombre de barrages	47	66		93
Capacité de mobilisation des eaux superficielles (milliards de m ³)	4.2	7.1		9.1
Production d'eau (milliards de m ³ /an)	1.25	2.75	2.9	3.6
Fréquence de distribution d'eau pour les 1541 chefs-lieux de communes du pays				
- Quotidien	45%	70%		80%
- 1jour sur 2	30%	18%		13%
-1 jour sur 3 et plus	25%	12%		07%
Assainissement	1999		2012	2014
Volume d'eaux usées rejetées (millions m ³ /an)	600	750		1.3 milliard de m ³ /an
Linéaire des réseaux (km)	21 000	41 000	42 000	45 000
Taux de raccordement (%)	72	86	87	95,72
Nombre station d'épuration	28		138	239
Capacités d'épuration (millions m ³ /an)	90		600	1200
Irrigation	1999		2012	2014
Grands périmètres d'irrigation(Ha)	157 000		227 000	270 000
Petites et moyennes irrigation(Ha)	350 000		940 000	1 200 000

II.5/ Aperçu sur la problématique de l'eau en Algérie

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, dégradation 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 s'explique par :

- **Les caractéristiques naturelles et la répartition de population :** le Nord du pays représentant à peine 7 % de la surface, il reçoit cependant 92 % des écoulements. D'autre part, près de 70 de la population sont concentrés sur cette partie du territoire.
- **La connaissance précise de l'état des ressources hydriques** qui reste à parfaire en raison de l'information fragmentaire au niveau des grandes structures publique et la mauvaise coordination qui existe entre elles.
- **Réduction des capacités de stockage des barrages :** la sédimentation élevée favorisé par la nature des sols, la forte érosion des bassins versants dû à l'absence de boisement favorisent le phénomène de l'envasement des barrages. Ce phénomène est un problème hydraulique qui menace sérieusement la capacité des barrages. C'est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique. Environ 180 millions de tonnes de terre atteignent le littoral, dont une partie se dépose dans les barrages réservoirs. Une quantité de 45 millions de m³ de vase se dépose chaque année dans les barrages Algériens (Remini.B, 2015).
- **Evaporation des lacs des barrages :** le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages. La quantité évaporée des retenues de 39 barrages, d'une capacité de 3,8 milliards de m³ durant la période 1992-2002 représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie. (Remini. B, 2010)
- **Fuites dans les barrages :** l'eau des fuites peut provoquer la déstabilisation de l'ouvrage. Certains barrages enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant de 10% de leur capacité. (Remini. B, 2010)
- **Eutrophisation des retenues de barrages :** l'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates) entraînant des déséquilibres écologiques. Elle est due aux rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle dans les oueds. Ces rejets constituent une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. En plus de ces

rejets, le dépôt des sédiments dans les retenues de barrages génère l'eutrophisation des eaux de retenues. L'augmentation de la turbidité a un impact sur le processus biologique du fait d'une modification de la température. (Remini. B, 2010)

- ***Pollution des milieux naturels par les eaux usées*** : le développement socioéconomique, l'accroissement de la population urbaine ont provoqué la production d'énormes quantités d'eaux usées déversées directement dans le milieu naturel. Le volume de rejets est évalué à de 750 millions de m³ an en 2011 (Rapport national de la CDD, selon (Hamchaoui. S, 2017)). Les stations d'épuration réalisées ont la mauvaise réputation d'être des ouvrages destinés fatalement à tomber en désuétude (CNES, 2000). Jusqu'à 2003, les équipements d'épuration restent faibles. Ils se situent en deçà des besoins, faisant que, de nombreux réseaux continuent à rejeter dans des oueds, la mer ou la nature. Ces eaux polluent au passage les cours d'eaux, les nappes phréatiques et les plages (in Hamchaoui. S, 2017).

II.6/ Conclusion

En Algérie la population était estimée à 23 millions en 87; 28 en 95; 32 en 2000; 39 en 2010; et 46 en 2020. Les potentialités en eau sont évaluées à 19,4 milliards de m³/an répartis comme suit : 14 milliards de m³/an dans les régions Nord, dont 12 milliards de m³ en écoulements superficiels et 2 milliards de m³ en ressources souterraines (renouvelables). 5,2 milliards de m³/an dans les régions sahariennes, dont 0,2 milliards de m³ en écoulement superficiels et 5 milliards de m³ en ressources souterraines (fossiles). 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 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 colossal lorsqu'on sait qu'on mobilise à peine au plus 5 milliards de m³/an. La pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des activités anthropiques.

Consciente de cette situation et possédant une volonté pour le développement de la ressource hydrique, l'Algérie a entrepris des actions de grande envergure, tant sur le plan des investissements engagés que sur le plan de réforme et gestion durable.

A cet effet, une nouvelle politique de l'eau a été mise en place. Elle s'articule autour de nouveaux principes de gestion. On constate que les réformes ainsi adoptées par le MRE conduisent vers une nouvelle décentralisation dans l'organisation du système de gestion de l'eau et de l'assainissement. Cette réorganisation progressive est accompagnée et consolidée par une amélioration des moyens et des capacités des sociétés de gestion locale, garantie d'efficacité et de durabilité. D'importants efforts ont été entrepris par le gouvernement Algérien pour mobiliser de nouvelles ressources en eau. Des investissements massifs ont été engagés qui se traduisent par une augmentation du nombre de barrages et de retenues collinaires, des transferts d'eau, un recours accru au dessalement de l'eau de mer et à la réutilisation des eaux usées.

PARTIE II :

Caractéristiques de la zone d'étude « Annaba-El Tarf »

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude (Annaba- El Tarf)

III.1/Cadres géographique et hydrographique

III.1.1/ Limite de la zone d'étude

La région d'étude est située dans le Nord-est Algérien, elle est comprise dans 02 Wilayas que constituent 12 Daïras et 36 Communes, répartie respectivement sur des superficies de 2998 Km², 1412Km².

Elle est limitée au Nord, par la mer méditerranée, au Sud par les wilayas de Guelma-Souk Ahras, à l'Est par la frontière (confins) Algéro-Tunisienne et à l'Ouest par la wilaya de Skikda (Fig.III.1).

La wilaya d'El-Tarf comprend 19 communes qui sont entièrement incluses dans le Bassin Côtier Constantinois Est (code 03), 02 communes sont entièrement incluses dans le Bassin de la Seybouse (code 14) et 03 communes chevauchent sur les deux bassins (14) et (03). La wilaya regroupe 4 zones humides dont 3 classes de convention RAMSAR (Lac Oubeira, Lac des Oiseaux, Lac Tonga) et un (01) Lac non encore classé : Lac Mellah.

La wilaya d'Annaba comprend 12 communes, 4 communes incluses dans le bassin constantinois centre, une commune (El Bouni) chevauche sur deux bassins (Seybouse et Constantinois Est) et 7 communes sur les limites des deux bassins (Seybouse et Constantinois Centre). Elle comporte une zone humide (Lac Fetzara).

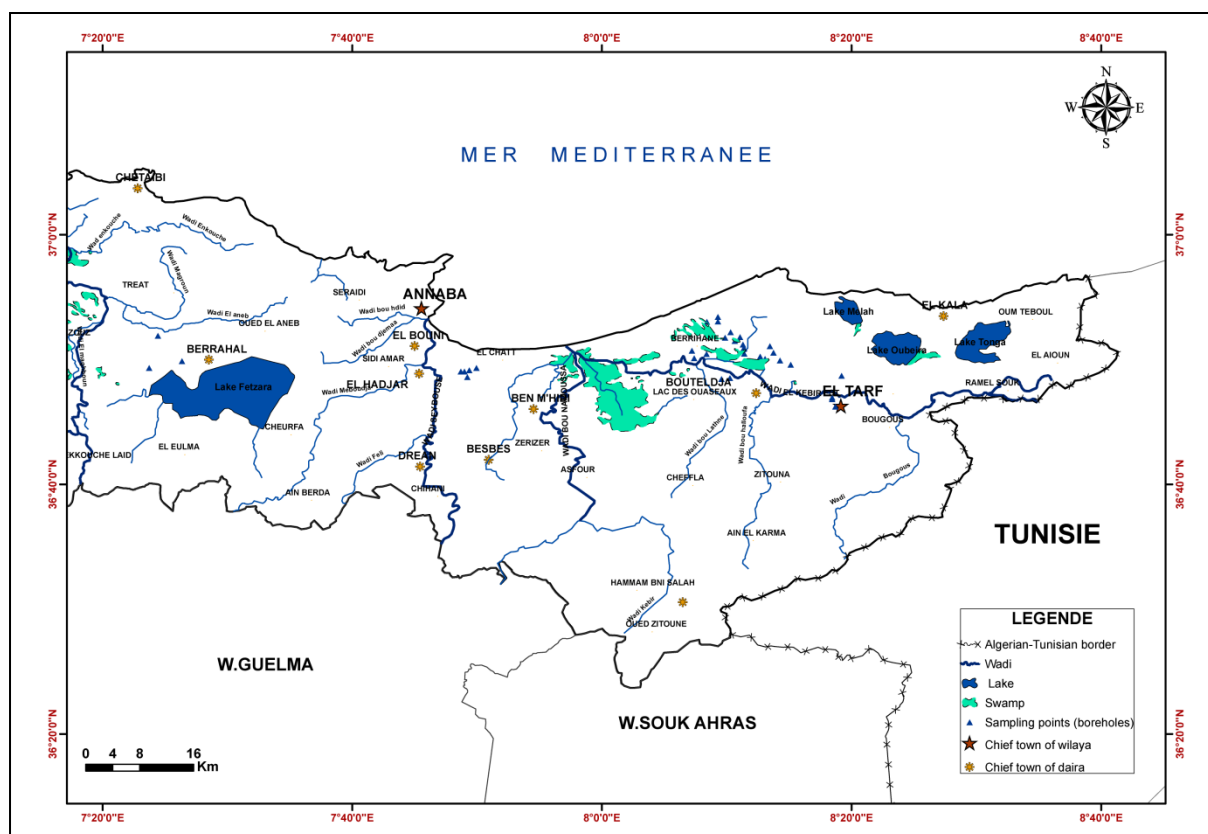


Figure III.1 : limite géographique de la région Annaba-El Tar Bounab, 2006 (modifiée 2017)

III.1.2/ Aspect géomorphologique

La région d'étude fait parti essentiellement de l'Atlas Tellien, se caractérise par les différentes unités géomorphologiques, liées principalement à la géologie, à la tectonique qui a affectée la région et à l'accumulation des sédiments alluviaux et éoliens pendant le Quaternaire, ainsi qu'à l'érosion superficielle (précipitation et ruissellement), (Fig. III.2).

Les différentes unités géomorphologiques sont :

- Le complexe alluvial de la vallée de l'oued kébir Est est caractérisé par une série de terrasses à faciès hétérogène (sables, graviers, limons et argiles).
- Le cordon dunaire est situé au Nord de la plaine alluviale de Bouteldja et se caractérise par une grande extension.
- Les marécages et les lacs : leur présence est liée aux différentes phases d'assèchement des zones lacustres de l'Algérie orientale durant le quaternaire. Ils sont dus principalement à la réduction progressive des surfaces lacustres avec un remplissage alluvionnaire intensif des zones avales, de nombreux oueds, tributaires du bassin, sont comblés au niveau des dépressions internes par les transports solides des différents oueds. Temporaires ou

permanentes, ces zones sont localisées en grande partie près de la côte (lac Mellah, lac Tonga, lac des Oiseaux, lac Oubeira, Mekadra, lac Fetzara).

- Les oueds : principalement, oued Bounamoussa au Sud-est et oued Kébir Est à l'Est, ces deux cours d'eau rejoignent la mer à l'embouchure sous le nom de la Mafragh. L'oued Seybouse résulte de la confluence de l'oued Charef et l'oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine d'Annaba, recevant l'oued Meboudja (le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse) avant de se jeter finalement dans la Méditerranée.

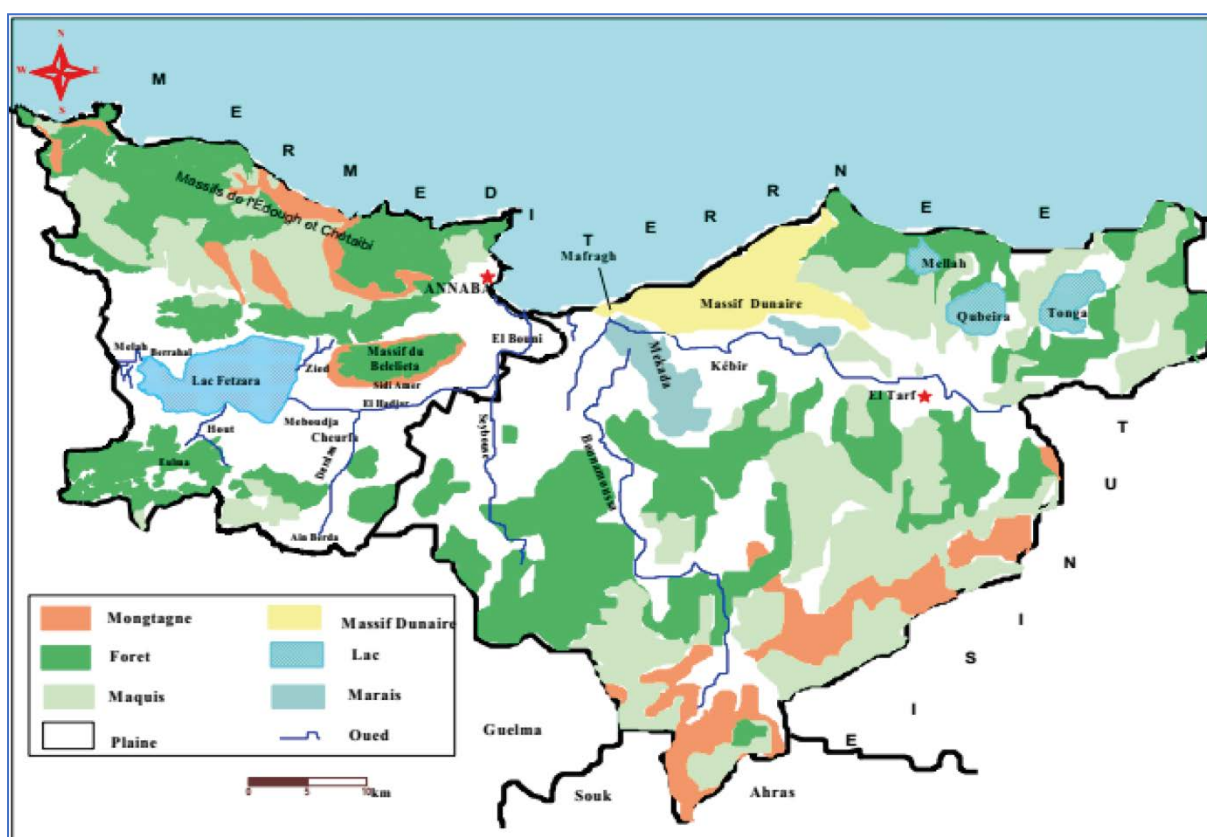


Figure III.2 : Les unités morphologiques dans la région d'Annaba-El Tarf (in Saadali B, 2007, modifiée)

- Les montagnes : La région d'étude Annaba –El Tarf est caractérisée par deux montagnes principales : La montagne de l'Edough dans la wilaya d'Annaba et les montagnes de la Cheffia dans la wilaya d'El Tarf.

Les montagnes de la Cheffia (Fig.III.3), ceinturèrent la partie aval du bassin d'El Mafragh formant ainsi une barrière Est-Ouest. Des altitudes avoisinent les 450 m, dominés par des massifs de 700 à 900 m d'altitude. Djebel Bled Gherfie (996 m) à l'Ouest et Djebel Ghena (1202 m) à l'extrême Nord-Est se trouvant aux Frontières Algero-Tunisienne.

Les monts de la Cheffia sont caractérisés par des grès de la nappe Numidienne qui constituent le principal affleurement dans la région.

Le mont de l'Edough est limité à son piémont Sud, Est par le Lac Fetzara, la plaine d'Annaba et la mer Méditerranée, à l'Ouest ce massif est nettement séparé des reliefs situés au Nord Ouest par la vallée d'Oued El Aneb. Sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est, présente une ligne de crête relativement rectiligne longue de 26 km, début au Nord du Lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef seba et redescend à 867 m vers Séraïdi, elle s'abaisse en suite Régulièrement jusqu'au Cap de garde au Nord de la ville de Annaba. A l'Est du Lac Fetzara, le massif de l'Edough est isolé du Djebel Belelieta par une vallée à fond plat qu'empruntent la voie ferrée et la route (R.N.44), il s'agit là d'un fossé Ouest- Est d'effondrement entre les djebels Edough et Belelieta (287 m) ouvrant ainsi une dépression vers la mer Méditerranée. A l'Ouest le Djebel Edough est relié par deux ensembles de collines ; le premier situé entre les deux communes de Oued El Aneb et Berrahal (226 m), le second au Nord de Boumaiza (130 m).

- Les plaines : Les plus importantes sont :

- La plaine d'Annaba: la grande plaine d'Annaba est drainée par les deux oueds, au Sud l'oued Seybouse et au Nord l'oued Bounamoussa. Elle est limitée au Nord par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne. Elle est caractérisée par une topographie relativement régulière. On distingue trois secteurs, présentant chacun des formes différentes :

- la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'Oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles.

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

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

- La plaine d'EL Hadjar : occupe la partie Est du fond de la cuvette du Lac Fetzara et se prolonge par la plaine d'Annaba. La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Méboudja.

- La plaine d'El Tarf : son extension est de l'ordre de 70 km².

- La plaine alluviale de Bouteldja : sa superficie est de l'ordre de 110 km².
- La plaine d'El Asfour : elle forme une cuvette d'une superficie égale à 50 km².
- Les collines : sont développées à la limite des plaines, au niveau des terrasses déprimées. Au Nord-Est de Bouteldja, ces collines sont représentées par le Hadjar Siah et Dj Bourdim avec des altitudes de 175 m, 177 m respectivement. Elles sont dominées par un faciès argilo gréseux numidiens qui forment une limite étanche à la formation sous jacente.

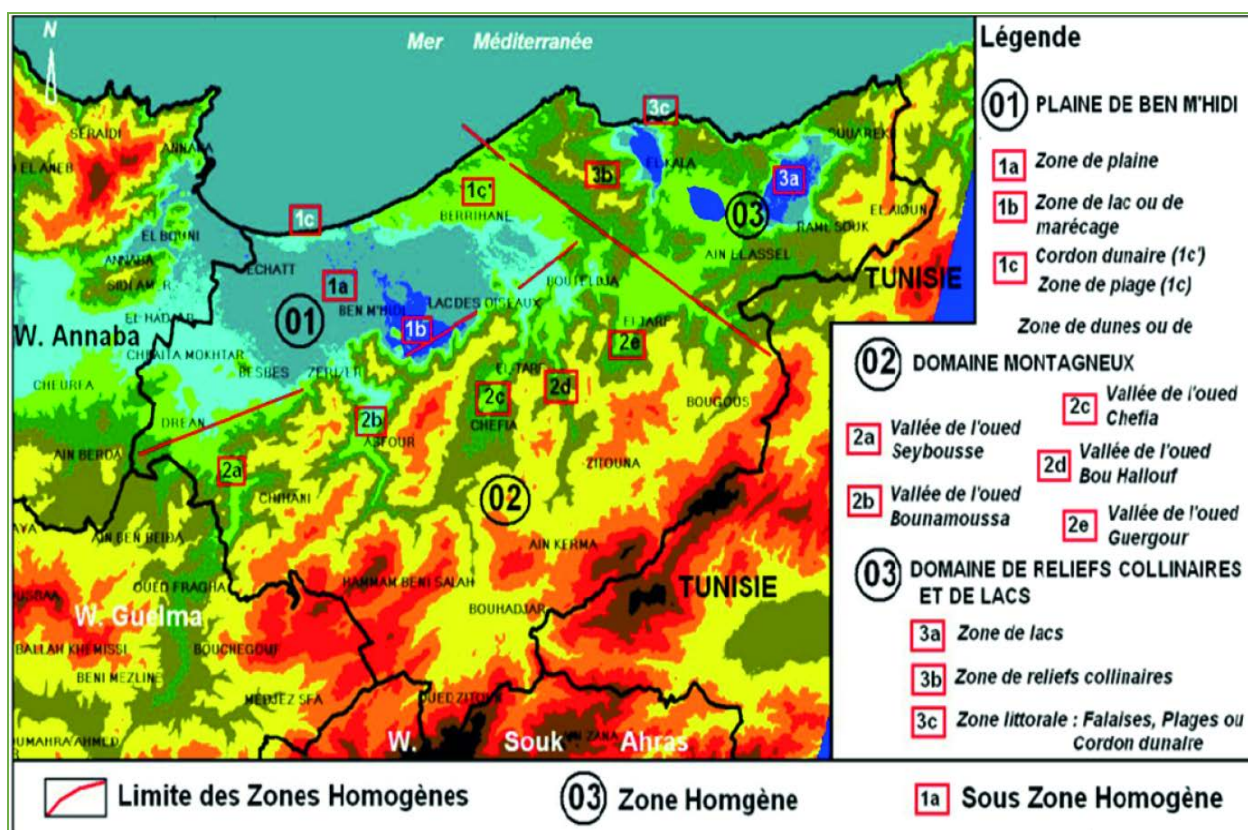


Figure III.3 : Les unités géomorphologiques. (PNE, 2010)

III.1.3/ Le couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle très important dans l'estimation des réserves en eau vue leur influence mécanique directe sur l'écoulement et sur les facteurs climatiques.

Le couvert végétal dans la wilaya d'El Tarf occupe environ 60% du territoire (plan d'aménagement de la wilaya d'El Tarf 2001), cette ressource abrite un potentiel floristique dont l'inventaire compte entre 600 et 700 espèces, soit 63 % de ce patrimoine est représenté par divers peuplements, 37 % restant sont constitués de maquis. Les différentes séries

végétales sont : les séries de chêne Liège, de chêne Zen, de chêne Kermès et de l'Oléolentisque (Fig. III.4).

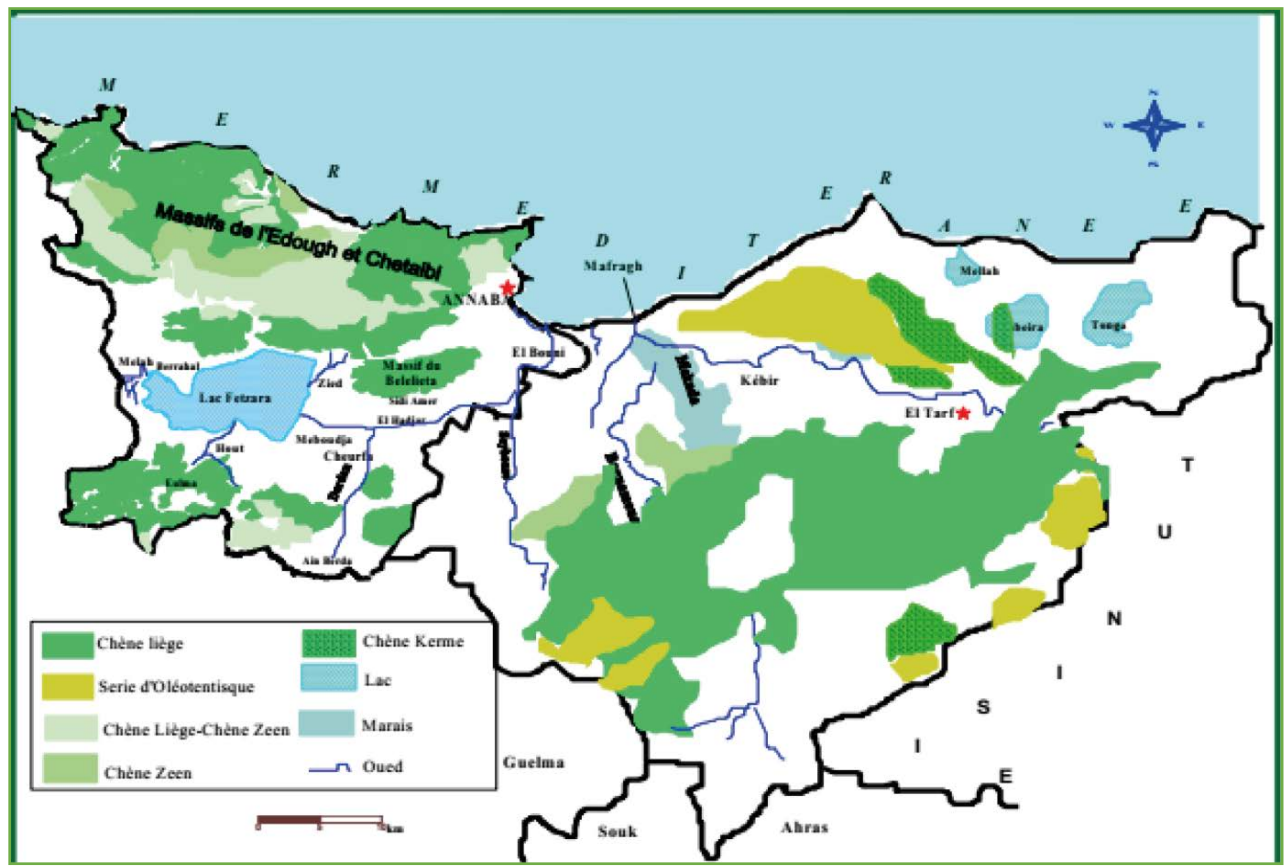


Figure III.4 : Couvert végétal de la région Annaba-El Tarf (Direction des forêts El Tarf)

III.2/ Aperçu géologique

III.2.1-Cadre lithostratigraphique :

III.2.1.1/ Introduction

La région d'Annaba El-Tarf fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord Orientale. Cet ensemble s'étend de la région du Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne. Plusieurs études géologiques (L.Joleaud ,1936, J.Hilly, 1936, J.M.Villa, 1980, J.C.Lahondère,1987), montrent l'existence de deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique (Fig. III.5). Les roches métamorphiques se situent uniquement à l'Ouest de la plaine d'Annaba dans les massifs de l'Edough, Bellelita et Boukhadra et les roches sédimentaires occupent le reste de la région.

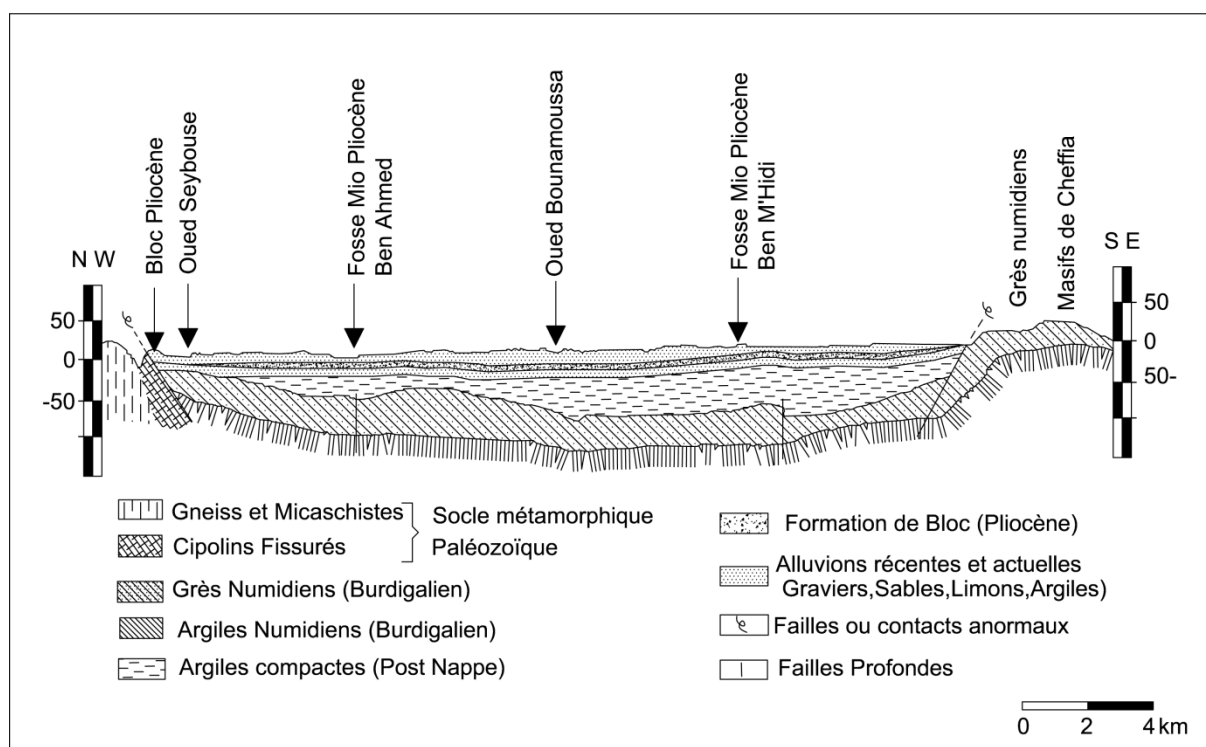


Figure III.5 : Coupe géologique dans l'extrême Nord-est Algérien (modifiée)

L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Paléozoïque au Quaternaire (Fig.III.6) :

III.2.1.2/Le Paléozoïque

Le Paléozoïque affleure à l'Ouest dans les massifs de l'Edough, de Belelieta et de Boukhadra. Il est constitué par des roches cristallophylliennes des gneiss ceinturés par des micaschistes (Hilly, 1962 ; Caby, 1992 ; Ahmed-Said, 1993 (in Hani 2003), on distingue les trois séries superposées suivantes :

- *la série inférieure*, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, cette formation constitue le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;
- *la série intermédiaire*, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'œil nu. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns.
- *la série supérieure*, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes grenats et amphibolites (in Débièche,2002).

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

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

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

III.2.1.3/ Le Mésozoïque :

Le Mésozoïque : affleure en dehors de la région d'étude, dans la partie sud, au niveau de la région de Guelma et Bouchegouf, située de 20 à 50 km au sud de la zone d'étude. Il est constitué par :

- *Le Trias*, formé par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse ;
- *Le Jurassique*, représenté par des dolomies noires et des schistes calcareux ;
- *Le Crétacé* qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes (in Débièche, 2002).

Seul le Crétacé supérieur (Sénonien) est représenté dans la région, il occupe presque la totalité des monts de la Cheffia. Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux. Parfois il s'agit aussi d'un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de microbrèches épais de 5 à 10 cm. Selon la répartition de quelques forages de reconnaissance répartis dans la cuvette de la Cheffia réalisés dans le cadre d'une étude géologique au droit de l'emplacement du barrage et de la galerie d'amenée, ont recoupé ces faciès (in Hani, 2003).

III.2.1.4/ Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque est présenté par une épaisseur importante dans la zone d'étude avec trois systèmes :

- **L'Eocène inférieur** représenté par une série transgressive formée par des calcaires massifs à faciès épi néritique ;
- **L'Oligocène** : comporte des niveaux d'argiles numidiennes rencontrées dans toute la partie Sud de la région d'étude (monts de la Cheffia), au Sud-Est de Bouteldja et dans les djebels Koursi, Bourdim et Oum El-Agareb. Ce faciès argileux, de couleur verdâtre, brunâtre ou bleu sombre, comprend parfois des intercalations de lentilles gréseuses pouvant aller de 1 à 30 cm d'épaisseur. Localement, quartziteux et renfermant parfois de petits nodules de pyrite, l'ensemble des formations peut atteindre plus de 100 m d'épaisseur.

Ces dites argiles, formant la base de la série numidienne, ont été datées de l'Oligocène moyen à supérieur (Lahondère, 1987). Au-dessus de ces formations argileuses viennent se superposer les grès numidiens en position allochtone d'âge aquitanien (in Ramdani, 1996), à grains hétérométriques allant du grain grossier au grain fin. Ces grès, épais de près de 150 m, sont bien représentés au sud de la région d'étude, à l'Est dans le djebel Bourdim et au Nord-est dans le djebel Koursi. Ils ceinturent les formations alluvionnaires et surtout dunaires (Hani, 2003).

- **Le Mio-Pliocène** représenté par les faciès suivants :

- faciès fluviatil ; bien développé dans la plaine d'Annaba, il est formé essentiellement de galets, de sables et d'argiles le long des Oueds ;
 - faciès marin (Plaisancien); caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires ;
 - faciès continental : est lié aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (Sonatrach, 1969 ; Strojexport, 1975) :
- la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N,
 - la fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa, cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts forment une série continentale argilo-sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines d'Annaba -Bouteldja (Hani, 2003).

- **L' Quaternaire** : Les formations dunaires et alluvionnaires d'âge quaternaire constituent la roche réservoir du système aquifère de Annaba-Bouteldja. On y distingue :

- *Quaternaire ancien (hautes terrasses)*: correspond à la nappe superficielle dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers et de conglomérats de petite taille dominant cette formation (Khérici,1993).
- *Quaternaire récent* : correspond à la basse et à la moyenne terrasse.
 - La moyenne terrasse est représentée par des terrasses alluvionnaires des oueds de 20 m, correspond aussi à la terre cultivable (terre, argile, sable).
 - Basse terrasse est formée par des alluvions du niveau des eaux actuelles des oueds. Ces terrasses sont plus limoneuses que sableuses et sont parsemées de marécages.
- *Quaternaire actuel* :
 - Les alluvions sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de

matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

- Le cordon dunaire représenté par un massif constitué essentiellement de sable d'origine marine. Il affleure largement entre le village de Chatt et la ville d'El-Kala . (in Hani, 2003).

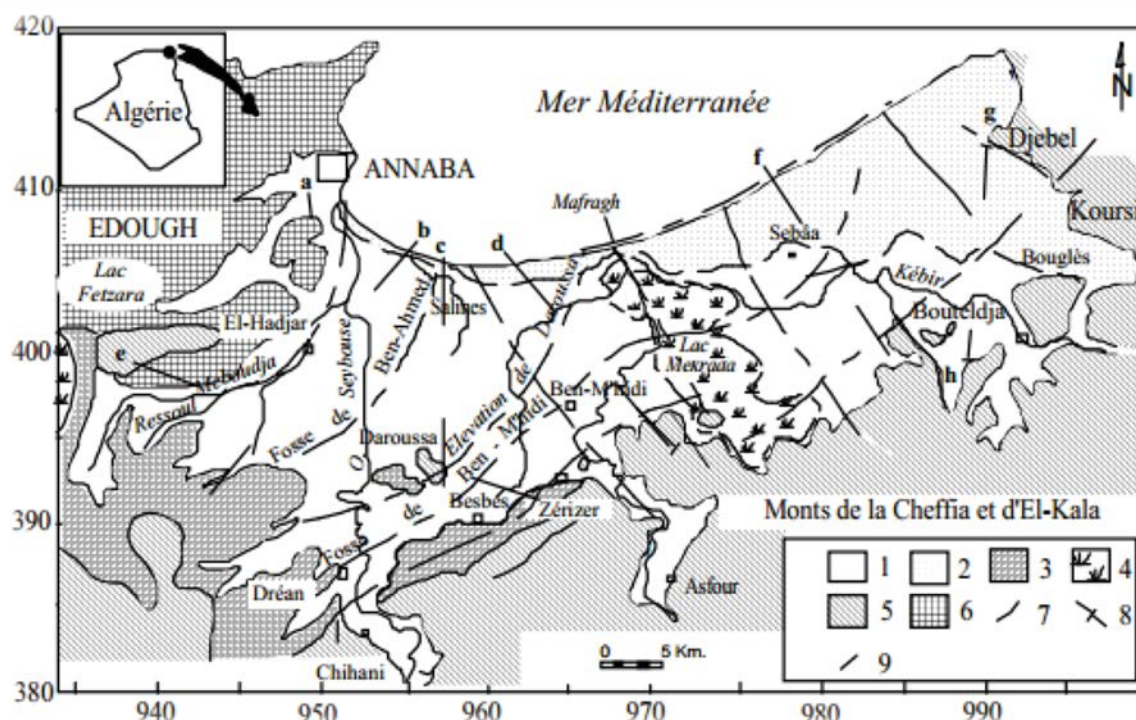


Figure III.6 : Géologie des plaines de la région de Annaba -El-Kala (d'après Strojexport, 1975, modifiée).

Légende : 1 : Alluvions récentes et actuelles ; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac ; 5 : Grés et argile numidiens ; 6 : Formations métamorphiques ; 7 : Faille ; 8 : Axe des fosses ; 9 : Tracé de coupe.

III.2.2/ Caractéristiques physico-chimiques des dunes :

À l'origine les massifs argilo-gréseux numidiens et gneissiques furent intensément érodés. Une grande quantité du matériel détritique fut charriée vers la mer puis dégradée en sable. Les éléments furent ensuite déplacés essentiellement par les vents vers l'intérieur et se répartissent uniformément dans les dépressions formant ainsi un matelas dunaire. Les niveaux d'argile en feuillets provenant directement du massif numidien, s'intercalent dans les niveaux sableux.

À l'état pur, le sable renferme 80 à 90 % de silice provenant de la lapidation des grès numidiens et des formations métamorphiques. C'est ce qui se dégage de la carte géologique et

structurale établie par Vila (1980) qui montre un lambeau du socle de l'Edough au Nord de Bouteldja. Le sable est donc siliceux, fin et le plus souvent mélangé avec des minéraux tels que le quartz irrégulièrement consolidé par du CaCO_3 jaune ou rougeâtre, de tourmaline et de magnétite. Le sable renferme une proportion plus au moins forte d'argile. Il devient très argileux au pied de la chaîne numidienne. La présence de fer oxyde donne au sable sa coloration rouge, brune ou jaune (source de Bouglès), (in Hani, 2003).

Les travaux réalisés dans la région (Khérici, 1985; Ramdani, 1996; Hani, 2003) permettent de distinguer :

- Des sables blancs ou jaunes clairs généralement perméables, situés au centre du massif dunaire,
- Des sables plus perméables que les précédents,
- Des sables dont les grains sont enrobés d'une fine pellicule d'argile et de ce fait moins perméables que les bancs localisés surtout en bordure des reliefs gréseux,
- Des sables rouges, localisés à l'Ouest et au Sud-ouest, plus perméables que les précédents,
- Des vases sablo-limoneuses déposées au fond des marigots de couleur noire en relation avec la décomposition des végétaux.

Les analyses granulométriques effectuées dans le massif dunaire montrent une granulométrie fine à moyenne dont 75 à 85% de grains ont un diamètre de 0.15 à 0.5 mm. Les essais de perméabilité effectués par Soletanche (in Ramdani, 1996) dans la région de Bouglès sur quelques sondages montrent que les sables rouges à fraction argileuse sont caractérisés par une perméabilité de 10^{-6} m/s. Par contre les sables jaunes foncés ont une perméabilité de l'ordre de 10^{-4} m/s et constituent donc un très bon réservoir aquifère (Hani, 2003).

III. 3/Cadre structural

J M Villa (1977) a subdivisé la zone en deux grandes unités structurales :

III. 3.1/Les Monts de la Cheffia : Occupent la partie Sud de la région d'étude, constitués de formations grés-argileuses, on peut les assimiler à une ride tectonique, marquée par les anticlinaux parfois faillés à noyaux argileux.

III. 3.2/ La Plaine d'Annaba : La plaine d'Annaba a subi deux événements tectoniques :

- la première s'est produite durant le Miocène inférieur jusqu'au Miocène supérieur.

Les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grès numidiens (conséquence de la deuxième phase alpine), par la suite, une formation continentale d'âge

plio-quaternaire s'est déclenchée grâce à un remplissage par les matériaux détritiques.

Pendant le miocène inférieur, l'ensemble de la région a été soumise à des phénomènes orogéniques. Un isolement complet du massif de l'Edough, la plaine ainsi, se trouve au centre d'un bassin limité au Nord par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par un anticlinal principal de la chaîne Numidique.

-Un deuxième temps et à partir du pliocène et pendant le quaternaire, un effondrement déclenché des processus de formation et de comblement de la plaine sublittoral, cet effondrement est marqué par l'existence de deux fosses :

- fosses de Ben Ahmed d'orientation, Sud Nord
- fosses de Ben-Mhidi orientée SW-NE

Les dites fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daghoussa. Le remplissage très hétérogène des deux fosses (Joleaud 1936- Gaud 1976- Villa 1980), avec des alternances d'argile, sable et de graviers, est marqué par de brutales variations de faciès dans l'espace et dans le temps, on distingue quatre faciès principaux (Fig. I.7) :

- des marnes de miocène à la base de 150 m d'épaisseur,
- des argiles détritiques plio-quaternaire de 60 m à plus 100 m d'épaisseur,
- des lentilles de graviers et de galets séparées par de fines couches d'argiles recouvertes par des argiles sableuses (0 à 70 m),
- dans le secteur N-E de la région une épaisse couche de sable dunaire se superpose aux formations antérieures.

L'ensemble de ce dispositif est affecté par des failles à forts pendages de direction :

- NE-SW contact par faille entre les oueds Seybouse et Bounamoussa.
- NW-SE la faille de Cap Rosa, les failles de Bouteldja- El Tarf.

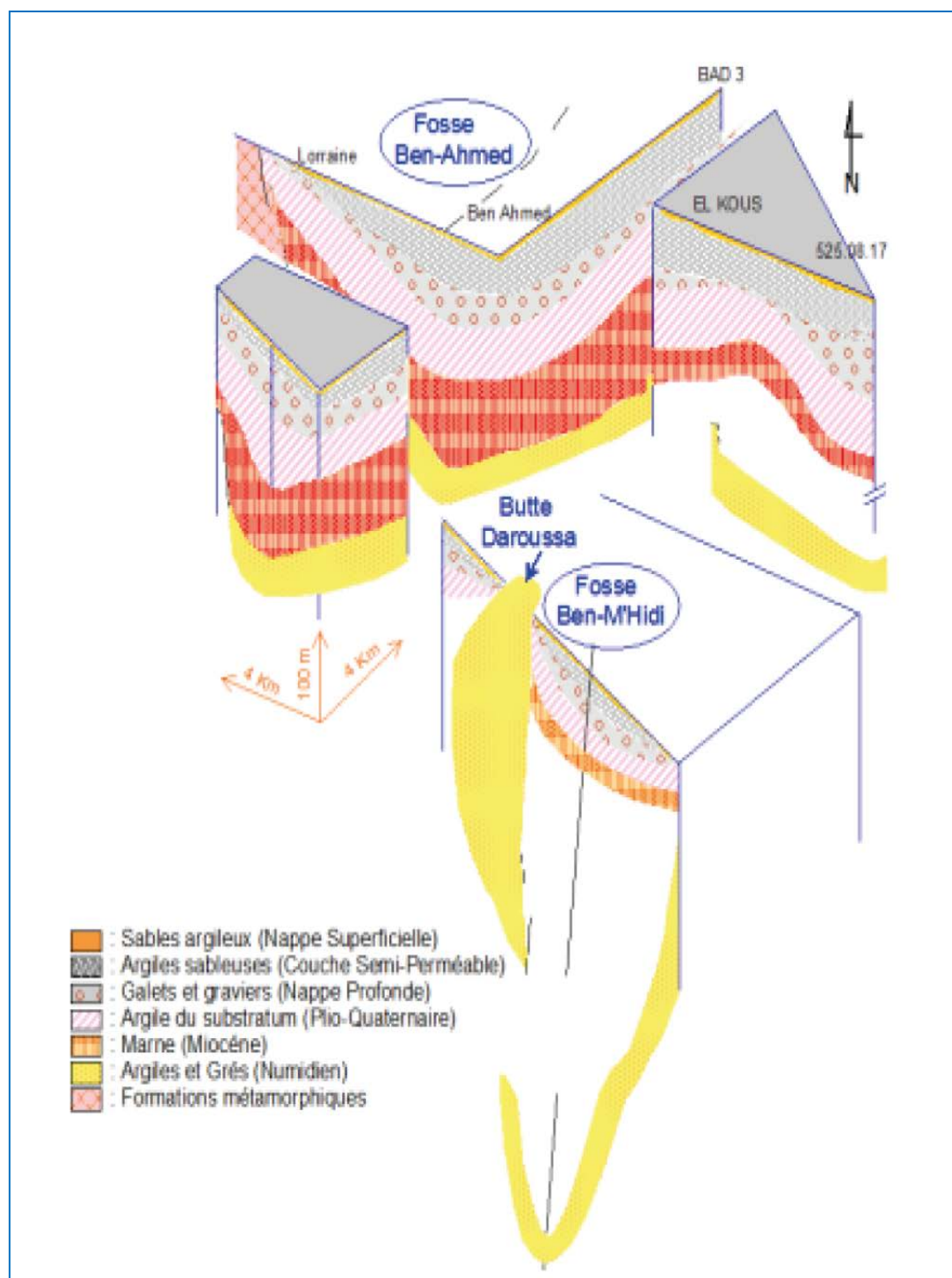


Figure III.7 : Bloc diagramme au travers de la plaine Annaba (Hani, 2003, modifiée)

III.4/Conclusion

La présentation géologique et structurale de la région d'étude fait ressortir les points suivants :

- Le quaternaire occupe une grande étendue de terrains,
- Les plaines de Annaba-Bouteldja sont constituées par des sédiments mio-plio-quaternaires comblant une zone d'effondrement. Les travaux réalisés dans la région ont montré qu'il existait deux fosses séparées par un haut-fond qui porte la butte de Daroussa, à savoir la fosse Ben-Ahmed, orientée S-N et celle de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

Le remplissage des fosses comporte plusieurs horizons aquifères, de lenticulaires à continus sur toute l'étendue des plaines d'Annaba et de Bouteldja.

Chapitre IV :

Caractéristiques hydro- climatologiques de la région Annaba-El Tarf

Chapitre IV : Caractéristiques hydro- climatologiques de la région Annaba-El Tarf

IV.1/Introduction

L'étude hydro climatique est nécessaire pour mieux comprendre les mécanismes d'échange et de circulation des eaux superficielles, ainsi que l'état de réserves des eaux souterraines.

IV.2/ Les facteurs climatiques

Considère 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. Les études faites sur ce climat méditerranéen remontent à 1926, (De.Martonne,(1926) ; Kipper,(1936) ;L.Emberger,(1941) ;W.Thornthwaite, (1948) ;Dubef,(1953) ;Gausсен,(1957).

Notre étude est basée sur les données climatiques de quatre stations: El Kala, Bouteldja, Ain Assel et les Salines (Tab. IV.1). couvrent une période de 20 ans (de 1990 jusqu'à 2010).

Tableau IV.1 : Situations géographiques des stations étudiées.

Stations	X (Km)	Y(Km)	Z (m)	Période d'observations
El Kala			11	1990-1991/2009-2010
Les Salines	955.800	403.802	03	1990-1991/2009-2010
Ain Assel	1005.65	400.05	032	1990-1991/2009-2010
Bouteldja	989.600	400.650	25	1990-1991/2009-2010

IV.2.1/ Les précipitations

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

IV.2.1.1/ Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles sur une période d'observation qui s'étale sur 20 ans (1990- 2010) pour les quatre stations, sont représentées sur l'histogramme (Fig. IV.1). L'histogramme montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre. Le mois le plus pluvieux de l'année et le mois de Décembre avec une moyenne mensuelle de

114,66 mm à El Kala, 118,95 mm aux Salines et 132,5 mm à Ain Assel, tandis que le mois de Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne mensuelle de 2,75 mm à El Kala, 2,99 mm aux Salines, 0,75 mm à Bouteldja et 2,76 à Ain Assel.

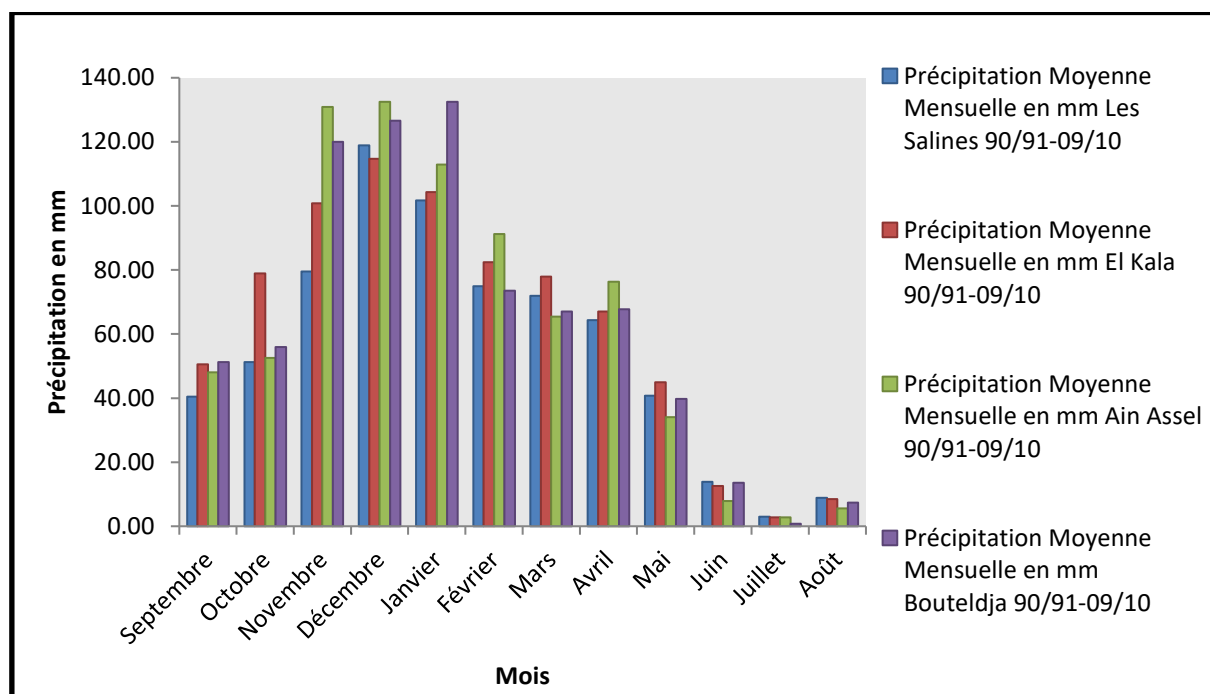


Figure IV.1 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en mm (1990-2010).

IV.2.1.2/ Répartition saisonnière des précipitations :

Il est connu que le taux des précipitations diffère d'une saison à l'autre, pour déterminer les quantités de ce fait nous nous sommes intéressés aux précipitations saisonnières. (Tab. IV.2) (**Automne** (Septembre, Octobre, Novembre). **Hiver** (Décembre, Janvier, Février). **Printemps** (Mars, Avril, Mai). **Été** (Juin, Juillet et Août)

Tableau IV.2: Variation saisonnière des précipitations aux quatre stations (1990-2010)

Période Station	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
El Kala	230,36	30,90	301,36	40,42	189,97	25,48	23,77	3,18
Les Salines	171,2	25,57	295,65	44,15	177	26,43	25,67	3,83
Ain Assel	231,44	30,44	336,59	44,28	175,79	23,12	16,27	2,14
Bouteldja	227,12	30,04	332,51	43,99	174,54	23,09	21,68	2,86

L'analyse du tableau IV.2, définit une saison hivernale la plus pluvieuse avec 301,36 mm, 295,65 mm, 336,59 mm, 332,51 mm, soit 40,42%, 44,15%, 44,28% et 43,99% du total annuel respectivement pour les quatre stations. La saison estivale est la moins pluvieuse par apport aux autres saisons, elle est de l'ordre de 3,83% aux Salines, 3,18% à El Kala, 2,86% à Bouteldja et 2,14% à Ain Assel de la totalité des pluies (Figure. IV.2).

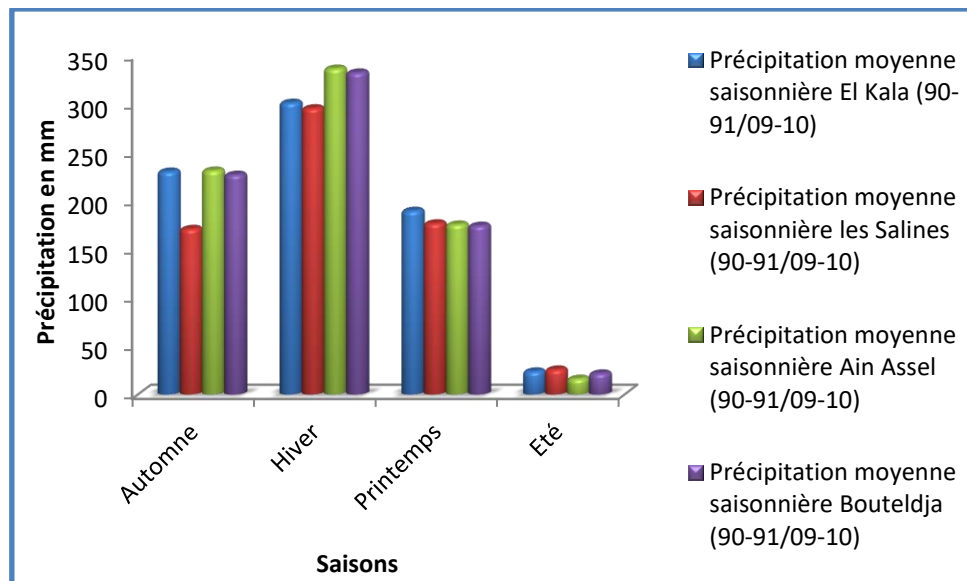


Figure IV.2 Précipitation moyenne saisonnière des quatre stations (90/91-09/10).

IV.2.1.3/ Le quotient pluviométrique

Le quotient pluviométrique est le rapport de la hauteur des précipitations des saisons les plus pluvieuses sur celles des saisons les plus sèches. Les valeurs du quotient pluviométrique aux quatre stations à différentes périodes sont résumées dans le [Tableau. IV.3](#).

Tableau. IV.3 : Quotient pluviométrique pour les quatre stations (90/91-09/10).

Station	Quotient Pluviométrique
El Kala	2,48
Les Salines	2,40
Ain Assel	2,95
Bouteldja	2,85

IV.2.2/ La température

La température constitue l'un des facteurs climatiques les plus importants dans l'estimation et le calcul de l'évaporation et l'évapotranspiration afin d'établir le bilan hydrique. Le tableau IV.4 illustre les valeurs des températures moyennes mensuelles (T_{moy}) en °C pour les quatre stations et la figure IV.3 montre la représentation graphique des températures moyennes mensuelles.

Tableau. IV.4 : Températures moyennes mensuelles en °C pour les quatre stations (1990-2010).

Mois Station	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	T Moy Annuelle
El Kala	24,16	20,97	16,7	12,55	12,36	12,39	13,78	15,61	18,83	22,19	25,57	26,21	18,44
Les Salines	23,42	20,22	15,77	12,4	11,35	11,64	13,06	15,23	18,35	22,44	24,54	25,77	17,84
Ain Assel	23,30	19,70	15,39	12,31	10,74	11,19	13,15	14,98	18,32	21,89	24,48	25,66	17,59
Bouteldja	23,34	20,17	15,34	12,25	10,74	11,17	13,17	15,14	18,61	22,05	24,84	25,91	17,72

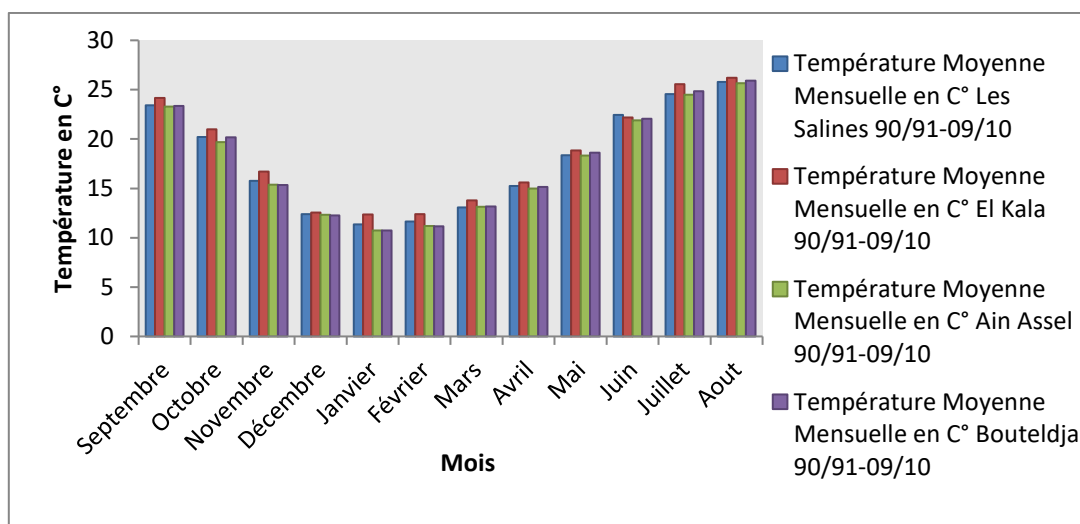


Figure. IV.3 : Variation des températures moyennes mensuelles des quatre stations pour la période (1990-2010)

Il en résulte que, la température minimale s'enregistre au mois de Janvier avec une valeur de l'ordre de 12,36 °C, 11,35 °C, 10,74 °C et pour les stations d'El Kala, des salines, d'Ain Assel et de Bouteldja respectivement.

- La température maximale est atteinte au mois d'Août avec une valeur de 26,21°C pour la station d'El Kala, 25,77°C pour la station des salines, 25,91°C pour la station de Bouteldja et 25,66°C à Ain Assel.

IV.2.3/ L'humidité relative

L'humidité relative de l'aire montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de la vapeur réelle observée à la tension de la vapeur saturante à la même température. Ce paramètre intervient comme coefficient de correction de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50 % ; le [Tableau. IV.5](#), montre seulement les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air pour les stations météorologiques El Kala et Les Salines pour une période de 20 ans (90/91-09/10).

Tableau. IV.5 Moyenne mensuelle et annuelle de l'humidité relative en %, pour les deux stations (1990-2010).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août
El Kala	70,32	68,07	69,26	72,36	74,13	73,51	73,20	70,98	70,49	69,34	67,24	67,57
Les Salines	72,85	74,94	75,48	77,85	79,58	77,49	74,66	75,07	75,45	73,45	71,75	71,93

Les valeurs moyennes de l'humidité fluctuent autour de 70 % à El Kala et 75 % aux Salines.

IV.2.4/Le vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluviaux, de l'évapotranspiration et à un degré moindre des températures. Le Nord Est Algérien, est dominé par des vents de direction Nord à Sud-Ouest avec une dominante secondaire de secteur Nord à Nord-Est. Selon les données des stations météorologiques d'El Kala et les Salines pour une période de 18 ans (84/85-01/02) ([Tab.IV.6](#)), la vitesse moyenne est de l'ordre de 2,18m/s et 3,73 m/s respectivement.

Tableau. IV.6 : Vitesses des vents moyennes mensuelles et annuelles pour les deux stations (84/85-01/02).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Vitesse des Vents Moyenne Annuelle
El ElKala	2,20	2,08	2,35	2,32	2,32	2,54	2,41	2,24	2,18	1,90	1,81	1,83	2,18 m/s
Les Salines	3,65	3,33	3,46	3,91	3,65	3,81	3,85	3,92	3,68	3,76	3,99	3,76	3,73 m/s

IV.3/ Caractérisation du climat

IV.3.1/ L'indice d'Emmanuel De Martonne

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une faiblesse des précipitations annuelles et un fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Etant un concept climatique à référence spatiale, l'aridité est différente de la sécheresse, qui est un concept météorologique à référence temporelle.

L'indice d'aridité d'Emmanuel De Martonne (1923), est un indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, selon l'équation suivante :

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

Avec :

I_A : indice d'aridité annuel.

P : les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (mm),

T : les températures moyennes annuelles (°C).

10 : constante, utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 °C.

Cet indice fait ressortir la classification des climats (Tab. IV.7).

Tableau IV.7: classification des climats selon l'indice de De Martonne

Indice d'aridité	Type de climat
$I_A > 30$	climat humide
$20 < I_A < 30$	climat tempéré – semi humide
$10 < I_A < 20$	climat semi-aride.
$7.5 < I_A < 10$	climat steppique.
$05 < I_A < 7.5$	climat désertique
$I_A < 05$	climat hyperaride.

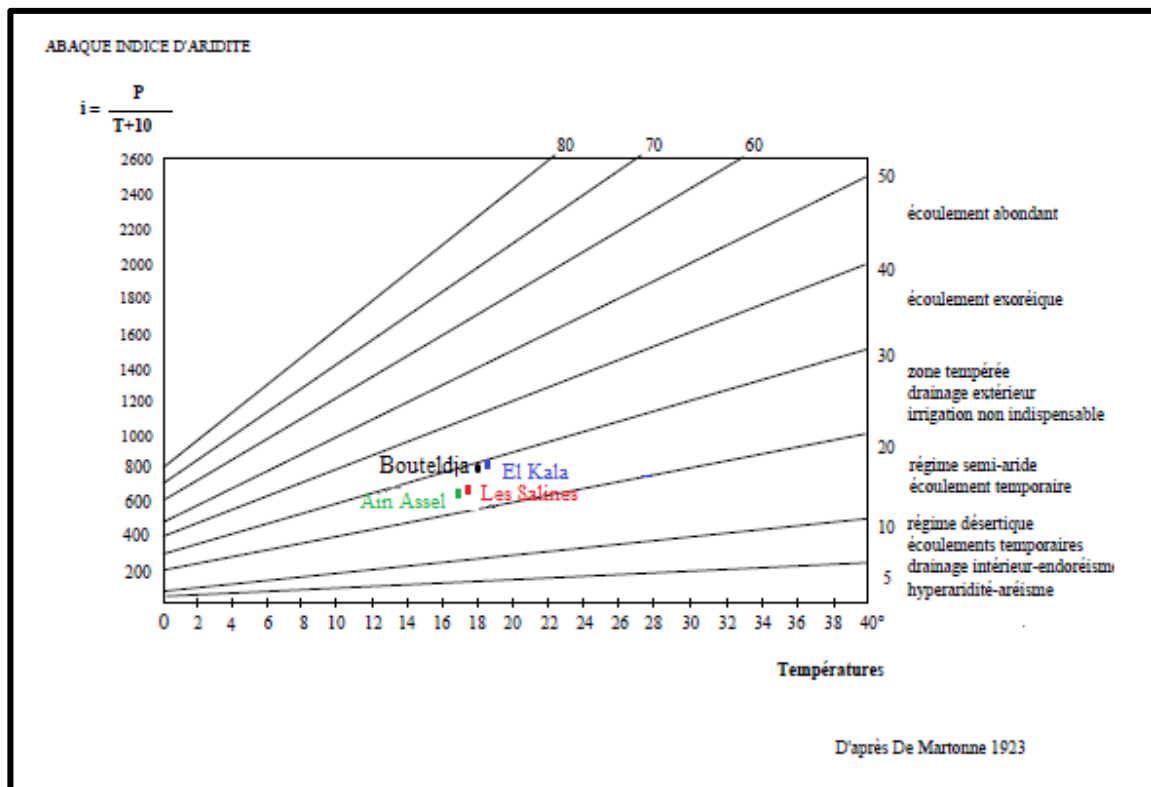


Figure. IV.4 : classification du climat de la région Annaba El Tarf selon l'indice de De Martonne

Pour la région Annaba El Tarf et pour les quatre stations (Tab. IV.8), la tendance générale est au climat tempéré (Fig. IV.4).

Tableau. IV.8 : Indice d'aridité des quatre stations (90/91-09/10).

Station	Indice d'aridité
El Kala	26,21
Les Salines	24,04
Ain Assel	24,06
Bouteldja	27,26

IV.3.2/ Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique selon (Bagnouls et Gaussen, 1953) est établi en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles (avec $P = 2T$), pour déterminer les périodes sèches et humides.

La période de sécheresse apparaît lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de celle des températures (Bagnouls et Gaussen, 1953). La représentation graphique du diagramme ombrothermique des quatre stations (Fig. IV.5 (1, 2, 3,4), nous montre que la période sèche dans la région d'étude s'étale du mois de Mai jusqu' au mois de Septembre alors que la période humide domine le reste de l'année.

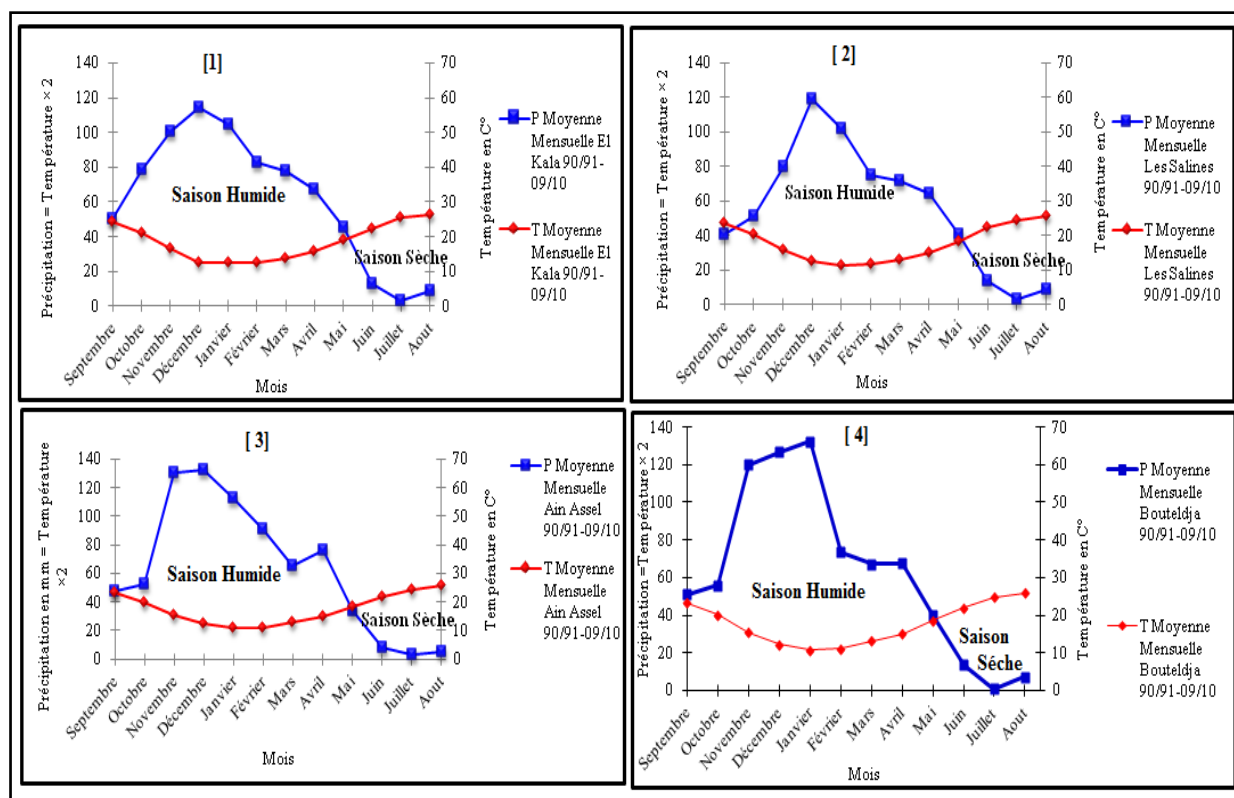


Figure. IV.5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1990- 2010) pour les stations : [1] : El Kala - [2] : Les Salines - [3] : Ain Assel - [4] : Bouteldja

IV.4/ Le bilan hydrologique

Le bilan hydrologique a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration).

IV.4.1/ L'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. La précision avec laquelle elle est estimée est essentielle pour le calcul du bilan d'eau, du calcul de l'irrigation, de la gestion des ressources hydrique et le dimensionnement des ouvrages d'aménagement.

L'évapotranspiration peut être réelle (ET R) (Hallaire, 1959, Scheoller, 1962) dite aussi "évapotranspiration réduite" ou effective (Lambert, 1996) ou potentielle (ETP) en fonction du pouvoir évaporateur de l'atmosphère (Coutagne, 1954 ; Serra, 1954, Scheoller, 1962).

Pour l'estimation de l'évapotranspiration, on a utilisé plusieurs formules empiriques et méthode de bilan.

IV.4.1.1/ Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on a appliqué les formules de THORNTHWAITE (1955) et de SERRA.

IV.4.1.1.1/Formule de C.W Thornthwaite

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

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

Avec

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ où } i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \text{ et } a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne annuelle en °C.

t : Température moyenne mensuelle en °C.

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

k: Facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

Les résultats obtenus par l'application de cette formule pour les quatre stations (90/91-09/10) sont résumés dans le [Tableau. IV.9](#):

Tableau. IV.9 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.

Stations	Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jui	A
El Kala	T en °C	24,16	20,97	16,7	12,6	12,36	12,4	13,8	15,61	18,83	22,19	25,57	26,21
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,86	8,76	6,21	4,03	3,94	3,95	4,64	5,60	7,45	9,55	11,83	12,28
	ETP en mm	111,88	80,28	45,97	25,02	26,10	25,61	38,07	51,65	81,45	112,55	150,19	147,33
Les Salines	T en °C	23,42	20,22	15,77	12,4	11,35	11,6	13,1	15,23	18,35	22,44	24,54	25,77
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,36	8,29	5,69	3,96	3,46	3,59	4,28	5,40	7,16	9,71	11,12	11,97
	ETP en mm	107,48	77,13	43,18	26,07	23,77	24,33	36,48	51,78	80,41	117,63	141,08	144,47
Ain Assel	T en °C	23,3	19,7	15,39	12,3	10,74	11,2	13,2	14,98	18,32	21,89	24,48	25,66
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,28	7,97	5,49	3,91	3,18	3,39	4,32	5,27	7,14	9,35	11,08	11,90
	ETP en mm	108,32	75,03	42,34	26,50	22,17	23,36	38,03	51,54	81,95	114,45	142,74	145,55
Bouteldja	T en °C	23,34	20,17	15,34	12,25	10,74	11,17	13,17	15,14	18,61	22,05	24,84	25,91
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,31	8,26	5,46	3,88	3,18	3,38	4,33	5,35	7,31	9,45	11,32	12,07
	ETP en mm	108,43	77,95	41,65	25,87	21,79	22,89	37,62	52,00	83,78	115,61	146,48	148,15

IV.4.1.1.2/ Formule de SERRA

SERRA propose d'évaluer l'ETP à partir de la formule suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a K I = \sum_{I=1}^{12} i \quad \text{où } i = 0,09T^{3/2} \text{ et } a = 1,6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0,5$$

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne annuelle en °C.

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

Les résultats obtenus par l'application de la formule de SERRA pour les quatre stations (90/91-09/10) sont regroupés dans le [Tableau. IV.10](#) :

Tableau. IV.10 : Evapotranspiration potentielle (méthode de SERRA).

Stations	Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jui	A
El Kala	T en °C	24,16	20,97	16,7	12,55	12,36	12,39	13,78	15,61	18,83	22,19	25,57	26,21
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,69	8,64	6,14	4,00	3,91	3,93	4,60	5,55	7,35	9,41	11,64	12,08
	ETP en mm	112,43	80,91	46,54	25,47	26,58	26,09	38,69	52,36	82,26	113,30	150,76	147,82
Les Salines	T en °C	23,42	20,22	15,77	12,4	11,35	11,64	13,06	15,23	18,35	22,44	24,54	25,77
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,20	8,18	5,64	3,93	3,44	3,57	4,25	5,35	7,07	9,57	10,94	11,77
	ETP en mm	108,92	78,28	43,93	26,58	24,26	24,83	37,19	52,70	81,68	119,25	142,89	146,26
Ain Assel	T en °C	23,3	19,7	15,39	12,31	10,74	11,19	13,15	14,98	18,32	21,89	24,48	25,66
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,12	7,87	5,43	3,89	3,17	3,37	4,29	5,22	7,06	9,22	10,90	11,70
	ETP en mm	109,69	76,11	43,05	27,01	22,63	23,82	38,73	52,43	83,19	115,97	144,48	147,25
Bouteldja	T en °C	23,34	20,17	15,34	12,25	10,74	11,17	13,17	15,14	18,61	22,05	24,84	25,91
	K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
	i	10,15	8,15	5,41	3,86	3,17	3,36	4,30	5,30	7,23	9,32	11,14	11,87
	ETP en mm	108,67	78,36	42,10	26,27	22,18	23,29	38,14	52,57	84,36	116,02	146,65	148,19

IV.4.1.2/ Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

IV.4.1.2.1/ Formule de L .Turc 1954

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

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

L : Pouvoir évaporant de l'atmosphère. $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

T : Température moyenne annuelle en °C.

Les résultats obtenus sont consignés dans le [Tableau. IV.11](#).

Tableau. IV.11 : Les valeurs de l'ETR par la formule de Turc.

Stations	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
El Kala	745,43	18,45	1075,27	634,41
Les Salines	669,53	17,85	1030,62	582,23
Ain Assel	760,09	17,59	1011,87	628,13
Bouteldja	755,86	17,72	1021,20	628,17

IV.4.1.2.2/ Formule de M Coutagne qui s'écrit de la manière suivante :

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

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

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en m.

T : Température moyenne annuelle en °C.

L'application de formule est conditionnée par la relation suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Les résultats obtenus sont consignés dans [le Tableau. IV.12.](#)

Tableau. IV.12 : Les valeurs de l'ETR par la formule de M Coutagne.

Stations	P (mm)	T (°C)	λ	$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$	ETR (mm)
El Kala	745,43	18,45	0,29	0,431 < 0,745 < 1,724	584,28
Les Salines	669,53	17,85	0,30	0,416 < 0,669 < 1,666	535,04
Ain Assel	760,09	17,59	0,30	0,416 < 0,760 < 1,666	586,76
Bouteldja	755,86	17,72	0,30	0,416 < 0,755 < 1,666	583,99

IV.4.1.3/ Estimation du déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT.

Cette méthode permet d'obtenir à partir d'un diagramme (diagramme de WUNDT) le déficit d'écoulement en fonction de la température et des précipitations.

$$D = 210 + 30T$$

Avec :

D : Déficit d'écoulement en mm/an.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Le Tableau IV.13 et la figure IV.6, illustrent le déficit d'écoulement (D) pour les quatre stations.

Tableau. IV.13 : Les valeurs du Déficit d'écoulement (D) par la formule de WUNDT.

Stations	T (°C)	D (mm/an)
El Kala	18,45	763,5
Les Salines	17,85	745,5
Ain Assel	17,59	737,7
Bouteldja	17,72	741,6

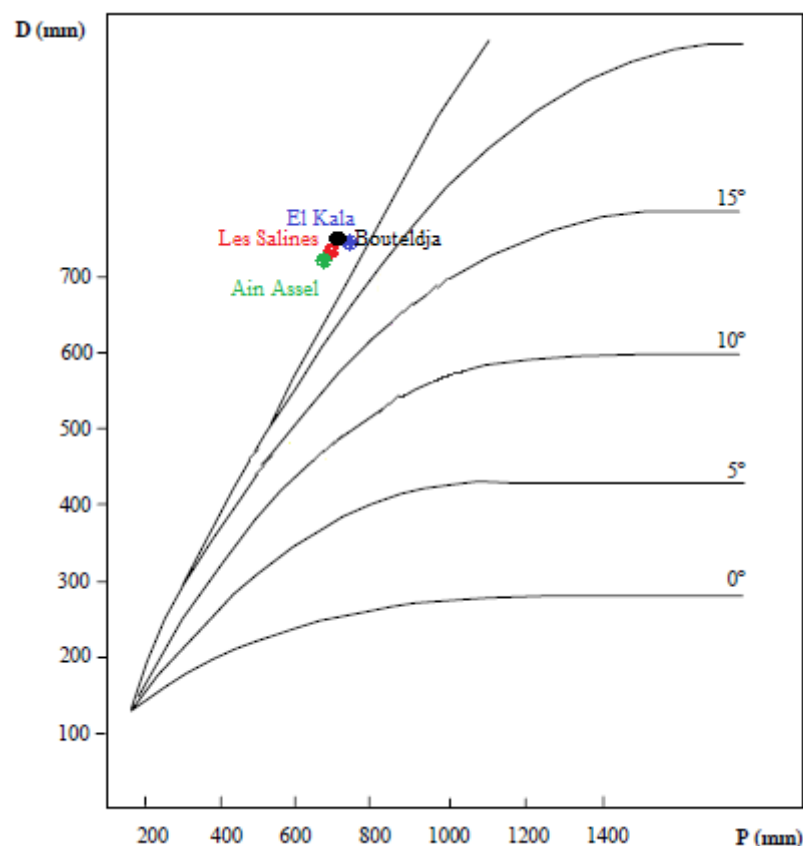


Figure. IV.6 : Représentation du déficit d'écoulement des quatre stations sur le Diagramme de WUNDT.

IV.4.2/ Le calcul du bilan hydrique par Méthode de THORNTHWAITE

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi aride, ce qui convient à la région d'étude, vu les caractéristiques de son climat. Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU).

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU maximal (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). Pour notre cas on prend RFU= 100 mm.

L'établissement du bilan d'eau d'une région nécessite l'évaluation de la répartition des précipitations entre les composantes suivantes :

- L'écoulement.
- L'infiltration.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR).

L'application de la méthode de Thornthwaite pour les quatre stations, à savoir El Kala, les Salines, Bouteldja et Ain Assel, pour une période de 20 ans (1990-2010), a donné les résultats qui sont consignés dans les tableaux IV.14, IV.15, IV.16, IV.17.

Tableau. IV.14 : Bilan hydrique par la méthode de C. W Thornthwaite pour la station d'El Kala (90/91-09/10)

Paramètre Mois	T	i	K	ETP _c	P	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24,16	10,9	1,03	112,5	50,57	-61,9	-0,6	0,0	0,0	50,6	61,9	0,0
O	20,97	8,8	0,97	80,7	78,98	-1,7	0,0	0,0	0,0	79,0	1,7	0,0
N	16,7	6,2	0,86	46,1	100,81	54,7	1,2	54,7	54,7	46,1	0,0	0,0
D	12,55	4,0	0,81	25,1	114,66	89,6	3,6	45,3	100,0	25,1	0,0	44,3
J	12,36	3,9	0,87	26,1	104,31	78,2	3,0	0,0	100,0	26,1	0,0	78,2
F	12,39	4,0	0,85	25,7	82,39	56,7	2,2	0,0	100,0	25,7	0,0	56,7
M	13,78	4,6	1,03	38,2	77,93	39,8	1,0	0,0	100,0	38,2	0,0	39,8
A	15,61	5,6	1,10	51,8	67,06	15,2	0,3	0,0	100,0	51,8	0,0	15,2
M	18,83	7,4	1,21	81,8	44,98	-36,8	-0,5	-36,8	63,2	81,8	0,0	0,0
J	22,19	9,5	1,22	113,1	12,57	-100,6	-0,9	-63,2	0,0	75,8	37,4	0,0
J	25,57	11,8	1,24	151,1	2,75	-148,3	-1,0	0,0	0,0	2,8	148,3	0,0
A	26,21	12,3	1,16	148,2	8,45	-139,8	-0,9	0,0	0,0	8,5	139,8	0,0
Annuel	18,4	89,1		900,4	745,5	-154,9				511,3	389,1	234,2

Tableau. IV.15: Bilan hydrique par la méthode de C. W Thornthwaite pour la station des Salines (90/91-09/10).

Paramètre Mois	T	i	K	ETP _c	P	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,42	10,4	1,03	108,6	40,47	-68,1	-0,6	0,0	0,0	40,5	68,1	0,0
O	20,22	8,3	0,97	77,8	51,23	-26,6	-0,3	0,0	0,0	51,2	26,6	0,0
N	15,77	5,7	0,86	43,4	79,55	36,1	0,8	36,1	36,1	43,4	0,0	0,0
D	12,4	4,0	0,81	26,2	118,95	92,8	3,5	63,9	100,0	26,2	0,0	28,9
J	11,35	3,5	0,87	23,8	101,75	77,9	3,3	0,0	100,0	23,8	0,0	77,9
F	11,64	3,6	0,85	24,4	74,95	50,5	2,1	0,0	100,0	24,4	0,0	50,5
M	13,06	4,3	1,03	36,6	71,89	35,3	1,0	0,0	100,0	36,6	0,0	35,3
A	15,23	5,4	1,10	52,1	64,32	12,2	0,2	0,0	100,0	52,1	0,0	12,2
M	18,35	7,2	1,21	81,0	40,79	-40,2	-0,5	-40,2	59,8	81,0	0,0	0,0
J	22,44	9,7	1,22	118,8	13,83	-104,9	-0,9	-59,8	0,0	73,6	45,2	0,0
J	24,54	11,1	1,24	142,6	2,99	-139,6	-1,0	0,0	0,0	3,0	139,6	0,0
A	25,77	12,0	1,16	146,1	8,85	-137,2	-0,9	0,0	0,0	8,9	137,2	0,0
Annuel	17,8	85,0		881,3	669,6	-211,8				464,7	416,6	204,8

Tableau. IV.16 : Bilan hydrique par la méthode de C. W Thornthwaite pour la station d'Ain Assel (90/91-09/10).

Paramètre Mois	T	i	K	ETP _c	P	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,3	10,3	1,03	108,6	48,04	-60,5	-0,6	0,0	0,0	48,0	60,5	0,0
O	19,7	8,0	0,97	75,2	52,51	-22,7	-0,3	0,0	0,0	52,5	22,7	0,0
N	15,39	5,5	0,86	42,4	130,89	88,5	2,1	88,5	88,5	42,4	0,0	0,0
D	12,31	3,9	0,81	26,5	132,5	106,0	4,0	11,5	100,0	26,5	0,0	94,5
J	10,74	3,2	0,87	22,2	112,91	90,7	4,1	0,0	100,0	22,2	0,0	90,7
F	11,19	3,4	0,85	23,4	91,18	67,8	2,9	0,0	100,0	23,4	0,0	67,8
M	13,15	4,3	1,03	38,1	65,39	27,3	0,7	0,0	100,0	38,1	0,0	27,3
A	14,98	5,3	1,10	51,6	76,3	24,7	0,5	0,0	100,0	51,6	0,0	24,7
M	18,32	7,1	1,21	82,1	34,1	-48,0	-0,6	-48,0	52,0	82,1	0,0	0,0
J	21,89	9,4	1,22	114,7	7,9	-106,8	-0,9	-52,0	0,0	59,9	54,8	0,0
J	24,48	11,1	1,24	143,1	2,76	-140,3	-1,0	0,0	0,0	2,8	140,3	0,0
A	25,66	11,9	1,16	145,9	5,61	-140,3	-1,0	0,0	0,0	5,6	140,3	0,0
Annuel	17,6	83,3		873,8	760,1	-113,7				455,1	418,7	305,0

Tableau. IV.17 : Bilan hydrique par la méthode de C. W Thornthwaite pour la station de Bouteldja (90/91-09/10).

	T	i	K	ETP _c	P	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23,34	10,3	1,03	108,3	51,23	-57,1	-0,5	0,0	0,0	51,2	57,1	0,0
O	20,17	8,3	0,97	77,9	55,9	-22,0	-0,3	0,0	0,0	55,9	22,0	0,0
N	15,34	5,5	0,86	41,6	120	78,4	1,9	78,4	78,4	41,6	0,0	0,0
D	12,25	3,9	0,81	25,9	126,55	100,7	3,9	21,6	100,0	25,9	0,0	79,1
J	10,74	3,2	0,87	21,8	132,44	110,7	5,1	0,0	100,0	21,8	0,0	110,7
F	11,17	3,4	0,85	22,9	73,53	50,7	2,2	0,0	100,0	22,9	0,0	50,7
M	13,17	4,3	1,03	37,6	67,07	29,5	0,8	0,0	100,0	37,6	0,0	29,5
A	15,14	5,4	1,10	51,9	67,73	15,8	0,3	0,0	100,0	51,9	0,0	15,8
M	18,61	7,3	1,21	83,7	39,74	-43,9	-0,5	-43,9	56,1	83,7	0,0	0,0
J	22,05	9,5	1,22	115,5	13,54	-101,9	-0,9	-56,1	0,0	69,6	45,9	0,0
J	24,84	11,3	1,24	146,3	0,75	-145,5	-1,0	0,0	0,0	0,8	145,5	0,0
A	25,91	12,1	1,16	147,9	7,4	-140,5	-0,9	0,0	0,0	7,4	140,5	0,0
Annuel	17,7	84,3		881,2	755,9	-125,3				470,2	411,0	285,7

L'établissement des bilans hydrologiques, montrent que la réserve en eau dans le RFU dans les quatre stations, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum (100 mm) à partir du mois de décembre jusqu'à mois d'avril. A partir du mois de mai la réserve commence à s'épuiser, il devient nulle au mois de juin où traduit un déficit agricole. Au mois de Juillet le déficit est maximal, il est de l'ordre de 148,3 mm pour la station d'El Kala, 139,6 mm pour les Salines, 145,5 mm pour Bouteldja et 140,3 mm pour Ain Assel.

La représentation graphique (Fig. IV.7 (1, 2, 3,4)), illustre le bilan hydrologique de Thornthwaite dans les stations El Kala, les Salines, Ain Assel et Bouteldja respectivement.

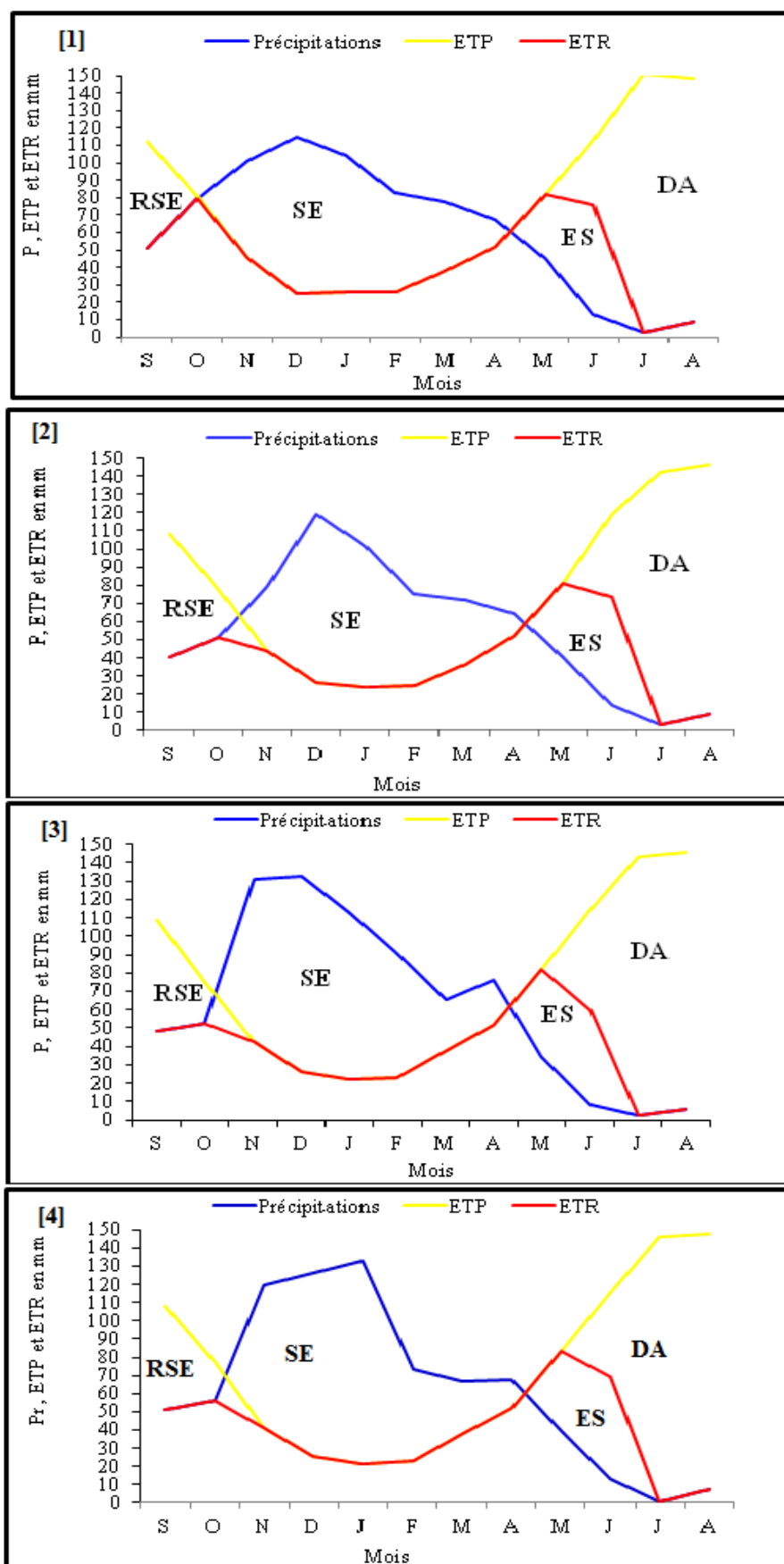


Figure IV.7: Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite dans les stations : [1] El Kala – [2] Les Salines – [3] Ain Assel – [4] Bouteldja. (1990-2010)

Le tableau IV.18, montre les différentes valeurs de l'évapotranspiration (réelle et potentielle) obtenues par les différentes méthodes (Thornthwaite, Serra, Turc, Coutagne). Les valeurs sont assez proches.

Tableau. IV.18 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes.

Paramètre	Méthode	El Kala	Les Salines	Ain Assel	Bouteldja
ETP (mm)	THORNTHWAITE	896,11	873,82	871,98	822,22
	SERRA	903,20	886,77	884,35	886,80
ETR (mm)	TURC	634,41	582,23	628,13	628,17
	COUTAGNE	584,28	535,04	586,76	583,99
	THORNTHWAITE	511,3	464,7	455,1	470,20

IV.4.3/ Le ruissellement de surface

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 TIXRONT-BERKALOF

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad \text{pour } p < 600 \text{ mm}$$

Cette formule a été modifiée par ROMANTCHOUK (1974), s'écrit :

$$R = \frac{P^3}{3} \quad \text{pour } P > 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : lame d'eau Ruisselée en (m).

P : Précipitation moyenne annuelle en (m).

ETP : Évapotranspiration potentielle en (m).

Les résultats de ruissellement calculé à partir de la formule de ROMANTCHOUK (car $P > 600$ mm), sont représentées dans le Tableau. IV.19 :

Tableau. IV.19 : Les valeurs du ruissellement dans les stations étudiées

Station	P (m)	R (m)	R (%)
El Kala	0,74543	0,13807	17,44
Les Salines	0,66953	0,10004	14,94
Ain Assel	0,76009	0,14637	19,25
Bouteldja	0,75586	0,14394	19,04

IV.4.4/ Estimation de l'infiltration

L'infiltration est la quantité qui pénètre dans le sol pour alimenter les nappes aquifères. Elle dépend de plusieurs facteurs :

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

L'infiltration peut être calculée par l'équation du bilan globale :

$$P = ETR + R + I$$

Donc :

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

Avec :

ETR : Évapotranspiration réelle en (mm)

I : Infiltration en (mm).

R : Ruissellement de surface (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle 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 (Tab. IV.20), permet de remarquer que le pourcentage de l'ETR est supérieur par rapport à ceux du ruissellement et de l'infiltration.

Tableau. IV.20 : Estimation de l'infiltration (mm) par la méthode de Thornthwaite.

Paramètres Stations	P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)	R (mm)	R (%)	I (mm)	I (%)
El Kala	745,43	511,3	68,59	130,07	17,44	104,06	13,95
Les Salines	669,53	464,7	69,40	100,04	14,94	104,79	15,65
Ain Assel	760,09	455,1	59,87	146,37	19,25	158,62	20,86
Bouteldja	755,86	470,2	62,21	143,94	19,04	141,72	18,75

VI.5/ Hydrologie

VI.5.1/ Introduction

Les deux grands bassins versants de la région Annaba-El Tarf sont drainés par les deux principaux Oueds, la Seybouse et la Mafragh (Fig. IV.8, Tab.IV.21).

La Seybouse résulte de la jonction des oueds, Bouhamdène et Cherf dans la région de Medjaz Amar (W Guelma), il traverse la wilaya d'El Tarf dans sa partie Ouest et pénètre dans la plaine d'Annaba pour rejoindre la Mer Méditerranée.

La Mafragh, formé de la conjonction des oueds Kébir-Est et Bounamoussa, qui convergent le marais d'El Mekhedda et rejoignent la mer par un exutoire unique. Les affluents du Kébir-Est, tout comme l'oued Bounamoussa, naissent dans les montagnes gréseuses (grès numidiens) boisées et très fortement arrosées (Mebarki. A, 2010).

Le barrage de Cheffia, sur la haute vallée de la Bounamoussa et le barrage de Mexa, sur le Kébir-Est régularisent le débit de ces oueds.

**Tableau, IV .21: les données morpho métriques des deux bassins versant
(le Kébir-Est et la Seybouse)**

Paramètre	Oued Seybouse	Oued Kébir-Est
Superficie du bassin versant(Km ²)	6475	668
Périmètre (Km)	433	124
Indice de compacité	1,75	1,34
Longueur de Thalweg (Km)	182	47
Altitude Min du bassin versant (m)	10	31
Altitude Max du bassin versant (m)	1543	1202
Altitude moyenne du bassin versant (m)	716	365,59

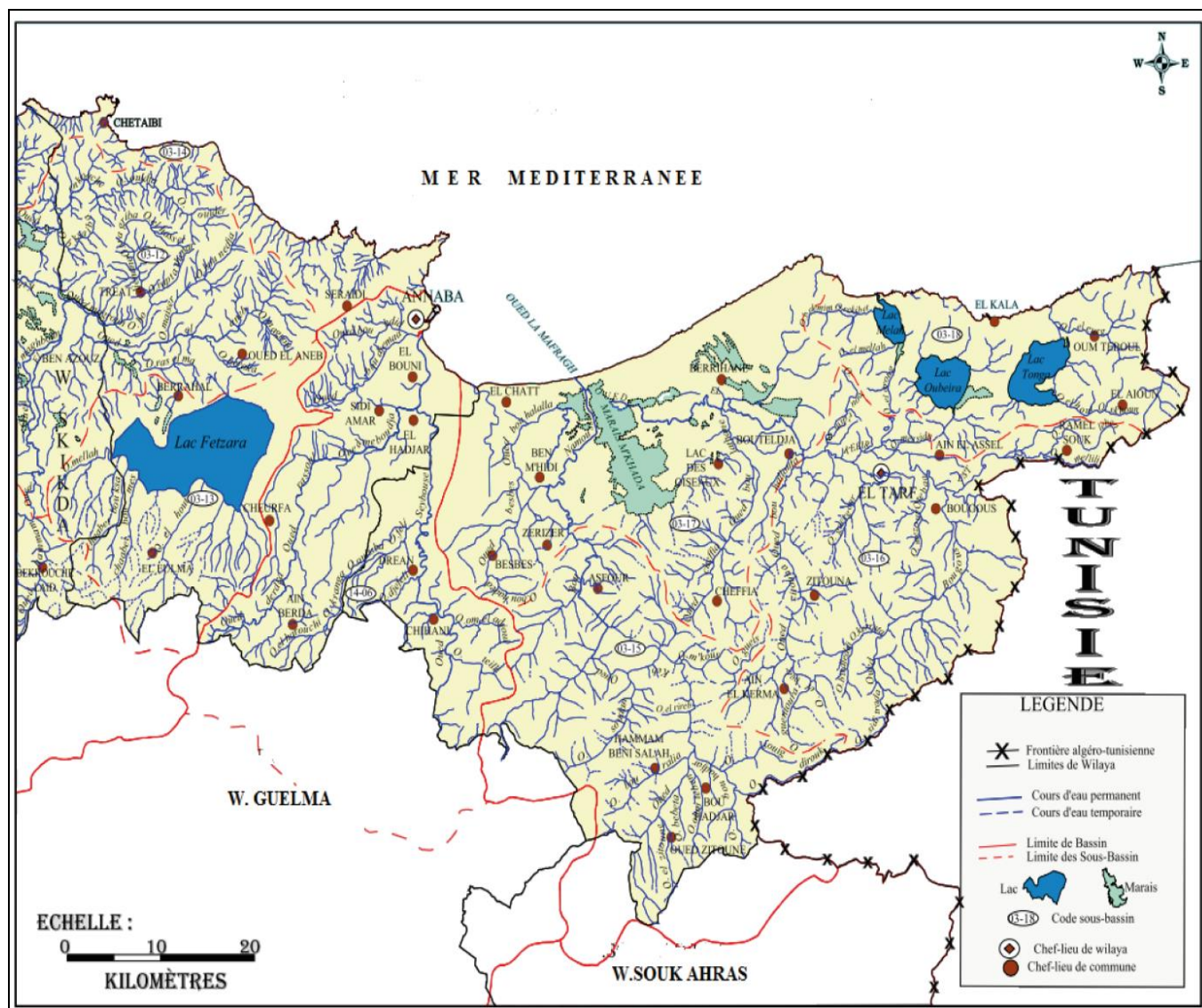


Figure IV.8 : Le réseau hydrographique de l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba-El Tarf), (Bounab, 2006 modifiée).

VI.5.2/ Le Régime de l'Oued Kébir-Est à la station d'Ain Assel

La figure IV.9, montre que les fortes débits correspondent à la période allant du mois de Décembre au mois d'Avril (période de hautes eaux), avec un débit maximal de $19,17 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le mois de Janvier, alors que les faibles débits allant de mois de Mai au mois de Novembre (période de basses eau). Le débit le plus faible s'observe le mois d'Août.

La variation de débit montre, que le régime d'écoulement de l'Oued Kébir Est, est lié aux apports de l'ensemble du bassin versant, à la hauteur de précipitations.

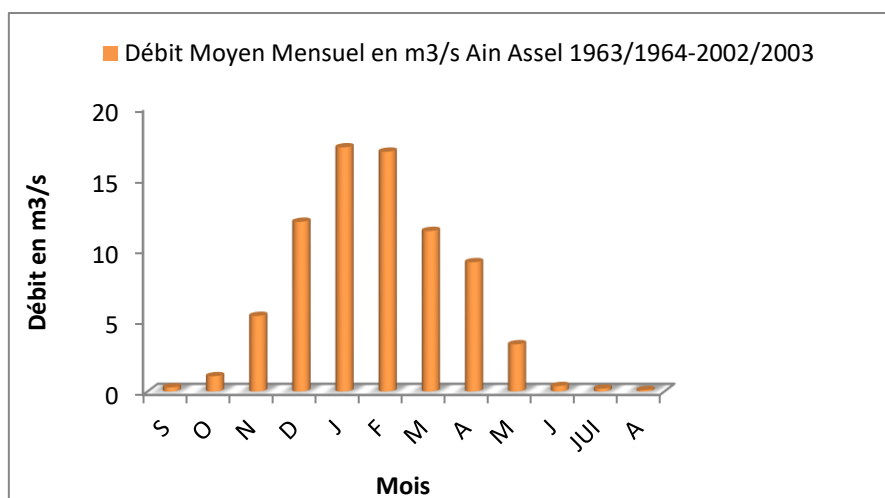


Figure.IV.9. Débits mensuels interannuels à la station d'Ain Assel. 1963-2003 (in Bahroune, 2016)

VI.5.3/ Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations des oueds Kébir-Est et Bounamoussa

La représentation graphique des débits en fonction des précipitations de l'oued Kébir-Est à la station d'Ain Assel et de l'oued Bounamoussa à la station Cheffia (Fig. IV.10) et (Fig. IV.11), illustrent l'étroite relation entre ces deux paramètres. Les forts débits s'observent pendant la saison pluvieuse, par contre, les faibles débits enregistrés durant la saison sèche.

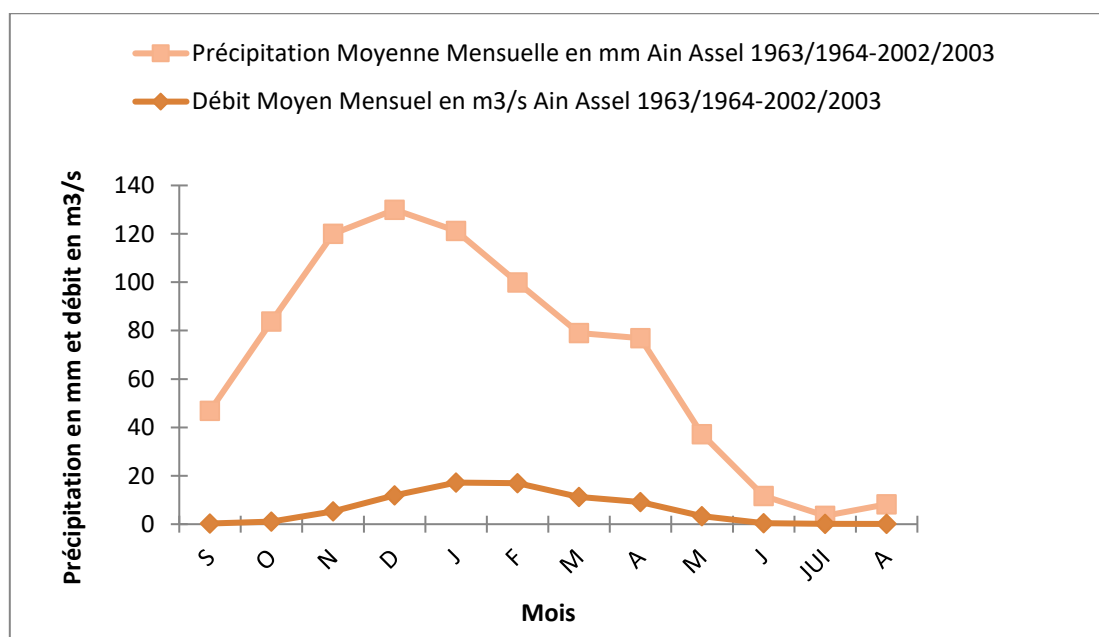


Figure. IV.10. Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations de l'Oued Kébir Est à la station d'Ain Assel (63/64-02/03), (in Bahroune 2016).

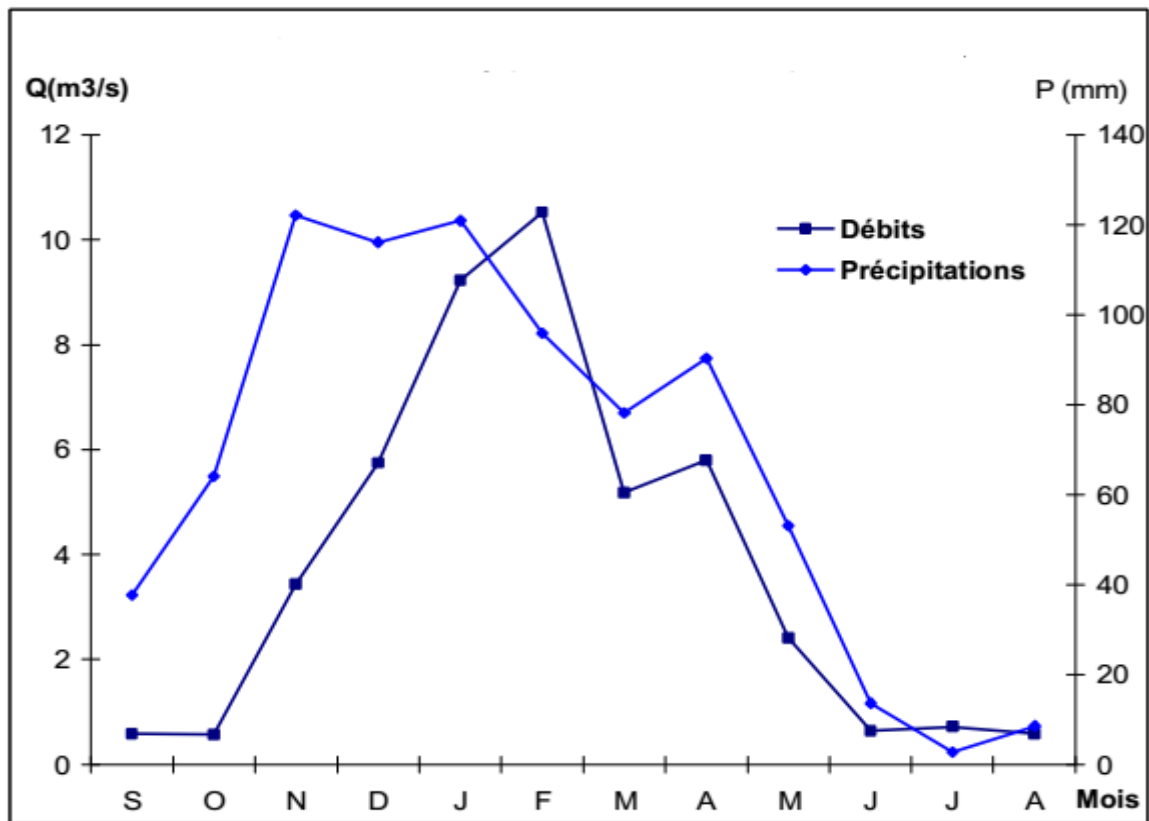


Figure IV.11 : Variation mensuelle des débits en fonction des précipitations à l'Oued Bounamoussa, Station Cheffia Barrage (1976/77- 2002/03), NRH.

VI.5.4/ Lac et Marécage

Plusieurs lacs sont situés dans la région d'étude. Ils constituent un stockage dépressionnaire, l'alimentation se fait par les eaux des pluies et les affluents des Oueds (Fig. IV.8).

VI.5.4.1/ Lac Tonga

Il est situé à extrême Nord-est Algérien. C'est une vaste dépression lagunaire d'eau douce qui communique avec la mer par le canal de la Messida. Il est alimenté par de nombreux affluents et par oued El Hout au Sud et oued El Eurg au Nord. La surface du plan d'eau est de l'ordre de 13 km².

VI.5.4.2/ Lac Oubeïra

Le lac est situé à trois (03) km vers l'Ouest d'El Kala entre lac Melleh et lac Tonga, couvre une superficie de l'ordre de 2 200 ha, le lac contient un volume d'eau douce de l'ordre

de 32 535 096,08 m³ installer sur un substratum d'argile de Numidie. Il est alimenté par oued Messida au Sud-est, oued Demnet Errihane au Nord, oued Boumerchéne au Nord-est et Oued Degrah à l'Est.

VI.5.4.3/ Lac des Oiseaux

Le lac est situé à 45 km au Sud de la ville d'El Kala, couvre une surface de 170 ha. L'alimentation en eau se fait naturellement par les eaux superficielles de ruissellement du bassin versant El Kébir et par les eaux souterraines.

VI.5.4.4/ Lac Mellah

Le lac est une lagune marine situé au Nord du lac Oubeïra, en communication avec la mer par un étroit goulet et est séparé du lac Oubeïra par des dunes sublittorales de 40 m de hauteur. Le fond du lac est sableux et graveleux. Le lac reçoit les eaux des Oueds Erreguibet au Nord-Ouest et El Euerg au Sud-Ouest.

VI.5.4.5/Tourbière du Lac Noir

Il est situé sur le chemin de la wilaya 109 reliant les villes d'Annaba et El Kala. Il couvre une superficie de 05 ha. L'alimentation du lac se fait par les eaux souterraines sous pression, asséché accidentellement à cause de la réalisation d'un forage à proximité du site.

VI.5.4.6/ Les Marais de Mekhada

C'est une zone marécageuse, se situé à 20 km de la ville d'Annaba, il est bordé par des dunes littorales le séparant de la mer Méditerranée au Nord et le massifs argileux et forestiers de la Cheffia au Sud. Il couvre une superficie de 8 900 ha, sa profondeur varie de 0,5 à 1 m. il occupe la partie centrale de la plaine de la Mafragh.

VI.5.4.7/ Lac Fetzara

C'est un vaste plan d'eau à périphérie marécageuse, situé dans le prolongement occidental de la zone de subsidence de la plaine d'Annaba. Il est limité au Nord par le massif de l'Edough, au Sud par les collines d'Ain El Berda et les cordons dunaires de l'Est et de l'Ouest. Il occupe une superficie de 20 680 ha, l'alimentation du lac se fait par les Oueds d'El Hout, El Mellah et Zied. Le drainage du site se fait par l'intermédiaire du canal principal dont les eaux d'évacuation se déversent dans l'Oued Meboudja, ensuite dans l'Oued Seybouse qui débouche dans la mer.

VI.6/ CONCLUSION

La région Annaba- El Tarf, est soumise à un climat méditerranéen tempéré, pluvieux et humide en hiver sec et chaud en été. La région compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie, la moyenne annuelle des précipitations relativement élevées de l'ordre de 745,46 mm/an à El Kala, 669,57 mm/an aux Salines, 760,09 mm/an à Ain Assel et 755,96 mm/an à Bouteldja. La température moyenne annuelle varie entre de 17,84 °C, 18,44 °C.

L'analyse hydro climatologique de la région a permis d'évaluer les termes du bilan hydrologique qui sont :

- Des pertes par évapotranspiration d'une moyenne de 485,33 mm, soit 65% des apports.
- Le ruissellement d'une moyenne de 130,10 mm, soit 17,66% des apports.
- Les infiltrations de l'ordre d'une moyenne de 127, 3 mm, soit 17,3% des apports.

La réserve en eau (RFU) dans les quatre stations, commence à se reconstituer à partir du mois de novembre, pour atteindre son maximum (100 mm) à partir du mois de décembre jusqu'à mois d'avril. A partir du mois de mai la réserve commence à s'épuiser, il devient nulle au mois de juin où traduit un déficit agricole. Au mois de Juillet le déficit est maximal, il est de l'ordre de 148,3 mm pour la station d'El Kala, 139,6 mm pour les Salines, 145,5 mm pour Bouteldja et 140,3 mm pour Ain Assel.

Les débits enregistrés à la station d'Ain Assel varient de 11,94 m³/s à 17,19 m³/s, pendant la période des hautes eaux (Décembre-Avril) et de 0 à 06 m³/s, pendant la période de basses eaux (Mai- Novembre). L'apport annuel de l'oued Bounmoussa, varie entre 36 et 369 Hm³. On constate une étroite relation entre les précipitations et les débits des deux oueds.

Chapitre V :

***Aperçu hydrogéologique
et identification
des ressources souterraines***

Chapitre V : Aperçu hydrogéologique et identification des ressources souterraines

V. 1/ Introduction :

Le bassin d'effondrement d'âge mio-plio-quaternaire décrit précédemment (CH.III) renferme des ressources hydriques importantes qui constitue le système aquifère Annaba-El Tarf dont les structures lithologiques horizontales et verticales sont très variable faisant apparaître deux aquifères superposés séparés par une couche imperméable a perméable (N-Kherici 1993).

L'objectif de cette étude est de définir la structure, la géométrie du système aquifère de la région et de déterminer les paramètres hydrodynamiques (Transmissivité, Coefficient d'emmagasinement, la Perméabilité, ...etc.).

V.2/ Nature des nappes

V.2.1/Les Nappes libres : Les nappes superficielles sont contenues dans les formations sédimentaires à perméabilité d'interstice du plio-quaternaire (cordons dunaire du Guerbés, les Salines et de Bouteldja) (Kherici-bousnoubra-H 2002). L'épaisseur de ces nappes soit parfois faible, le niveau piézométrique proche de la surface, pas de couverture imperméable ou de toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface.

V.2.2/Les nappes captives : Elles sont constituées quasi-totalité de mêmes types des roches (sédimentaires), mais elles sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau (Oum Teboul, El Tarf, Ben Mhidi). L'alimentation de ces nappes ne peut se faire que par des zones d'affleurements limités ou de la communication souterraine, par fois la couche imperméable disparaît et laisse les deux nappes (libre et captive) communiquer.

V.3/Géométrie et propriétés hydraulique du système aquifère

V.3.1/ Aquifère superficiel :

D'après la variation horizontale des faciès lithologiques, l'aquifère superficiel englobe cinq (5) nappes : la nappe des gneiss altérés, la nappe du massif dunaire, la nappe du cordon dunaire, la nappe des cailloutis de terrasse et la nappe des alluvions récentes et actuelles (Fig.V.1).

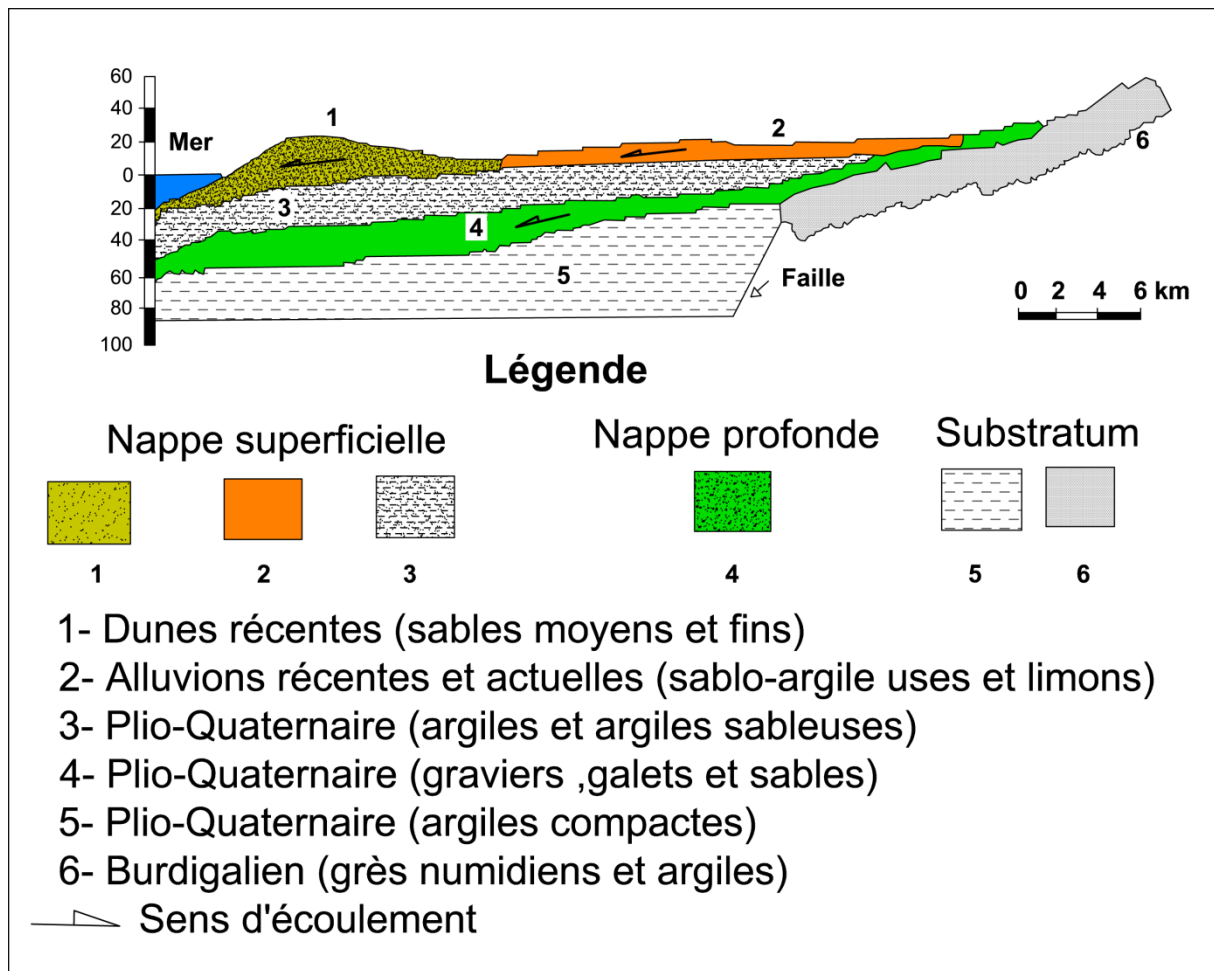


Figure V.1 : Coupe schématique du système aquifère Annaba-El Tarf
 (Bousnoubra.H, 2002 modifiée)

V.3.1.1/ La nappe des gneiss altérés :

Elle se localise dans la région Nord Ouest, sur le flanc Est du massifs métamorphiques de Bouhamra et de Belleilita, son épaisseur moyenne est de l'ordre de 15 m, le débit moyen des captages est de 31 l/s (DHW, El-Tarf), la perméabilité varie entre 10^{-6} à 10^{-5} m/s et la transmissivité varie entre 10^{-5} à 10^{-4} m²/s (Khérici, 1993).

V.3.1.2 / La nappe du cordon dunaire :

C'est une nappe libre, limitée sur une bande littorale de 0.5 à 2 km de largeur à l'Ouest et de 10 à 15 km à l'Est. Elle est contenue dans les sables dunaires éoliens de granulométrie fine à moyenne, ces sables proviennent de la destruction progressive des grès du numidien, elle

repose sur un substratum argileux. Son épaisseur varie de 15 à 20 m à Annaba et de 120 m dans le massif dunaire de Bouteldja.

Elle a pour intérêt d'isoler et de protéger la nappe superficielle de la plaine des venues d'eau salée. Cette nappe est alimentée directement par les eaux de pluies, l'épaisseur mouillée moyenne oscille entre 5 m et 15 m, la perméabilité entre 10^{-4} m/s et 10^{-3} m/s (Gaud 1976), la transmissivité entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s et une porosité de l'ordre de 11% (Kherici 1985-1993). Elle est exploitée par des puits pour l'alimentation en eau potable et l'élevage.

V.3.1.3/ la nappe libre du massif dunaire :

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est, il prend une orientation NW – SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Bouteldja est essentiellement constitué de sables éoliens qui forment une nappe libre, l'épaisseur varie entre 20 m et 120 m avec intercalations des lentilles argileuses qui correspondent à d'anciens fonds de marais. La nappe libre du massif repose sur un substratum argilo – gréseux imperméable à semi perméable (Fig.V.2).

V.3.1.4/La nappe des terrasses :

Elle est localisée au Sud de la plaine d'Annaba, elle est contenue dans des caillouttes et galets. 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.

V.3.1.5/La nappe des alluvions récentes:

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba et d'El-Tarf, d'une superficie de 320 km², elle est contenue dans les alluvions récentes à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables. Elle affleure dans la plaine d'El Tarf, ou elle couvre l'ensemble de la superficie, on la trouve aussi dans la plaine d'Oum Teboul au niveau de Oued el Eurg avec une épaisseur relativement faible. Son épaisseur à Annaba varie de 10 m à 50 m, à Bouteldja de 2 m à 20 m (plaine d'El Tarf). La transmissivité de cette nappe varie de 10^{-6} à 10^{-3} m²/s, la perméabilité de 10^{-6} à 10^{-5} m/s et la porosité efficace de l'ordre de 2 % (B- Gaud 1976).

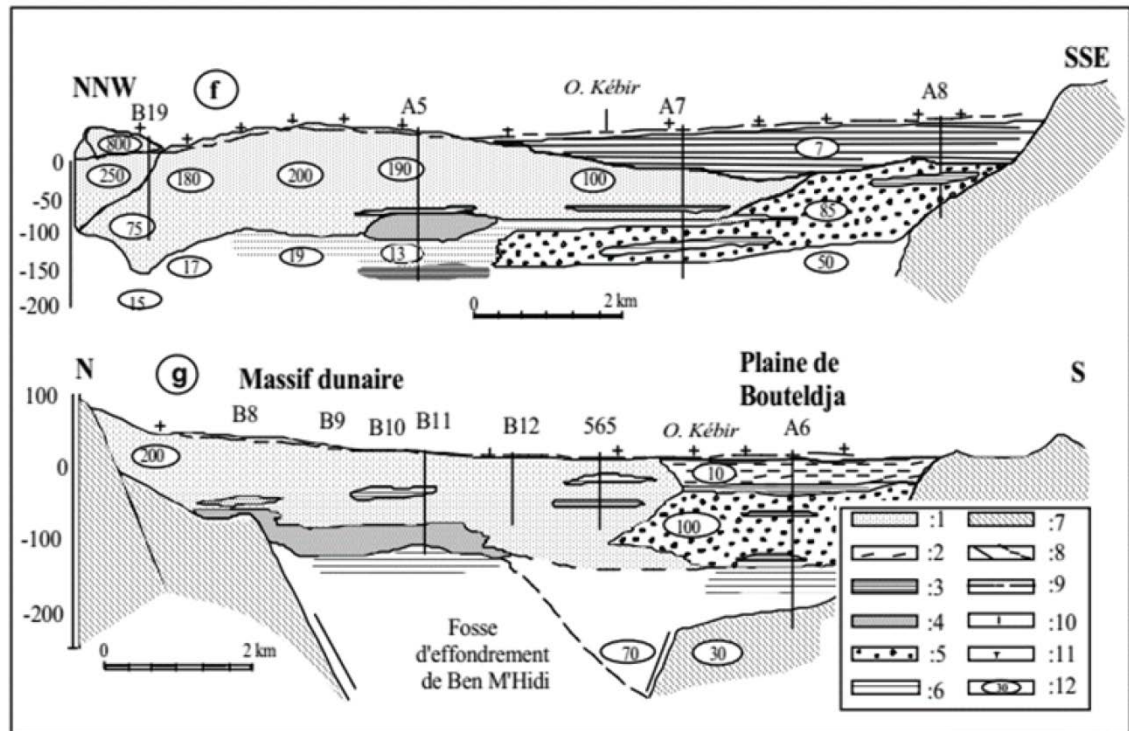


Figure V.2 : Coupes hydrogéologiques dans la plaine et le massif dunaire de Bouteldja (ANRH, 1976, modifiées).

Légende : 1 : Sables dunaires ; 2 : Argiles grises (couverture de la nappe des graviers) ; 3 : Sable très argileux ; 4 : Lentille argileuse ; 5 : Gravier et galets ; 6 : Argiles grises (substratum de la nappe des graviers) ; 7 : Numidien argilo-gréseux ; 8 : Faille et faille présumée ; 9 : Niveau piézométrique ; 10 : Forage ; 11 : Sondage électrique ; 12 : Résistivité (Ohm.m).

V. 3.2/ Aquifère profond

Les études montrent l'existence de deux nappes d'importance très inégale: nappe des cipolins et nappe des graviers.

V.3.2.1/ La nappe des cipolins

Elle se localise au niveau des cipolins fissurés (Nord-Ouest), dans les massifs de Bouhamra et Belleilita, d'une épaisseur varie entre 12 m à 80 m, le débit moyenne d'exploitations des forages est de 15 l/s. la Transmissivité varie entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m²/s et la perméabilité entre 10^{-6} à 10^{-4} m/s.

V.3.2.2/ La nappe profonde des graviers

C'est la nappe, la plus intéressante, elle est située en dessous de l'aquifère superficiel, elle s'étend du lac Fetzara à l'Ouest jusqu'à la plaine d'El Tarf et disparaît localement sous le massif dunaire de Bouteldja. Le réservoir de la nappe est constitué par des graviers sable et galets plio-quaternaire et encaissé dans un bassin d'effondrement.

Le toit de la nappe est perméable à imperméable formé des sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles, à travers ce toit intervient le phénomène de drainance dans la zone centrale. Ce toit disparaît complètement et laisse place à une nappe libre au Sud de Dréan et EL Asfour et au pourtour de la butte de Daghoussa.

La profondeur de la nappe est de 2 m à 20 m dans la plaine d'EL Tarf, de 40 m à 50 m dans la plaine de Bouteldja. L'épaisseur varie de 2 m à 13,2 m (plaine d'EL Tarf) et de 10 m à 120 m (plaine de Bouteldja). Le coefficient d'emménagement (S) soit parfois très faibles ($2 \cdot 10^{-4}$ B-Gaud) dans les zones où la nappe est captive et atteignent 10^{-2} dans les zones où la nappe est libre. Cette variation du coefficient (s) s'explique par le fait que dans les nappes libres, le volume d'eau libéré est dû au drainage par gravité, par contre quand elle est captive, il ne s'agit plus de vidange partielle des eaux occupent les 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 (Fig.V.3 (a, b)).

Le coefficient de Transmissivité varie entre 10^{-4} m²/s (plaine d'EL Tarf), de $5,0 \cdot 10^{-3}$ m²/s et de 10^{-2} m²/s (plaine de Bouteldja).

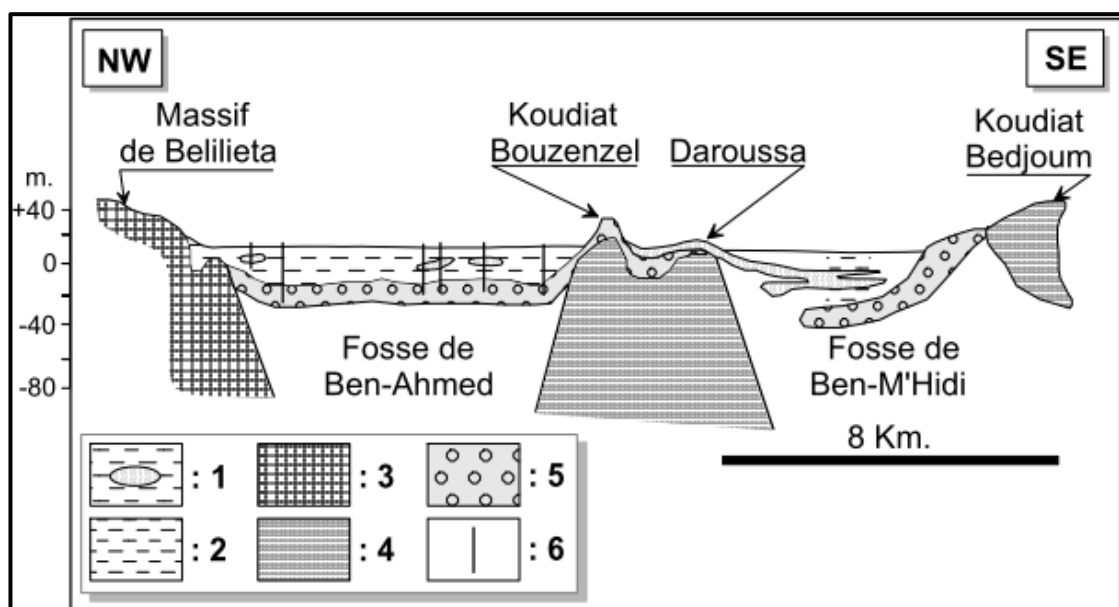


Figure. V.3(a) : Coupe NW-SE dans la plaine d'Annaba (Hani.2003) modifiée.

Légende : 1 : Argile limoneuse avec passées sableuses surmontées par une couche de sable (nappe superficielle) ; 2 : Argile détritique Plio-quadernaire ; 3 : Formations métamorphiques ; 4 : Argile de Numidie ou du Paléocène ; 5 : Galets et graviers (nappe profonde) ; 6 : Forages.

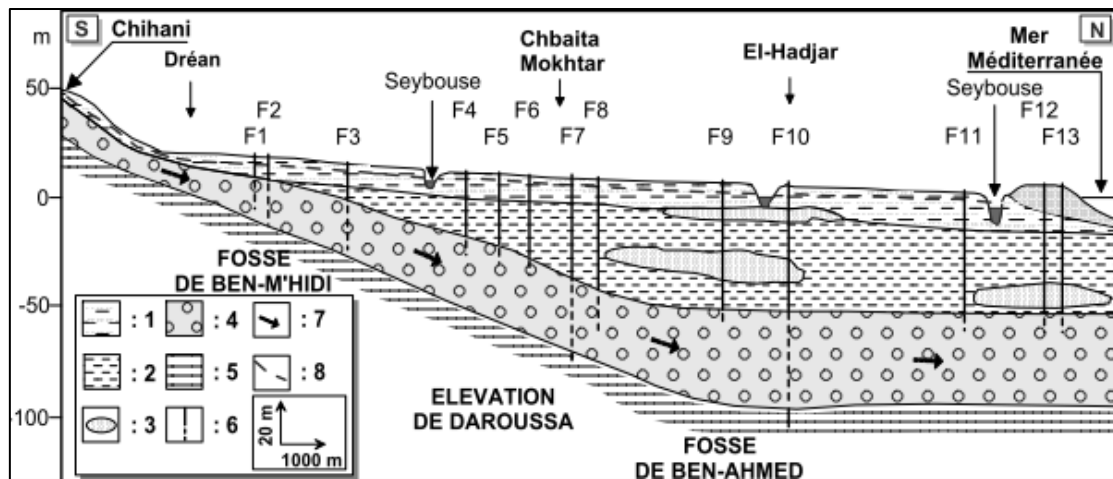


Figure. V.3(b) : Coupe S-N dans la plaine d'Annaba (Hani.2003) modifiée.

Légende : 1 : Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe superficielle); 2: Argile détritique Plio-quadernaire; 3 : Lentilles de sables; 4 : Galets et graviers (nappe profonde); 5 :Argile de Numidie ou du Paléocène; 6 : Forages; 7: Direction de l'écoulement; 8 : Surface piézométrique de la nappe des graviers.

V.4/ Interprétation des cartes piézométriques

V.4.1/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.V.4). 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).

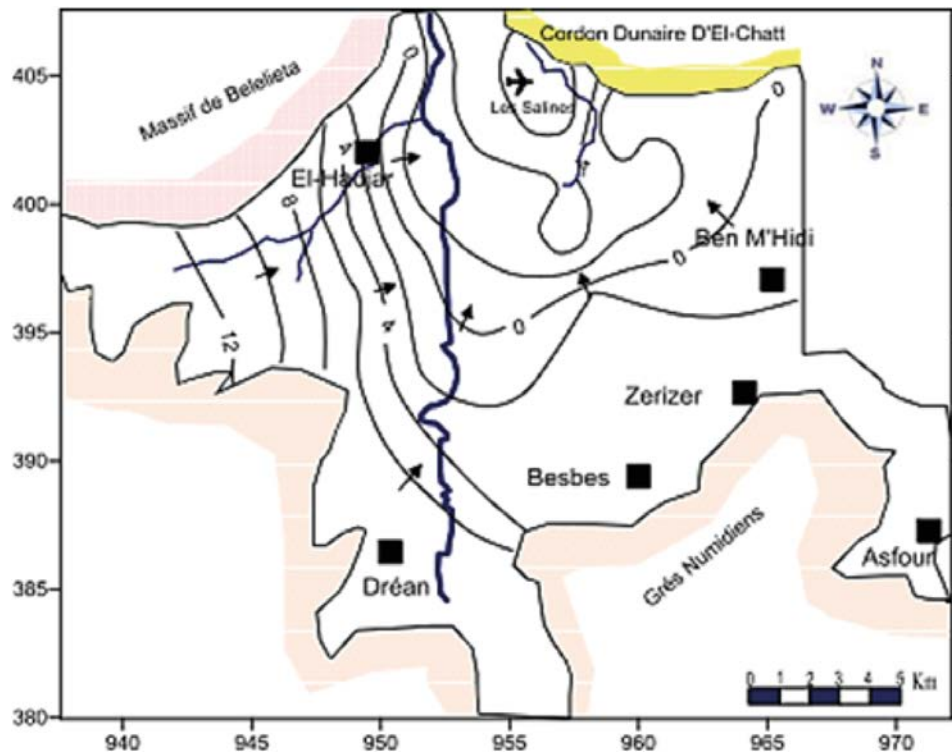


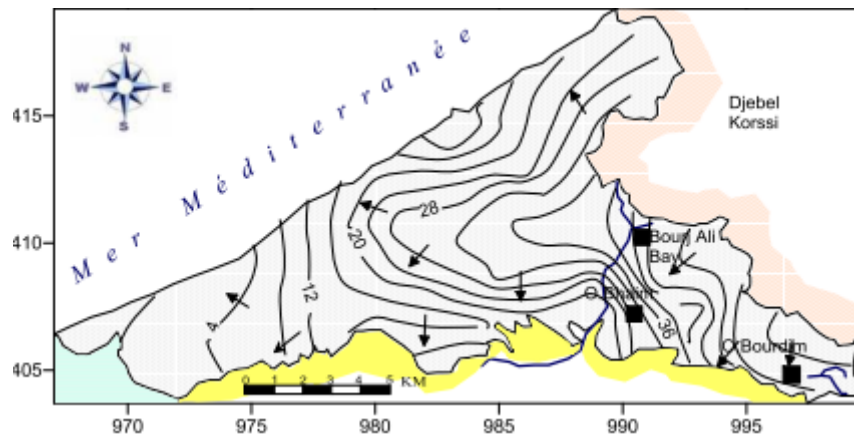
Figure V.4 : Carte des isohypses de l'aquifère de la nappe des graviers (in Hani 2003).

Légende : Commune
 : Courbe isohypses de la nappe des graviers
 : Cours d'eau
 : Sens d'écoulement

V.4.2/ Le massif dunaire de Bouteldja

L'allure des courbes piézométriques (Fig.V.5) est caractérisée par deux axes de drainage où l'écoulement suit la topographie du terrain.

La carte piézométrique montre que l'écoulement souterrain prend deux sens, un écoulement qui se dirige au Nord vers la mer et un second écoulement qui se dirige au Sud vers la nappe captive des graviers de la plaine d'El Kébir Est et les marécages de Mekada.

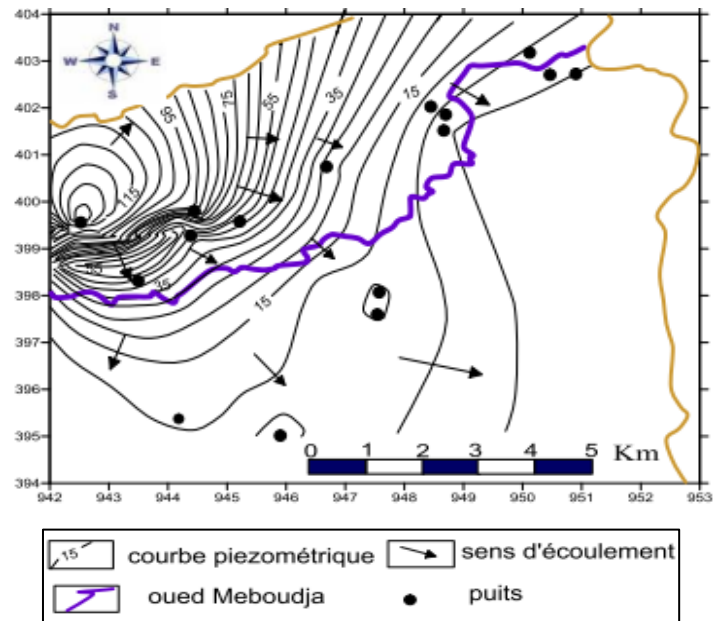


**Figure V.5 : Carte piézométrique du massif dunaire de Bouteldja
(Kherici, 1985 modifiée)**

Légende : Commune
 : Courbe isohypses de la nappe des graviers
 : Cours d'eau
 : Alluvions du Quaternaire
 : Sens d'écoulement

V.4.3/La Nappe Superficielle d'El-Hadjar

Les courbes piézométriques sont fermées et serrées dans la partie amont de l'oued Meboudja (Fig.V.6), traduisant une zone de protubérance due à un apport latéral à partir du socle métamorphique. Le gradient hydraulique y est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-2}$, il marque un écoulement rapide dû à la pente, vers la partie aval de l'oued ainsi que vers le centre de la plaine, les courbes deviennent ouvertes et espacées. Le gradient hydraulique y est de $8 \cdot 10^{-4}$. (in Hamzaoui, 2007).



**Figure V.6: Carte piézométrique de la nappe superficielle
(in Hamzaoui, 2007)**

V.4.4/ La Nappe d'El-Tarf

L'examen des deux cartes piézométriques (Fig. .V.7 (a, b)), (haute eaux-Mai 2008, basses eaux-Octobre 2008) effectuées à partir des études de la direction d'hydrauliques de la wilaya d'El Tarf sur la piézométrie de la nappe superficielle, montrent que, l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement vers l'Oued pendant les deux périodes ce qui signifie que la nappe draine l'oued.

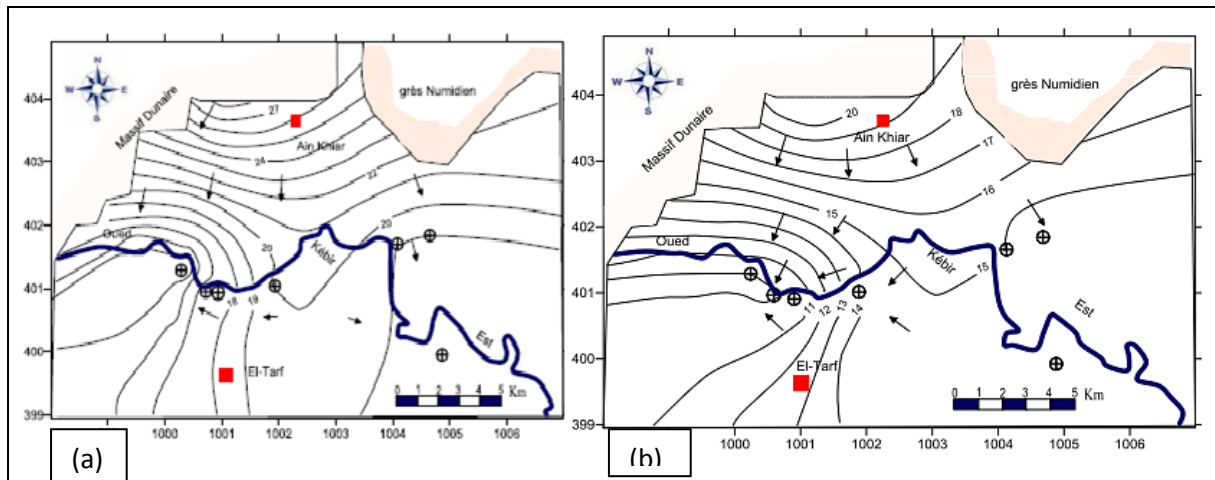


Figure V.7 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf

a : Hautes eaux - Mai 2008 (DHW El Tarf)

b : Basses eaux – Octobre 2008(DHW El Tarf)

Légende

- : Chef lieu de wilaya
- : Commune
- : Courbe isohypses
- : Cours d'eau
- : Sens d'écoulement
- ⊕ : Forage

V.4.5/ La Nappe libre du Cordon Dunaire d'El Chatt

La Carte piézométrique obtenue (hautes eaux Avril 2003), montre que :

La partie Nord-est, les courbes iso-pièzes sont serrées indiquant un écoulement rapide où le gradient hydraulique est de l'ordre de 3.10^{-3} , les lignes de courant sont orientées vers l'oued c'est à dire l'écoulement se dirige en direction d'oued Mafragh

Au centre, les courbes sont concaves et relativement espacées indiquant une surexploitation. L'écoulement est faible et le gradient hydraulique est fort (Fig.V.8).

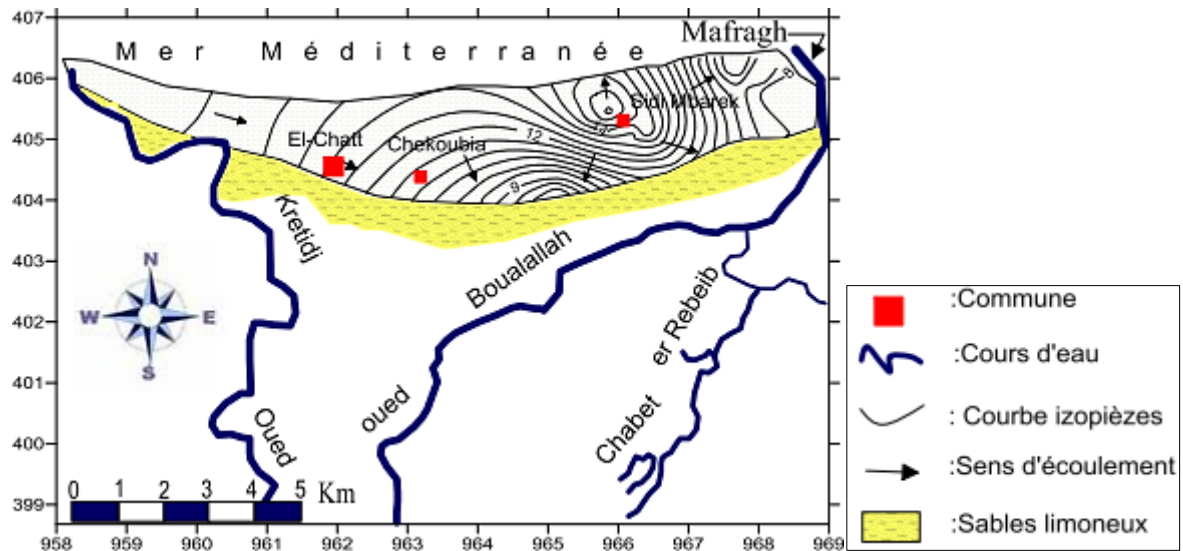


Figure V.8: Carte piézométrique de la Nappe du Cordon Dunaire d'El Chatt

V.5. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du massif dunaire de Bouteldja

V.5.1/ Répartition de la transmissivité

La Figure V.9, fait ressortir une zone préférentielle où les valeurs de transmissivités et de perméabilités sont élevées. Cette zone, se situe dans la partie sud-est du massif dunaire et est très sollicitée et productive au vu du grand nombre de forages implantés. L'analyse de la carte des transmissivités montre que, les valeurs de la transmissivité sont comprises entre 1 et $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans la partie Nord Est de l'oued Kébir Est. Par contre au Sud, Sud Est les valeurs de la transmissivité passent à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Ramdani. A, 1996).

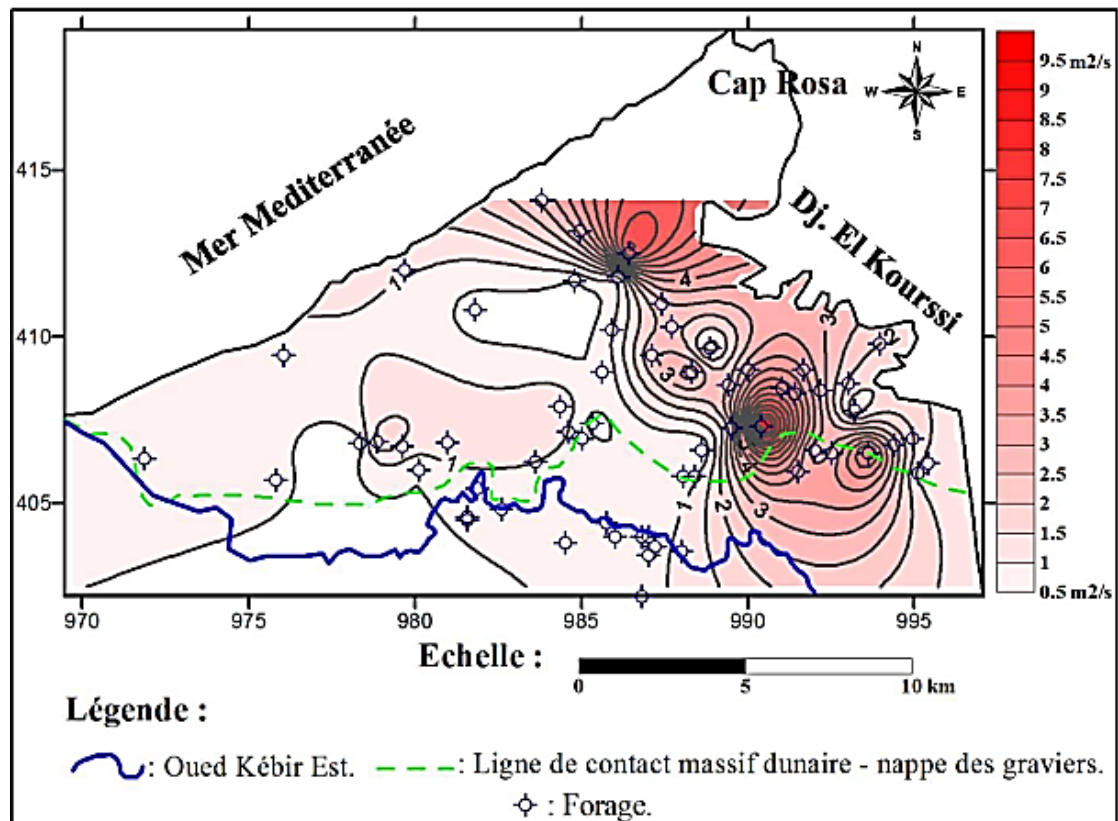


Figure V.9: Carte de répartition des valeurs de la transmissivité dans la nappe du massif dunaire de Bouteldja, (Ramdani.A, 1996).

V.5.2/ Répartition de la perméabilité :

La perméabilité est définie comme étant le rapport entre la transmissivité et l'épaisseur saturée de la couche aquifère. La figure V.10, fait ressortir que la perméabilité augmente d'Ouest en Est, indiquant ainsi trois zones:

- une zone où les valeurs sont inférieures à $2 \cdot 10^{-5}$ m/s et occupe la partie Ouest ;
- une zone centrale qui s'étend de Mouaissia à Righia au Sud et s'étend jusqu'à L'hennaya vers le rivage au nord avec des valeurs comprises entre 2 et $8 \cdot 10^{-5}$ m/s ;
- Une zone dans le Sud Est, inscrite dans le triangle Righia, Bourdim et Bordj Ali Bey, caractérisée par des valeurs du coefficient de perméabilité de l'ordre de $3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

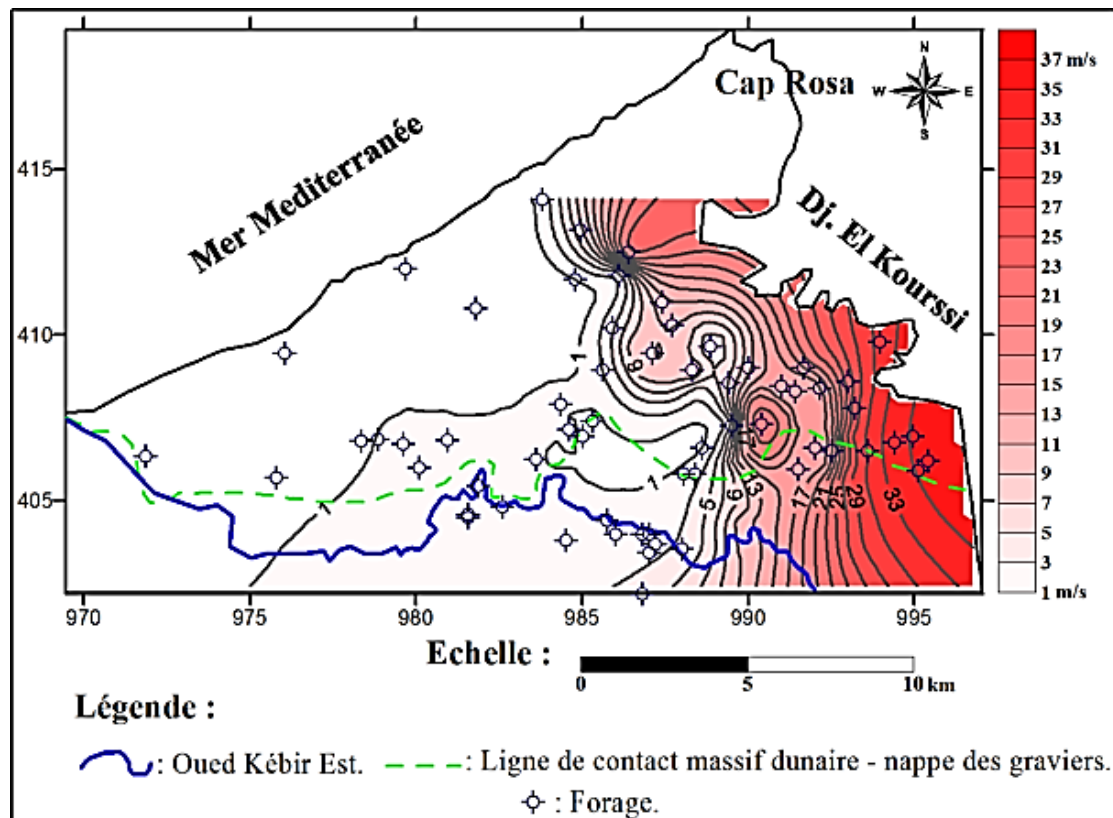


Figure V.10: Répartition du coefficient de perméabilité en 10^{-5} m/s de la nappe du massif dunaire de Bouteldja (Ramdani. A, 1996).

V.6. Inventaire des points d'eau

V.6.1/Les sources

L'inventaire des sources d'eau naturelle (Parc National d'El Kala, 2010) a permis d'identifier un nombre de sources ayant un débit important et une bonne qualité.

Trois principales sources – Bougles- Bourdim Titteri, sont captées et exploitées par un captage type descendant et servent à l'approvisionnement en eau potable pour le couloir Bouteldja- Annaba (Tab. V.1).

Tableau V .1: Le débit (moyen, min et max) des sources

Sources	Débit moyen (l/s)	Débit min (l/s)	Débit max (l/s)
Bougles	80,8	52	98
Bourdim	69,3	58	118
Titteri (Oued Behaim)	133,9	52	243

V.6.1.1/Calcul de l'indice de variabilité « R »

L'indice de variabilité est le rapport entre le débit maximal et le débit minimal ou d'étiage,

$$R = Q_{\max} / Q_{\min}$$

$R \leq 2$ Sources constantes

$2 < R \leq 10$ Sources moyennement variables

$10 < R \leq 50$ Sources variables

$R > 50$ Sources très variables

Le [tableau V.2](#) montre l'indice de variabilité des sources. Cette irrégularité du débit dans le temps est dû essentiellement à la variation des réserves de l'aquifère, entre la recharge de l'aquifère pendant les hautes eaux (alimentation par précipitation) et le manque de précipitation qui s'ajoute à la vidange de l'aquifère par les sources pendant les basses eaux.

Tableau V.2: Indice de variabilité des sources

Sources	R	Observations
- Bougles	1,88	-Sources la plus constante
- Bourdim	2,03	- moyennement variable
-Tittri (El Behaim	4,67	- // //
- En Nahal	3,80	- // //
- Ramel Makouz	6,6	- // //

V.6.2/ Les puits :

Presque dans toute la région, le captage de la nappe superficielle se fait par les puits, surtout aux niveaux des agglomérations rurales éparses pour leurs besoins quotidiens. Il existe plus de 200 puits (DHW El Tarf).

V.6.3/ Les forages :

Le nombre des forages destinés à l'AEP, l'irrigation et l'industrie est de l'ordre de 219 forages ([Fig. V.11](#)), ce chiffre augmente avec les forages et les puits illicites. (Bounab, 2006 ; DHW d'El Tarf, 2010).

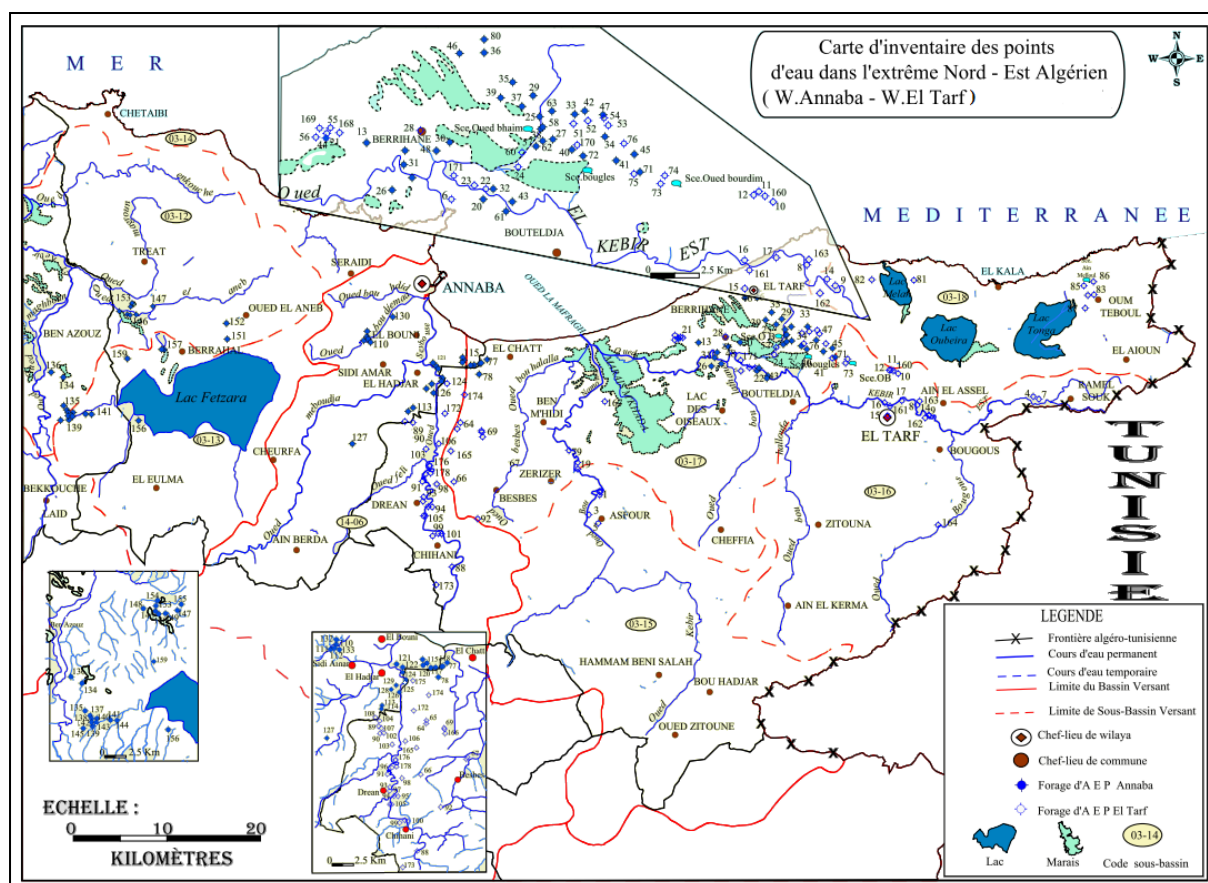


Figure. V.11 : Carte de répartition des forages dans la région Annaba-El Tarf.

(Bounab. S, 2006 modifiée 2015)

V.7/ Conclusion

L aperçu hydrogéologique de la région d'étude indique la présence d'un important réservoir d'eau souterraine contenu dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable avec parfois des intercalations argileuses). Les plaines de Annaba-El-Tarf 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 attribuant aux matériaux des propriétés hydrauliques différentes dans l'espace. Dans le remplissage hétérogène on distingue 3 principales nappes; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja et le cordon dunaire ces deux dernières constitue la bordure Est du système. Ces 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.

PARTIE III

Le système « Ressource en eau Annaba- El Tarf »

**CH VI : Diagnostic qualitatif de la ressource en eau et sa durabilité à
Annaba- El Tarf**

CH VI : Diagnostic qualitatif de la ressource en eau et sa durabilité à

Annaba- El Tarf

VI.1/ Les eaux souterraines

VI.1.1/ Introduction

L'eau est facteur limitatif clé du développement durable, le sommet mondial sur le développement durable, tenu à Johannes bourg en 2002 a conclu sur un certain nombre d'actions. Ce plan d'action engageait entre autres les nations à atténuer les effets de la contamination des eaux souterraines.

[Kamegam U et al, 2010](#) « *L'eau souterraine est la principale source d'eau domestique, agricole et industrielle utilisée dans de nombreux pays et sa contamination a été reconnue comme l'un des problèmes les plus sérieux* ».

[Eblin S.G. & al., 2014](#) : « *L'eau souterraine est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde. Toutefois, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contamination ponctuelles et diffuses* »

[Maoudombaye T. & al, 2015](#) : « *les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car sont plus à l'abri des polluants que les eaux de surface* ». Selon l'OMS (2008), 10 à 25 millions de décès, dont 5 millions d'enfants dus à la diarrhée, peuvent être attribués au manque d'eau et aux mauvaises conditions sanitaires.

En Algérie, La plupart des nappes du nord ont atteint leurs limites d'exploitation, certaines peuvent supporter une surexploitation temporaire, mais avec un suivi régulier de la piézométrie, et de la qualité de l'eau. Cette recommandation est particulièrement importante pour les nappes côtières, dont la surexploitation entraine leur contamination par les eaux salées ([Mehdid A., 2010](#)) .

A l'instar de la région d'Annaba-El Tarf, la forte demande en eau est liée aux développements des activités anthropiques et l'accroissement des populations engendrant ainsi un risque pour les eaux souterraines qui forment près de la moitié des ressources

Annaba- El Tarf

mobilisées (Hani, 2003, N. Khérici, 2009, Bounab S, 2014). La forte charge minérale de l'eau dans les aquifères côtiers est un phénomène très répandu et détériorant progressivement la qualité de l'eau, plusieurs travaux réalisés dans la région (Khérici N, 1993, Djabri. L, 1996, Debieche, 2002, Djorfi .S & al., 2010) ont permis de mettre en évidence l'influence des activités anthropiques et de l'intensification des pompages sur la qualité des eaux des rivières et de l'aquifère. Pour mener à bien notre contribution à cette problématique, nous avons procédé au suivi de l'état de minéralisation de plusieurs points d'eau, pendant plusieurs années et nous avons ainsi déterminé l'agressivité et la corrosivité de l'eau, sa typologie et ce, en utilisant la modélisation géochimique.

VI.1.2/ Matériels et méthodes

Les échantillons d'eau prélevés des 34 stations, représentés par des forages répartis sur quatre (4) zones : Bouteldja, El Tarf, Les Salines et Barrahal (Fig.VI.1) ont été analysés au laboratoire central (SEATA-Annaba) suivant les protocoles d'analyse reconnus (Rodier J., 1989). Les paramètres physico-chimiques (température, pH, et conductivité) sont mesurés in situ au moyen d'appareillage de terrain avec des sondes sélectives (pH –mètre, multi-paramètres). Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en polyéthylènes (deux flacons par échantillon, l'un pour l'analyse des sels nutritifs après addition de quelques gouttes de chloroforme, l'autre pour l'analyse des éléments majeurs (après addition de quelques gouttes d'acide nitrique).les échantillons sont conservés dans une glacière pour la journée, les échantillons d'eau ont été conservés à basse température (4°C) et les analyses ont été effectuées après 4 à 5 jours.

La méthodologie empruntée pour le traitement des résultats des analyses est basée sur des méthodes statistiques multi variables (XLSTAT) et représentés par la méthode de boîtes à moustaches (Tukey 1977 qui permet de représenter schématiquement une distribution statistique de manière notamment à repérer les points extrêmes ou aberrants) , et des rapports caractéristiques, couplées aux méthodes hydro chimique (logiciel Diagramme), à savoir le diagramme de Piper, Wilcox , Richards ainsi que le calcul des Indices de saturation par le programme PHREEQC.

Annaba- El Tarf

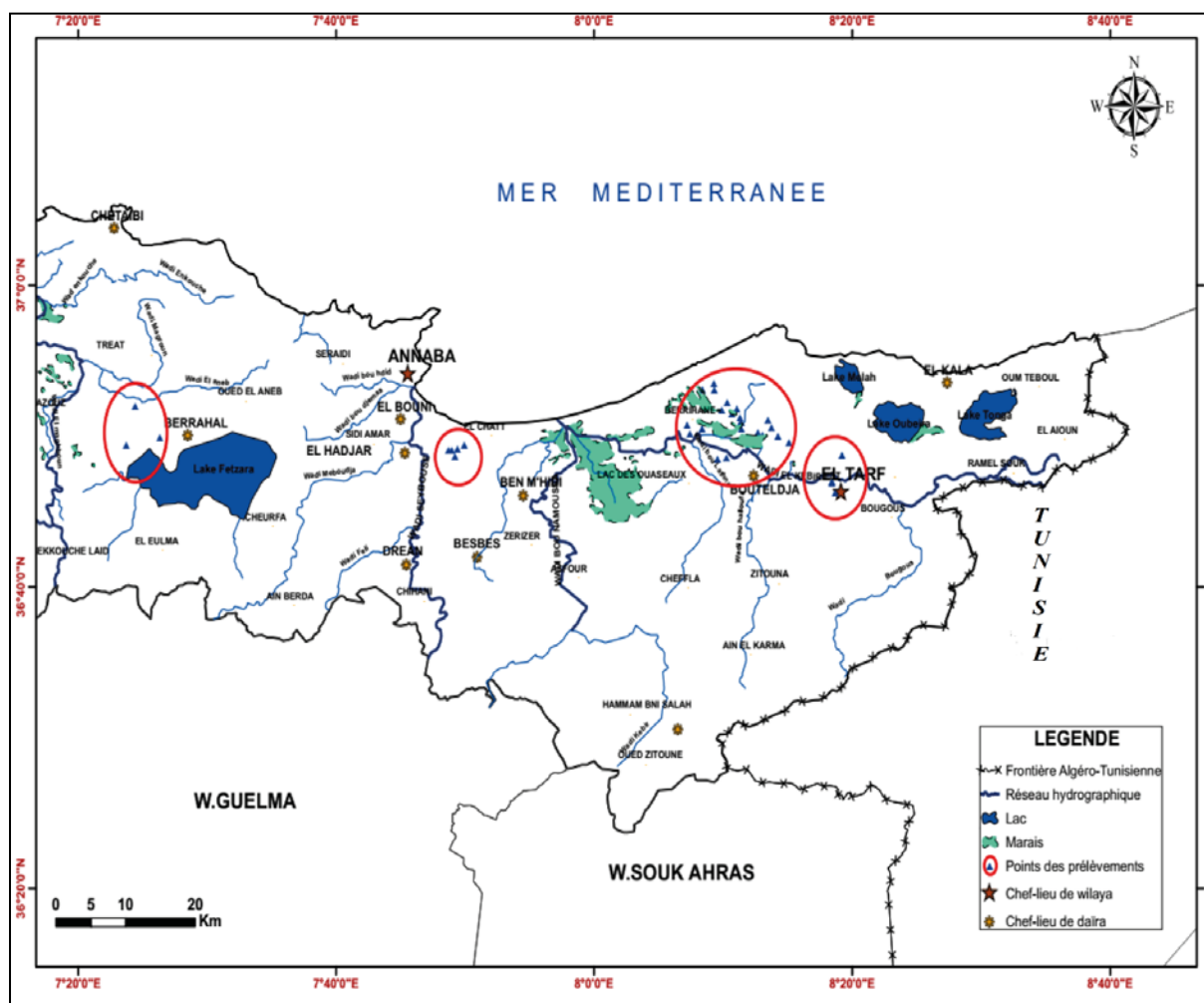


Figure VI.1 : Situation de la zone d'étude et localisation des points d'échantillonnages

VI.1.3/ Détermination de l'agressivité et la corrosivité des eaux souterraines

de la région Annaba-El-Tarf (Nord-est Algérien)

VI.1.3.1/Introduction

La corrosion est très répandue et provoque progressivement la pollution des eaux souterraines. Ce phénomène a été largement étudié par plusieurs auteurs (Agatemor et al 2008, Atasoy & Yesilnacar, 2010, Abyaneh et al 2011; Singh et al 2012, Kurdi et al 2015, Bounab.S et al, 2017), en particulier dans le bassin méditerranéen, avec l'extension des conditions semi-arides, la surexploitation des aquifères, la faible recharge et l'actions anthropiques (industrielles et agricoles) tendent à augmenter les concentrations de certains métaux dans l'eau du robinet. Cette corrosion peut affecter la santé publique et le coût de l'approvisionnement en eau potable.

- Généralité sur la corrosion et le développement durable

« *L'agressivité d'une eau est sa capacité à dissoudre du carbonate de calcium* ». Au contraire des eaux agressives, les eaux entartrées auront une capacité à précipiter du carbonate de calcium. *La corrosivité d'une eau est sa capacité à dissoudre les métaux* constitutifs des réseaux (fer de la fonte et de l'acier, cuivre, plomb, zinc de l'acier galvanisé...). La maîtrise de la corrosion s'est révélée d'une importance primordiale dans le choix des équipements, et des canalisations d'eau.

Les eaux introduites dans les réseaux, quelle que soit leur origine (eaux traitées ou non, provenant de sources, de puits, ou eaux de surface), ont une composition chimique qui résulte de leur parcours naturel (contact avec l'atmosphère, ruissellement sur le sol, infiltration au travers des couches superficielles du sol et des divers horizons géologiques...) et des traitements appliqués pour leur potabilisation. Elles contiennent donc, à l'état dissous de nombreux éléments (molécules minérales ou organiques, ions minéraux ou organiques, micro-organismes, et quelquefois matières en suspension) pouvant conduire à des réactions au contact des conduites, des réservoirs ou des appareils constituant le réseau d'alimentation en eau. Ces éléments qui constituent le réseau peuvent être de différente nature:

- ✓ Matériaux à base de ciment : conduites en béton armé, conduites en amiante ciment, ou conduites en métaux ferreux (fonte ou acier) revêtues de ciment ;
- ✓ Métaux ferreux pour les parties de conduites en fonte ou en acier non revêtues ou pour les conduites en ciment dont le revêtement intérieur s'est détérioré ;
- ✓ Métaux non ferreux, tels que les branchements en plomb ou les canalisations en cuivre ;
- ✓ Matériaux organiques constituant les revêtements intérieurs des conduites en métaux ferreux (ex : résines époxy), ou conduites en matière plastique (PVC, PET,...).

Les matériaux organiques utilisés à l'heure actuelle sont relativement inertes vis-à-vis de l'eau distribuée. Par contre, les matériaux à base de ciment ou de matériaux ferreux ou non ferreux sont susceptibles, selon la qualité de l'eau, d'être dégradés par les eaux transportées, conduisant à une détérioration du patrimoine et quelquefois à une altération de la qualité organoleptique ou physico-chimique de l'eau : dissolution de plomb, de cuivre, de nickel, eaux colorées par du fer dissous (Giupponi, 2013).

La corrosion et l'incrustation ont des dégâts très importants sur les forages, difficiles ou impossibles à réparer, peuvent parfois se produire un à deux ans seulement après les travaux sur des forages exploités ou au repos, ils limitent la durée de vie des matériaux.

« Le meilleur moyen de caractériser l'agressivité d'une eau naturelle serait actuellement de déterminer son pH de saturation selon la méthode de LANGELE, puis L'INDEX de stabilité de RYZNAR, et de prendre les précautions qui en découlent pour choisir l'équipement du puits. L'INDEX de RYZNAR paraît en définitive plus représentatif et l'hydrogéologue aura intérêt à la connaître pour choisir l'équipement de ses forages. Il convient de tenir compte des risques de corrosion et d'incrustation des tubages et crépines et de programmer les travaux de forassions et d'équipement en fonction du calcul de l'index de RYZNAR. Le supplément de prix d'un équipement adapté doit s'avérer très vite bénéfique pour le maître d'ouvrage » (BRGM, 1976) .

La corrosion peut limiter sérieusement donc la durée de vie d'un puits d'eau de 3 manières :

- Agrandissement de la dimension des fentes de la crépine, entraînant la défaillance de l'ouvrage par pénétration de sable.
- Réduction de la résistance du tubage ou de la crépine qui peuvent alors s'écraser.
- Accumulation des produits de corrosion provoquant l'obstruction de la crépine.

Le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur (Fig.VI.2), où l'eau et son contenant (conduite,...) sont le siège d'interactions physicochimiques et biologiques. L'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de production. Les conditions qui contrôlent l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau sont complexes et ont fait l'objet ces dernières années d'une recherche approfondie. Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable pour les services d'exploitation (en usine de production ou sur le réseau) afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels.

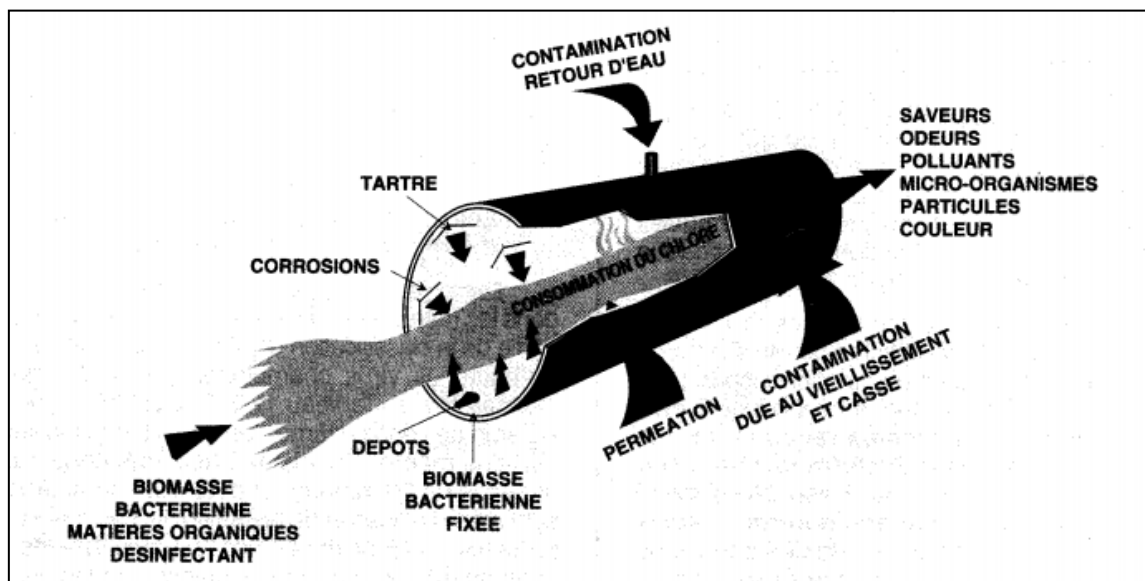


Figure VI.2: Le réseau réacteur d'après LEVI-1995)

L'agressivité de l'eau peut avoir des conséquences sur la canalisation (la disparition de la couche de protection, amincissement des canalisations en ciment mettant en danger la résistance mécanique de ces équipements, peut conduire à des fuites).

Enjeux de l'atteinte de l'état d'équilibre de l'eau :

- 1- Protection de la Santé ;
 - Réduction du risque de dissolution des métaux (plomb en particulier) ;
 - Elimination des eaux rouges due à la dissolution du fer ;
 - Maintien d'un meilleur taux de résiduel de chlore ;
 - Préservation de l'intégrité du réseau de distribution. .
- 2- Sauvegarde du Patrimoine ;
 - Protection contre les fuites et les casses ;
 - Limitation de l'entartrage pouvant entraîner des pertes de charges importantes.

VI.1.3.2 Méthodologie

La notion fondamentale permettant de comprendre les équilibres chimiques s'établissant à l'interface eau-conduites, déterminant les phénomènes d'incrustation ou d'agressivité de l'eau vis-à-vis des matériaux est « *l'équilibre calco-carbonique* ». Les eaux naturelles contiennent des éléments dissous, dont le plus fréquent est bicarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), existe à

Annaba- El Tarf

l'état instable dans l'eau et tout déséquilibre entre le CO_2 libre et les ions calcium tendent à déplacer l'équilibre dans un sens ou dans l'autre :

- Si les ions calcium sont en excès par rapport au CO_2 : le bicarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) aura tendance à précipiter de manière excessive sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) et l'eau sera entartrant.
- Si le CO_2 est en excès par rapport aux ions calcium, il peut y avoir des réactions de dissolution du carbonate de calcium (l'eau sera agressive)

Différents indices existent et permettent de traduire la nature de l'eau, agressive, neutre ou encore incrustante. Ces outils ont été développés dans le but de donner au traiteur d'eau une indication du comportement de l'eau dans le réseau d'adduction notamment pour la formation de la couche carbonatée (*INDICE DE LANGEЛИER*) et traduire l'interaction qu'il peut y avoir entre l'eau et les métaux (*INDICE DE RYZNAR*) à partir de pH de saturation d'une eau, qui prend en compte son équilibre carbonique. Ces indices semblent être actuellement les meilleurs indicateurs pour évaluer la qualité d'eau vis-à-vis le caractère corrosif – incrustant des eaux souterraines.

L'approche utilisée pour déterminer les indices de **LANGELIER** (Indice de Saturation) et de **RYZNAR** (Indice de Stabilité des eaux), est principalement établie à partir du programme « *Equilibre 1* » développée par (Pierre RAVARINI, 2007), permettent de traduire la nature de l'eau, agressive, neutre ou encore incrustante.

L'INDICE DE LANGELIER (Indice de Saturation [IS]): c'est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il y aura formation de tartre, cet indice permet d'estimer le degré de saturation d'une eau en carbonate de calcium. L'indice de Langelier est la différence entre le pH réel de l'eau et le pH d'équilibre ou pH de saturation, appelé pHs, (valeur de pH correspondant à un équilibre physico-chimique parfait des bicarbonates de calcium en solution), (Fig.VI.3).

$$\text{IS} = \text{pH réel} - \text{pHs}$$

L'évaluation de la position d'une eau vis-à-vis de l'équilibre calco-carbonique nécessite de calculer le pH d'équilibre ou de saturation (pHs). Il correspond au pH théorique que doit avoir l'eau pour se trouver en équilibre avec le carbonate de calcium.

Annaba- El Tarf

Si : $pH < pH_s$ Eau agressive. (Is est négatif, une tendance à la dissolution de $CaCO_3$ et l'eau attaque le béton, le ciment, les canalisations).

Si : $pH > pH_s$Eau entartrant.(Is est positif, une tendance à la formation de dépôts de $CaCO_3$ et l'eau est incrustante (entartrage)

$pH = pH_s$ Eau à l'équilibre

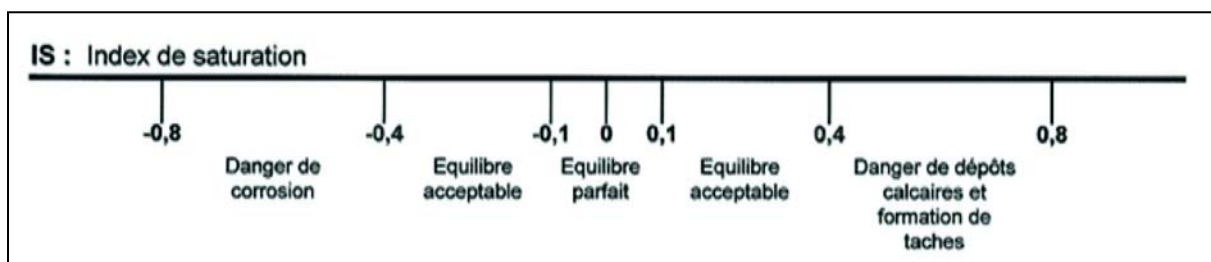


Figure VI.3: Etats d'équilibre des eaux en fonction de l'indice de Langelier

L'INDICE DE RYZNAR (Indice de Stabilité des eaux [IR]) : Cet index permet non seulement de différencier une eau entartrante d'une eau agressive ou d'une eau stable, mais aussi d'évaluer l'importance de l'entartrage ou de l'agressivité des eaux (Tab VI.1).

$$IR = 2 pH_s - pH \text{ réel}$$

Tableau VI.1 : Tendance de l'eau en fonction de l'indice de Ryznar

Indice de Ryznar (stabilité IR)	Tendance de l'eau
4 – 5	Entartrage important
5-6	Entartrage faible
6-7	Equilibre (eaux stables)
7-7,5	Légère corrosivité
7,5- 9,0	Corrosivité importante
> 9,0	Corrosivité intolérable

VI.1.3.3/ Résultats et Discussions

L'étude statistique des paramètres physico-chimiques qui ont une influence sur le pouvoir corrosif et/ou entartrant des eaux ainsi que les statistiques des Indices de Langelier et Ryznar sont reportés dans le [tableau VI.2](#).

Tableau VI.2: Statistiques descriptives des : pH, pHs, CE, TAC, Cl⁻, Indice de Langelier et Indice de Ryznar

	Statistique	poids	Min	1er Quartile	Médiane	3 ^{ème} Quartile	Max	Moyenne
pH	Bouteldja	22	5,08	5,94	6,17	6,338	6,84	6,121
	Les Salines	5	7,05	7,13	7,15	7,33	7,35	7,202
	El Tarf	4	6	6,45	6,7	6,978	7,51	6,728
	Berrahal	3	7,29	7,29	7,29	7,535	7,78	7,453
CE	Bouteldja	22	120	130,825	143,55	153,95	283	153,814
	Les Salines	5	1975	2020	2530	2580	2740	2369
	El Tarf	4	167	179,75	184	279,5	566	275,25
	Berrahal	3	1609	1707,5	1806	1943	2080	1831,667
pHs	Bouteldja	22	8,79	9,753	9,9	10,098	10,49	9,857
	Les Salines	5	6,67	6,69	6,74	6,82	6,85	6,754
	El Tarf	4	7,33	8,943	9,53	9,738	10,21	9,15
	Berrahal	3	6,81	6,855	6,9	6,91	6,92	6,877
TAC	Bouteldja	22	1,82	5,025	7,84	10	42	9,849
	Les Salines	5	294	300	332	352,8	367,5	329,26
	El Tarf	4	4	8,5	12,5	61,25	200	57,25
	Berrahal	3	280	290	300	317,5	335	305
Indice de Langelier	Bouteldja	22	-4,67	-3,983	-3,71	-3,528	-2,62	-3,735
	Les Salines	5	0,28	0,38	0,41	0,51	0,66	0,448
	El Tarf	4	-3,58	-3,453	-3,145	-2,115	0,18	-2,423
	Berrahal	3	0,37	0,38	0,39	0,68	0,97	0,577
Indice de Ryznar	Bouteldja	22	11,41	13,325	13,57	14,1	15,15	13,596
	Les Salines	5	6,03	6,28	6,31	6,34	6,56	6,304
	El Tarf	4	7,16	11,068	12,76	13,268	13,62	11,575
	Berrahal	3	5,85	6,18	6,51	6,525	6,54	6,3
Chlorure	Bouteldja	22	24,820	31,9	34,13	35,45	49,63	34,523
	Les Salines	5	397,070	478,16	496,3	538,88	691,33	520,348
	El Tarf	4	35,090	38,015	40,765	45,198	53,17	42,448
	Berrahal	3	283,620	301,31	319	372,22	425,44	342,687

CE : en $\mu\text{S/cm}$, Cl⁻ en (mg/l)

Description Statistique

- **Alcalinité ou Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** : est une mesure de l'alcalinité de l'eau, elle évalue le pouvoir tampon de l'eau (c'est-à-dire la capacité d'influence d'un produit acide ou basique sur le pH de l'eau). Le TAC est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'ions hydroxydes, de bicarbonates (HCO_3) et de carbonates (CO_3).

Dans l'ensemble, les eaux de la région de Barrahal et les Salines montrent des valeurs assez élevées de TAC. Les valeurs les plus faibles sont rencontrées dans les forages de Bouteldja et d'El Tarf. Par conséquent, les forages implantés dans cette région seront plus sensibles aux phénomènes de corrosion (Fig. VI.4).

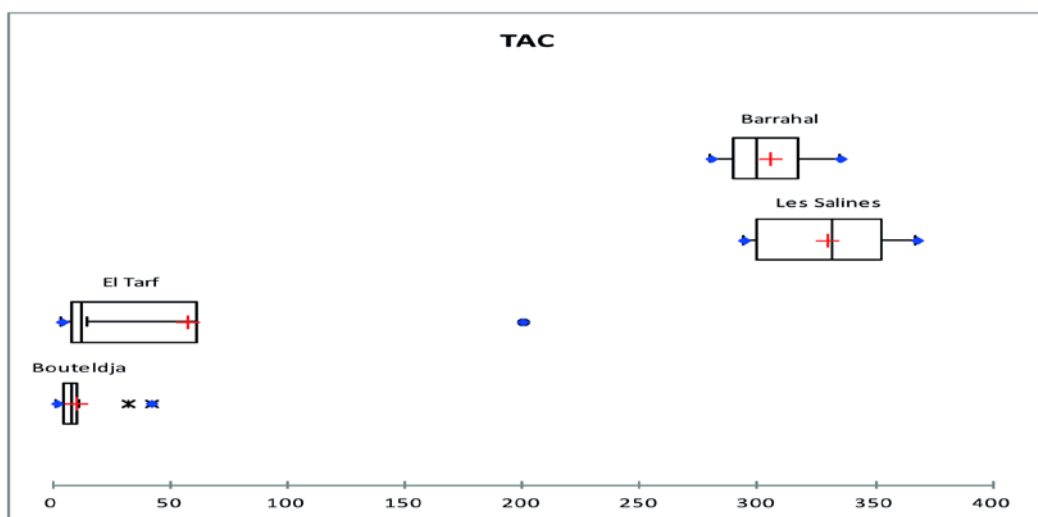


Figure VI.4: Représentation du TAC par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.

- Chlorure

Les ions chlorures sont susceptibles de réagir avec l'eau en produisant de l'acide chlorhydrique. Il s'ensuit les zones à pH faible qui accélère la corrosion du métal.

L'étude cartographique des teneurs en chlorure (Fig.VI.5) montre, que les valeurs sont relativement variées. Les zones de Barrahal et les Salines, présentent des valeurs extrêmes avec des teneurs supérieures à la valeur guide de 150 mg/l. les valeurs les moins importantes sont rencontrées au niveau d'El Tarf et Bouteldja.

Annaba- El Tarf

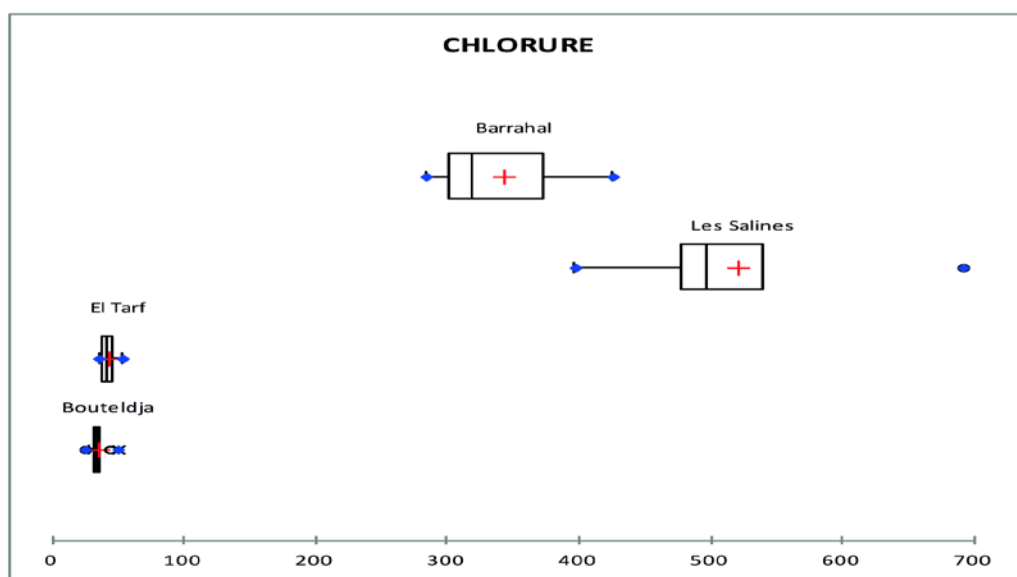


Figure VI.5: Représentation du Chlorure par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.

- **Conductivité** : il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité électrique. La conductivité est proportionnelle au degré de minéralisation.

La conductivité électrique présente des variations oscillant entre 121 à 283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'ensemble des forages de Bouteldja, les eaux présentent une faible minéralisation à peu accentuée. Les fortes conductivités se concentrent dans la batterie de pompage des salines, elle oscille entre 1975 à 2740 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ces eaux sont fortement minéralisées (Fig.VI.6).

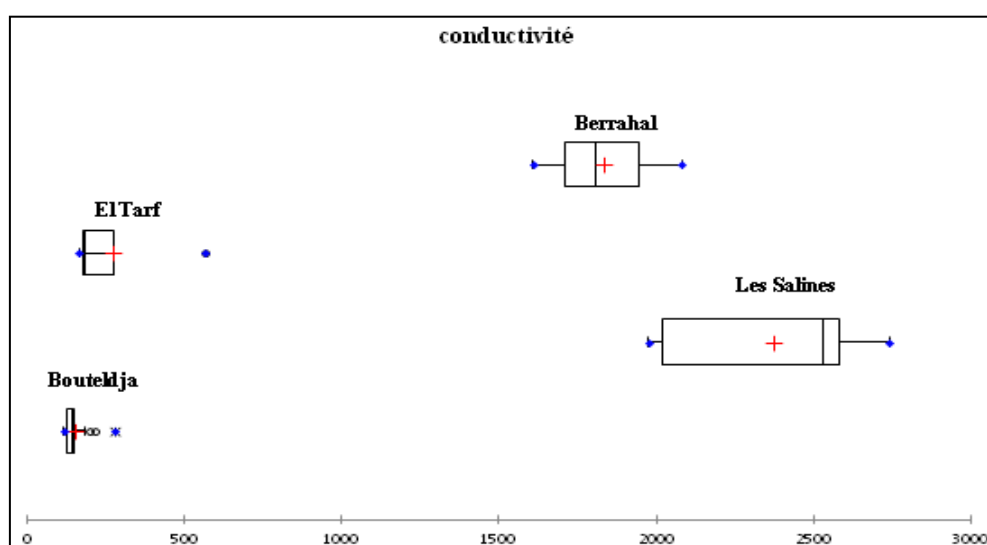


Figure VI.6: Représentation de la CE par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.

Annaba- El Tarf

- **pH** : Le pH est l'un des critères de base permettant de définir l'agressivité, l'objectif de la réglementation est la distribution d'une eau à l'équilibre respectant les valeurs de pH compatibles avec la potabilité de l'eau ($\text{pH} < 8,5$) (Fig.VI.7).

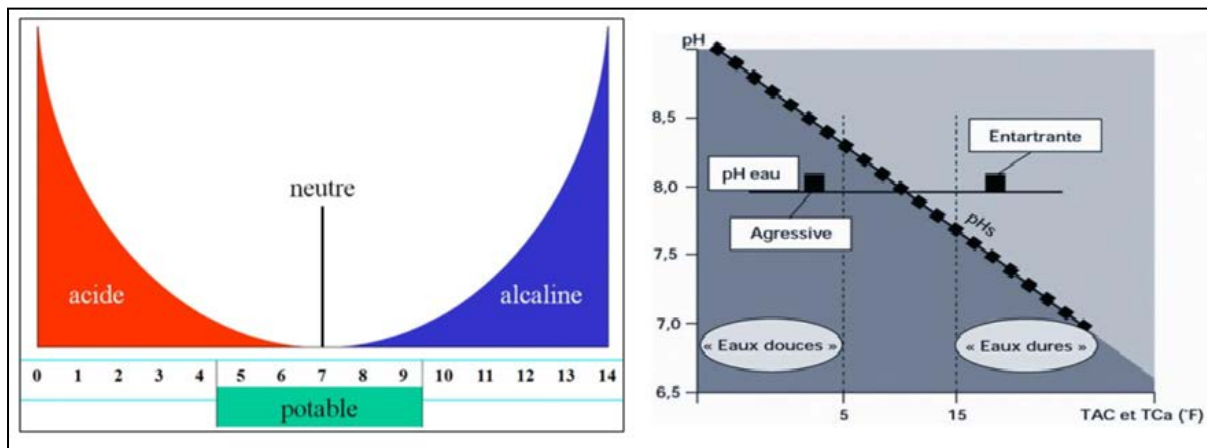


Figure VI.7 : Caractéristique de l'eau en fonction du pH

Le pH des eaux d'un milieu a une influence sur les phénomènes de corrosion (corrosion plus rapide à un $\text{pH} < 6,5$).

Les eaux de Barrahal et des Salines, présentent des valeurs relativement élevée (> 7) (Fig.VI.8). Les valeurs du pH des eaux de Bouteldja et d'El Tarf sont plus étalées traduisant vraisemblablement l'influence sur la corrosion.

Annaba- El Tarf

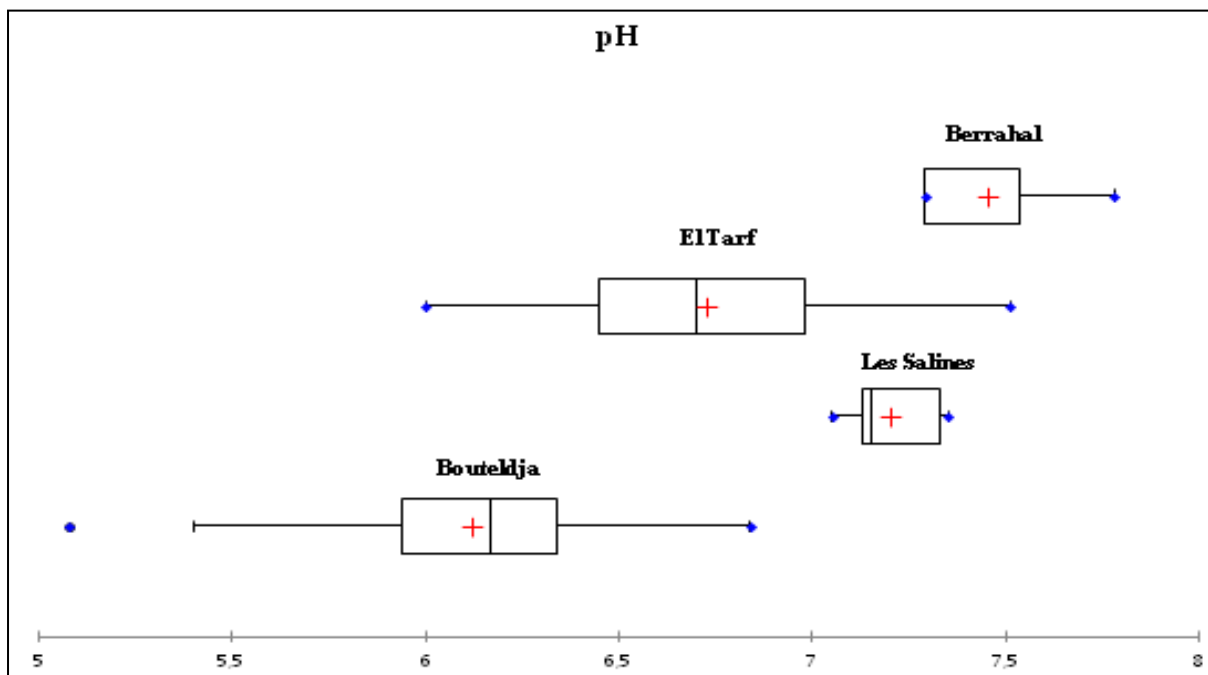


Figure VI.8: Représentation de la variation du pH par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.

- **pHs** (pH de saturation) : valeur de pH correspondant à un équilibre physico-chimique parfait des bicarbonates de calcium en solution, et donc à la disparition de toute tendance incrustante ou agressive.

Le pHs est généralement déterminé à l'aide de la formule établie par LANGELEIR :

$$\text{pHs} = (\text{pK}'2 - \text{pK}'S) + \text{pCa} = \text{pAlc}$$

Avec:

K'2 = Constante dérivée de K2, deuxième constante de dissociation du gaz carbonique ;

K'S = Constante dérivée de ks, produit d'activité du carbonate de calcium ;

pCa = Cologarithme de la concentration molaire en ion calcium ;

pAlc = Cologarithme de l'alcalinité total (TAC) exprimée en équivalent gramme /litre

Donc le calcul du pHs d'une eau dépend de sa teneur en bicarbonates (pAlc), en sels de calcium (pCa) ainsi que du paramètre (**pK'2**, **pK'S**) qui varie avec la salinité total, la force ionique et la température. De nombreux abaques, diagrammes permettent un calcul rapide du pHs à partir de cette formule.

Annaba- El Tarf

Dans notre cas, le calcul du pHs est exécuté par le logiciel « équilibre ». La figure VI.9 montre la répartition des valeurs du pHs la zone d'étude.

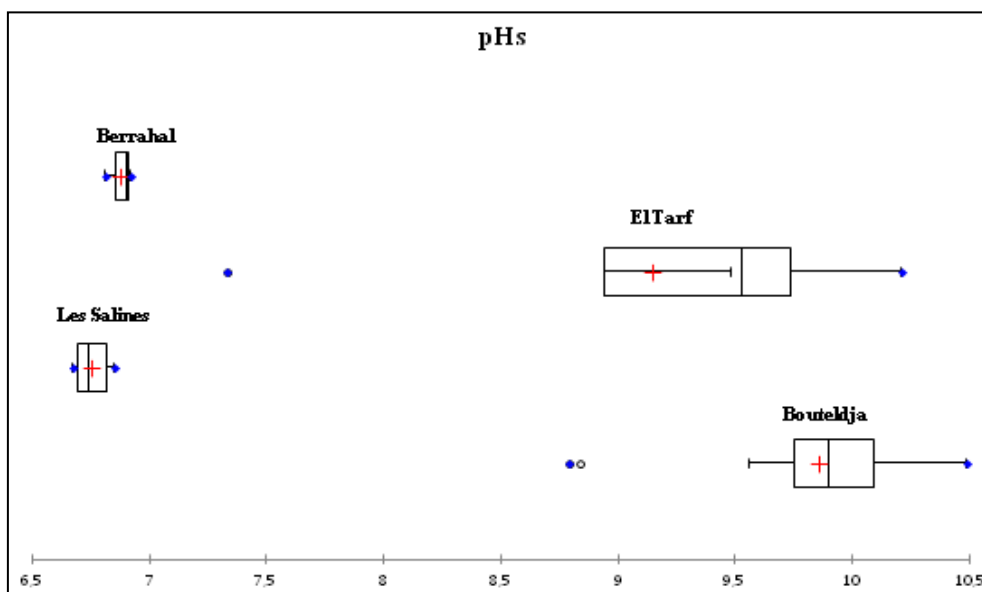


Figure VI.9: Représentation du pHs par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey.

- Les Indices de LANGELIER et de RYZNAR

Les résultats obtenus des calculs de l'indice de Langelier montrent que l'ensemble des forages de Bouteldja et El-Tarf représentent un indice négatif (Fig. VI.10), ce sont des eaux agressives par contre les eaux du forage de Barrahal et les Salines représentent un indice positif, il y a une formation de dépôts de CaCO_3 et l'eau est entartrant. Le traitement statistique des résultats illustre que 73,53 % des échantillons sont essentiellement corrosifs (Bounab.S et al, 2017)

L'évaluation du degré d'agressivité des eaux par l'indice de Ryznar (Fig.VI.11), les résultats montrent un taux alarmants, soient 73,53 % des eaux représente une corrosion intolérable, 20,59% des eaux sont légèrement corrosif, 2,94% des échantillons indiquant une importante corrosion et 2,94 % sont des eaux entartrâtes. (Bounab.S et al, 2017)

La comparaison des deux indices montre clairement, que les résultats de Langelier sont raisonnablement comparables aux valeurs de Ryznar et que les échantillons présentent la même propriété par rapport aux deux indices. (Bounab.S et al, 2017)

Annaba- El Tarf

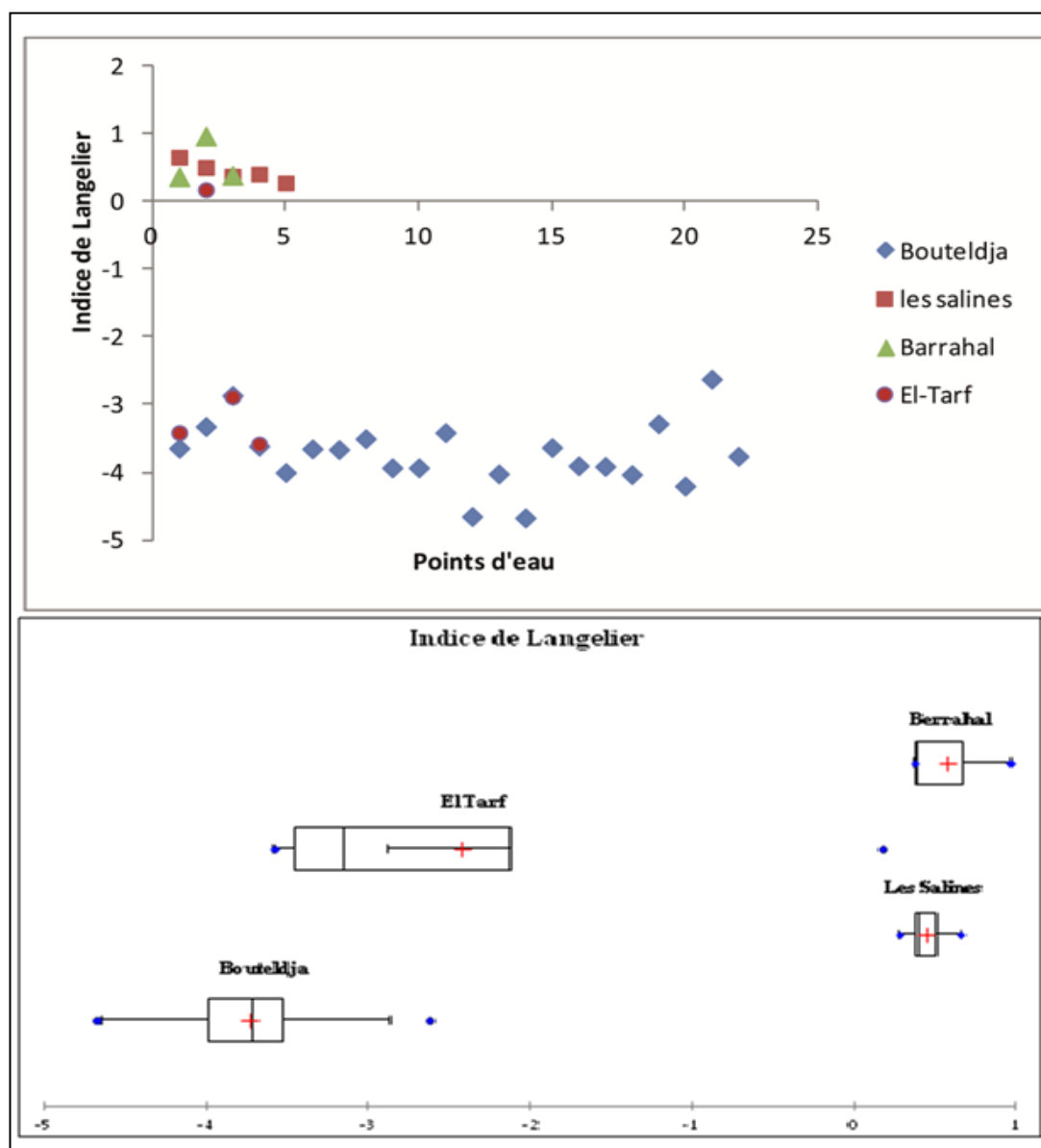


Figure VI.10: Indice de Langelier des eaux souterraines de l'extrême Nord-est Algérien (Bounab.S et al, 2017)

Annaba- El Tarf

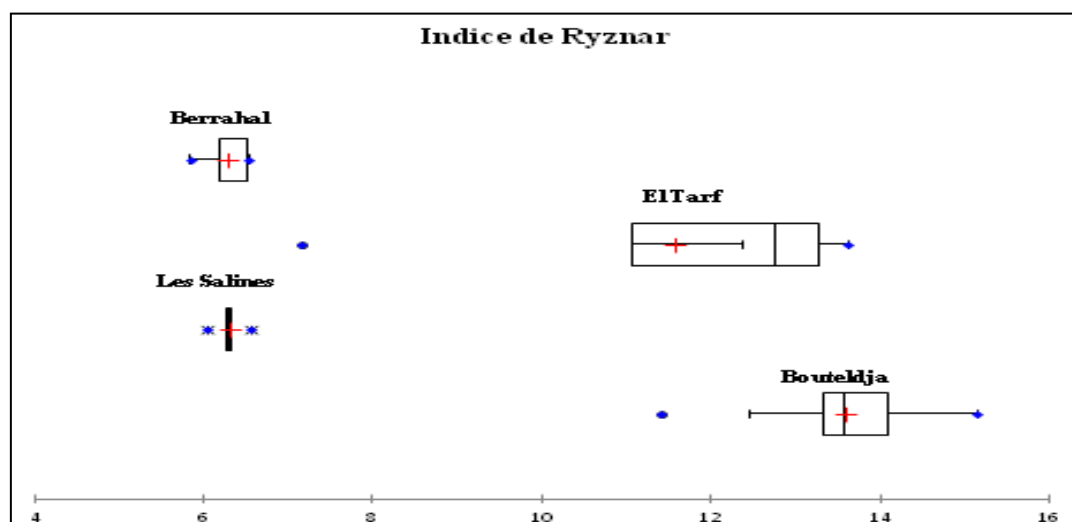


Figure VI.11: Représentation de l'Indice de Ryznar par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey (Bounab.S et al, 2017)

- La corrélation pH- indice de Langelier: la figure VI.12, illustre que les eaux acides ($\text{pH} < 7$) représentant une propriété corrosive plus importante.

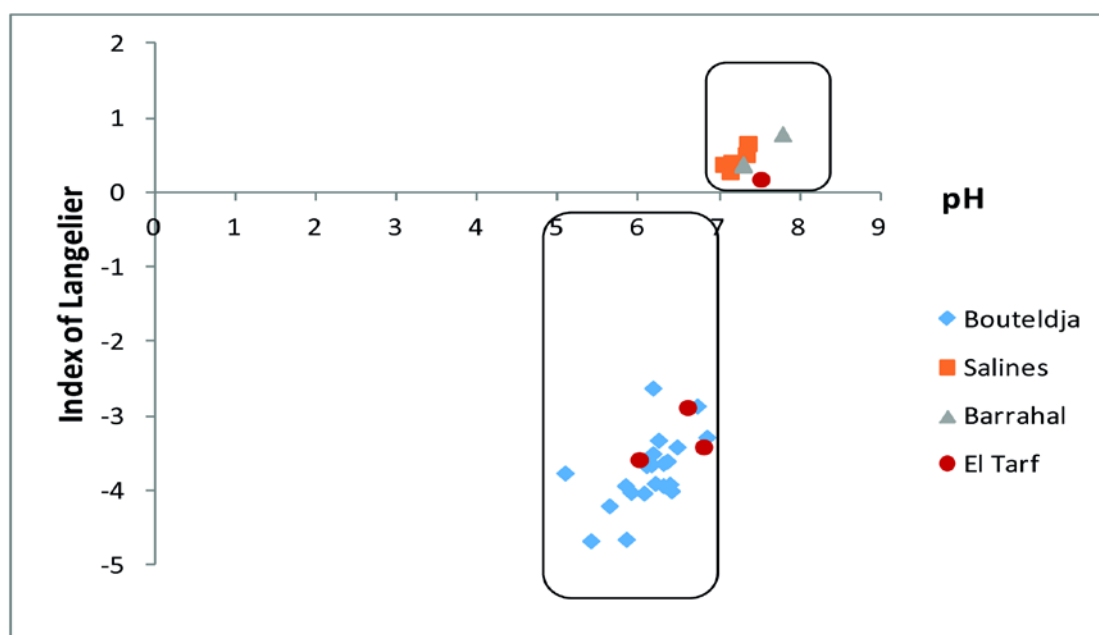


Figure VI.12: Corrélation pH- Indice de Langelier (Bounab.S et al, 2017).

VI.1.4/ Typologie hydrogéochimique des eaux souterraines

VI.1.4.1/ Introduction

La caractérisation hydrogéochimique des eaux, nécessite l'utilisation de différents outils hydrochimiques et méthodes géochimiques susceptibles d'expliquer les différents mécanismes associés à la minéralisation des eaux. Les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff restent de très bons outils pour déterminer les différents facies hydrochimiques. L'utilisation des rapports ioniques caractéristiques ainsi que la comparaison des teneurs en éléments conservatifs avec le reste des éléments peuvent donner des réponses à la forte charge minérale des eaux souterraines de l'extrême Nord-est Algérien.

VI.1.4.2/ Résultats et Discussions

Les paramètres physico-chimiques, les concentrations en éléments majeurs et mineurs des échantillons d'eau, sont reportés dans le [Tableau VI.3](#)

Les analysées sont dominées par trois groupes d'éléments chimiques. Le premier présente des teneurs dominantes en Na^{+2} et Cl^{-} (11-24 à 417-691 mg/l), suivis par le HCO_3^{-} et Ca^{+2} (2-1,6 à 448-208 mg/l) et SO_4^{-2} et Mg^{+2} (5,7-1 à 413-100) respectivement.

Tableau VI.3 : Teneurs des éléments chimiques

Paramètres physicochimiques	Unités	Normes OMS	Min	Max	Moy	Ecart-type
Température	C ⁰	25	14,5	24,20	19,826	2,429
pH		6,5 – 8,5	5,080	7,780	6,469	0,634
CE	μS /cm	180-1000	120,000	2740,000	641,909	882,167
NO ₂	mgL ⁻¹	0,2	0,010	0,110	0,028	0,022
NO ₃	mgL ⁻¹	≤ 50	1,100	21,260	7,644	5,257
Ca	mgL ⁻¹	200	1,600	208,420	45,543	68,295
Mg	mgL ⁻¹	150	0,910	99,650	18,907	28,498
Na	mgL ⁻¹	≤ 200	11,700	417,000	83,356	111,727
K	mgL ⁻¹	≤ 12	0,200	4,700	2,245	1,160
Fe	mgL ⁻¹	≤ 0,3	0,010	3,370	0,455	0,717
HCO ₃	mgL ⁻¹	450	2,220	448,350	107,872	165,230
Cl	mgL ⁻¹	≤ 250	24,820	691,330	134,091	189,675
SO ₄	mgL ⁻¹	≤ 250	5,760	412,800	57,057	96,748

VI.1.4.2.1/ Faciès chimiques des eaux

La détermination des faciès hydrochimiques est souvent utilisée en hydrogéologie pour décrire grossièrement le chimisme des eaux naturelles ainsi que la lithologie de l'encaissant. La représentation graphique des résultats d'analyses en utilisant le diagramme de PIPER (logiciel Diagrammes) permet de représenter simultanément plusieurs échantillons.

En observant le diagramme de PIPER (Fig.VI.13), on remarque que les anions sont dans leur globalité riches en chlorures, les cations ont une domination en sodium et en potassium. Un nombre d'échantillon indique une richesse des eaux en calcium et magnésium. La combinaison des deux triangles montre que 82, 35% des eaux de la zone d'étude sont chlorurées sodiques, 8,82% Bicarbonaté sodique, 5,88% Bicarbonaté calcique et 2,94 % sulfaté sodique.

Annaba- El Tarf

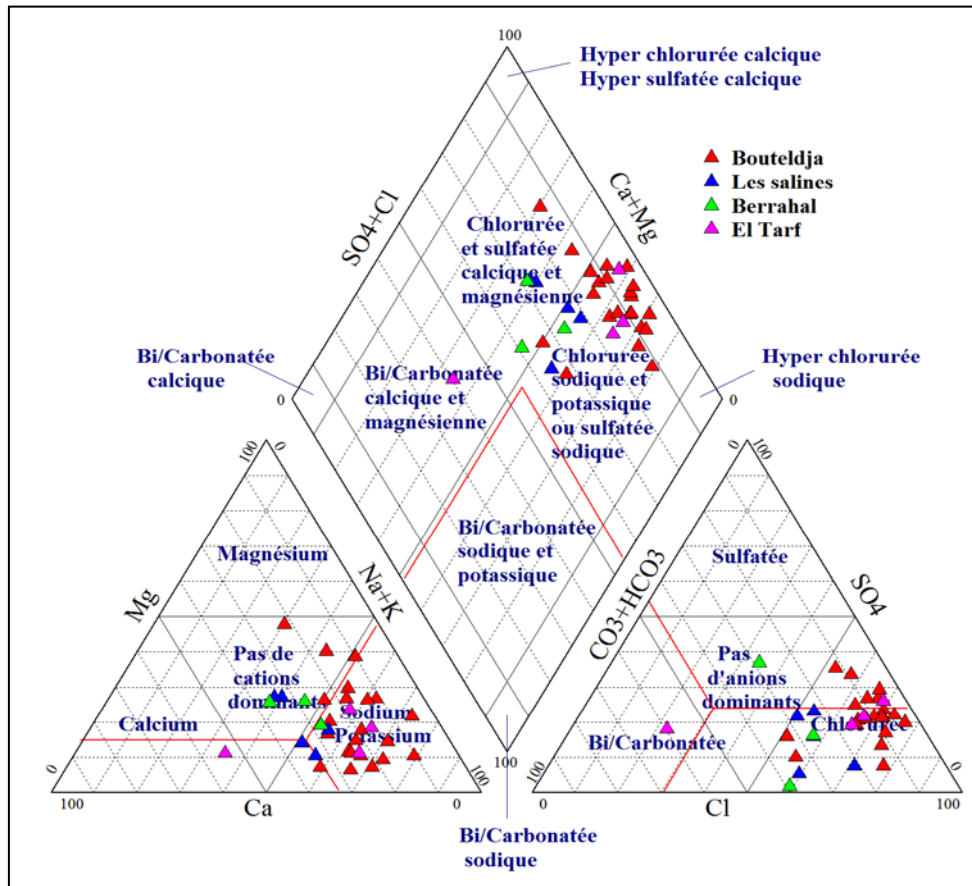


Figure VI.13 : Diagramme de Piper pour les eaux de l'extrême Nord-est Algérien (Annaba-El Tarf). (Bounab.S et al, 2017)

VI.1.4.2.2/ Classification hydro-chimique des eaux souterraines

- Le rapport binaire $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE

La représentation graphique $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE (Fig.VI.14), montre que la salinité des eaux de la région Annaba-El Tarf est en liaison directe avec l'effet des évaporites pour la plus part des échantillons prélevés.

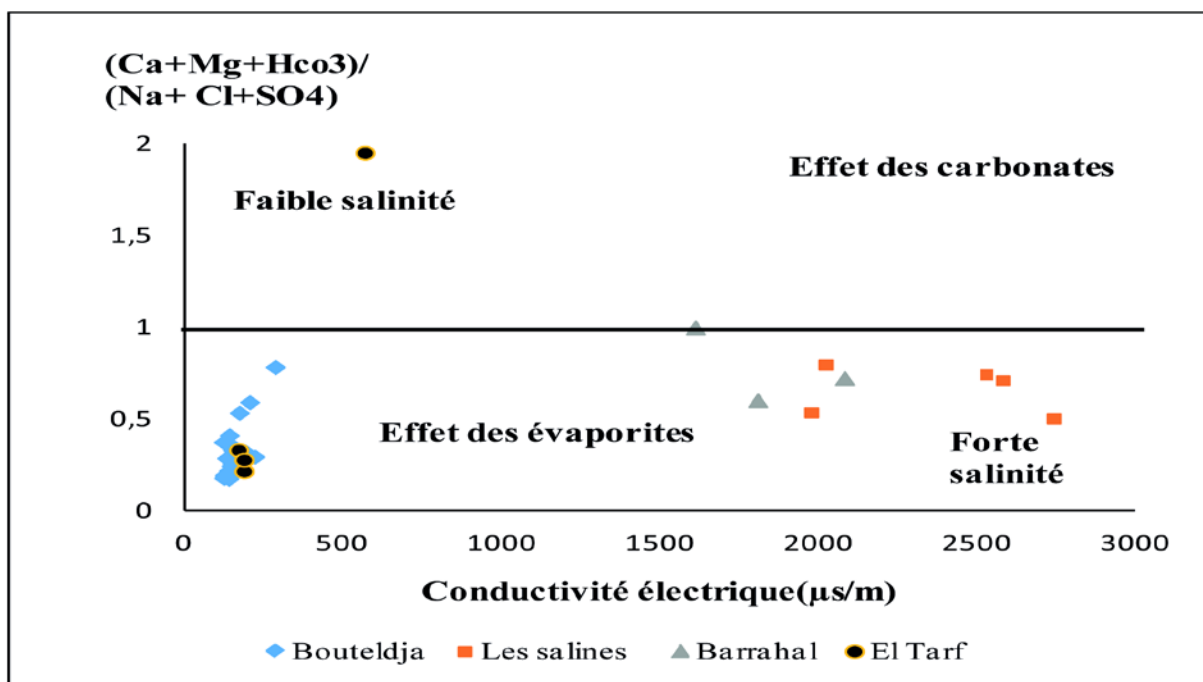


Figure VI.14: Représentation graphique $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE des eaux souterraines Annaba-El Tarf (Bounab.S et al, 2017)

- Le rapport binaire du $(Ca^{+2} + Mg^{+2})-(Na^{+} K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$

Le rapport binaire du $(Ca^{+2} + Mg^{+2})-(Na^{+} K^{+})$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$ permet de classer les eaux en quatre groupes (Chadha, 1999).

Groupe 1 : Eaux de recharge de type Ca- HCO_3

Groupe 2: Eaux avec un excès en Ca-Mg-Cl ayant subi un échange ionique inverse

Groupe 3 : Eaux salées riches en Na-Cl qui sont soit des eaux de mer soit ayant séjourné en contact avec des formations salées.

Groupe 4 : Eaux ayant subi un échange ionique Na - HCO_3

Cette classification permet de mieux comprendre l'évolution des différents processus hydrogéochimiques des eaux souterraines (Karmegam U. & al, 2010, Vandenbohede A. & al, 2010, Thilagavathi R.& al, 2012, Djenba S. & al, 2015), son application sur les eaux souterraines d'Annaba- El Tarf (Fig.VI.15), montre que la majorité des échantillons se trouve dans le groupe 3 et à moindre degré dans le groupe 2. Le groupe 1 contient un échantillon d'eau se trouvant dans la région d'El-Tarf, il s'agit d'eau faiblement chargée de type bicarbonaté calcique. Ceux du groupe 2, sont des eaux caractérisées par un excès en Ca^{+2} et

Annaba- El Tarf

Mg^{+2} au détriment de Na^+ et K^+ . La présence de Ca^{+2} et Mg^{+2} est dû à l'altération des minéraux riches en Ca^{+2} autre que les carbonates probablement le gypse et/ou l'anhydrite. Les eaux du groupe 3 riches en Na^+Cl^- , correspondent à des eaux ont probablement subi un échange ionique ayant abouti à une libération de Na^+ ou à une contamination par les eaux de mer. Ce sont des eaux de type chloruré sodique. Le groupe 4 contient un échantillon se trouvant dans la zone de Barrahal de type bicarbonaté sodique. (Bounab.S et al, 2017)

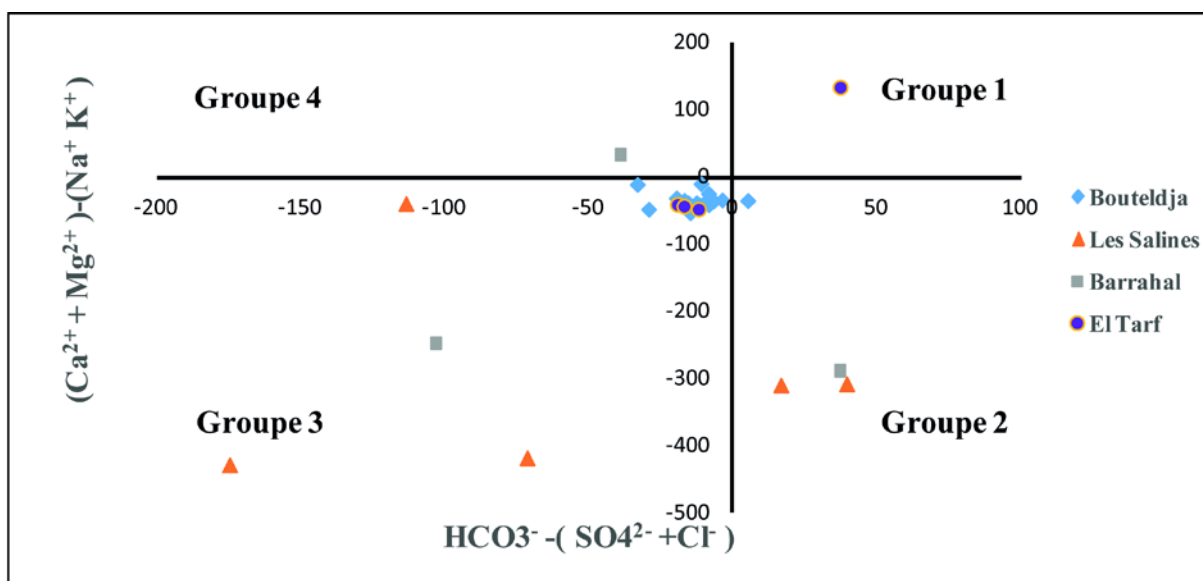


Figure VI.15: Représentation graphique $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^+ + K^+)$ vs $HCO_3^- - (SO_4^{2-} + Cl^-)$ des eaux souterraines Annaba-El Tarf (Bounab.S et al, 2017) .

IV.1.4.2.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives se présentant sous la forme de tableaux à M observation / N variable (XLSTAT). Elle permet de :

- Visualiser et analyser rapidement les corrélations entre les N variables.
- Visualiser et analyser les M observations initialement décrites par N variables sur un graphique à deux ou trois dimensions, construit de manière à ce que la dispersion entre les données soit aussi bien préservée que possible.

Les données sont des analyses hydrochimiques des éléments majeurs et traces prélevées dans différents forages d'eau. Chaque échantillon d'eau constitue une unité statique,

Annaba- El Tarf

appelée observation ou individu. Les paramètres analysés constituent les variables qui caractérisent ces unités.

Les valeurs propres des facteurs sont présentées dans le [Tableau VI.4](#).

Tableau VI.4: Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée

Facteur	F1	F2	F3
Valeur propre	8,189	1,494	1,153
Variabilité (%)	62,991	11,489	8,869
% cumulé	62,991	74,481	83,349
Cumul de valeur propre	8,180	9,683	10,7983

Le pourcentage de variances exprimées est de 62,991% pour le facteur 1, 11,489% pour le facteur 2 et 8,869 pour le facteur 3. La représentation sur les deux premiers facteurs illustre de manière satisfaisante de la structure des nuages de points et montre un regroupement des paramètres CE , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , pH autour de l'axe factoriel F1 due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées et évaporitiques. Le deuxième axe factoriel représente 11,49% de l'inertie totale, caractérisé positivement par Fe^+ et négativement par le NO_3^- et NO_2^- , dont l'origine pourrait être due aux actions anthropiques (industrielle et agricole), ([Fig.VI.16](#)).

La liaison existant entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont donnés par la matrice de corrélation ([Tableau VI.5](#)). On note de nombreuses corrélations faibles et négatives, faibles, fortes et positives entre certaines variables.

Annaba- El Tarf

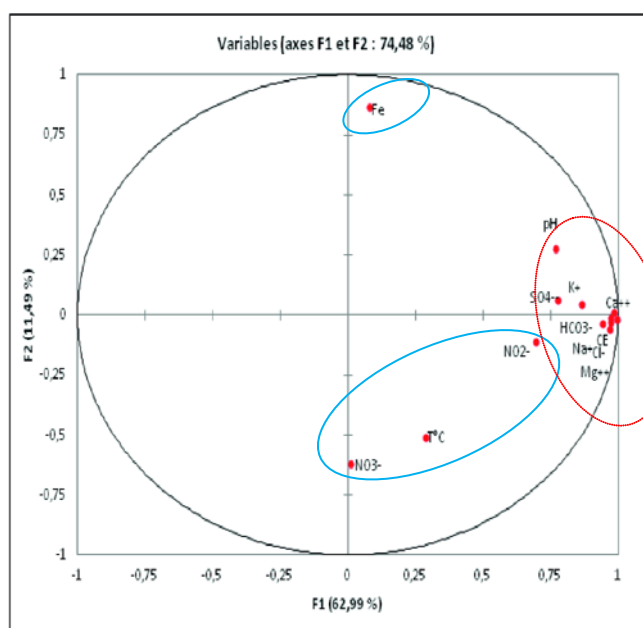


Figure VI.16 : Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F2

Tableau VI.5 : Matrice de corrélation entre les variables

Variables	T°C	pH	CE	HCO3-	Fe	Cl-	NO2-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+
T°C	1												
pH	0,086	1											
CE	0,290	0,734	1										
HCO3-	0,299	0,786	0,969	1									
Fe	0,262	0,188	0,062	0,053	1								
Cl-	0,314	0,677	0,977	0,916	0,078	1							
NO2-	0,126	0,383	0,693	0,578	0,042	0,745	1						
NO3-	0,053	0,005	0,015	0,069	0,375	0,038	0,021	1					
SO4--	0,114	0,653	0,772	0,776	0,055	0,689	0,351	0,036	1				
Ca++	0,243	0,772	0,984	0,988	0,068	0,940	0,623	0,021	0,804	1			
Mg++	0,242	0,673	0,944	0,917	0,058	0,895	0,641	0,076	0,775	0,931	1		
Na+	0,349	0,684	0,973	0,932	0,039	0,985	0,706	0,009	0,665	0,942	0,871	1	
K+	0,351	0,646	0,841	0,821	0,166	0,851	0,593	0,055	0,515	0,808	0,768	0,852	1

Annaba- El Tarf

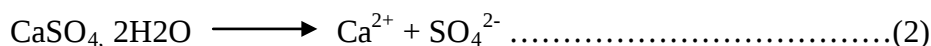
La matrice de corrélation (Tab.VI.5) montre que la conductivité est très corrélée avec les ions, Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ($r > 0,8$).

La forte corrélation entre Na^+ et Cl^- ($r = 0,985$) est liée à la dissolution de la halite par la présence des formations salifères selon la réaction :



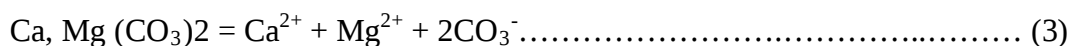
Et par une salinité d'origine marine (Djabri. L, 1996).

Une très forte corrélation entre Ca^{2+} et HCO_3^- ($r = 0,988$), indique que la calcite est une source importante de Ca^{2+} . La relation de Ca^{2+} et SO_4^{2-} ($r = 0,804$), indique que la présence des ions sulfate et calcium dans l'eau souterraines est liée à la dissolution des formations gypseuse (Debieche, 2002), selon la relation :



Par contre, une forte corrélation entre Ca^{2+} et le Na^+ ($r = 0,942$), Mg^{2+} et Na^+ ($r = 0,871$), peut être aussi expliquée par la dissolution des silicates, qui est une source probable de Na^+ dans les eaux souterraines, ainsi que l'échange de base entre le Ca^{2+} ou Mg^{2+} et Na^+ .

Une très forte corrélation entre Ca^{2+} et Mg^{2+} ($r = 0,931$), indique que la dissolution de la calcite et la dolomite est un important processus de contrôle de concentrations de Ca^{2+} et de Mg^{2+} dans les eaux souterraines. Les origines de calcium sont comparables à celle du magnésium, ils peuvent provenir aussi de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse (Saou, 2013), selon les réactions:



Le rapport $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$, renseigne sur l'origine de ces éléments (Ca^{+2} et Mg^{+2}) à partir de la dissolution de la calcite et de la dolomite. Si ce rapport $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2} \leq 1$, on a une dissolution de la dolomite par contre un rapport plus élevé témoigne de la dissolution de la calcite (Maya A.L. Loucks M.D, 1995), quand il est supérieur à 2, il indique la dissolution des minéraux silicatés (Katz B.G. & al, 1998). L'application de cette classification sur les eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf (Fig. VI.17), montre que, la majorité des échantillons d'eau analysés (52,9 %) ont des rapports supérieurs à 2 traduisant ainsi une dissolution des silicates suivie de celle de la calcite (26,7 %) et de la dolomite (20,6 %).

Annaba- El Tarf

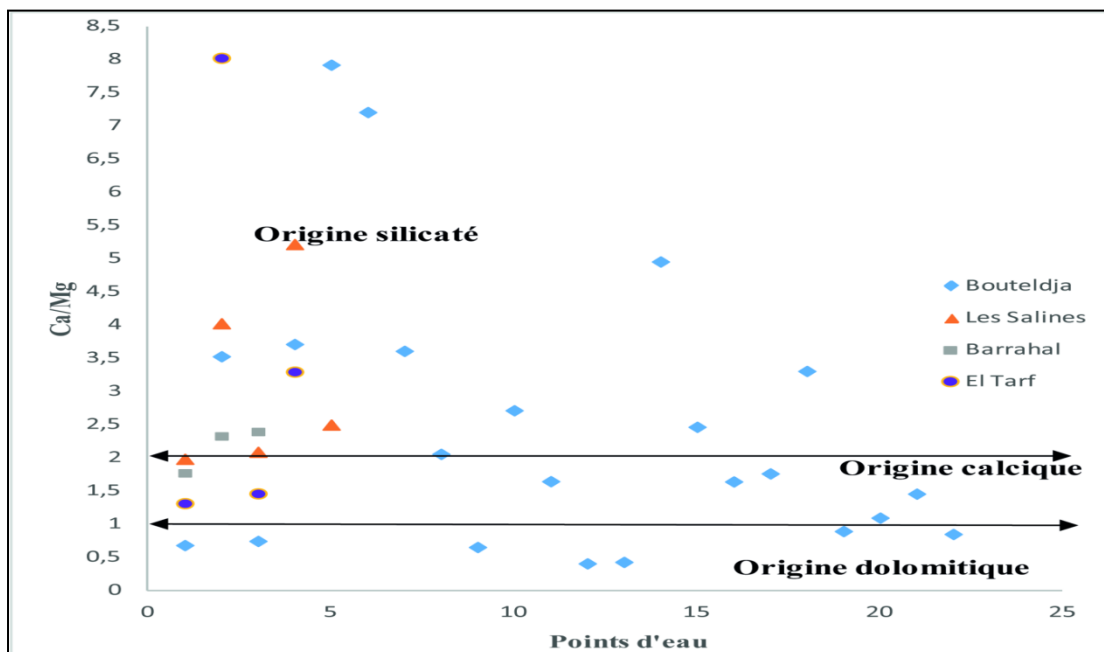


Figure VI.17 : Rapport $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ versus points d'eaux (Bounab.S et al, 2017)

VI.1.5/ Modélisation géochimique des eaux

VI.1.5.1/ Introduction

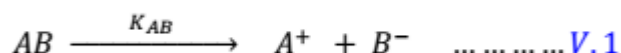
PHREEQC est un modèle basé sur l'association d'ions d'une solution aqueuse et a été conçu pour effectuer la séparation aqueuse et le calcul des indices de saturation (Parkhurst et Appelo, 1999). Le modèle géochimique PHREEQC est capable de simuler un grand nombre de réactions d'équilibre entre l'eau et les minéraux, échanges ioniques, surfaces complexes, solides solutions et des gaz. Il a également une formulation cinétique générale qui permet la modélisation de la dissolution et la précipitation. Il est utilisé pour déduire des réactions géochimiques dues aux changements de la composition chimique des eaux le long d'un chemin d'écoulement (Tiruta-Barna, 2008, Kouzana et al, 2009, Scott et al, 2011).

VI.1.5.2/ Indice de Saturation

L'indice de saturation (IS) vis-à-vis d'un minéral est connu comme étant le reflet de l'état du système vis-à-vis d'un minéral présent ou potentiellement présent. Il sert à connaître le degré de saturation des eaux par rapport aux minéraux présents ou susceptibles de se précipiter dans l'aquifère. Les indices de saturation ont été souvent utilisés pour expliquer

Annaba- El Tarf

le comportement non conservatif des différentes phases résultant des interactions eau-roche (Ben Moussa et al,2001, Dindane et al, 2003, Canovas et al, 2008, Aguasanta et al,2009, Blaser et al, 2010,Ketata et al, 2011). Il est défini comme le logarithme décimal du rapport entre le produit ionique et la constante d'équilibre de la réaction de dissolution considérée. Ainsi pour un minéral AB qui se dissocie en donnant A^+ et B^- on a la réaction de dissolution peut s'écrire (Appelo et Postma, 1996) :



La constante d'équilibre correspond à :

$$K_{AB} = [A^+]_0 * [B^-]_0 \dots\dots\dots V2$$

Où $[A^+]_0$ et $[B^-]_0$ sont respectivement les concentration en ions A^+ et B^- à l'équilibre.

L'indice de saturation de la solution vis-à-vis du minéral AB s'écrit alors :

$$IS_{AB} = \log \left[\frac{[A^+] * [B^-]}{K} \right] \dots\dots\dots V.3$$

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf par la dissolution/précipitation de certains minéraux, le calcul des indices de saturation à été effectué pour les eaux des forages de (Bouteldja, El Tarf, Les Saline et Barrahal). Les valeurs des indices de saturation pour chaque échantillon ainsi que les faciès hydrochimiques sont présentées dans le [Tableau VI.6](#)

Lorsque : $IS < 0$, la solution est sous-saturée par rapport au minéral (Dissolution du minéral)

Lorsque : $IS = 0$, la solution et la phase solide sont à l'équilibre (Equilibre)

Lorsque : $IS > 0$, la solution est sursaturée par rapport au minéral (Précipitation)

Annaba- El Tarf

Tableau VI.6 : Indices de saturation des eaux souterraines de la région Annaba-El-Tarf.

Lieu	N°	Faciès	Minéraux Carbonatés			Minéraux Evaporitiques		
			Calcite CaCO_3	Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Aragonite CaCO_3	Anhydrite CaSO_4	Gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Halite NaCl
B O U T E L D J A	1	CS	-3,51	-6,55	-3,65	-4,07	-3,84	-7,51
	2	CS	-3,16	-6,63	-3,31	-3,43	-3,18	-7,44
	3	CS	-2,72	-5,07	-2,87	-3,43	-3,18	-7,9
	4	CS	-3,46	-7,21	-3,61	-3,37	-3,13	-7,66
	5	CS	-3,82	-8,28	-3,97	-3,55	-3,31	-7,93
	6	CS	-3,51	-7,58	-3,65	-3,52	-3,28	-7,7
	7	CS	-3,52	-7,32	-3,67	-3,16	-2,92	-7,62
	8	CS	-3,36	-6,75	-3,51	-3,42	-3,18	-7,76
	9	CS	-3,78	-7,12	-3,93	-3,56	-3,32	-7,78
	10	CS	-3,3	-6,77	-3,45	-3,36	-3,12	-7,73
	11	CS	-3,29	-6,52	-3,44	-3,39	-3,15	-7,49
	12	CS	-4,48	-8,34	-4,63	-4,15	-3,9	-7,68
	13	CS	-3,88	-7,14	-4,03	-3,59	-3,34	-7,63
	14	CS	-4,52	-9,41	-4,67	-3,45	-3,22	-7,61
	15	CS	-3,5	-7,11	-3,65	-3,3	-3,06	-7,61
	16	CS	-3,76	-7,45	-3,9	-3,57	-3,33	-7,69
	17	CS	-3,77	-7,51	-3,92	-3,48	-3,25	-7,78
	18	CS	-3,88	-8	-4,03	-3,62	-3,39	-7,7
	19	CS	-3,13	-5,95	-3,28	-3,64	-3,4	-7,76
	20	CS	-4,07	-7,86	-4,21	-3,73	-3,5	-7,93
	21	BS	-2,48	-4,88	-2,63	-3,3	-3,05	-7,32
	22	BS	-3,68	-6,96	-3,83	-3,29	-3,07	-7,25
S A L I N E S	23	CS	0,53	1,07	0,39	-1,44	-1,21	-5,49
	24	CS	0,39	0,48	0,24	-1,3	-1,07	-5,51
	25	CS	0,26	0,47	0,11	-1,28	-1,04	-5,53
	26	BS	0,32	0,27	0,18	-2,03	-1,8	-5,56
	27	CS	0,19	0,26	0,04	-1,77	-1,53	-5,17
BA RR AH AL	28	BC	0,31	0,72	0,17	-2,7	-2,48	-5,79
	29	SS	0,84	1,59	0,69	-1,16	-0,93	-5,88
	30	CS	0,29	0,52	0,14	-1,61	-1,38	-5,55
El- T A R F	31	CS	-3,23	-6,37	-3,38	-3,39	-3,14	-7,64
	32	BC	0,24	-0,22	0,09	-1,97	-1,73	-6,99
	33	CS	-2,76	-5,4	-2,91	-3,42	-3,18	-7,45
	34	CS	-3,44	-7,12	-3,59	-3,31	-3,08	-7,53

VI.1.5.2.1/Les minéraux carbonatés

Les valeurs moyennes des indices de saturations des eaux souterraines sont supérieures à zéro dans les eaux de Barrahal et les Salines, les minéraux tendent à précipiter, le processus de dissolution n'est observé que dans les eaux de Bouteldja et El-Tarf (Fig.VI.18).

La dissolution des minéraux carbonatés (calcite, dolomite et aragonite) est un important processus de contrôle des concentrations de Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- dans les eaux souterraines. L'enrichissement en CO_2 des eaux infiltrées dans l'aquifère favorise la dissolution du carbonate en libérant en solution des ions Ca^{2+} et HCO_3^- . (Jalali, 2009, Saou, 2013).

Annaba- El Tarf

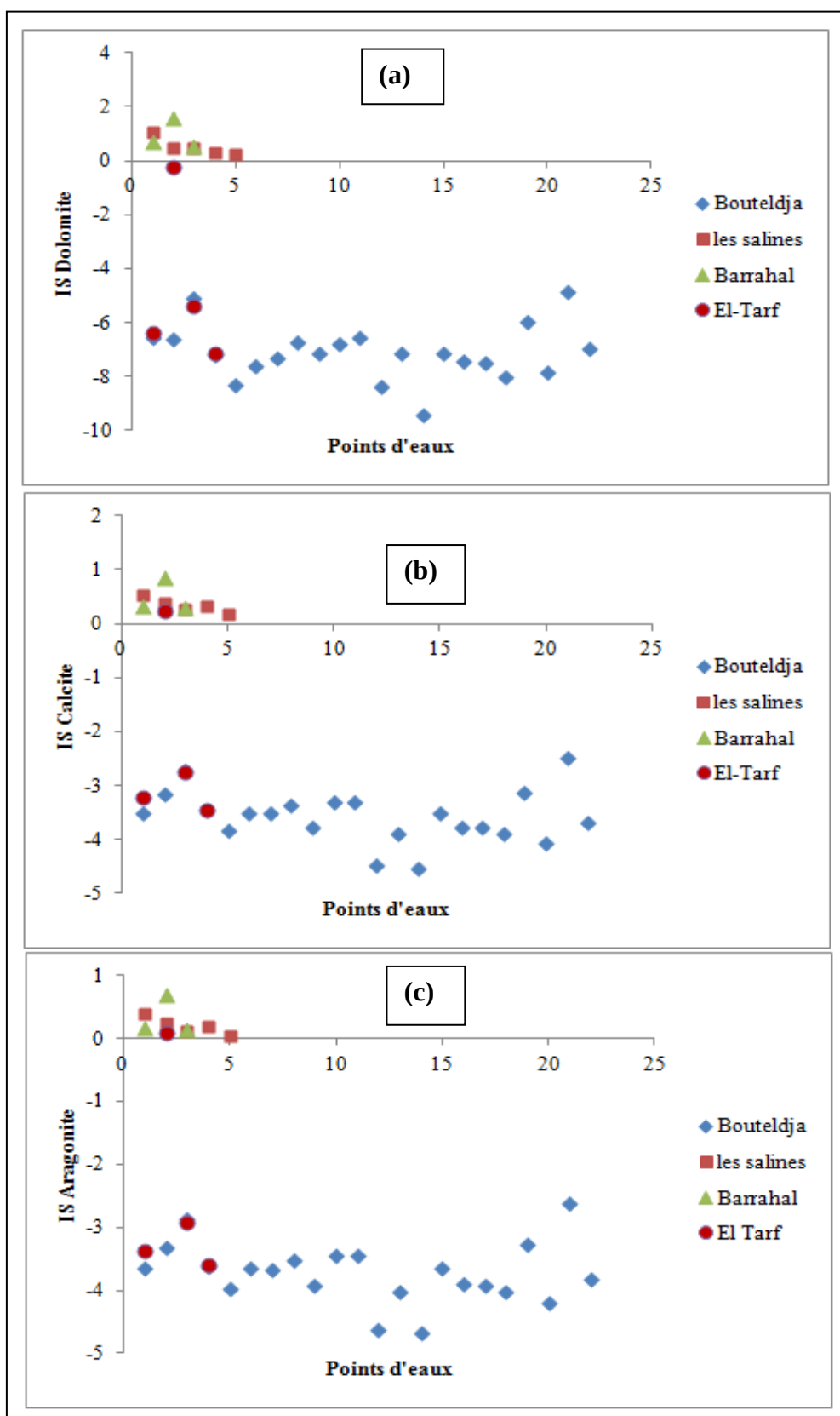


Figure VI.18: Evolution des minéraux carbonatés : (a) : dolomite, (b) : calcite, (c) : aragonite

La présence des minéraux carbonatés explique en une partie les fortes conductivités électriques (Fig.VI.19).

La représentation graphique des minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite) vs pH (Fig.VI. 20), illustre que l'évolution de ces minéraux est proportionnelle à l'évolution du pH Cette augmentation du pH est due à l'alcalinité produite par la dissolution des carbonates.

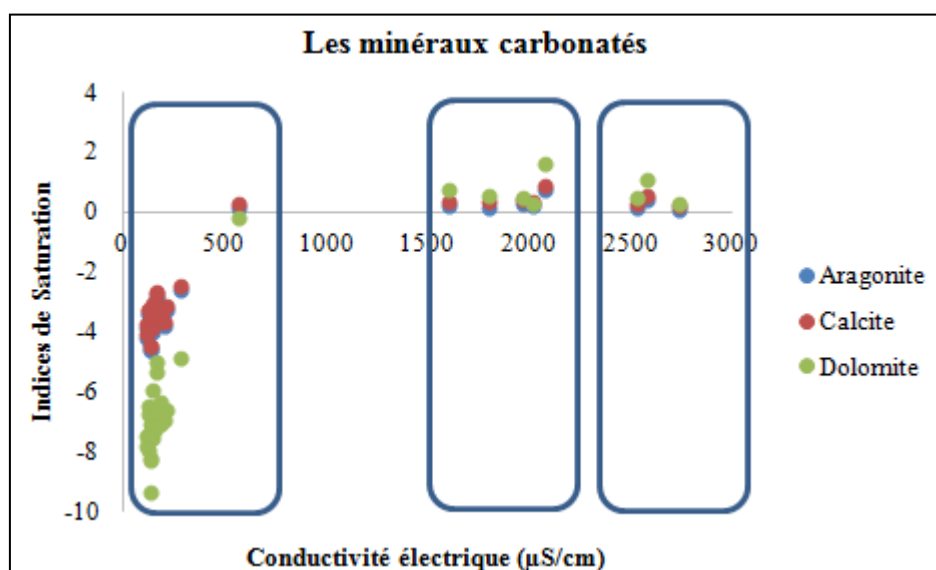


Figure VI.19: Evolution des indices de saturations en fonction de la conductivité
Electrique (en μS/cm) pour les minéraux carbonatés

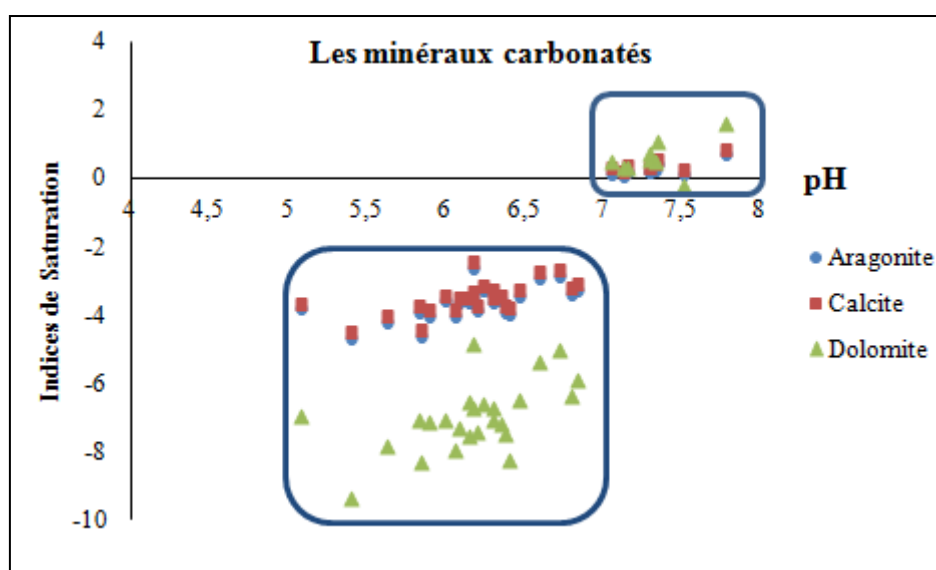


Figure VI.20: Evolution des indices de saturations en fonction du pH
pour les minéraux carbonatés

VI.1.5.2.2/ Les minéraux évaporitiques

La dissolution des minéraux évaporitiques est aussi un important processus de contrôle de la minéralisation des eaux. Les valeurs calculées des indices de saturation pour l'anhydrite, le gypse et l'halite sont inférieures à zéro pour l'ensemble des échantillons (Tab VI.6).

Les eaux sont sous-saturées vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques (la halite, le gypse et l'anhydrite), ce qui induit une dissolution de ces minéraux. Les fortes teneurs en Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et leurs bonnes corrélations avec la conductivité électrique observées dans les eaux s'expliquent par la dissolution de la halite et du gypse (Jalali,2009,Saou,2013). La figure VI.21 et VI.22, montre la corrélation des indices de saturation des minéraux évaporitiques avec la conductivité électrique et le pH respectivement.

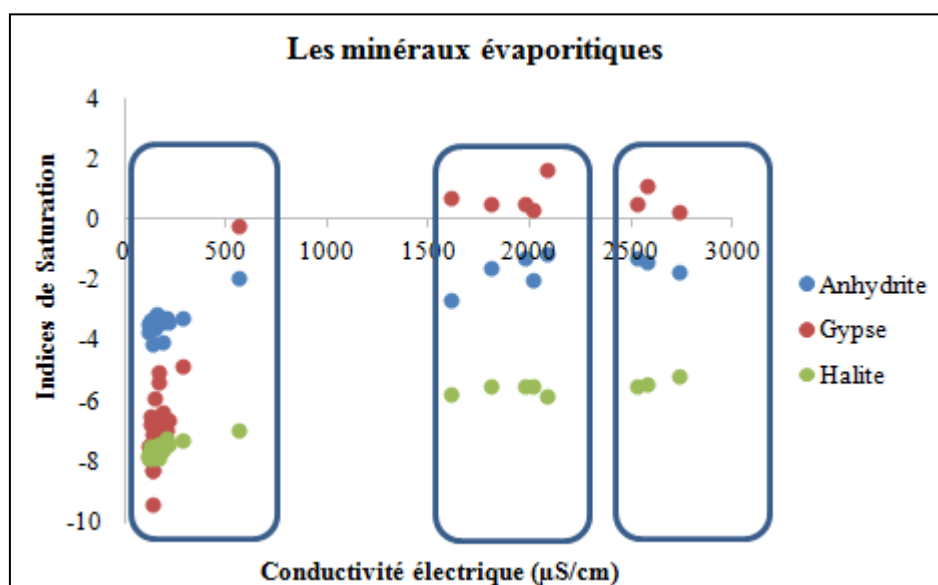


Figure VI.21: Evolution des indices de saturations en fonction de la conductivité Electrique (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les minéraux évaporitiques.

Annaba- El Tarf

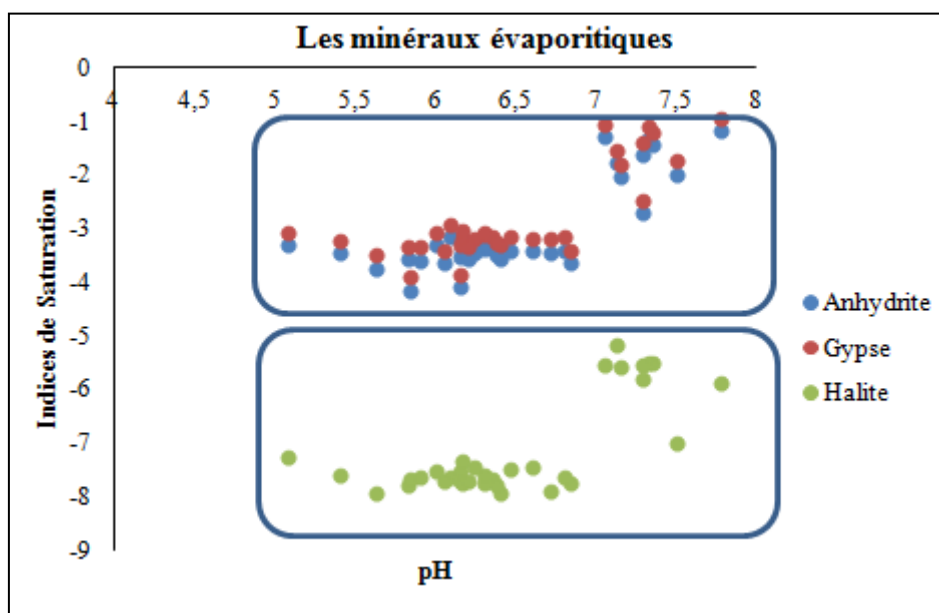


Figure VI.22: Evolution des indices de saturations en fonction du pH pour les minéraux évaporitiques

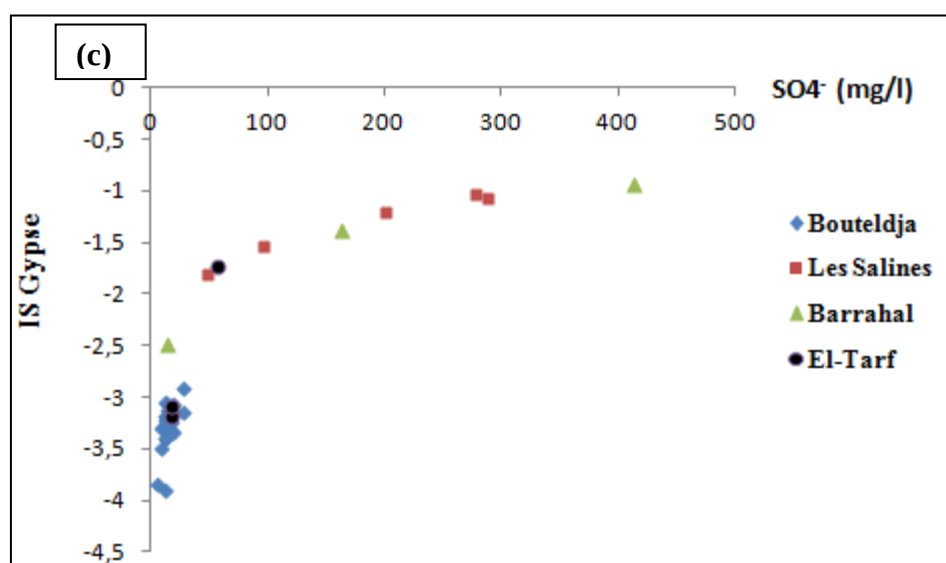
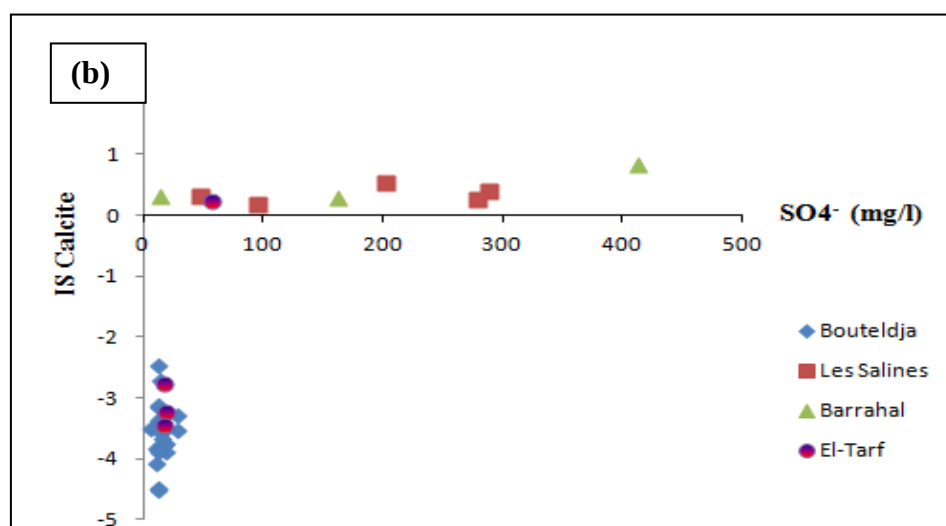
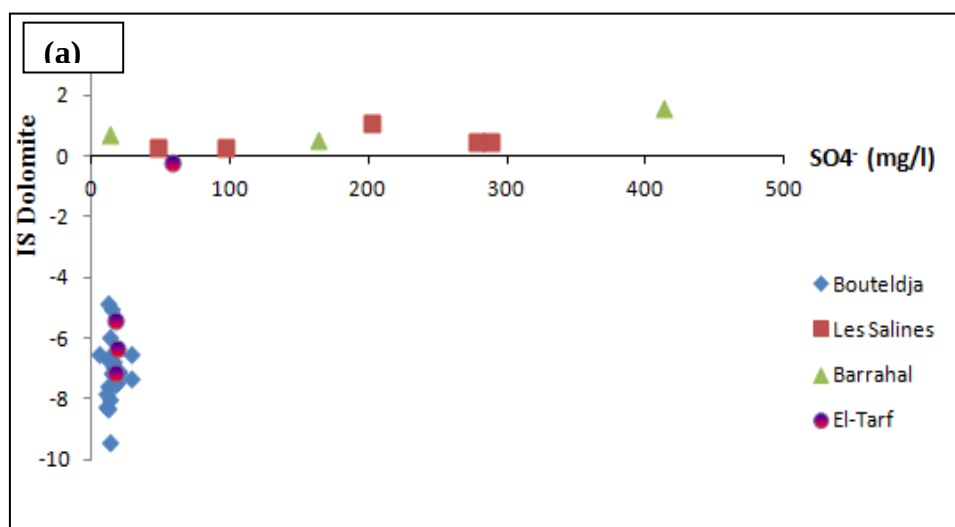
VI.1.5.2.3/ Indices de saturation vis-vis des minéraux carbonatés et évaporitiques

La représentation graphique des indices de saturation en fonction des sulfates explique le processus de précipitation/dissolution dans les aquifères du Nord-est algérien. Les sulfates ont été utilisés dans les diagrammes pour leur teneurs mais aussi pour leur contributions dans les différents processus de dissolutions – précipitations.

Les concentrations des échantillons en SO_4^{2-} peuvent être utilisées pour mieux évaluer l'importance de la dissolution du gypse. La figure VI.23 montre les indices de saturation vis-à-vis de la calcite, la dolomite, le gypse et de l'halite en fonction des concentrations des sulfates.

- La dissolution du gypse (Fig.VI.23 (c)), tous les échantillons sont dans un état sous-saturé, indiquant que CaSO_4 est une source probable de Ca^{2+} et SO_4^{2-} .
- La dissolution de l'halite s'effectue de la même manière que le gypse (Fig.VI.23(d)), tous les échantillons sont dans un état strictement sous-saturé, indiquant que la NaCl est la source de Na^+ et Cl^- . Ce qui montre que les formations évaporitiques sont de type gypso-salifère.

Annaba- El Tarf



Annaba- El Tarf

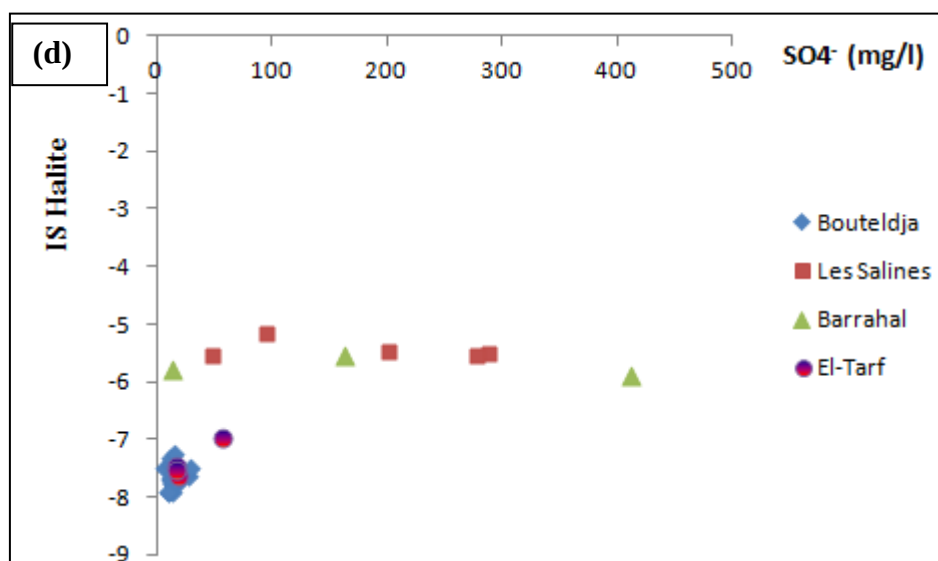


Figure VI.23 (a, b, c, d) : Indices de saturation vis-à-vis de la calcite, dolomite, gypse et halite en fonction des teneurs en sulfates.

Les représentations des indices de saturation (IS) en fonction de la calcite, aragonite et dolomite (Fig.VI.24(a) et(b)) suivent une tendance linéaire positive ce qui permet de dire que les phases minérales sont en train de changer avec une tendance similaire suite aux mêmes processus hydrogéochimiques.

Annaba- El Tarf

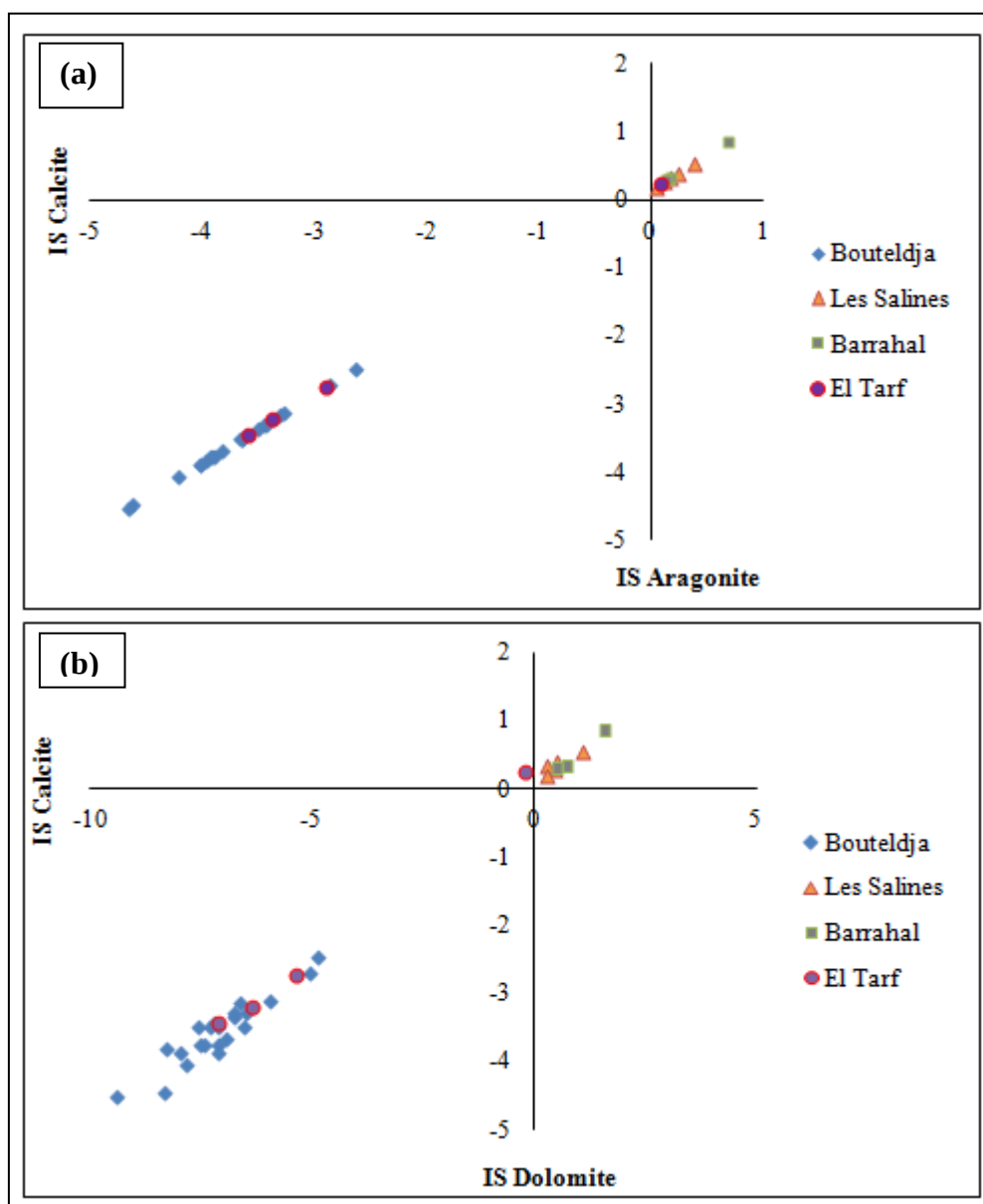


Figure VI.24 :(a): IS calcite vs IS aragonite, (b): IS calcite vs IS dolomite

VI.1.5.3/ Estimation du pouvoir alcalinisant des eaux

Le calcul du SAR (Sodium Adsorption Ratio), à partir des activités des ions dissociés permet de tenir compte de l'existence des associations ioniques en solution ou, en d'autres termes, de l'influence des anions sur le pouvoir alcalinisant des eaux.

La salinisation peut entraîner des effets nocifs sur la qualité des eaux pour l'irrigation, et ce en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol. L'excès en sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation et le sol :

Annaba- El Tarf

- Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes ;
- Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl^- , Na^+ , ...) ;
- Une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la perméabilité, etc.).

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{2+} (échange de base) dans le complexe absorbant.

Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante :

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

Toutes les concentrations en ions sont exprimées en méq/l.

L'étroite relation entre la teneur en Na^+ échangeable d'un sol et le SAR d'une solution en équilibre avec ce dernier a été mise en évidence depuis des années et est couramment utilisée pour évaluer le pouvoir alcalinisant des eaux d'irrigation ([Richard, 1954](#)).

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de ([Wilcox, 1948](#)) fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. Le $\%\text{Na}^+$ est défini par la relation :

$$\%\text{Na}^+ = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} \times 100$$

Toutes les concentrations en ions sont exprimées en méq/l.

Annaba- El Tarf

Les représentations graphiques des différents échantillons sur le diagramme de SAR en fonction de la conductivité électrique (Fig.VI.25(a)), font apparaître que :

- La classe d'eau correspondante à C1S1 (faible salinité et faible alcalinité), représente 70,6% des échantillons, ce sont les forages de Bouteldja et El Tarf.
- la classe d'eau correspondante à C2S1 (salinité moyenne et faible alcalinité. On la rencontre dans Le point (23) de Bouteldja et (33) d'El Tarf.
- La classe d'eau correspondante à C3S1, C3S2 renferment des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. Représente 14,7% des échantillons (les points (29,30) dans la zone de berrahal et (24, 26,29) dans les salines.
- La classe d'eau correspondante à C4S2 : cette classe se caractérise par les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Cette classe représente 8,82% des échantillons, ce sont les points (23, 25,27) des salines.

Le diagramme de Wilcox fondé sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage (%Na⁺), illustre cette caractérisation et montre que (76,5%) des eaux représentent une excellente qualité pour l'irrigation, ce sont les eaux du massif de Bouteldja - El Tarf. Les eaux moyennement minéralisées (la classe bonne) représentent (8,7%) des échantillons. La classe médiocre regroupe les eaux plus minéralisées que celles des classes précédentes, représente (11,76%) des échantillons ce sont les eaux des forages des salines (Fig.VI.25(b)).

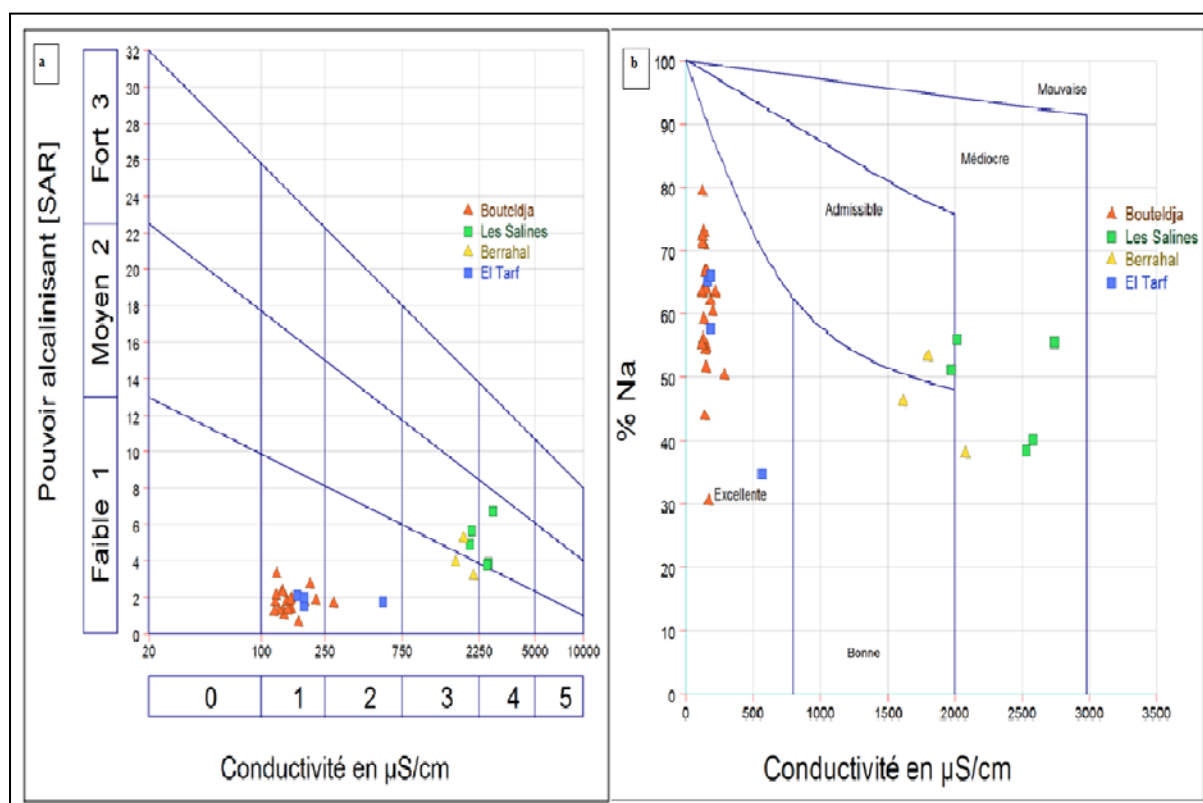


Figure VI.25: Classification des eaux en fonction de :

a : Diagramme de Richards b : Diagrammes de Wilcox

VI.2/ Qualité des eaux de surface

VI.2.1/Introduction

La caractérisation qualitative des ressources en eau est un élément fondamental rentrant dans le processus de gestion durable. En effet, l'on ne saurait prétendre gérer efficacement une ressource si l'on ne dispose pas des données fiables.

Notre objectif est d'étudier l'état de la qualité des eaux de l'oued Bounamoussa au niveau du barrage Cheffia et de l'oued Kébir-Est au niveau du barrage Mexa. Les prélèvements ont été effectués par l'ADE Annaba en 2015

VI.2.2/ Discussion des résultats :**VI.2.2.1/ Evolution des paramètres physico-chimiques**

La représentation des résultats d'analyses des eaux des barrages Cheffia et Mexa sont reportés sur [la figure VI.26 et VI.27](#).

Les paramètres physiques :

- **Potentiel d'hydrogène (pH)**, détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques. Les valeurs du pH dans les eaux des barrages Cheffia et Mexa sont respectivement de l'ordre de 7 et 7,9. Elles se situent dans l'intervalle des eaux potabilisables $6,5 < \text{pH} < 9,5$.

- **La Conductivité électrique(CE)**, est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Ces valeurs sont de l'ordre respectivement de 337,6 et 380,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les eaux des barrages Cheffia et Mexa. Elles ne dépassent, ni la norme des eaux d'irrigation ($< 20.000 \mu\text{S}/\text{cm}$), ni la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable ($< 400 \mu\text{S}/\text{cm}$), ([in Labar.S, 2003](#)).

Les paramètres chimiques :

Le résidu sec (Rs), exprime la mesure de la salinité ou la minéralisation d'une eau en mg/l. Les valeurs de ce paramètre dans les eaux des barrages Cheffia et Mexa (260 -276 mg/l), sont inférieures à 600 mg/l, donc acceptables ([Fig.VI.26](#)).

La dureté totale de l'eau ou Titre Hydrotimétrique (TH) est un indicateur global de la minéralisation de l'eau. Elle correspond à la somme des cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+). Dans les eaux naturelles, elle est essentiellement due aux ions (Ca^{2+}) et (Mg^{2+}), dont les concentrations lui sont proportionnelles : 1°F équivaut à 4 mg/l de calcium et à 2,4 mg/l de magnésium. Par ailleurs 1°F correspond à une solution contenant 10 mg/l de CaCO_3 . La valeur du TH de l'eau peut être interprétée de la manière suivante :

- $0 < \text{TH} < 10^\circ\text{F}$ = eau très douce
- $10 < \text{TH} < 20^\circ\text{F}$ = eau douce
- $20 < \text{TH} < 30^\circ\text{F}$ = eau moyennement dure
- $30 < \text{TH} < 40^\circ\text{F}$ = eau dure
- $\text{TH} > 40^\circ\text{F}$ = eau très dure

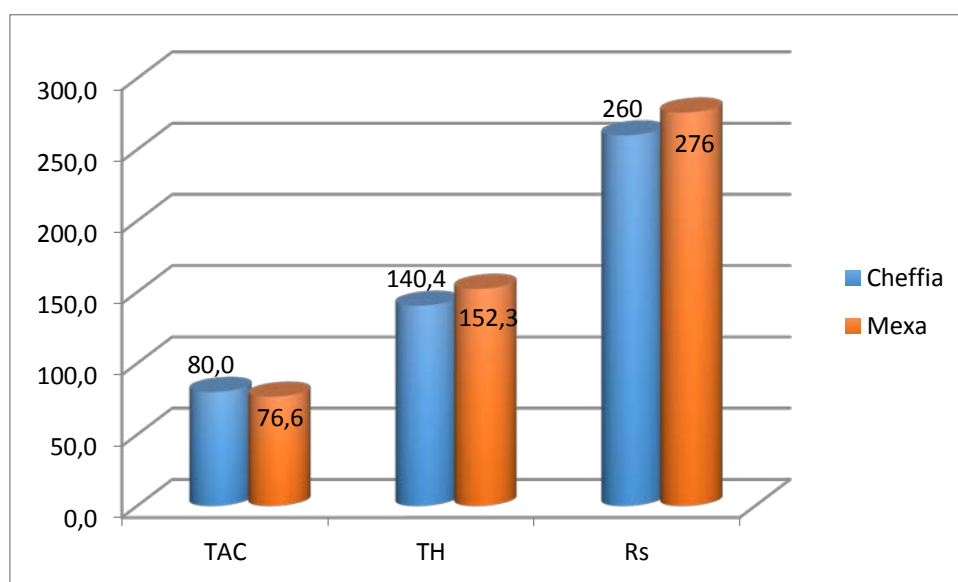
Annaba- El Tarf

La représentation graphique des teneurs du TAC, TH, Rs (Fig.VI.26), montre que les eaux des barrages Cheffia et Mexa, sont des eaux moyennement dure.

Le titre alcalimétrique complet (TAC), dose la totalité des ions hydroxydes, hydrogénocarbonates et carbonates selon la formule :

$TAC = [OH^-] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$. Les ions hydroxydes $[OH^-]$ étant considérés comme négligeables, on obtient : $TAC = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$. Le TAC s'exprime également en mg/l ou en °F.

Les concentrations du TAC dans les eaux des barrages Cheffia et Mexa sont similaires à celles de la dureté totale. Elles sont de l'ordre respectivement de 80 et 76,6 mg/l de $CaCO_3$ (Fig.VI.26).



**Figure VI.26 : Evolution des paramètres TAC, TH, Rs
Dans les eaux du barrage Cheffia- Mexa (2015).**

Les éléments majeurs : leurs concentrations varient de manière indépendante dans l'eau, dépendent essentiellement de leur solubilité. Les eaux analysées des barrages Mexa et Cheffia montrent respectivement des concentrations en :

Ca^{2+} (42,7 et 42,2 mg/l), Na^+ (22 et 19 mg/l), Mg^{2+} (13,1 et 10,2 mg/l), SO_4^{2-} (128,2 et 100 mg/l), HCO_3^- (98,9 et 95,4 mg/l) et Cl^- (38 et 32,2 mg/l) (Fig.VI.27).

Annaba- El Tarf

La composition chimique des eaux est donc dominée par les ions : Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- et Cl^- , la minéralisation obtenue probablement par la dissolution naturelle des carbonates, des gypses ainsi que par les activités anthropiques. Les concentrations obtenues ne dépassent pas les normes fixées par l’OMS.

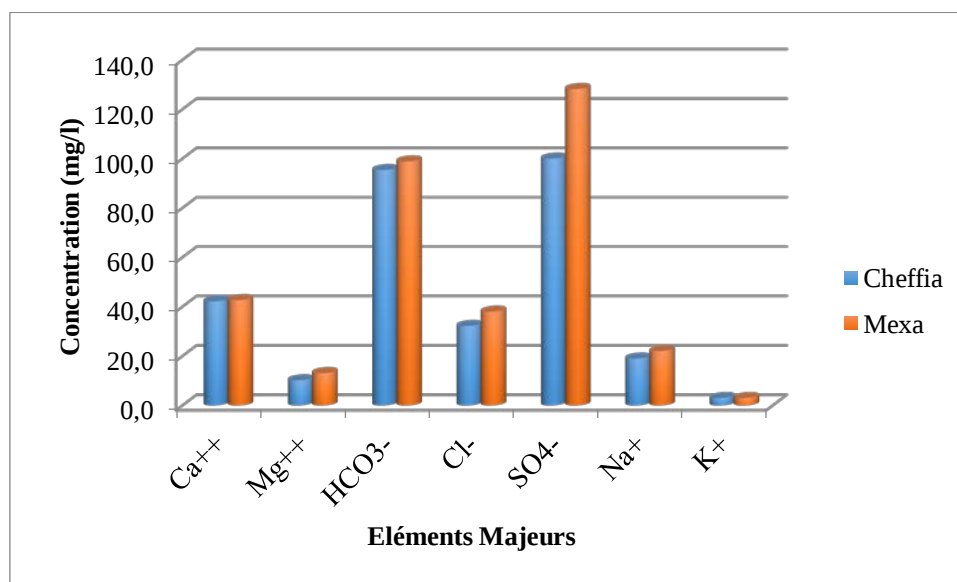


Figure VI.27: Evolution des concentrations en éléments majeurs des eaux des barrages Cheffia et Mexa (2015)

VI.2.2.2/ Evaluation de la pollution organique

Les paramètres liés à la pollution organique sont : la Demande Biologique en Oxygène (DBO_5), ions ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-) et phosphates (PO_4^{3-}). Plusieurs méthodes permettent d'évaluer l'altération des eaux par la matière organique (Bounab, 2006).

On détermine l'Indice de Pollution Organique (IPO) par la méthode établie par Leclercq & Maquet, 1987. Elle comporte cinq classes de qualité correspondant aux couleurs généralement admises. Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en cinq classes (Tab.VI.7), ensuite on détermine le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre, puis d'en faire la moyenne.

Tableau VI.7 : Paramètres et classes de l'IPO (Leclercq & Maquet, 1987)

Classe	NH ₄ ⁺ (mg N/l)	NO ₂ ⁻ (µg N/l)	PO ₄ ³⁻ (µg P/l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	Couleur	IPO	Pollution organique
5	<0.1	5	15	< 2		5 - 4,6	Nulle
4	0.1 – 0.9	6 – 10	16-75	2 – 5		4,5 – 4,0	Faible
3	1 – 2.4	11 – 50	76 – 250	5.1 – 10		3,9 – 3,0	Modérée
2	2.5 – 6.0	51 – 150	251 – 900	10.1 – 15		2,9 – 2,0	Forte
1	> 6	> 150	> 900	>15		1,9 – 1,0	Très forte

$$\text{IPO} = (\text{classe DBO}_5 + \text{classe NH}_4 + \text{classe NO}_2 + \text{classe PO}_4) / 4$$

L'évaluation de la pollution organique des barrages Cheffia et Mexa (Tab.VI.8), montre clairement que la pollution des eaux est faible à modérée. Ceci est dû probablement à l'absence des activités anthropiques de proximité.

Tableau VI.8 : Indicateurs de pollution organique barrages Cheffia et Mexa 2015.

Classe	Classe (NH ₄ ⁺)	Classe (NO ₂ ⁻)	Classe (PO ₄ ³⁻)	Classe (DBO ₅)	IPO	Couleur	Pollution organique
Barrage Cheffia	5	2	3	5	3,75		Modérée
Barrage Mexa	5	3	4	5	4,25		Faible

VI.2.2.3/ Calcul de l'Indice de qualité

En Algérie, l'évaluation de la qualité des eaux de barrages et rivières est estimée grâce à la mesure de certains paramètres physico-chimiques, indicateurs de pollution (minérale, organique, azotée et phosphorée), (Tab.VI.9). Elle est donnée en comparant les résultats d'analyses aux bornes de la qualité. (Demmak.A, 2014)

Tableau VI.9: Grille de qualité de l'eau brute (in Demmak.A, 2014)

Paramètres	Classification			
	C1 Bonne	C2 Acceptable	C3 Mauvaise	C4 Très Mauvaise
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	8,5 - 9,0	> 9,0 et < 6,5
O ₂ diss %	100 - 90	90 - 50	50 - 30	< 30
NH ₄	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 – 3	> 3
NO ₃	0 - 10	10 - 20	20 - 40	> 40
NO ₂	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 – 3	> 3
PO ₄	0 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 – 3	> 3
DBO ₅	0 - 5	5 - 10	10 - 15	> 15
DCO	20	20 - 40	40 - 50	> 50
MO	5	5 - 10	10 - 15	> 15
Rs	300 - 1000	1000 - 1200	1200 - 1600	> 1600

Si la valeur d'un des paramètres s'écarte de la classe C1 (bonne), ou C2 (acceptable), l'eau est considérée comme de mauvaise qualité.

Le tableau VI.10, illustre la qualité des eaux brutes des barrages Cheffia et Mexa. L'eau au niveau du barrage Cheffia représente une bonne qualité par apport aux valeurs de pH, O₂, NO₃, DBO₅, DCO, MO, Rs et une qualité acceptable par apport aux paramètres NH₄, NO₂, PO₄.

Au niveau du barrage Mexa, l'eau est classée de bonne qualité par apport à l'ensemble des paramètres à l'exception des paramètres NO₂ et DCO, ou l'eau est de qualité acceptable.

On peut conclure que la qualité de l'eau brute dans les barrages Cheffia et Mexa est acceptable.

Tableau VI.10 : Indice de qualité de l'eau du barrage Cheffia et Mexa 2015.

Paramètres	Classe	
	Barrage Cheffia	Barrage Mexa
pH	C1	C1
O ₂ diss %	C1	C1
NH ₄	C2	C1
NO ₃	C1	C1
NO ₂	C2	C2
PO ₄	C2	C1
DBO ₅	C1	C1
DCO	C1	C2
MO	C1	C1
Rs	C1	C1

VI.3/ Conclusion

L'intérêt porte à l'état de la qualité des eaux, il nous a permis de l'évaluer dans une perspective de gestion durable des ressources en eau.

En effet, l'étude de la qualité des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf vis-à-vis de la corrosivité et de l'entartrage à partir de l'évaluation des indices de Langelier et de Ryznar, ils montrent des taux alarmants, soient 73,53 % des eaux représentent une corrosion intolérable, 20,59 % des eaux sont légèrement corrosif, 2,94 % des échantillons indiquant une importante corrosion et 2,94 % sont des eaux entartrées. L'intérêt pratique d'une telle notation, en tant qu'instrument de travail est évident, car elle permet aux spécialistes de prévoir et donc d'éviter les ennuis dus à l'entartrage ou à la corrosion, en préconisant la solution la plus efficace et la plus économique.

Les analyses chimiques montrent que les eaux de la région d'étude sont respectivement chlorurées sodiques 82 %, bicarbonatées-sodiques, calciques 14,7 %. L'eau acquise cette typologie en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, la précipitation de minéraux carbonatés, l'altération de silicates et à l'influence marine. L'application de l'analyse en composante principale a révélé que le facteur 1 est celui de la minéralisation alors que le facteur 2 est celui de la pollution agricole et industrielle, les deux facteurs expliquent près de 75 % de la variance. Les différentes valeurs des indices de saturation illustrent cette typologie, les minéraux carbonatés (la calcite, la dolomite et l'aragonite) sont saturés pour quelques échantillons et sous-saturés pour d'autres, par conséquent les eaux sont sous-saturées vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques (la halite, le gypse et l'anhydrite). La représentation des échantillons sur le diagramme de Wilcox et de Richards qualifie ces eaux pour l'irrigation mais avec un traitement spécifique dans certains cas.

L'étude des paramètres physico-chimiques et organiques des eaux de surface des barrages Chaffia et Mexa (2015) a permis d'évaluer la qualité de la ressource en eau dans la perspective d'une éventuelle utilisation. Les résultats d'analyse ont montré que, la composition chimique des eaux est dominée par les ions : Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- et Cl^- . Les concentrations obtenues ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS. La détermination de l'indice de pollution organique a montré que, le degré de pollution organique est faible à modérée. Le calcul de l'indice de qualité des eaux brutes confirme que les eaux dans les deux barrages sont de qualités acceptables.

CH VII :

Le système

« Ressource en eau Annaba-El Tarf »

Aspect quantitatif

CH VII : Le système « ressource en eau Annaba-El Tarf »

Aspect quantitatif

VII.1/ Introduction

L'eau est nécessaire pour de nombreux usages qui dépendent de sa qualité et sa quantité. L'accès à l'eau potable est un élément clé du développement humain, un droit fondamental et une nécessité absolue à la survie. Préserver l'eau, tout en conciliant l'ensemble des usages avec les besoins du milieu naturel est donc un enjeu d'intérêt général.

Cette présentation s'articule autour de l'évaluation du système « ressource en eau Annaba-El Tarf ». La région (Annaba-El Tarf) se trouve dans une situation inquiétante où l'eau doit être au centre des préoccupations des autorités locales de toute la région, des organismes gestionnaires, des usagers et de l'ensemble des citoyens ; enfin de tous les acteurs de l'eau qui doivent s'impliquer davantage, où les pratiques individuelles doivent se faire plus conscientes afin que l'eau, patrimoine commun de la nation, soit mieux connue, bien protégée et gérée au profit de tous.

Cette présente tâche se veut être un soulèvement de la difficulté de traitement des données qui sont dispersées et différentes d'un organisme à un autre, et même parfois au sein d'un même organisme. La méthodologie suivie dans le traitement et l'analyse des données des besoins en eau à différentes usages, on a opté à celle utilisée dans le plan national de l'eau (PNE).

VII.2/ Situation actuelle du système « ressource en eau Annaba-El Tarf »

VII.2.1/ Le sous système « Ressources souterraines »

Les études réalisées dans la région d'étude, font ressortir l'existence de plusieurs systèmes aquifères (Figure.VI.1) :

- ❖ **La plaine d'El Tarf**, d'une superficie de 110 Km². Les ressources exploitables de la plaine d'El Tarf sont estimées en année moyenne à 10,6 hm³ /an.
- ❖ **La plaine d'El Kala et le massif dunaire**, d'une superficie de 52 Km², en année moyenne les ressources exploitables de la plaine d'El Kala et du massif dunaire sont estimées à 8,9 hm³/an. L'alimentation en eau potable de la ville d'El Tarf est assurée à 80 % par la nappe dunaire, tandis que 40 % des prélèvements de cette nappe sont destinés à l'alimentation en eau potable de la ville d'Annaba et de l'agglomération d'Oum Teboul.
- ❖ **Le Système aquifère de Bouteldja** est constitué du massif dunaire de Bouteldja et de la plaine alluviale située au sud, leurs superficies sont respectivement de 187 Km² et 69 Km². Ces aquifères sont situées entre la ville de Annaba à l'ouest et El Tarf à l'est. Les ressources exploitables du système aquifère de Bouteldja sont estimées à 50 hm³/an.
- ❖ **La Plaine d'Annaba**, le volume d'eau prélevé de cette aquifère à usage industriel et agricole de la wilaya d'El Tarf est de l'ordre de 20 Hm³ dont 11.56 Hm³ est destiné à l'irrigation.
- ❖ **Le massif de Berrahal**, d'une superficie avoisinant les 100 km² et les ressources exploitables du massif de Berrahal sont de l'ordre de 6,8 Hm³ /an. (ANRH 2009).

Les potentialités en eaux souterraines de l'ensemble de la région Annaba El Tarf, recenser par l'ANRH 2009 (Tab : VII. 1, Fig. : VII. 1) totalisent un volume de 164 Hm³ / an, en année moyenne, et 41 Hm³ / an en année sèche (PNE 2010).

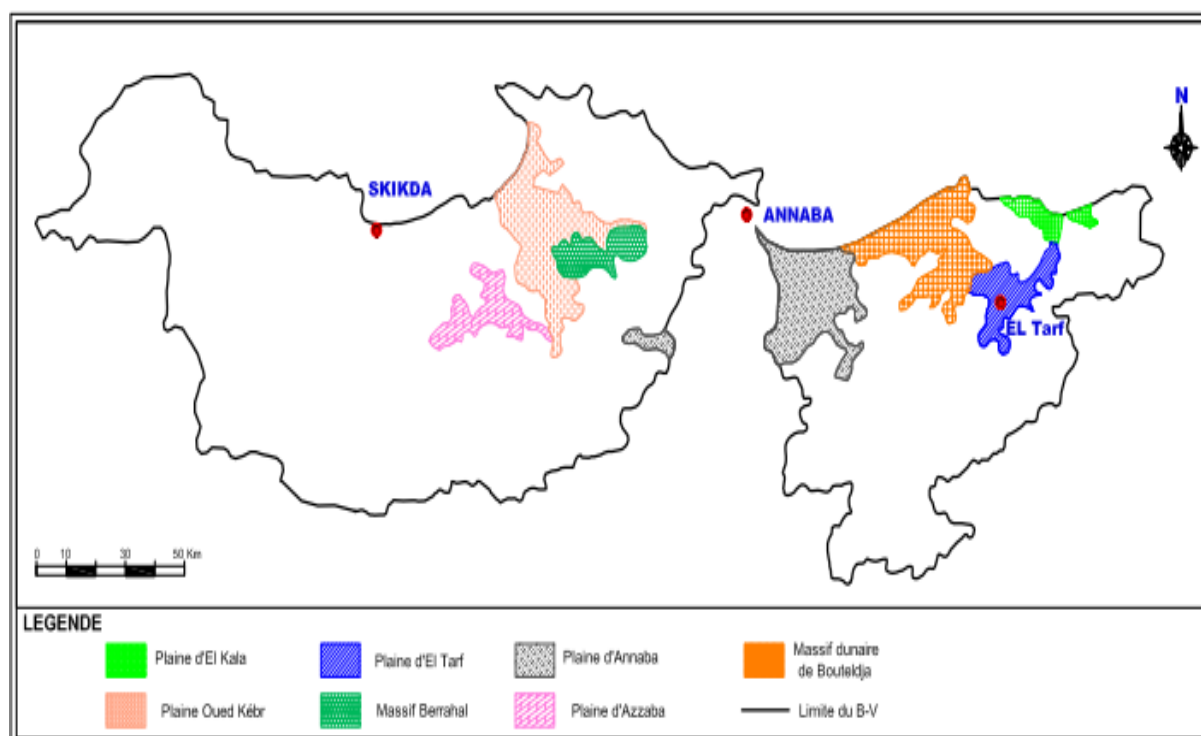


Figure VII. 1 : Situation des Nappes Aquifères dans la région Annaba- El Tarf (Bassin Constantinois). (PNE 2010 Modifiée)

Tableau VII.1 : Les ressources d’eaux souterraines des aquifères Annaba-El Taf (PNE 2010)

Nom unité hydrogéologique	Superficie (Km ³)	Ressources renouvelables utilisable (Hm ³ /an)	
		Année moyenne	Année séché
Plaine d’Annaba	757	86	15
Système aquifère de Bouteldja	255	51	15
Plaine d'El Tarf	110	11	4
Plaine d'El Kala et massif dunaire	52	9	5
Massif de Berrahal	100	7	2
Total	1274	164	41

VII.2.2/ Le sous système « Ressources superficielles »

Les potentialités en eau de surface pour une année pluvieuse moyenne sont estimées à **260 millions de m³** (PNE, 2011). Les ouvrages de mobilisation des eaux de surface contribuant à l’approvisionnement en eau des wilayas d’El Tarf et d’Annaba sont:

- Les barrages destinés à l’alimentation en eau potable et industrielle, ainsi qu’à l’irrigation.
- Les retenues collinaires destinées uniquement à l’irrigation et servant dans certaines régions de la Wilaya à l’abreuvement du cheptel et à la lutte contre les incendies.
- Les prises au fil d’eau et les sources destinées uniquement, à l’irrigation.

VII.2.2.1/ Les barrages en exploitation

Les barrages actuellement en exploitation, sont au nombre de deux (02)

Barrage de Cheffia : situé à environ 50 km au Sud- Est de la ville d’Annaba, sur l’oued Bounamoussa, il contrôle un bassin versant de 579 Km² (Tab.VII.2, VII.3), (Fig.VII.2), il est destiné à : L’alimentation en eau potable des wilayas Annaba et El Tarf ainsi que l’approvisionnement en eau des complexes industriels, en particulier le complexe industriel d’El Hadjar et l’irrigation du périmètre de la Bounamoussa.

Barrage Mexa : situé à 20 Km au Sud de la ville d’El Kala sur l’Oued Kebir Est, ce barrage drainait initialement un bassin d’une superficie de 560 Km², ramené à 393 Km² après la construction d’un barrage sur l’Oued Barbara en Tunisie et réduit à 158 Km² après la réalisation du barrage Bougous. Cet ouvrage régularise un volume annuel de 30 hm³, destiné à l’alimentation en eau potable du Couloir : El Kala – Annaba (Tab.VII.2, VII. 3), (Fig.VII.3)

Tableau VII.2: Caractéristiques physiques des barrages Cheffia et Mexa

Barrage	Oued	Type	Année de mise en service	Superficie du BV (Km ²)	Apport moyen Annuel (hm ³)	Capacité Initiale (hm ³)	Capacité Dernier levé (hm ³)	Volume régularisé (hm ³)
Cheffia	Bounamoussa	Terre	1965	579	151	171	158,83	101
Mexa	El Kébir	Terre	1998	158	35, 6	47	30,3	20

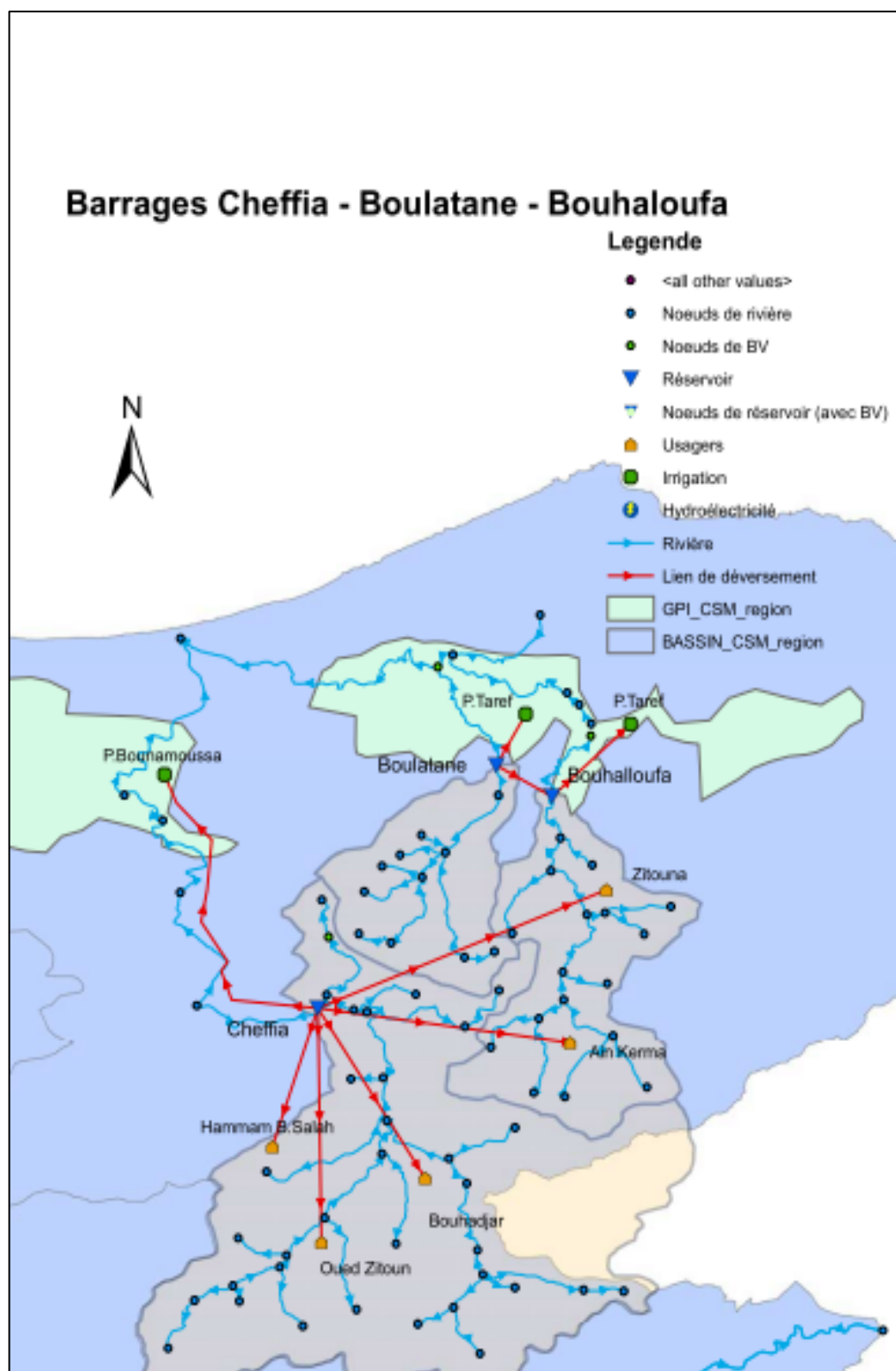


Figure VII.2 : Situation des barrages Cheffia, Boulatane et Bouhaloifa.
(PNE, 2010)

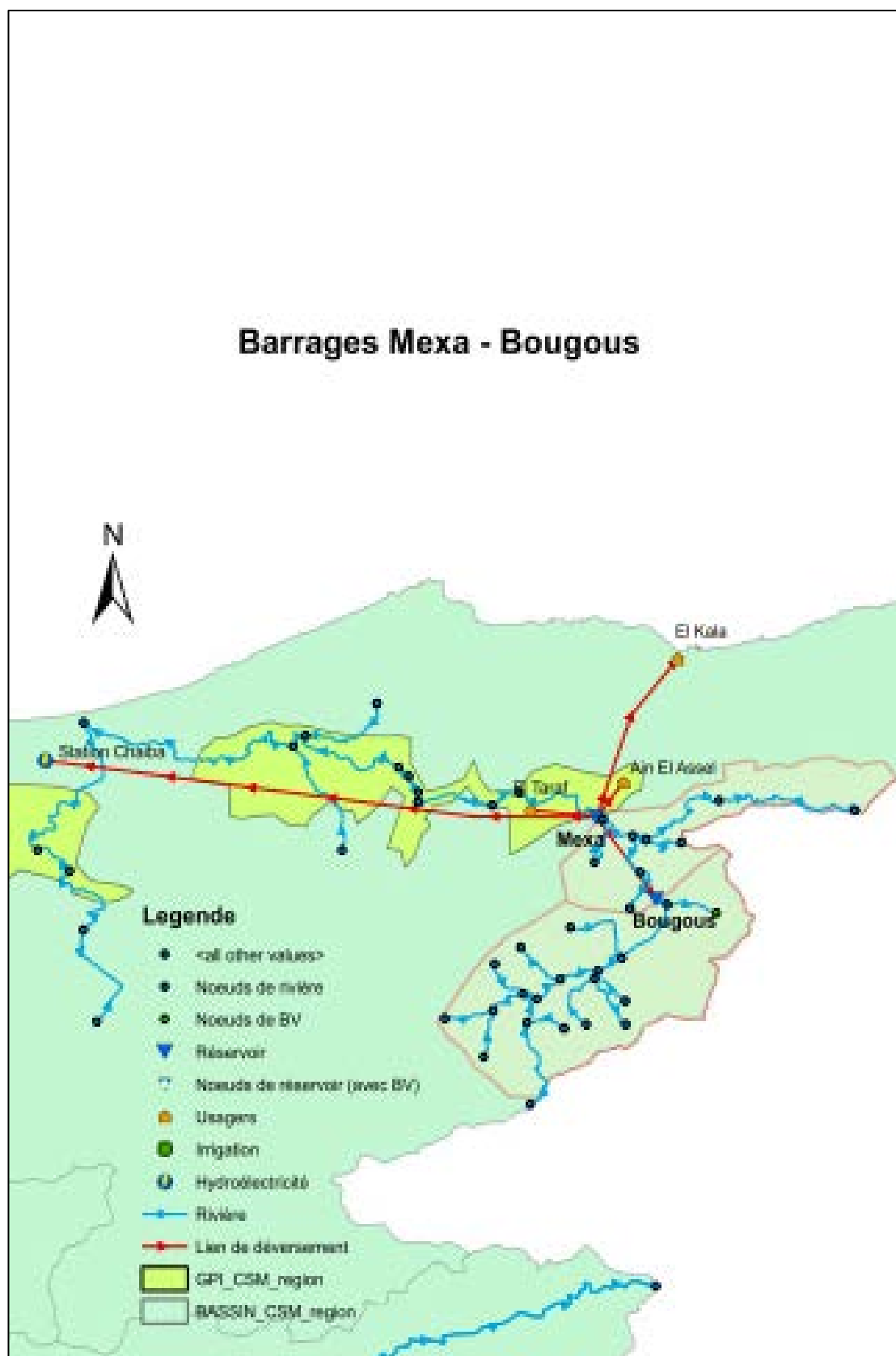


Figure VII.3: Situation des barrages Mexa et Bougous (PNE.2010)

**Tableau VII.3 : Exploitation des deux barrages pour le 1^{er} Semestre 2010
(ANBT)**

Mois	Barrages	Volumes (hm ³)	Apport affluent (hm ³)	Usage (hm ³)		Taux de remplissage (%)
				AEP/AEI	IRRI	
Janvier	Cheffia	123.55	17.46	4.59	0	77.79
	Mexa	30.27	59.04	2.53	0	100
Février	Cheffia	125.26	5.705	2.79	0	78.86
	Mexa	30.27	40.99	2.31	0	100
Mars	Cheffia	130.16	40.487	2.567	0	81.95
	Mexa	30.27	0.69	0	0	100
Avril	Cheffia	127.25	1.89	4.204	0.198	80.11
	Mexa	30.27	12.018	2.532	0	100
Mai	Cheffia	121.15	0.513	4.454	1.57	76.28
	Mexa	30.27	5.725	2.564	0	100
Juin	Cheffia	111.939	0.717	4.23	4.896	70.48
	Mexa	28.625	9.213	2.553	0	94.57

VII.2.2.2/Petits barrages et retenues collinaires

L'ensemble des retenues est destiné à l'irrigation des terres agricoles. La wilaya d'El Tarf compte **33** retenues collinaires réalisées en majorité durant les années 80, dans le cadre d'un programme de petite et moyenne hydraulique, totalisant ainsi une capacité de **3.215 hm³**. Cependant, un nombre important de ces aménagements a été endommagé par les crues et l'envasement et sont actuellement hors usages ou abandonnées. Par conséquent, le nombre de retenues collinaires réellement en exploitation est de l'ordre de **12** retenues, totalisant un volume de l'ordre de **2,762 hm³** (Tab.VII.4).

Tableau VII.4: Répartition et état des retenues collinaires de la Wilaya d'EL TARF

Communes	Localisation	Capacité actuelle (hm ³)	Etat de l'ouvrage
EL KALA	Garouni	0.04	Moyen
BEN M'HIDI	Hasshassia	0.25	Moyen
DREAN	Boufara I	0.5	Moyen
	Boufara II	0.25	Moyen
	Mehrez	0.5	Moyen
	Khimisi	0.09	Moyen
BOUGOUS	Ben Sebti	0.055	Moyen
EL AIOUN	Khaldouni	0.065	Moyen
	Oued Djenane	0.05	Moyen
BESBES	Najoua Bakouche	0.056	Moyen
	Regahioua	0.056	Moyen
BOUHADJAR	Bibta	0.85	Bonne
TOTAL	12	2.762	

La wilaya d'Annaba totalise un nombre de **86** retenues collinaires, qui mobilisent un volume d'eau de l'ordre de **8 895 000 m³**. (Tab VII.5)

Les retenues collinaires, au niveau de la région d'étude mobilisent un volume d'eau de l'ordre de **11.657 hm³**.

Tableau VII.5: Répartition par commune des retenues collinaires de la Wilaya d'Annaba. (ABH 2012)

Communes	Retenues Collinaires	
	Nombres	Capacité (m ³)
El-Bouni	01	90000
Berrahal	09	1070000
O.Aneb	08	555000
Treat	11	1356000
Ain Berda	18	1945000
Cheurfa	10	706000
Eulma	16	2368000
Cétaibi	13	805000
Total	86	8 895 000

VII.2.2. 3/ Les prises au fil de l'eau

Les prises au fil de l'eau représentent un volume important des eaux de surface utilisées pour l'irrigation des terres agricoles. Pour la wilaya d'El-Tarf (PNE), les prises au fil de l'eau permettent d'irriguer environ 4540 hectares de petite et moyenne hydraulique, soit environ 6 % de la superficie agricole utile de la wilaya, par contre la wilaya d'Annaba, les prises au fil d'eau permettent d'irriguée une surface de 900 m² (ABH, 2012).

VII.2.2.4/Les Sources :

La Wilaya d'El Tarf compte de nombreuses sources, elles fournissent un volume annuel de 9,5 hm³. Elles permettent d'assurer l'irrigation de 100 hectares (Plan d'aménagement d'El-Tarf).

En outre, 9 autres sources, d'une capacité de 1 760 400 m³, assure l'irrigation d'une superficie de 190 m² dans la wilaya d'Annaba (ABH, 2012).

VII.2.3./ Le sous système « Epuration des eaux usées »

La wilaya d'El Tarf dispose de 04 stations d'épuration pour le recyclage des eaux usées. La STEP de l'Lalleik dans la wilaya d'Annaba (le volume moyen des eaux usées traitées annuellement est de l'ordre de 2.000.000 m³/an), (Tab VII.6).

Ces stations apporteront un supplément de débit de l'ordre de 05 millions de m³ destinées à l'agriculture.

Tableau VII.6 : Stations d'épuration dans les wilayas : Annaba- El-Tarf

STEP	Année de réalisation	Capacité	Débit (m3/j)	Processus d'épuration
El Gantra W : El Tarf	1986 réhabilité en 2006	3 000	425	Boues activées
El Kala W : El Tarf	1986 réhabilité en 2006	25 000	3 795	Boues activées
Asfour W : El Tarf	1982 réhabilité en 2006	7 000	1 229	Boues activées
Zerizer W : El Tarf	1990 réhabilité en 2006	5 000	400	Boues activées
Lalleik W : Annaba	Mise en service en 2010	580.700 Equivalent/habitant	83.620	Boues activées
Total		620.700	89.469	

VII.2.4/ Bilan hydrique du système « Ressources en eau Annaba-El Tarf »

Les figures (VII.4 et VII.5) résument, en terme de capacités de mobilisation, la production du système ressources en eau Annaba-El Tarf pour les divers besoins et ceux respectivement en capacités totales des barrages et capacités régularisables des barrages.

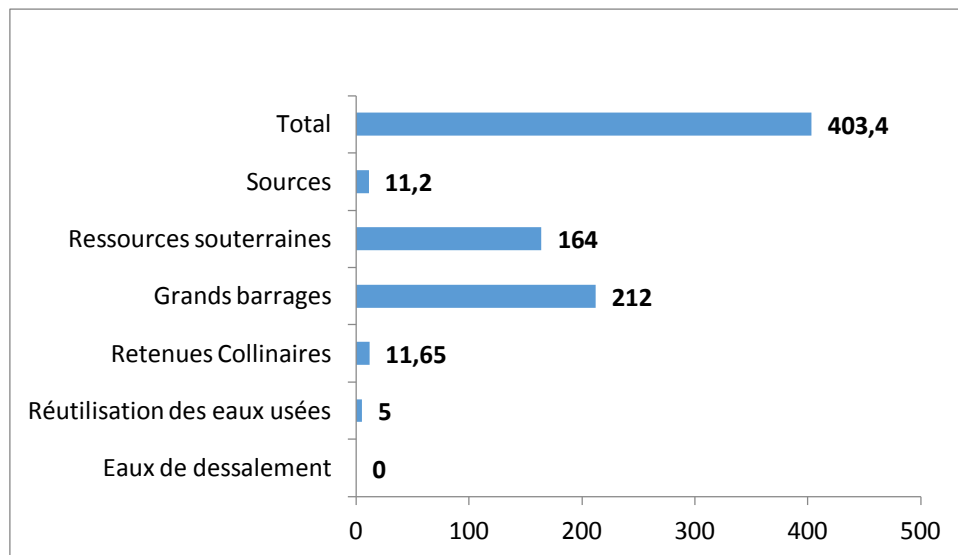


Figure VII.4: Ressources mobilisables (Hm³) du système Annaba-El Tarf
Capacités totales des barrages

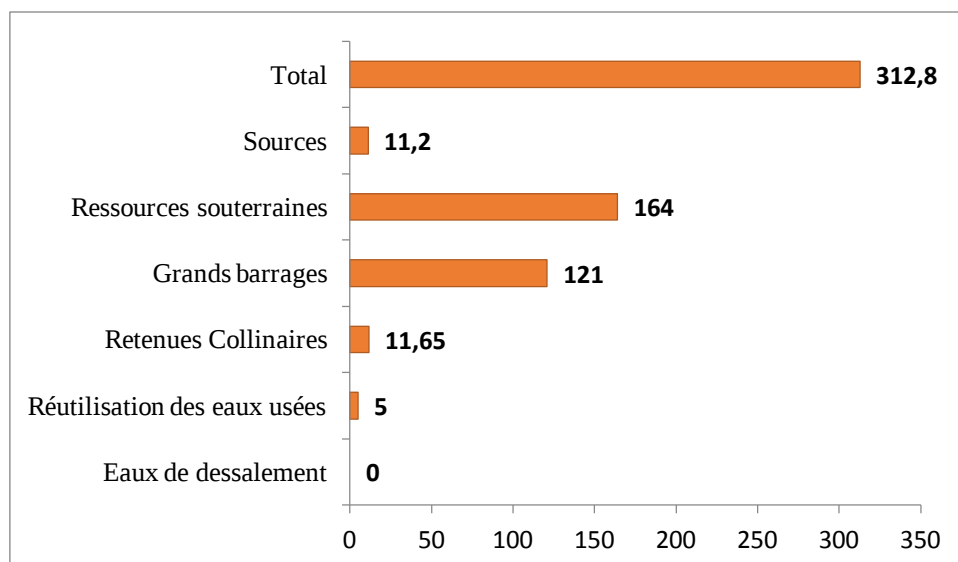


Figure VII.5 : Ressources mobilisables (Hm³) du système Annaba-El Tarf
Capacités régularisables des barrages

VII.2.5/Affectation de la ressource au niveau du système

Tenant compte de l'irrégularité des ressources de la région, de multiples transferts sont opérés et assurent le transport de la ressource pour différentes zones, notamment la wilaya d'Annaba qui enregistrant un important déficit en ressources.

La wilaya d'Annaba dont ses limites administratives actuelles ne dispose pas de ressources tant superficielles que souterraines à la mesure de la demande en eau, sans cesse croissante. Les ressources actuelles de la wilaya dépend des ressources extérieures et principalement depuis la wilaya d'El-Tarf avec le système d'adductions en provenance des barrages Cheffia et Mexa, le champ de captage des Salines et de Bouteldja. A noter que la wilaya profite aussi d'un champ de captage dans la wilaya de Skikda et de Guelma.

La figure VII.6 et VII.7, illustrent la matérialisation de ces transferts depuis les différentes sources de mobilisation.

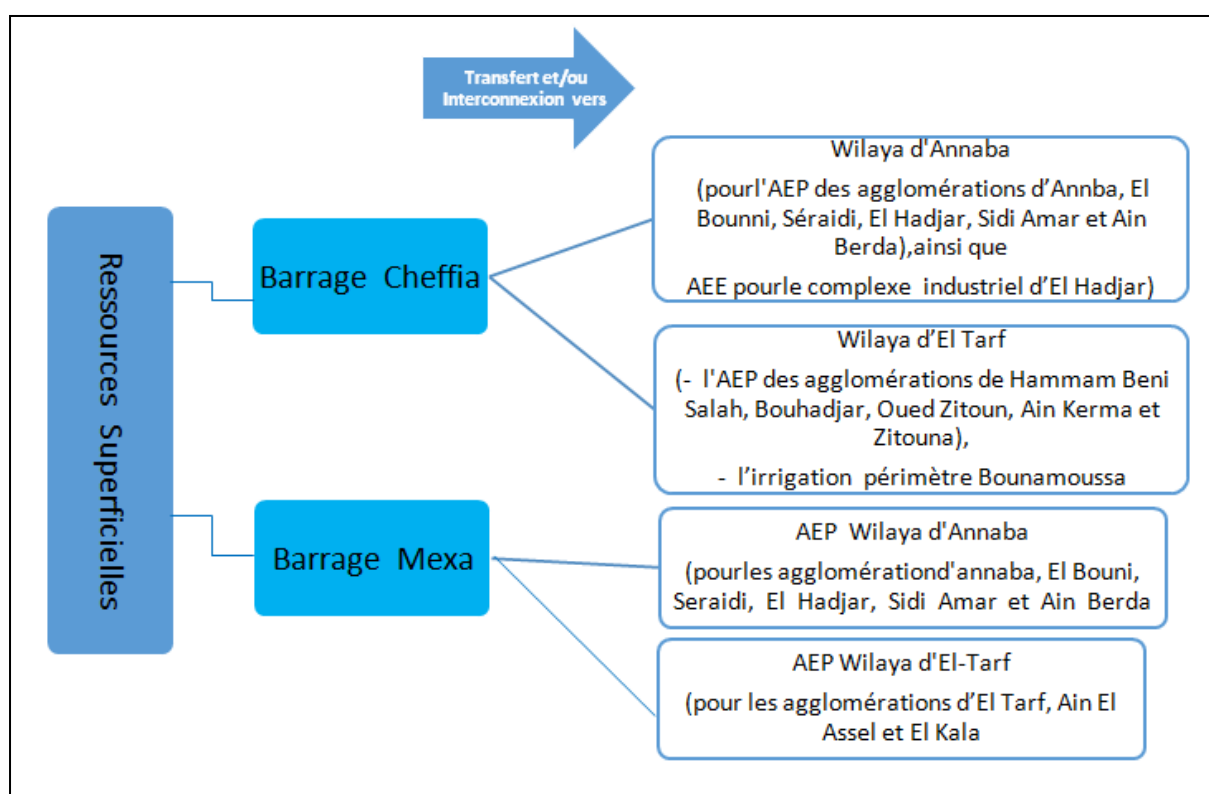


Figure VII.6 : Transferts des eaux superficielles dans le système Annaba-El Tarf

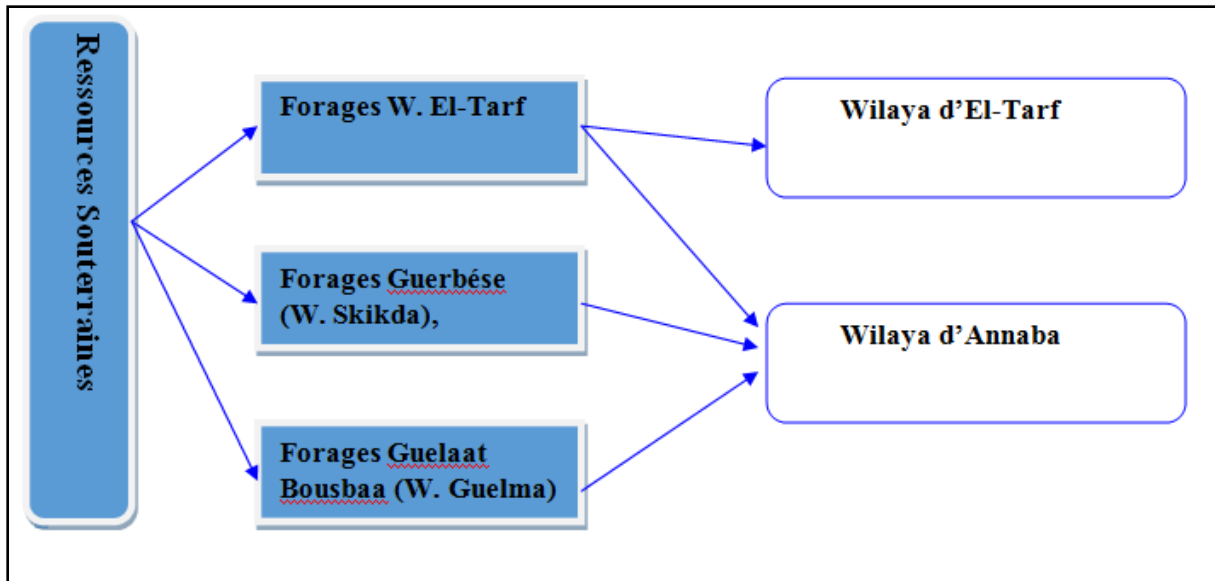


Figure VII.7 : Transferts des eaux souterraines dans le système Annaba-El Tarf

VII.2.6/ Sous système « usage » (besoins en eau)

Le besoin en eau est la notion de quantité d’eau la plus abstraite, souvent matérialisée par des standards. Les besoins en eau sont les volumes d’eau nécessaires aux différents usages correspondant au bien-être des activités humaines (besoins physiologiques, besoins essentiels, besoins culturels, besoins liés aux activités commerciales, agricoles, industrielles, etc.).

VII.2.6.1/ Alimentation en Eau Potable (AEP)

L’appellation “AEP” adopte l’ensemble des usages de l’eau transitant par les réseaux de distribution urbaine. Elle est essentiellement destinée à la consommation domestique ainsi que d’autres activités non domestiques.

Les besoins « eau potable » correspondent aux volumes d’eau potable à distribuer « au robinet » pour satisfaire les différents usages répartis selon 3 grandes familles de consommateurs :

- ✓ Les besoins domestiques qui couvrent la consommation des particuliers,
- ✓ Les besoins « autres usages » qui couvrent les consommations liées à l’administration, les commerces et l’artisanat et petites industries,
- ✓ Les besoins touristiques qui couvrent les consommations spécifiques saisonnières liées à une activité touristique.

La dotation unitaire domestique : elle correspond à la dotation nette et est définie comme étant la quantité d'eau potable, par jour, que doit recevoir effectivement un habitant « au niveau de son robinet » pour couvrir ses *besoins domestiques* journaliers.

En couplant population et dotation unitaire, on peut évaluer la consommation domestique annuelle. La proposition d'harmonisation des dotations unitaires domestiques s'inscrit dans la continuité des approches et des estimations développées en Algérie. Les dotations sont déterminées par strate de population conformément à la typologie définie par l'ONS (Tab.VII.7).

Tableau VII.7: Typologie Agglomérations/strates de population (PNE)

Typologie agglomérations/strates de population	
Désignation	Caractéristique
les métropoles à statut particulier de délégation (SPE)	Alger ; Oran ; Constantine ; Annaba
Les métropoles	Villes de plus de 300.000 habitants
L'urbain dit « supérieur » :	$100.000 < \text{pop.} \leq 300.000$ habitants
L'urbain :	$20.000 < \text{pop.} \leq 100.000$ habitants
Semi urbain :	$5.000 < \text{pop.} \leq 20.000$ habitants
Semi rural :	$3.000 < \text{pop.} \leq 5.000$ habitants
Rural aggloméré :	$600 (100 \text{ unités d'habitant}) < \text{pop.} \leq 3000$ habitants
Rural épars :	Population inférieure à 600habitants (100unités d'habitation)

Les « autres usages » désignent conventionnellement la consommation des administrations, des commerces et des zones d'artisanat et petite industrie. Elle est calculée comme une fraction de la consommation domestique (Tab.VII.8).

Tableau VII.8 : Taux de majorations liés aux autres usagers (PNE)

Type d'agglomération	Dotation l/j/hab		
	Administration	Petite Industrie et artisanat	Commerce
L'urbain :	20	10	10
Semi urbain :	15	10	10
Semi rural :	15	7	7
Rural aggloméré :	10	6	6
Rural épars :	0	0	0

La consommation touristique a un statut particulier : elle rend compte de l'activité touristique d'une agglomération et en plus est définie sur une base saisonnière.

Le [tableau VII.9](#) montre que l'impact des populations supplémentaires liées à l'activité touristique est significatif.

Tableau VII.9 : Surcroît de population estivale (PNE, 2010)

Agglomération		Population (2008)	Surcroît de population	Coefficient annuel d'augmentation des besoins
Wilaya d'El-Tarf	El Kala	24 189	100%	0.29
	Sidi Embarek	4 714	100%	0.29
	Echat	20 787	20%	0.06
Wilaya d'Annaba	Gherbi Aissa	754	500%	1.46
	Sidi Salem	69 295	20%	0.06
	Refes Zahouane	2 110	500%	1.46
	Annaba	253 968	20%	0.06
	Seraïdi	6 249	50%	0.15
	Chetaïbi	5 211	100%	0.29

L'analyse de l'évolution de la population fait ressortir que la démographie dans la région d'étude est de 1 053 640 habitants en 2008 et elle sera de 1 429 555 habitants en 2030, soit une augmentation de l'ordre de 26 % en 2030 ([Tab.VII.10](#)).

Tableau VII.10 : Prévisions d'évolution de la population Annaba-El Tarf 2010/2030.

Wilaya	2010	2015	2020	2025	2030
ANNABA	628 684	692 367	748 897	797 367	839 034
EL TAREF	424 956	471 070	515 319	554 727	590 221
TOTAL	1 053 640	1 163 437	1 264 216	1 352 094	1 429 555

La demande en eau potable est définie comme la somme des volumes à mobiliser pour satisfaire les différents besoins en eau potable tout en prenant en compte les pertes dans les réseaux des infrastructures d'hydrauliques.

Rendements des réseaux : Ce facteur rendement des infrastructures hydrauliques, représente la perte entre la ressource brute mobilisée en amont et le consommateur « au robinet » et doit prendre en compte les pertes dans le réseau de distribution et les pertes au niveau des ouvrages de traitements et d'adductions ainsi que les pertes commerciales (eau non comptabilisée, branchements illicites..).

Actuellement le rendement moyen est estimé à 50% (ADE, DHW) pour les wilayas d'Annaba et El-Tarf. L'évolution des rendements des réseaux à l'horizon de 2030, est de 70 – 75 % en hypothèse tendancielle et 80 % en Hypothèse volontariste (PNE, 2010).

VII.2.6.1.1/Evolution des besoins en eau potable à l'horizon 2015/2030

L'évaluation des besoins en eau potable des Wilayas Annaba-El-Tarf est élaborée sur la base des prévisions démographiques à l'horizon 2015/2030, elle est de **33,5 hm³** en 2015 et sera de **43,6 hm³** en 2030 (Tab.VII.11).

Tableau VII.11 : Estimation des Besoins en AEP ANNABA-EL-TARF. 2010/2030

	Année	2015	2020	2025	2030
Besoins en AEP (hm ³ /an)	ANNABA	38,8	44,1	49,8	56,0
	EL TAREF	33,5	37,1	40,5	43,6
	TOTAL	72,3	81,2	90,3	99,6

VII.2.6.2/ Besoins industriels

La région d'étude Annaba-El Tarf est une région agro-industrielle de première importance à l'échelle nationale, elle dispose de plusieurs unités industrielles grosses consommatrices d'eau à savoir : le complexe d'El Hadjar, Asmidal, Orelait, les zones industrielles Meboudja, El Bouni, les unités de Tomate, Briqueterie, etc. Les industries sont alimentées soit à partir des réseaux urbains soit à partir d'installations leur appartenant et qu'elles exploitent elles-mêmes. La consommation d'eau la plus importante est celle de la branche sidérurgique (Complexe d'El Hadjar).

Le PNE a montré que les besoins en eau industrielle en 2010 étaient de l'ordre de **432 800 m³** à El-Tarf et **24 367 440 m³** à Annaba. Les besoins en eau industrielle s'élèvent à

568 980 m³ à El-Tarf et **14 981 182 m³** à Annaba. L'évolution des besoins en eau connaît un accroissement dans la wilaya d'El-Tarf et une stagnation, voire une diminution dans la wilaya d'Annaba, (50% des eaux rejetées par le complexe sidérurgique d'El Hadjar feront l'objet d'une réutilisation interne, ce qui réduit d'autant (soit 10 hm³/an) les besoins de cette entreprise (PNE).

VII.2.6.2.1/Evolution des besoins en eau industriels à l'horizon 2015/2030

L'évolution de la demande en eau industrielle a été établie à partir de la maîtrise de la connaissance de la situation actuelle et des tendances d'évolution du secteur industriel (Tab.VII.12).

Tableau VII. 12: Besoins en eau industrielle en m³/an à l'horizon 2010/2030

Wilaya /Année	2010	2015	2025	2030
Annaba	24 367 440	14 981 182	15 876 981	16 839 624
El-Tarf	432 800	568 980	652685	748 905
Total	24 800 240	15 550 162	16 529 666	17 588 529

VII.2.6.3/ Besoins agricole

L'évolution des besoins en eau d'irrigation dépend de la surface irriguée, type de cultures, les conditions climatiques et les techniques d'irrigation employées. Dans la région d'étude, l'irrigation est assurée aussi bien par les eaux superficielles que souterraines.

Les besoins en eau d'irrigation de la région d'étude, à raison d'une dotation théorique de 5000 m³/ha/an sont estimés à **163,45 hm³/ha/an** (Bounab 2006). L'évaluation de la demande en eau d'irrigation est globalement traitée en priorité pour les GPI (grand périmètre irrigué) avec l'objectif de satisfaire les superficies équipées irrigables existantes ou en cours de construction. Deux scénarios peuvent être traités. Scénario I, proposition PNE 2010 avec une moyenne pondérée d'irrigation qui dépasse les 7 600 m³/ha/an et notre proposition en scénario II avec 6000 m³/ha/an, avec une meilleure utilisation des nouvelles techniques d'irrigation on évitant le gaspillage d'eau (Tab.VII.13).

Tableau VII.13: Projection des besoins totaux en eau des GPI

Périmètres	Superficie Irrigable (ha)	Besoins en eau (moyenne pondérée) (m ³ /ha/an)		Total Hm ³ /an	
		Scénario I	Scénario II	Scénario I	Scénario II
Bounamoussa	16 645	7 880	6 000	131,2	99,87
Kébir Est (El-Tarf)	5 120	7 650	6 000	39,2	30,72
Annaba Ouest et Côtier	11 519	7 880	6 000	90,8	69,1
Kébir Ouest(Fetzara)	29 767	7650	6 000	227 ,7	178,6
Basse Seybouse	6 293	7 880	6 000	49,6	37,76
Total	69 344			538,4	416,1

VII.2.6.4/ Bilan des besoins

Le [tableau VII.14](#) illustre l'ensemble des besoins des différents secteurs à l'horizon 2015/2030. La représentation dans la [figure VII.8](#) basée sur les volumes d'eau prélevés a permis de hiérarchiser les usages de l'eau selon leur importance.

Tableau VII.14: besoins en eau des différents secteurs à l'horizon 2015/2030

Année	Besoins eaux Potable		Besoins eaux Agricoles		Besoins eaux Industrielles		Besoins Total (Hm ³)
	(Hm ³)	(%)	(Hm ³)	(%)	(Hm ³)	(%)	
2015	72,3	28 ,77	163,45	65,1	15, 5	6,2	251,25
2030	99,6	15,2	Scénario I : 538,4	82	17,6	2,7	655,6
	99,6	18,7	Scénario II : 416	78	17,6	3,3	533,2

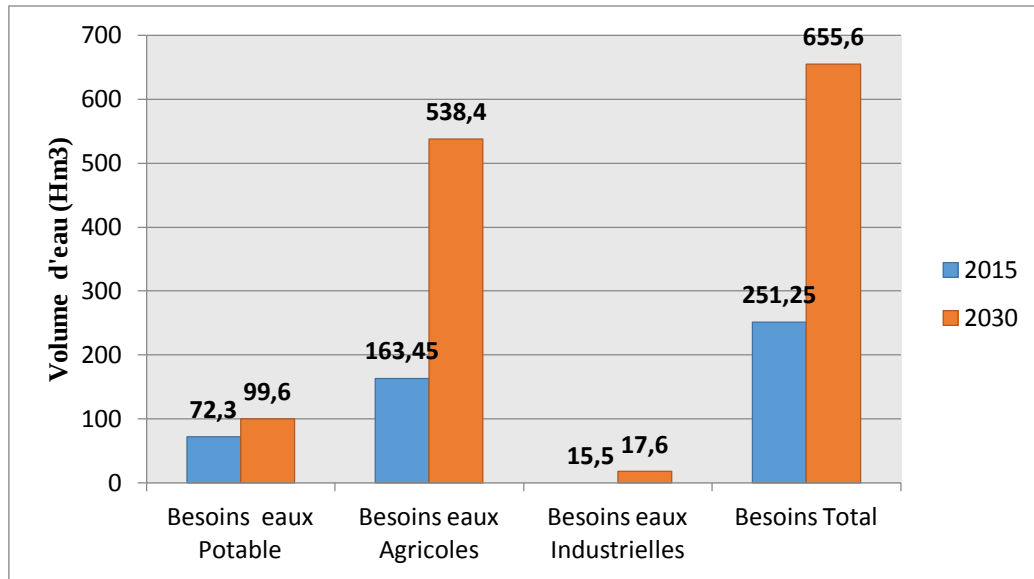


Figure VII.8:Représentation du sous système « usage »

VII.2.6.5 / Confrontation offre / besoins

Les confrontations sont établies en comparant les ressources en eau existantes avec les besoins en eau pour satisfaire les demandes en eau à l'horizon 2030. Les calculs de la confrontation présentent comme intérêt, l'évaluation de la gestion des ressources en eau et de suivre le développement pour optimiser les choix et déterminer la politique de l'eau.

La [figure VII.9](#) montre que, si l'on reste sur les modes actuels de gestion, on se dirige vers une réelle crise du système « ressource en eau Annaba-El Tarf», et cela d'autant plus si l'on prend en compte le changement climatique.

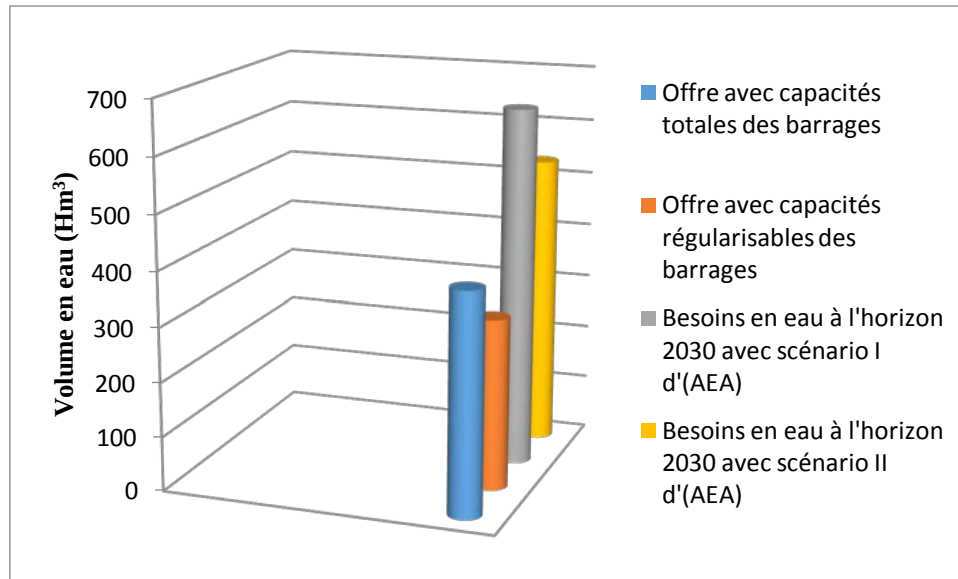


Figure VII. 9: Confrontation ressources-besoins à l'horizon 2030

VII.3/ Evaluation des indicateurs de développement dans la wilaya d'Annaba

VII.3.1/ Indicateur d'accès à l'eau potable et l'assainissement

La wilaya d'Annaba a connu un vaste programme de réhabilitation et d'extension des réseaux urbains de distribution d'eau potable et d'assainissement. Le [tableau VII.15](#) donne une synthèse relative à l'évolution des indicateurs d'accès à l'eau potable et l'assainissement durant la période 2010-2015. Grâce à ces actions, le taux de raccordement de la population au réseau public d'AEP est passé de 54% en 1999, 84 % en 2010, à 96 % en 2015 ([Fig.VII.10](#)), avec une dotation réelle moyenne de 91 l/hab/j en 1999, 125 l/hab/j en 2010 à 97 l/hab/j en 2015 ([Fig.VII.11](#)).

**Tableau VII.15: Indicateur de développement dans la wilaya d'Annaba
(2010-2015)**

Indicateur	Période					
Alimentation en eau potable	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Linéaire des réseaux (km)	1713	1720	1744	1756	1756	1759
Nombre des réservoirs d'AEP	121	125	126	129	151	151
Nombre de logements raccordés au réseau d'AEP	143 011	146 850	155 221	161 046	169 170	170 047
dotation journalière (l/j/h)	125	125	125	125	90,58	97,75
Assainissement	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nombre de logements raccordés au réseau d'assainissement	141 562	146 954	155 363	161 241	169 437	170 317
Linéaire des réseaux (km)	1 047	1057	1067	1081	1104	1110

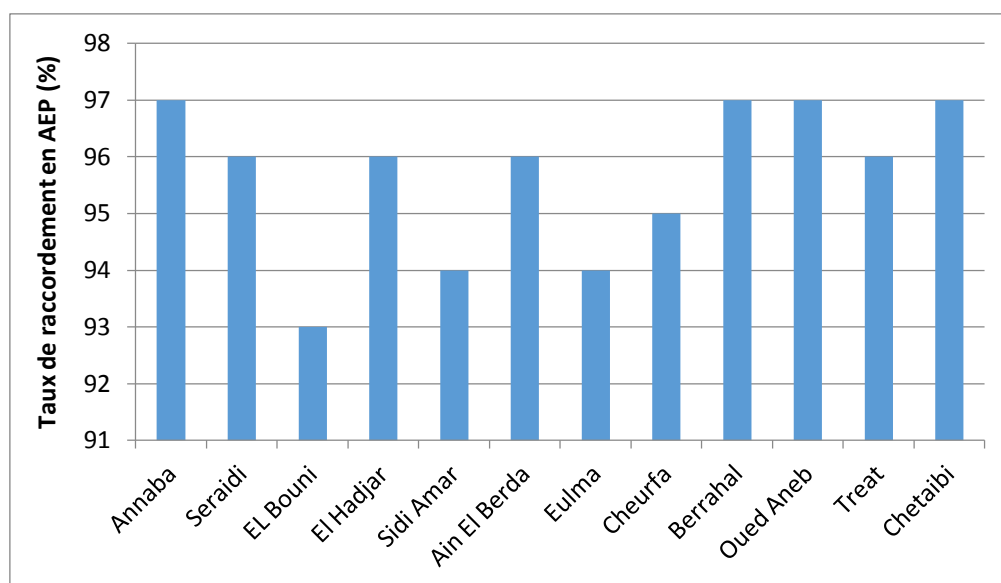


Figure VII.10: Indicateur taux de raccordement au réseau d'AEP (2015)

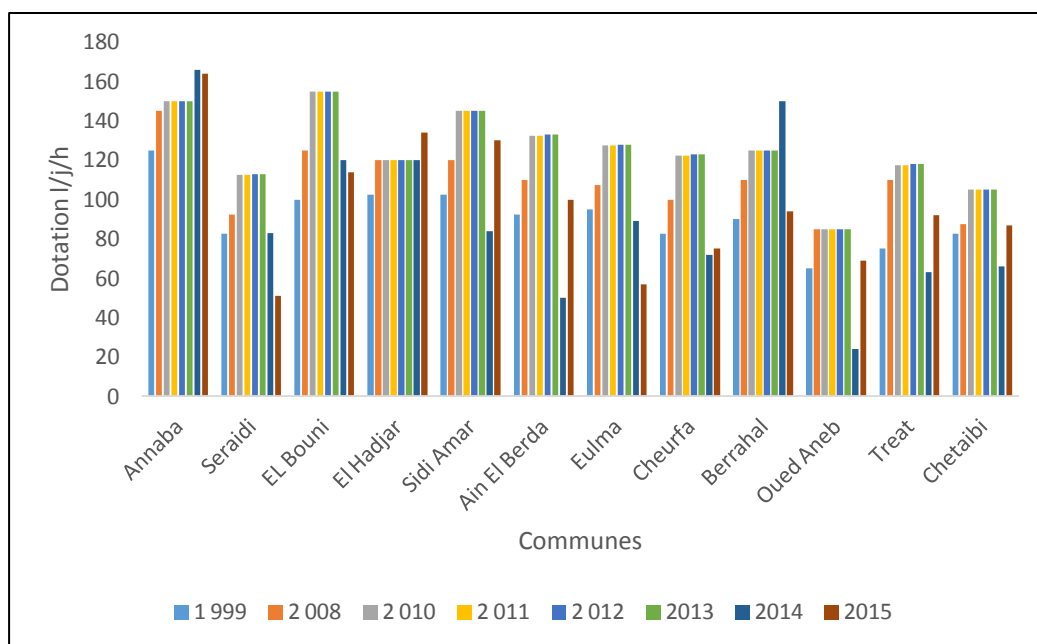


Figure VII.11: Indicateur dotation en eau potable dans les communes de la wilaya d'Annaba (1999-2015)

VII.3.2/ Indicateur sur la satisfaction des usages

L'indicateur sur la satisfaction des usages par rapport aux ressources en eau est fonction de chacun des usages et leurs exigences. Le manque de données sur les secteurs agricole et industriel ne permet pas d'évaluer la satisfaction de leurs usagers.

L'usage de l'eau le mieux suivi dans la wilaya d'Annaba est l'alimentation en eau potable à partir de la dotation réelle et la fréquence de distribution. La méthode d'évaluation de la satisfaction consiste à calculer le taux de satisfaction, qui est le rapport de la dotation moyenne réelle par habitant à la dotation théorique par habitant en fonction de la taille de chaque commune.

VII.3.2.1/ Indicateur fréquence de distribution

La [figure VII.12](#) montre l'évaluation de fréquence de distribution d'eau potable. 3,25 % de la population reçoit l'eau potable vingt quatre heure sur vingt quatre (H24) se localise principalement dans la commune d'Annaba, par contre 45,5 % de la population reçoit l'eau potable une journée sur trois et plus ($1j/3$).

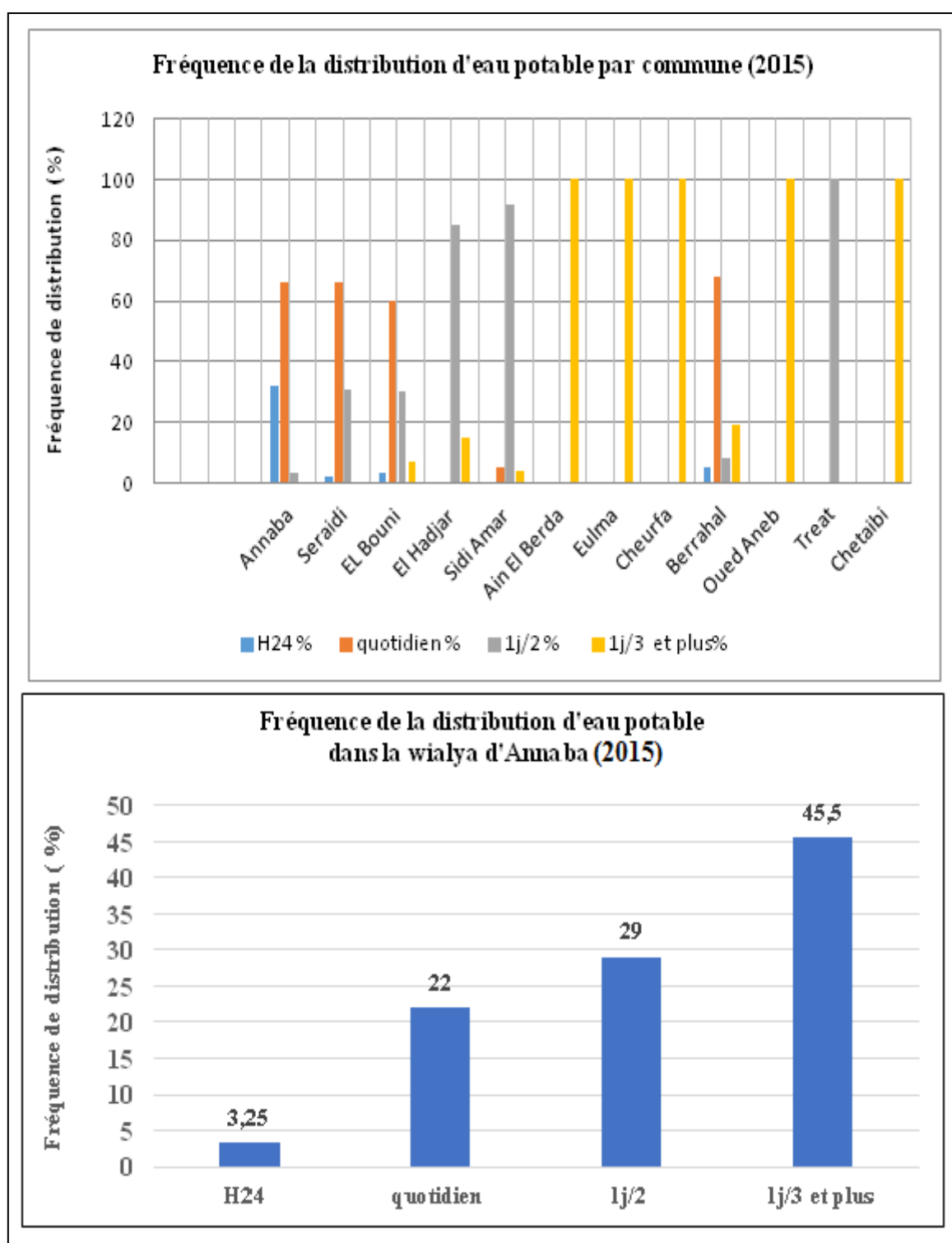


Figure VII 12 : Indicateur fréquence de distribution d'eau potable par commune et total wilaya d'Annaba 2015

VII.3.2.2/ Indicateur satisfaction en eau potable

L'évaluation de la satisfaction des demandes en eau potable sur l'ensemble des communes de la wilaya d'Annaba en 2015 est d'une moyenne de l'ordre de 70,6 % (Fig.VII.13).

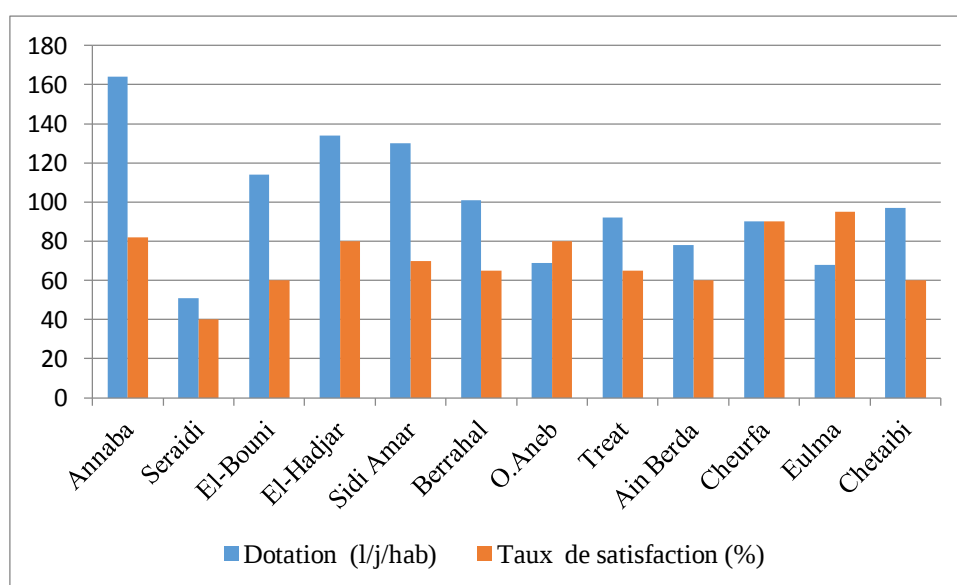


Figure VII.13: Dotation journalière réelle et taux de satisfaction en eau potable par commune (2015).

VII.4/ Recherche de l'équilibre hydrique du système

« Ressources en eau Annaba-El Tarf »

Compte tenu de l'intensification des pressions exercées sur les ressources en eau dans la région Annaba-El Tarf, qui se manifestent par la forte demande en eau, **251,25 Hm³** en 2015. Elle sera respectivement de l'ordre de **655,6 Hm³** avec le scénario I d'AEA et **533,2 Hm³** avec le scénario II d'AEA, soumet le gestionnaire à la recherche d'une situation d'équilibre entre développement socio-économique de la région et satisfaction du sous système « usage ».

À cet effet, plusieurs aires de planification ont été ciblées par le plan national de l'eau (PNE, 2010). Les prévisions de mobilisation des eaux ont été fixées selon les orientations du Ministère des ressources en eau.

VII.4.1/ Mobilisation des eaux conventionnelles

En plus des deux barrages opérationnels, plusieurs projets de réalisation d'ouvrages de mobilisation des eaux de surface sont en cours de réalisation et d'inscription.

A court terme, la réception du **barrage de Bougous** d'une capacité de 70 millions de m^3 . Cet ouvrage régularisera un volume de **49 millions de m^3** destiné à l'alimentation en eau potable des wilayas Annaba et El Tarf.

A moyen terme, la réalisation de deux barrages: Bouhaloufa et de Boulathan de capacités respective de l'ordre de **125 et 25 millions de m^3** dans la wilaya d'El Tarf (Fig.VII.14). Le nouveau barrage **Koudiat Mahcha** au sud d'Annaba représentera un apport de **9,25 million de m^3** (un barrage réservoir destiné au stockage des eaux usées épurées de la future STEP de Annaba pour d'éventuelles réutilisations en irrigation et en industrie). Ce barrage aura une capacité de stockage de **24 million de m^3** . Le nouveau barrage **Enkouche** à l'ouest de la wilaya d'Annaba, proche de la limite avec la wilaya de Skikda pourra mobiliser **52,5 million de m^3** (les apports moyens annuels sont estimés à **193 Hm³**) (Fig.VII.15).

En étude la réalisation d'un deuxième barrage sur l'Oued Bounamoussa (le Bounamoussa 2), en amont de celui de Cheffia et qui pourra emmagasiner **120 millions de m^3** . La réalisation d'une retenue collinaire près du lieu-dit Bouneffa, dans la commune de Chihani, d'une capacité de **60.000 m^3** . La réalisation d'une prise sur l'Oued Seybouse au sud de Cihani, régularisant un volume annuel de **12 hm³**.

A long terme, 03 sites potentiels de barrages, dans le bassin de la Seybouse sont retenus (PNE, 2011), il s'agit de :

- Barrage Chihani sur oued Seybousse garantissant un volume annuel de **122 hm³**,
- Barrage Bouteldja sur oued Zitoun garantissant un volume annuel de **37 hm³**,
- Barrage Guergour sur oued Guergour garantissant un volume annuel de **8 hm³**.

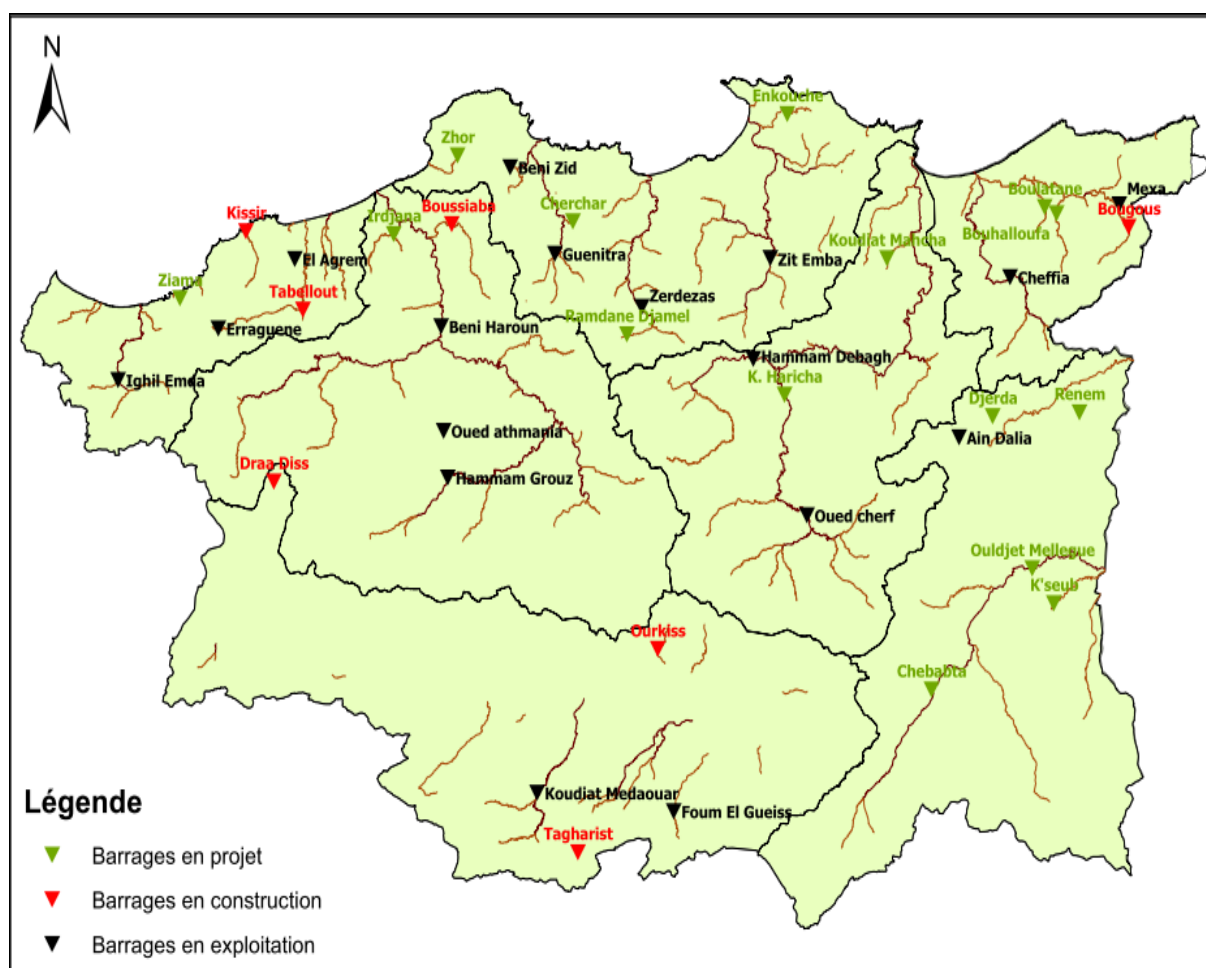


Figure VII.14 : Situation des barrages en exploitation et en projet dans le bassin côtier Est

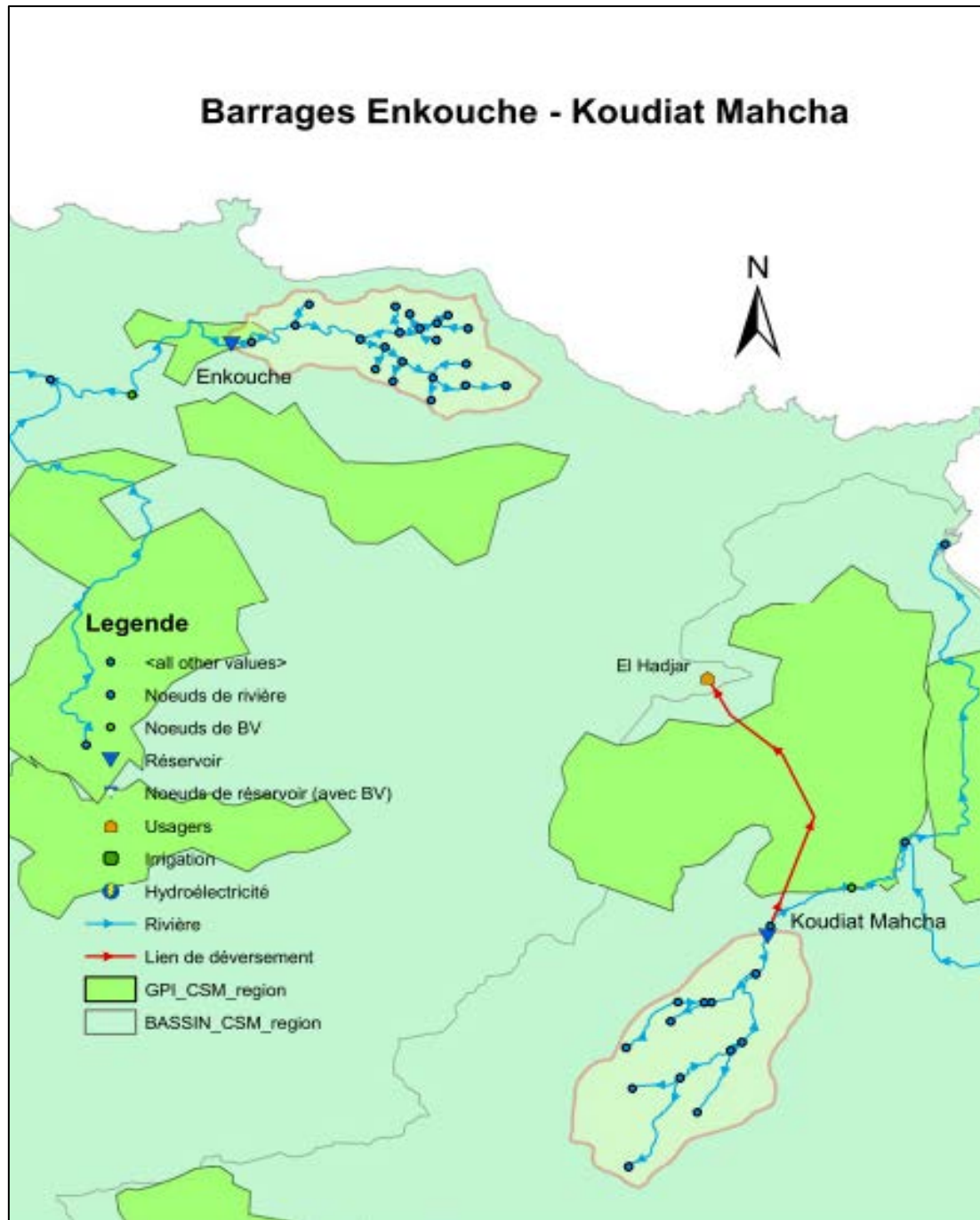


Figure VII.15 : Projections des barrages Enkouche et Koudiat Mahcha dans la wilaya d'Annaba (PNE 2010)

VII.4.2/ Mobilisation des eaux non conventionnelles

Du fait de la pression anthropique toujours plus forte sur les ressources en eaux conventionnelles et dans une volonté de gestion intégrée des ressources en eau, la mobilisation de ressources complémentaires axée principalement dans un premier temps sur le

dessalement d'eau de mer et dans un deuxième temps sur la réutilisation des eaux usées épurées.

VII.4.2.1/Dessalement des eaux de mer

Dans le domaine du dessalement de l'eau de mer, la station de dessalement d'Echatt (Fig.VII.16), établie à la limite entre les deux wilayas Annaba et El-Tarf, d'une capacité de $50\,000\text{ m}^3/\text{j}$. Elle permettra un volume régularisable à court terme de l'ordre de $44\text{ Hm}^3/\text{j}$.

VII.4.2.2/Epuration des eaux usées

La station d'épuration (Mehcha), dans la wilaya d'Annaba d'une capacité nominal de $115\,000\text{ m}^3/\text{j}$. Elle sera également une nouvelle ressource importante pour l'irrigation. Elle permettra un volume régularisable de l'ordre de 24 Hm^3 .



Figure VII.16: Situation de la future station de dessalement Annaba-El Tarf

VII.4.3/ Contraintes et défis du système :

« Ressource en eau Annaba-El Tarf »

La ressource en eau est gérée au moyen de toute une série de structures et d'instruments administratifs issus de différentes politiques. Il s'agit donc maintenant d'intégrer les problèmes de gestion des ressources en eau dans une politique globale de développement et de gérer des ressources, des écosystèmes et des différentes utilisations de l'eau.

À travers l'analyse du système « ressources en eau Annaba-El Tarf », il apparaît que la région d'étude a fait l'objet de nombreux aménagements sont également confrontés à des défis majeurs. Des ressources limitées par rapport aux besoins potentiels actuels et futures. Le changement climatique entraînera une diminution des précipitations et des débits des oueds. Des ressources difficiles, induisant des coûts de plus en plus élevés de mobilisation, de traitement et de transport. Des ressources financières limitées (budget de l'état).

Les contraintes liées à la ressource en eau dans la région ne sont pas attribués seulement à la disponibilité des ressources en eau, mais aussi, à une grande résultante de divers facteurs de défaillances dans l'exploitation et la gestion des ouvrages de mobilisation et d'adduction, tels que :

- La diminution des capacités de mobilisation des eaux de surface, du fait de l'envasement des barrages et des retenues collinaires. Un grand nombre de retenues collinaires est hors usage,
- La surexploitation des nappes ; en effet, un nombre important de forages illicites et non déclarés et des piquages à partir des conduites prélèvent des eaux souterraines,
- Un nombre important des fuites (un rendement des réseaux de 50%).

Cependant la politique algérienne de gestion de l'eau a été davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. Politique de développement de « l'offre » et non à la gestion de la « demande », augmentation des budgets d'investissements, face à la faiblesse des financements consacrés à l'entretien et à la maintenance des installations, l'amélioration des performances des systèmes de distribution. La gestion des ressources en eau doit être intégrée

dans un projet de développement de l'ensemble des activités liées à l'eau, elles-mêmes intégrées dans un projet de développement durable, tenant compte à la fois des caractéristiques naturelles propres aux milieux et des attentes de développement économique et social des populations implantées dans ces milieux ([in Rouissat. B, 2015](#)).

VII.5/ Conclusion et recommandations

Cette partie avait pour objectif d'étudier le système ressource en eau Annaba-El Tarf. La problématique principale de la gestion quantitative des ressources en eau est la satisfaction des demandes élevées. L'analyse de l'évolution de la demande en eau dans la région d'étude fait ressortir, que les besoins en eau étaient de l'ordre **de 251,25 Hm³** en 2015. Ils seront respectivement de l'ordre de **655,6 Hm³** avec le scénario I d'AEA et **533,2 Hm³** avec le scénario II d'AEA. Si l'on reste sur les modes actuels de gestion, on se dirige vers une réelle crise du système « ressource en eau », et cela d'autant plus si l'on prend en compte le changement climatique et la croissance démographique.

Pour y remédier, les autorités locales et les responsables du secteur de l'eau ont engagé un vaste programme d'aménagement pour mobiliser le maximum de ressources conventionnelles et le recours à d'autres ressources non conventionnelles. Ceci s'est traduit par des programmes très importants d'emplacement de barrages, d'infrastructures de stockages et transferts d'eau.

Cependant, pour que ces objectifs puissent apporter des transformations dans les niveaux de qualité et d'efficacité dans le secteur de l'eau. Plusieurs actions sont donc à promouvoir :

- la gestion durable des ressources en eau devrait être placée au cœur des préoccupations des différentes stratégies et privilégiée par rapport aux démarches visant des mobilisations supplémentaires ([Rouissat. B, 2015](#)),
- Une parfaite connaissance scientifique du potentiel hydrique,
- Maîtrise des écoulements de surface,
- Les mesures de réduction des pertes et gaspillages en eau, qui représente entre 20 et 30 % des capacités de production totales,
- Des actions de modification des techniques culturales destinées à réduire la consommation d'eau d'irrigation,

- Les unités industrielles doivent se doter des stations d'épuration et se pencher sur le recyclage des eaux,
- Développer des systèmes d'épuration des eaux usées et du recyclage des eaux industrielles
- La tarification peut être aussi un des moyens d'inciter les usagers à plus d'économie dans leur consommation d'eau et d'éviter les pertes et gaspillages,
- Développer la technique de la recharge artificielle des nappes, qui constitue le meilleur moyen de stocker l'eau, elle permet d'éviter des pertes considérables par évaporation et par envasement et d'avoir une meilleure qualité d'eau ([Remini. B, 2010](#)),
- donner la priorité aux programmes de réhabilitation des systèmes d'alimentation en eau potable, d'assainissement et d'irrigation, de mieux gérer les équipements existants avant d'investir dans de nouveaux réseaux, de rentabiliser les infrastructures et de récupérer une partie des volumes d'eau actuellement perdus.

Conclusion générale

&

Perspectives

Conclusion générale et perspectives

L'analyse de la problématique adoptée dans cette thèse nous a permis, dans la première partie, de réaliser une synthèse bibliographique qui se rapporte sur l'état de l'art des ressources hydriques et le développement durable. 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.

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays. 90 % de la totalité des écoulements superficiels (estimée à 12,4 milliards de m³/an) se trouvent sur la région littorale (7 % de la superficie du territoire), les 10 % restant se partagent entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens. La part que prend l'alimentation en eau potable est considérablement accrue en volume et en proportion. De 16 % de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35 % actuellement. Durant la même période, la part de l'eau agricole a chuté de 80 % à 60 %, celle de l'industrie restant égale à 3,5 %. La disponibilité d'une eau de bonne qualité est un élément indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie. Actuellement, la situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que la qualité de l'eau se détériore.

La politique algérienne de gestion de l'eau 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. En effet, ces dernières années un nombre important de travaux ont abordé la question de l'évaluation de la gestion durable des ressources hydrique. Ils ont proposé des outils susceptibles de suivre la mesure de l'évolution de la durabilité de la ressource. Elle est obtenue à travers l'exploitation d'un ensemble d'indicateurs.

La méthodologie adaptée dans ce travail de recherche a été appliquée à la région Annaba-El Tarf située à l'extrême Nord-est Algérien. Le sous sol de cette région constituées par des sédiments mio-plio-quaternaires comblant une zone d'effondrement. Les travaux réalisés dans la région ont montré qu'il existait deux fosses séparées par un haut-fond qui porte la butte de Daroussa : -la fosse Ben-Ahmed, orientée S-N -la fosse Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

La région est soumise à l'influence d'un climat méditerranéen subhumide caractérisé par une période humide (Décembre, Janvier, Février) et une autre sèche (Juin, Juillet, Août). Elle reçoit en moyenne une pluviométrie de l'ordre de 686 mm/an, répartie de façon irrégulière au cours de l'année. L'analyse du bilan hydrologique fait ressortir que l'infiltration est le paramètre le plus intéressant en hydrogéologie, représente près de 76 mm/an. L'évapotranspiration et le ruissellement représentent 68 % et 20 % respectivement. Les études hydrogéologiques dans la région montrent que, le remplissage des deux fosses (Ben-Ahmed et Ben-M'hidi), comporte plusieurs horizons aquifères lenticulaires à continus sur toute l'étendue des plaines d'Annaba et de Bouteldja. Dans ce remplissage, on distingue trois (03) principales nappes sont ; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja. Ces formations hétérogènes 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. Ces nappes sont largement exploitées par de nombreux ouvrages de captage pour répondre aux besoins d'AEP, l'industrie et l'agriculture.

L'étude de la qualité des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf vis-à-vis la corrosivité et l'entartrage à partir de l'évaluation des indices de Langelier et de Ryznar, montrent des taux alarmants, soient 73,53% des eaux représentent une corrosion intolérable, 20,59% des eaux sont légèrement corrosif, 2,94% des échantillons indiquant une importante corrosion et 2,94% sont des eaux entartrées. L'intérêt pratique d'une telle notation, en tant qu'instrument de travail est évident, car elle permet au spécialiste de prévoir et donc d'éviter les ennuis dus à l'entartrage ou la corrosion, en préconisant la solution la plus efficace et la plus économique. L'application des outils hydrogéochimiques couplés avec des méthodes statistiques dans l'étude des eaux souterraines de la région Annaba-El Tarf, montrent que les eaux de la région d'étude sont chlorurées sodiques (82%), l'acquisition de cette typologie est en grande partie due à la dissolution des minéraux évaporitiques et/ou la précipitation des minéraux carbonatés, l'altération de silicates et à l'influence marine. Les minéraux carbonatés (la calcite, la dolomite et l'aragonite) sont saturés pour quelques échantillons et sous-saturés pour d'autres, par conséquent les eaux sont sous-saturées vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques (la halite, le gypse et l'anhydrite). La représentation des échantillons sur le diagramme de Wilcox et de Richards qualifie ces eaux pour l'irrigation mais avec un traitement spécifique dans certains cas.

L'étude des paramètres physico-chimiques et organiques des eaux de surface des barrages Chaffia et Mexa (2015) a permis d'évaluer la qualité de la ressource en eau dans la perspective d'une éventuelle utilisation. Les résultats d'analyse ont montré que, La composition chimique des eaux est dominée par les ions : Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- et Cl^- . Les concentrations obtenues ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS. La détermination de l'indice de pollution organique a montré que, le degré de pollution organique est faible à modérée. Le calcul de l'indice de qualité des eaux brutes confirme que les eaux dans les deux barrages est de qualité acceptable.

Les ressources en eau sont abondantes dans la région d'étude surtout les eaux superficielles, mais ces ressources sont peu utilisées, une quantité assez limitée est mobilisée par les barrages (Cheffia, Mexa), les lacs et quelque retenues collinaires et le reste s'écoule vers la mer, par contre les eaux souterraines sont de plus en plus exploitées).

L'analyse du sous système « usage », fait ressortir, que les besoins en eau étaient de l'ordre de **251,25 Hm³** en 2015. Ils seront respectivement de l'ordre de **655,6 Hm³** avec le scénario I d'AEA et **533,2 Hm³** avec le scénario II d'AEA. Pour faire face, les autorités locales et les responsables du secteur de l'eau ont engagé un vaste programme d'aménagement pour mobiliser le maximum de ressources conventionnelles et le recours à d'autres ressources non conventionnelles. Ceci s'est traduit par des programmes très importants de barrages, d'infrastructures de stockages et transferts d'eau.

Les contraintes liées à la ressource en eau dans la région ne sont pas attribués seulement à la disponibilité des ressources en eau, mais aussi, à une grande résultante de divers facteurs de défaillances dans l'exploitation et la gestion des ouvrages de mobilisation et d'adduction, (la diminution des capacités de mobilisation des eaux de surface, le rendement des réseaux, à **50%...**). Cette étude intervient alors que la première tentative d'analyse du système ressource en eau. L'analyse systémique appliquée au système « ressources en eau Annaba-El Tarf » a mis en évidence des résultats intéressants s'articulant autour d'une approche globale des problèmes et contraintes. La caractérisation et la classification des indicateurs aident les gestionnaires de l'eau de concevoir des mesures de gestion de la demande en eau dans le but de combler l'écart entre le présent et l'avenir concernant l'offre et la demande. L'augmentation des budgets d'investissements, **permet d'alerter les collectivités et de les inciter à réfléchir sur** une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles que sur la mobilisation de nouvelles ressources.

Enfin, nous soulignons que ce travail de recherche est un sujet très vaste. Son développement initial à abouti à une identification de plusieurs objectifs nécessitant un développement, une exploitation et un traitement approfondie de tous les aspects essentiels. Nous ouvrons des perspectives de recherche très intéressantes sur plusieurs questions :

- une meilleur quantification de la ressource (implantation de stations de mesures de débit en continu le long du cours d'eau, installer un réseau de piézomètres le long des étendus de nappes, pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique,
- Développement de la technique de la recharge artificielle des nappes,
- Déterminer et affiner les indicateurs relatifs à la gestion des ressources en eau « assurer la durabilité du patrimoine »,
- Développer les objectifs prioritaires pour assurer une bonne gestion de la ressource,
- Construire un outil informatique basé sur une approche systémique, dont l'objectif est de modéliser l'ensemble des interactions de la gestion de la ressource en eau sous forme d'un système.
- La question du prix de l'eau est très sensible, tant socialement que politiquement, les moyens de production et d'alimentation mis en œuvre, fonctions de la qualité et de la quantité de la ressource disponible, induisent de grandes disparités du prix du m³ d'eau vendu.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

ABYANEH H.Z., M.B. Varkeshi, K. Mohammadi, K. Howard, S. Marofi, (2011), Assessment of groundwater corrosivity in Hamedan Province Iran using an adaptive neuro-fuzzy inference system, *Geosciences Journal* , 15 433 – 439.

AFSCET, (1994). (Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, C. e. Définition de la systémique. *Revue Internationale de Systémique*. France.

AGATEMOR C., A. Patrick, O. Okolo, (2008), Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin, *Environmentalist*, 28 (2008) 379–384.

ALAIN Marre : Le Tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne –Etude Géomorphologique Volume I 410 P.

ALLBERTI M., MARZLUFF J., (2004). *Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions*. *Urban Ecosystems*, vol.7, pp. 241–265.

AMADOU, H. (2014). Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la région de Tahoua (Niger). *Journal of Applied Biosciences* , pp. 80:7161-7172.

ANTOINE-TRISTAN, P. G. (2011). L'atlas du développement durable ». Groupe Eyrolles, Édition d'Organisation, 2011, 450p.

AOUN SEBITI Badra, 2010. Gestion optimisée des ressources en eau d'une nappe côtière, application à la plaine d'Annaba (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat, 211p. Université Lille 1, France

ATASOY A.D., M.I. Yesilnacar(2010), Effect of high sulfate concentration on the corrosivity: a case study from groundwater in Harran Plain, Turkey, *Environ Monit Assess*, 166 595–607.

ATTOUI B., KHERICLI N., BOUSNOUBRA H., (2012). State of vulnerability to pollution of the big reservoirs of groundwater in the region of Annaba- Bouteldja (NE Algeria), *Geographia Technica* , 2 1-13.

ATTOUI, B. (2014). état 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 de doctorat : université badji mokhtar-annaba.

BAGNOULS F et GAUSSEN H., 1957, Les climats biologiques et leur classification, *Annales de Géographie*, 66 année, N° 335, pp22-193.

BAHROUN Sofia, 2016. Objectifs environnementaux de rejet pour les polluants dans le milieu récepteur et optimisation du pouvoir auto-épurateur : cas de l'oued kébir est (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat, 220p .université, Badji mokhtar-Annaba

BENBLIDIA Mohammed et Gaëlle Thivet. (M a i 2 0 1 0). Gestion des ressources en eau les limites d'une (Vol. N ° 5 8). P l a n B l e u L e s N o t e s d'a n a l y s e du CIHE AM.

BENBLIDIA, M. (2011). L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique . Plan Bleu .

BENMALEK, Y. (2009). La confrontation entre les ressources en eau et les besoins en eau en moyenne montagne cristalline. .Thèse de doctorat 536 p.Universite de saint-etienne, France:

BOUCHEDJA A. (2012). La politique nationale de l'eau en Algérie. 10ème conférence internationale Euro-Riob, Istanbul,Turquie.

BOUDOUKHA A., ATHAMNA M., BENAABIDAT L., (2015), Etude du Potentiel Hydrothermal de Hammam Sokhna.EST Algerien, Larhyss Journal,ISSN 1112-3680, 24 161-174.

BOUNAB S., Kherici Bousnoubra H., Bahroun S., Ben Rabah. (2014). Evaluation quantitative des eaux souterraines de la region annaba-el tarf(nord est algerien). 3ème Colloque International Eau–Climat . Hammamet Tunisie.

BOUNAB. S., Kherici Bousnoubra H., Bahroun S., Ben Rabah., (2009). mobilisatio et affectation des ressources en eaux dans l'extreme nord – est algerien (annaba – el tarf) . Premier Symposium Méditerranéen de Géongineering.

BOUNAB.S,Houria Bousnoubra-Khériçi, Abdelhamid Saou,Nassima Sedrati,(2017). Determination of scaling, corrosion tendencies and water type in the Annaba-El Tarf aquifers, Northeastern of Algeria. J. Bio. Env. Sc 10(5) , 155-162.

BOUNAB.S., (2006). Etat actuel des ressources en eau dans les wilayas d'annaba-el tarf. essai de synthse bilan- qualite- perspective. magister hydrogéologie, universite badji mokhtar-Annaba.

BOUSNOUBRA-H (2002) : Ressources en eaux des Régions de Skikda-Annaba-El Tarf-Guelma-Souk Ahras (Nord Est Algérien) Evaluation, Gestion et perspective Vulnérabilité et protection. Thèse de Doctorat d'Etat Univ d'Annaba 159p

BOURGEOIS.M. (1976). La corrosion et l'incrustation dans les forages d'eau. Département géologie de l'aménagement Hydrogéologie, Orléans Cédex..

BOSSEL H., (1999). *Indicators for Sustainable Development: Theory, Methods, Applications* International Institute for Sustainable Development, Winnipeg.

BRGM, M. (1976). La corrosion et l'incrustation dans les forages d'eau"choix de l'équipement adapté".

BRUGMANN J., (1997). *Sustainability indicators revisited: Getting from political objectives to performanc outcomes - a response to Graham Pinfield.* Local Environment, vol .2, n°3, pp. 299-302.

BRUNDTLAND, (1987). *Rapport Brundtland « Notre avenir à tous ».* 349 p.

BOVAR Odile. & al. (2008). Les indicateurs de développement durable. Dossier in l'économie française, édition 2008.

CASTANY, G. (1982). Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie). Aquifères. Bulletin du B.R.G.M., HydrogéologieGéologie de l'Ingénieur, 2, 127-148.

CANADIENNES, C. d. (2009). lagestion durable des eaux souterraines au canada.

CARRIER Air Conditioning Company (1965). Handbook of Air Conditioning System Design. New York, McGraw-Hill Books.

CNES, (2003). Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport sur «La prise en charge des actions de l'environnement au niveau des collectivités locales». 103 p.

CHADHA, D. (1999). A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data . Hydrogeol J 7(5): 431–439.

COSTERMANS. Dominique. (2003). Le développement durable expliqué aux enfants . Édition Luc Pire, France.

COUTAGNE A., 1954, Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum, La Houille blanche, 360–369p.

CHARNAY, Bérengère. (2010). pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne (le cas du bassin versant du giffre haute-savoie. Thèse de doctorat de Géographie 503p. Université de Savoie (E.D. SISEO).

CHIRON Thomas, (2007). Quelle gestion durable des ressources en eau et du risque de penurie sur les petites îles?.Thèse de doctorat,université de Bretagne Occidentale

DEBIECHE, T.-H. (2002). évolution de la qualité des eaux (salinite, 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. Thèse Doctorat 235p. U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-.

DE MARTONNE E., 1926, Aréisme et indice aridité, Comptes Rendus de L'Acad Sci, Paris, 182,1395 - 1398.

DEMAK.A, (2014). Rapport sur l'état de l'eau en Algérie en 2012 « Projet de l'évaluation et suivi du secteur de l'eau des pays d'Afrique du Nord (MEWINA),Ministère des ressources en eau (MRE)-Algérie, Programme de gestion des ressources en eau, CEDARE.

DJABRI. L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. (Thèse Doctorat Es-Sciences, Univ. Annaba. P 216.

DJORFI .S., FOUFOU.A., TOUMI.F., MAJOUR.H., BELLOULOU.L., MALIA.M., (2010). Origine de la Pollution des Eaux Souterraines Dans Une Zone Humide, Cas de la . Santa Catarina- Brasil: International Network Environmental Management Conflicts.

EBLIN S.G.,SORO G.M., SOMBO A.P., AKAN., KAMBIREO.SORON.,(2014). hydrochimie des eaux souterraines de la région d'adiaké (sud-est côtier de la côte d'ivoire) . Larhyss Journal.

ENERGOPROJEKT-ENHYD : Etude de l'Aménagement de la Plaine d'El Tarf

GERARD Donnadieu, et. al. (2003). Synthèse des travaux du Groupe AFSCET "Diffusion de la pensée systémique". L'approche systémique : de quoi s'agit-il ?

GUESNIER Bernard. (2012). L'eau et le développement durable. Revue.org.

GUIGO M., D. P.-A. (1995). Gestion de l'environnement et systèmes experts. 181. Paris: Masson, coll " géographie".

GHOSN. A,MOZAS.M, (2013). Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie. IPAMED- Institut de Prospective Economique Du Mond Méditerranéen.

GAUD., (1976). Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba-Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation).Rapport de l'ANRH, Algérie.151P.

GIUPPONI, P. (2013). Etude relative a la substitution du calcaire marin sur les stations d'eau potable equipees de filtres de remineralisation. TOULOUSE: Agence de l'eau Adour-Garonne.

GIWA Global International Waters Assessment (2001) European Environment Agency (EEA); Copenhagen.

HAMCHAOUI Samir ,2017. Intégration de l'aléa pluviométrique dans le cadre d'une gestion durable du service de l'eau potable. Thèse de doctorat, 247p. Université Chahid Mostefa ben boulaïd, Batna 2

HAMROUNI B.,et el,(2002), Calco-carbonic equilibrium calculation, Desalination, 152 167,174.

HANI A., 2003. Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse Doctorat. Université d'Annaba, Algérie.

HAID.N, (2015). Evaluation quantitative d'une réalimentation de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja dans la région de Boudj Ali Bey et son impact sur la qualité des eaux souterraines. These doctorat 193p, Université Badji Mokhtar Annaba.

HERRERA M.L.,R.J. Espinosa, J.J. Millan, K.M. Hiscock, (2008), Integrated hydrochemical assessment of the Quaternary alluvial aquifer, Applied Geochemistry, 23 2040- 2054.

HEZRI A.A., DOVERS, S.R., (2006). *Sustainability indicators, policy and governance: issues for ecological economics*. Ecological Economics, vol.60, n°1, pp. 86-99.

IIDD (1995) Promouvoir le Développement Durable auprès des décideurs. Rapport annuel.

KETTAB Ahmed, & al. (2008). de l'eau pour un développement durable: enjeux et stratégies. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 21, n° 2,, pp. 247-256.

KARMEGAM U. & al, K. (2010). A study on the mixing proportion in groundwater samples by using Piper diagramme and Phreeqc model . Chinese Journal of Geochemistry 30 (4), 490-495.

KATZ B.G. & al. (1998). Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interaction between groundwater and surface water in mantled Karst . Groundwater, 35(6) 1014–1028.

KHEDIDJA A., BOUDOUKHA A., (2016). caractérisation statistique et hydrochimique de l'aquifère superficiel de tadjanet-chelghoum laïd (nord-est algérien). Larhyss Journal, 28 , 181-197.

KHERICI N., Bousnoubra H., Derradji E.F., Maoui A., 2009. Mobilization and management of the water resources in the north-east of Algeria. Geographia Technica (02), pp.41-49.

KHERICI N. (1993). Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba - La Mafragh) Nord-Est Algérien. Th.Doct Es-Sciences, Université d'Annaba,170p.

KORTATSI, B. (2007). Hydrochemical frame work of groundwater in the Ankobra Basin,Ghana. Aquatic Geochemistry Vol.13(1) , pp. 41-74.

KURDI M., M.S. Ferdows, A.Maghsoudi, (2015) Sensitivity of Corrosion and Scaling Indices Based on Ions; Case Study Iran. Water Qual Expo Health, 363–372.

LABORDE M., Mohamed Assaba et Abdelmadjid Demmak., (2010). Actualisation du plan national de l'eau(Volet 1). ALGERIE.

LE GALLOU F. et al. (1992). Systémique: Théorie et applications. Paris: Edition Lavoisier.

MALDAGUE A.(2004). Sciences de développement et analyse systémique.5ème anniversaire de l'ansd, kinshasa.

MATHES S.E., et al.(2006), Rasmussen, Combining multivariate statistical analysis with geographic information systems mapping: a tool for delineating groundwater contamination. Hydrogeol. J , 14 1493–1507.

- MAOUDOMBAYE T. & al,(2015).** Etude comparative de la qualite physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de doba au tchad . Larhyss Journal.
- MAYA A.L. LOUCKS M.D. (1995).** Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range. *Journal of Hydrology*, 172, 31–59.
- MEBARKI A, (2010).** La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. Fortaleza - Ceará, Brazil: 2nd International Conference: Climate, Sustainability and.
- MEBARKI, A. (2005).** Hydrologie des bassins de l'est algerien : ressources en eau, aménagement et environnement. these de doctorat universite mentouri de constantine.
- MER (2013).** Evolutions des périmètres irrigues en Algérie, 1962- 2012
- MER (2012).** Enquête sur le réseau d'assainissement fin du deuxième semestre 2012
- MEHDID A. (2010).** Etude d'actualisation du plan national de l'eau (Vol. 2). Algerie: Groupement SOFRECO – Grontmij/Carl - Bro – Progress – OIEau.
- MICHIEL A., RIJSBERMAN, Frans H.M. van de Ven., (2000).** *Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems.* *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 20, pp. 333-345.
- MITCHELL JFB., JOHNS TJ., GREGORY JM and TETT SFB (1995).** Transient climate response to Increasing sulphate aerosols and greenhouse gases. *Nature*, 376, 501-504.
- MOZAS.M & GHOSN A. (2012).** Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Institut de prospective économique du méditerranéen.IPEMED.
- NAFAA K., 1985.** Nappes superposées en région côtière, Hydrodynamique et hydrochimie (aquifère d'Annaba) Nord-Est Algérien. Thèse Doc, Université des Sciences et Technologies de Lille, France.159p.
- NATIONS Unies, (1992).** *Déclaration de Rio. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.* 4 p.
- NATIONS Unies, (1992).** *Développement Durable. Action 21, A/CONF.151/26/Rev.1.* 461 p. <http://www.un.org/french/events/rio92/agenda21/action0.htm>
- ONS. (2015).** Collections Statistiques N° 177/2013, Statistiques Régionales et Cartographie.
- ONU, (2006).** *Eau, Assainissement et développement durable. Les enjeux dans les villes des pays en développement.* 160 p.
- PARRIS T.M., KATES R.W., (2003).** *Characterizing and measuring sustainable development.* *Annual Review of Environment and Resources*, vol.28, pp. 559-586.
- PNE, (2010) :**Actualisation du plan national de l'eau, (Vol. 2) Algerie.
- PICAZO –Tadeo A.J., Sàez-Fernàndez, F.J., Gonzàlez-Gòmez, F (2008).** *Does service quality matter in measuring the performance of water utilities?* *Utilities Policy*, vol.16, pp. 30-38.

PLUMMER L.N., 1976. WATEQ-A fortran IV version of WATEQ A, computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. Washington D.C.U.S Geol-Surv-Water Res

PNUE, P. B. (2007). Extrait de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable relatif à la gestion intégrée des ressources et demandes en eau.

PNUD, (2003). *Rapport mondial sur le développement humain. Les Objectifs du Millénaire pour le Développement : Un pacte entre les pays pour vaincre la pauvreté humaine.* 376 p.

RAACHI, M. L. (2007). gestion intgree des ressources du bassin versant du lac tonga au nord-est algérien these doctorat,188p . université du québec à montréal.

RAMDANI A.,(1996). Hydrogéologie et mobilisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Magistère, Université d'Annaba, Algérie. 138p.

RAWAJFEH A.I., et al, (2005), Scaling in multiple-effect distillers: The role of CO₂ release. Desalination , 182 209-219.

REMINI B, 2010. La problématique de l'eau en Algérie du Nord. Larhyss Journal n°08, pp : 27-46

REMINI B.1, BENFETTA H. (2015). Le barrage réservoir de gargar est- il menace par l'envasement ? Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, pp. 175-192

REYNARD.E, (2000). Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne. Université de Lausanne, Faculté des lettres, Institut de Géographie.

ROSNAY J. (1975). Le microscope. Vers une vision globale;. 295. Paris: Editions du Seuil.

ROUISSAT Bouchrit. (2015.). Analyse systémique appliquée aux aménagements hydrauliques. 302p. these de doctorat Université de Tlemcen.

RODIER J. (1989). L'analyse de l'eau. Degrément.9ème Edition,Paris.

SAKAA.B , (2013). Développement Durable,Vers un Modèle de Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le Bassin Versant de Saf-Saf,Nord-Est Algérien. These de doctorat en sciences université d'Annaba.

SAOU A., M. Maza, J.L. Seidel, (2012), Hydrogeochemical Processes Associated with Double Salinization of Water in an Algerian Aquifer, Carbonated and Evaporitic, Pol. J. Environ. Stud. , 21 1013-1024.

SAOU, A. (2013). Hydrogéochimie des eaux de la vallée de la basse Soummam Bejaia Algérie. These Doctorat 136p. Université A.MIRA-BEJAIA.

SAIDI A. (2012). La problématique de l'aléa climatique en Algérie, le recours aux eaux non conventionnelles comme alternative pour y remédier.10^{ème} conférence Internationale Euro-Riob. Istanbul, Turquie

SCHWARTZ F.W.,P (1990). Physical and chemicl hydrogeology,. John Wiley and Sons, New York , p. 824.

SINGH V.K. , D.S. Bikundia, A.Sarswat,D. Mohan, (2012), Groundwater quality assessment in the village of Lutfullapur Nawada, Loni, District Ghaziabad, Uttar Pradesh, India, Environ Monit Assess, 184 4473–4488.

SHANKAR.B.S, (2014). Determination of Scaling and corrosion tendencies of water through the. Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET , pp. 123-127.

SCHOELLER H., 1962, Les eaux souterraines, éd. Masson & Cie, 642p.

TERRA.M. (2013). Les réalisations de l'Algérie dans le secteur de l'eau (1962-2012). Tamanrasset.

THILAGAVATHI R.& al, (2012). study on groundwater geochemistry and water quality in layered aquifers system of Pondicherry region, southeast India. Appl Water Sci DOI 10.1007/s13201-012-0045-2.

THORNTHWAITE C W et MATHER J R., 1955, The water balance, Climatology 8 (1), 104p.

THIVET, M. B. (2 0 1 0), Gestion des ressources en eau P l a n B l e u :(Vol. N ° 5 8).

VILLA J.M., (1980), La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens. Thèse Docteur es sciences. Université de Pierre et Marie Curie Paris VI, France.

VANDENBOHEDE A. & al, (2010). Freshsalt water distribution in the central Belgian coastal plain: an update . Geol Belg 11(3):163–172.

VAN PASSEL S , Nevens F, Mathijs E, Van Huylenbroeck G (2007) Analysis: measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. Ecol. Econ. 62 (1), 149–161.

WALLISER B. (1977). Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse des systèmes. 245. Paris: Editions du Seuil.

WILCOX L.V., 1948.The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC

WITHERS A.,(2005), Options for recarbonation remineralisation and disinfection for desalination plants. Desalination, 179 11-24

SIGLES ET ACRONYMES

ABH : Agences de Bassin Hydrographique

ADE : Algérienne des eaux

AEA : Alimentation en eau agricole

AEI : Alimentation en eau industrielle

AEP : Alimentation en eau potable

ANBT : Agence nationale des barrages et transferts

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques

APC : Assemblées populaires communales

CDD : Commission du Développement Durable

DD : Développement Durable

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya

EPI : Indice de Performance Environnemental

ESI : Indice de Durabilité environnementale

EUE : Eau Usée Epurée

FAO : L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

MRE : ministère des Ressources en Eau

ONA : office national de l'assainissement

ONID : Office national de l'irrigation et du drainage

PNE : Plan national de l'eau

PATW : Plan d'aménagement du territoire de la wilaya

REUE : Réutilisation des Eaux Usées Épurées

STEP : Station d'Épuration

SMDD : Sommet mondial sur le développement durable

GPI : Grand périmètre irrigué

IS : Indice de saturation

Km² : Kilomètre carré

m³ : mètre cube

m : mètre

cm : centimètre

mm : millimètre

mm/an : millimètre par an

l/j/hab : litre par jour par habitant

m³ /j : mètre cube par jour

Hm³ : Hectomètre cube

hab : habitant

ha : Hectare

μs /cm : microsiemens par centimètre

°C : degré celsius

P : précipitation

T : température

ANNEXE

EAUX NON CONVENTIONNELLES

Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 : Les points importants de ce code relatifs à la valorisation agricole des eaux usées épurées sont :

- Art. 1. La mise en œuvre d'une politique nationale de l'eau tendant à :
 - Assurer une utilisation rationnelle et planifiée, en vue de la meilleure satisfaction possible des besoins de la population et de l'économie nationale,
 - Assurer la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surexploitation,
 - Prévenir les effets nuisibles de l'eau.
- Art.131 : Au sens de la présente loi, on entend par ressources en eaux non conventionnelles :
 - Les eaux saumâtres et les eaux de mer ayant fait l'objet d'une déminéralisation partielle ou totale en vue de leur utilisation,
 - Les eaux usées ayant fait l'objet d'un traitement d'épuration permettant leur réutilisation.
- Art. 137 : Les eaux usées épurées peuvent être utilisées, soit pour certains besoins du secteur industriel, soit les besoins de l'irrigation de certaines cultures dans le secteur agricole. L'utilisation des eaux usées, même épurées, pour l'irrigation de crudités est interdite.
- Art. 138 : L'irrigation des cultures, autres que celles citées à l'alinéa 2 de l'article 137 ci-dessus, au moyen des eaux usées, même épurées, doit faire l'objet d'une autorisation de l'administration concernée. Un décret déterminera les modalités et les conditions de délivrance de cette autorisation.
- Art. 16 : Les usagers sont tenus :
 - D'utiliser l'eau de façon rationnelle et économique,
 - D'observer les dispositions relatives aux conditions de mise en service et d'exploitation des ouvrages hydrauliques, de veiller la qualité de l'eau,
 - De respecter les droits des autres usagers de l'eau,
 - De s'abstenir de causer préjudice aux objets économiques et naturels,
 - De se soumettre au comptage de l'eau et aux conditions dans lesquelles il s'opère.
- Art. 40 : Toute personne physique ou toute personne morale de droit public ou privé, détenant une concession bénéficie d'un droit de passage des eaux, quelle que soit leur nature, par conduite souterraine dans les fonds intermédiaires. Ce passage se fait dans les conditions les plus rationnelles et les moins dommageables, à charge d'une juste et préalable indemnité.

Loi n° 05-12 du 28 du 4 août 2005 relative à l'eau : Elle a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. Les points importants de cette Loi relatifs à la valorisation agricole des eaux usées épurées sont :

- Art. 130. — L'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite.
- Art. 4. — En vertu de la présente loi, font partie du domaine public hydraulique naturel

- Les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique ;
- Art. 77. — Sont soumises au régime de la concession d'utilisation des ressources en eau, les opérations portant notamment sur :
 - La réalisation d'infrastructures destinées à l'utilisation d'eaux usées épurées pour des usages agricoles individuels ou collectifs ou pour des usages industriels ;
- Art. 82. — Les cahiers des charges portant sur la concession d'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation de certaines cultures ou l'arrosage d'espaces verts doivent tenir compte des mesures préventives liées aux risques sanitaires et aux impacts sur l'environnement.
- Art. 93. — Des aides et soutiens de toute nature peuvent être accordés aux personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, qui initient et mettent en œuvre des opérations portant notamment sur :
 - L'utilisation d'eaux usées épurées en vue de valoriser les eaux traitées.

Décret exécutif n°07-149 du 20 mai 2007 : Ce décret fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent. Il définit la concession, le dossier de concession, le rôle de l'administration dans le contrôle et le suivi, les obligations des bénéficiaires, la prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées, le contrôle sanitaires, la prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées.

Ce décret (Décret exécutif n° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent) prévoit un ensemble d'arrêtés pour clarifier et cerner les aspects techniques, administratif et autre qui sont étroitement liés à la REUE comme suit :

- Art. 15. La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.
- Art. 2. Au sens du présent décret, on entend par « eau usée épurée destinée à l'irrigation », toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.
- Art. 27. La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation doit faire l'objet d'un contrôle régulier par le concessionnaire, l'exploitant agricole, le gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage, les directions de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce et ce, afin de s'assurer que leur qualité est conforme aux spécifications fixées par la réglementation en vigueur. Les analyses doivent être effectuées dans les laboratoires dont la liste est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé, du commerce et de l'agriculture.

LOIS

Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 12, 17, 18, 98, 119, 120, 122, 126 et 127 ;

Vu l'ordonnance n° 66-154 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure civile ;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénale ;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal ;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil ;

Vu l'ordonnance n° 75-59 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code de commerce ;

Vu l'ordonnance n° 76-80 du 23 octobre 1976, modifiée et complétée, portant code maritime ;

Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale ;

Vu la loi n° 91-11 du 27 avril 1991, complétée, fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique ;

Vu l'ordonnance n° 01-03 du Aouel Joumada Ethania 1422 correspondant au 20 août 2001 relative au développement de l'investissement ;

Vu la loi n° 01-10 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière ;

Vu la loi n° 01-11 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 relative à la pêche et à l'aquaculture ;

Vu la loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;

Vu la loi n° 03-01 du 16 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 17 février 2003 relative au développement durable du tourisme ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaâda 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable ;

Après avis du Conseil d'Etat ;

Après adoption par le Parlement,

Promulgue la loi dont la teneur suit :

Article 1er. — La présente loi a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

TITRE I

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Art. 2. — Les objectifs assignés à l'utilisation, à la gestion et au développement durable des ressources en eau visent à assurer :

— l'approvisionnement en eau à travers la mobilisation et la distribution d'eau en quantité suffisante et en qualité requise, pour satisfaire en priorité les besoins de la population et de l'abreuvement du cheptel et pour couvrir la demande de l'agriculture, de l'industrie et des autres activités économiques et sociales utilisatrices d'eau ;

— la préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les risques de pollution à travers la collecte et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des eaux pluviales et de ruissellement dans les zones urbaines ;

— la recherche et l'évaluation des ressources en eau superficielles et souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif et qualitatif ;

— la valorisation des eaux non conventionnelles de toutes natures pour accroître les potentialités hydriques ;

— la maîtrise des crues par des actions de régulation des écoulements d'eaux superficielles pour atténuer les effets nuisibles des inondations et protéger les personnes et les biens dans les zones urbaines et autres zones inondables.

Art. 3. — Les principes sur lesquels se fondent l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau sont :

— le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour satisfaire les besoins fondamentaux de la population dans le respect de l'équité et des règles fixées par la présente loi, en matière de services publics de l'eau et de l'assainissement ;

— le droit d'utilisation des ressources en eau, dévolu à toute personne physique ou morale de droit public ou privé, dans les limites de l'intérêt général et dans le respect des obligations fixées par la présente loi et les textes réglementaires pris pour son application ;

— la planification des aménagements hydrauliques de mobilisation et de répartition des ressources en eau dans le cadre de bassins hydrographiques ou de grands systèmes aquifères constituant des unités hydrographiques naturelles, et ceci, dans le respect du cycle de l'eau et en cohérence avec les orientations et les instruments d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement ;

— la prise en compte des coûts réels des services d'approvisionnement en eau à usage domestique, industriel et agricole et des services de collecte et d'épuration des eaux usées, à travers des systèmes tarifaires ;

— la récupération suffisante des coûts d'intervention publique liés à la protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des milieux aquatiques, à travers des systèmes de redevances d'économie d'eau et de protection de sa qualité ;

— la systématisation des pratiques d'économie et de valorisation de l'eau par des procédés et des équipements appropriés ainsi que le comptage généralisé des eaux produites et consommées, pour lutter contre les pertes et le gaspillage ;

— la concertation et la participation des administrations, des collectivités territoriales, des opérateurs concernés et des représentants des différentes catégories d'usagers, pour la prise en charge des questions liées à l'utilisation et à la protection des eaux et à l'aménagement hydraulique, au niveau des unités hydrographiques naturelles et au niveau national.

TITRE II

DU REGIME JURIDIQUE DES RESSOURCES EN EAU ET DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

Chapitre 1

Du domaine public hydraulique naturel

Section 1

De la consistance du domaine public hydraulique naturel

Art. 4. — En vertu de la présente loi, font partie du domaine public hydraulique naturel :

— les eaux souterraines, y compris les eaux reconnues comme eaux de source, eaux minérales naturelles et eaux thermales, par le simple fait de la constatation de leur existence ou de leur découverte, notamment à la suite de travaux de fouille ou de forages de reconnaissance de toute nature réalisés par toute personne physique ou morale, de droit public ou privé ;

— les eaux superficielles constituées des oueds, lacs, étangs, sebkhas et chotts ainsi que les terrains et végétations compris dans leurs limites ;

— les alluvions et atterrissements qui se forment naturellement dans les lits des oueds ;

— les ressources en eau non conventionnelles constituées par :

* les eaux de mer dessalées et les eaux saumâtres déminéralisées dans un but d'utilité publique ;

* les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique ;

* les eaux de toute origine injectées dans les systèmes aquifères par la technique de recharge artificielle.

Art. 5. — Toute personne physique ou morale ayant découvert, intentionnellement ou fortuitement, des eaux souterraines, ou ayant été présente lors de pareilles découvertes, est tenue d'en faire déclaration à l'administration des ressources en eau territorialement compétente.

Art. 6. — La mobilisation, la production et l'utilisation de toutes les ressources en eau, y compris les eaux non conventionnelles sont soumises aux conditions particulières fixées par la présente loi, les textes réglementaires pris pour son application et les cahiers des charges y afférents.

Section 2

De la délimitation du domaine public hydraulique naturel

Art. 7. — La délimitation des oueds, lacs, étangs, sebkhas et chotts est déterminée par le plus haut niveau atteint par les eaux et notamment, pour les oueds, par celui des crues coulant à plein bord avant de déborder.

Les modalités de délimitation du domaine public hydraulique naturel sont fixées par voie réglementaire.

Art. 8. — Si, pour des causes naturelles, un oued abandonne son lit et s'ouvre un nouveau lit, celui-ci, délimité tel que prévu par les dispositions de l'article 7 ci-dessus, est incorporé au domaine public hydraulique naturel.

Si l'ancien lit de l'oued est entièrement abandonné par les eaux, celui-ci peut être attribué, à titre d'indemnisation, aux propriétaires des fonds occupés par le nouveau lit, dans la proportion de la valeur du terrain enlevé à chacun d'eux.

Si l'ancien lit n'est pas entièrement abandonné par les eaux ou si les dispositions prévues à l'alinéa précédent ne sont pas applicables, les propriétaires des fonds traversés par le nouveau lit bénéficient d'une indemnité calculée comme en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

Art. 9. — Tout acte d'administration du domaine public hydraulique naturel donne lieu, lorsqu'il lèse les tiers, à une indemnisation déterminée comme en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

Section 3

**Des servitudes relatives au domaine public
hydraulique naturel**

Art. 10. — Il est institué, le long des rives des oueds, des lacs, des étangs, des sebkhas et des chotts, une zone dite zone de franc-bord, sur une largeur de trois (3) mètres à cinq (5) mètres selon le cas, à l'intérieur du domaine public hydraulique naturel, destinée à permettre le libre passage du personnel et du matériel de l'administration chargée des ressources en eau ou des entrepreneurs chargés des travaux d'entretien, de curage et de protection des berges.

Art. 11. — Le long des rives des oueds, des lacs, des étangs, des sebkhas et des chotts pour lesquelles la zone de franc-bord ne peut pas être définie et utilisée pour des raisons de topographie et/ou d'écoulement des eaux, il est institué une servitude de franc-bord, sur une largeur de trois (3) à cinq (5) mètres selon le cas, à l'intérieur des propriétés riveraines, et calculée à partir de leurs limites.

Art. 12. — A l'intérieur des zones de franc-bord ou des zones soumises à une servitude de franc-bord :

— sont interdits toute nouvelle construction, toute plantation, toute élévation de clôture fixe et tout acte de nature à nuire à l'entretien des oueds, lacs, étangs, sebkhas et chotts ;

— l'administration chargée des ressources en eau peut requérir l'abattage des arbres ainsi que la démolition de toute construction existante, sous réserve de réparation des dommages causés.

Art. 13. — Dans le cas où la servitude de franc-bord instituée par les dispositions de l'article 11 ci-dessus est insuffisante pour y établir un chemin d'exploitation dans des conditions constantes, l'administration chargée des ressources en eau peut engager toute action visant à acquérir les terrains nécessaires, y compris par voie d'expropriation pour cause d'utilité publique, conformément à la législation en vigueur.

Art. 14. — L'extraction de matériaux alluvionnaires par tous moyens, et en particulier par l'installation de sablières dans les lits des oueds, est interdite.

A titre transitoire, et pour une durée n'excédant pas deux (2) années à compter de la publication de la présente loi au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire, l'extraction peut être autorisée dans le cadre du régime de la concession assortie d'un cahier des charges et sous réserve d'une étude d'impact établie conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.

Les modalités d'application des dispositions du présent article sont précisées, le cas échéant, par voie réglementaire.

Art. 15. — Il est interdit d'entreprendre, dans le lit des oueds, tout acte de nature à entraver le libre écoulement des eaux superficielles, à porter préjudice à la stabilité des berges et des ouvrages publics et à nuire à la conservation des nappes alluviales.

Les plantations de cultures annuelles sont autorisées sur le domaine public hydraulique naturel selon des modalités fixées par voie réglementaire.

Chapitre II

Du domaine public hydraulique artificiel

Section I

**De la consistance du domaine public
hydraulique artificiel**

Art. 16. — Relèvent du domaine public hydraulique artificiel, les ouvrages et installations réalisés par l'Etat et les collectivités territoriales ou pour leur compte, et notamment :

— tous ouvrages et installations réalisés dans un but de recherche, d'observation et d'évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau ;

— les ouvrages de mobilisation et de transfert des ressources en eau souterraine et superficielle, les stations de traitement, les réservoirs de stockage et les infrastructures de transport et de distribution d'eau en réseaux de conduites et canaux, ainsi que leurs dépendances, affectés à un usage public d'alimentation en eau des agglomérations urbaines et rurales ou d'irrigation et drainage des périmètres ;

— les collecteurs d'eaux usées et d'eaux pluviales, les stations d'épuration, ainsi que leurs dépendances, affectés à un usage public d'assainissement des agglomérations urbaines et rurales ;

— les ouvrages d'écêtement des crues, d'endiguement et d'aménagement des lits et des berges d'oueds réalisés dans le but d'assurer la protection contre les inondations des zones urbaines ou des zones inondables.

Art. 17. — Relèvent également du domaine public hydraulique artificiel les ouvrages et installations considérés comme biens en retour à l'Etat sans contrepartie à l'expiration d'un contrat de concession ou de délégation de réalisation et d'exploitation conclu avec une personne physique ou morale, de droit public ou privé.

Art. 18. — Les normes et règles en matière d'études, de réalisation, de contrôle, d'exploitation et d'entretien des ouvrages et installations hydrauliques sont fixées par voie réglementaire.

Section 2

**De l'inventaire du domaine public
hydraulique artificiel**

Art. 19. — Les ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel font l'objet d'un inventaire établi par l'administration chargée des ressources en eau.

Les modalités d'élaboration de l'inventaire des infrastructures hydrauliques sont fixées par voie réglementaire.

Art. 20. — Conformément aux dispositions de la loi n° 90-30 du 14 Joumada El Oula 1411 correspondant au 1er décembre 1990 portant loi domaniale, les ouvrages et les installations hydrauliques, tels que définis à l'article 16 ci-dessus, font l'objet d'une procédure de classement leur conférant le caractère de domanialité publique.

Section 3

Des servitudes relatives au domaine public hydraulique artificiel

Art. 21. — En vertu de la présente loi, l'Etat, les collectivités territoriales, les établissements publics ainsi que les concessionnaires et les délégataires de services publics qui réalisent des ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel bénéficient de servitudes d'emprise, d'occupation temporaire ou d'implantation sur les propriétés riveraines.

Art. 22. — Les zones d'emprise nécessaires à l'installation des ouvrages et installations d'utilité publique peuvent faire l'objet, selon le cas, soit d'une occupation temporaire soit d'une expropriation pour cause d'utilité publique.

Dans le cas de l'occupation temporaire, les propriétaires concernés ont droit à réparation intégrale du dommage causé.

Art. 23. — Les riverains des conduites et canaux de transfert et d'adduction d'eau ainsi que les riverains des collecteurs d'assainissement agricole sont tenus de permettre le libre passage sur leurs propriétés du personnel et du matériel de l'administration ou des entrepreneurs chargés de leur entretien ainsi que le dépôt des produits de curage sur une largeur de cinq (5) mètres de part et d'autre du domaine public hydraulique artificiel.

A l'intérieur des zones soumises à une servitude de passage ou de dépôt, telle que prévue à l'alinéa précédent, toute nouvelle construction, toute élévation de clôture fixe ou toute plantation d'arbres est interdite.

Tout propriétaire d'un fonds grevé d'une servitude de dépôt peut, à toute époque, exiger du bénéficiaire de cette servitude l'acquisition de ce terrain.

Art. 24. — Le propriétaire ou l'exploitant d'un fonds est soumis aux servitudes concernant l'installation par l'administration de moyens de signalisation, de mesure et de relevé des eaux.

Art. 25. — Le chargé des travaux notifie par écrit l'exécution des travaux sur les terrains grevés de servitudes aux personnes exploitant lesdits terrains, à charge pour elles de prévenir les propriétaires.

Un état des lieux est dressé pour évaluer les dommages pouvant résulter de l'exécution des travaux.

Art. 26. — Tout propriétaire ou usager d'un fonds frappé des servitudes, objet de la présente section, est tenu de s'abstenir de tout acte de nature à nuire à l'objet pour lequel la servitude a été établie.

Art. 27. — L'Etat, les collectivités territoriales, les établissements publics, les concessionnaires et les délégataires de services publics qui réalisent des aménagements d'utilité publique peuvent bénéficier de servitudes d'implantation de conduites enterrées ou à ciel ouvert, dans les terrains privés non bâtis.

Lorsque l'établissement de ces servitudes cause des préjudices aux propriétaires concernés, ces derniers peuvent ouvrir droit à une indemnité déterminée sur la base des préjudices identifiés.

Art. 28. — Les servitudes sont établies et délimitées dans les conditions les plus rationnelles et les moins dommageables pour l'exploitation des fonds traversés.

Art. 29. — Les contestations auxquelles peuvent donner lieu l'établissement et l'exécution des servitudes d'utilité publique ainsi que la fixation des indemnités dues en cette occasion sont réglées comme en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

TITRE III

DE LA PROTECTION ET DE LA PRESERVATION DES RESSOURCES EN EAU

Art. 30. — La protection et la préservation des ressources en eau sont assurées par :

- des périmètres de protection quantitative ;
- des plans de lutte contre l'érosion hydrique ;
- des périmètres de protection qualitative ;
- des mesures de prévention et de protection contre les pollutions ;
- des mesures de prévention des risques d'inondations.

Chapitre 1

Des périmètres de protection quantitative

Art. 31. — Pour les nappes aquifères surexploitées ou menacées de l'être, il est institué des périmètres de protection quantitative en vue d'assurer la préservation de leurs ressources en eau.

Art. 32. — A l'intérieur des périmètres de protection quantitative :

- sont interdites toutes réalisations de nouveaux puits ou forages ou toutes modifications des installations existantes, visant à augmenter les débits prélevés ;
- sont soumis à autorisation de l'administration chargée des ressources en eau tous travaux de remplacement ou de réaménagement des installations hydrauliques existantes.

L'administration chargée des ressources en eau peut procéder à une limitation des débits d'exploitation ou à la mise hors service d'un certain nombre de points de prélèvement.

Art. 33. — Les modalités de délimitation des périmètres de protection quantitative ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eaux sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre 2

De la lutte contre l'érosion hydrique

Art. 34. — Pour prévenir et limiter l'envasement des retenues d'eau superficielle par sédimentation et assurer la conservation de leur capacité utile, il est procédé à la délimitation de périmètres de lutte contre l'érosion hydrique dans les bassins-versants en amont desdites retenues.

Pour chaque périmètre retenu et délimité en fonction de l'intensité de l'érosion hydrique des sols des bassins-versants, il est établi un plan d'aménagements anti-érosifs concerté entre les administrations, les organismes et les représentants des populations concernées, en vue d'assurer la conservation des eaux et des sols et de réduire les risques de dégradation des écosystèmes menacés.

Les conditions et les modalités de délimitation des périmètres de lutte contre l'érosion hydrique ainsi que les procédures d'élaboration, d'approbation et de suivi de la mise en œuvre des plans d'aménagements anti-érosifs sont fixées par voie réglementaire.

Art. 35. — Dans les zones caractérisées par une forte érosion hydrique provoquant un envasement accéléré des retenues d'eau superficielle, les plans d'aménagements anti-érosifs peuvent instaurer toutes mesures visant à :

— promouvoir l'utilisation de techniques culturales ou d'élevage permettant une meilleure protection des sols ;

— l'interdiction de toute intervention susceptible d'endommager les ouvrages de conservation des eaux et des sols ;

— la suppression de tous obstacles naturels ou artificiels établis dans les exploitations agricoles ou forestières et susceptibles de gêner la réalisation des travaux d'aménagement tels que le reboisement, le développement du couvert végétal, la protection des berges d'oueds, les opérations de correction torrentielle et toutes autres actions anti-érosives.

Art. 36. — Les interventions et travaux effectués dans le cadre des plans d'aménagements anti-érosifs, élaborés et adoptés conformément à la législation et à la réglementation en vigueur, ainsi que les mesures temporaires ou définitives y afférentes peuvent ouvrir droit à une indemnité au profit des propriétaires concernés en fonction des préjudices causés.

Art. 37. — Des aides et avantages de toute nature peuvent être accordés aux particuliers qui mettent en œuvre des techniques de conservation des eaux et des sols et de lutte contre l'érosion hydrique dans les bassins-versants de retenues d'eau superficielle.

Chapitre 3

Des périmètres de protection qualitative

Art. 38. — Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution :

— un périmètre de protection immédiate dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés ;

— un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle ;

— un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent.

Art. 39. — A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'ensemble des activités, y compris les activités agricoles ou industrielles, peuvent être réglementées ou interdites. Peuvent faire l'objet de mesures particulières de contrôle, de restriction ou d'interdiction, les activités concernant notamment :

— l'installation de canalisations d'eaux usées ;

— l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures, de stations-service de distribution de carburant ;

— l'installation de centrales d'asphalte ;

— l'établissement de toutes constructions à usage industriel ;

— le dépôt de déchets de toutes natures ;

— l'épandage d'effluents et, d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture ;

— l'installation et l'exploitation de carrières.

Art. 40. — Les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative, la nomenclature des périmètres de protection requis pour chaque type d'ouvrage ou d'installation de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau, ainsi que les mesures de réglementation ou d'interdiction d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative sont fixées par voie réglementaire.

Art. 41. — A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'administration chargée des ressources en eau se réserve le droit d'effectuer, à tout moment et en tout lieu, toute observation, mesure et/ou contrôle destinés à suivre l'évolution qualitative des ressources en eau.

Art. 42. — Les indemnités dues aux propriétaires de terrains compris à l'intérieur des périmètres de protection qualitative sont fixées selon les règles applicables en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

Chapitre 4

De la prévention et de la protection contre les pollutions

Art. 43. — Conformément aux dispositions des articles 48 à 51 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El-Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, les milieux hydriques et les écosystèmes aquatiques doivent être protégés contre toute forme de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux et de nuire à leurs différents usages.

Art. 44. — Les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie réglementaire.

Art. 45. — L'autorisation prévue à l'article 44 ci-dessus est refusée notamment lorsque les effluents ou matières sont de nature à nuire :

- à la capacité de régénération naturelle des eaux ;
- aux exigences de l'utilisation des eaux ;
- à la santé et la salubrité publiques ;
- à la protection des écosystèmes aquatiques ;
- à l'écoulement normal des eaux ;
- aux activités de loisirs nautiques.

Art. 46. — Sont interdits :

— tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux ;

— tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle ;

— l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau ;

— le dépôt et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics.

Art. 47. — Tout établissement classé, au sens des dispositions de l'article 18 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et notamment toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit impérativement :

— prévoir des installations d'épuration appropriées ;

— mettre en conformité leurs installations ou les procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet telles que fixées par voie réglementaire.

Art. 48. — Lorsque la pollution des eaux met en péril la salubrité publique, l'administration chargée des ressources en eau doit prendre toutes mesures exécutoires en vue de faire cesser les déversements d'effluents ou les dépôts de matières nuisibles. Elle doit également décider de l'arrêt du fonctionnement de l'établissement qui en est responsable, jusqu'à la disparition de la pollution.

Art. 49. — Les retenues d'eau superficielle ainsi que les lacs et les étangs menacés d'eutrophisation par suite de déversements d'effluents polluants font l'objet de plans de restauration et de protection de la qualité des eaux.

Ce plan comporte des mesures et des actions ayant pour objectif :

— la suppression des sources de pollution chronique, notamment à travers la réalisation de systèmes d'épuration des eaux usées urbaines et industrielles ;

— la prévention des risques de pollution accidentelle et la mise en place de dispositifs de lutte appropriés ;

— la mise en œuvre de toutes opérations techniques permettant de restaurer la qualité des eaux ;

— l'installation de dispositifs d'observation et de suivi des paramètres significatifs de la qualité des eaux et d'un système d'alerte anti-pollution.

Les conditions et modalités d'élaboration, d'approbation et de mise en œuvre des plans de restauration et de protection de la qualité des eaux sont fixées par voie réglementaire.

Art. 50. — Les objectifs de qualité auxquels doivent répondre les eaux souterraines ainsi que les écoulements et les retenues d'eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations sont fixés par voie réglementaire.

Art. 51. — L'inventaire périodique du degré de pollution des eaux souterraines et superficielles ainsi que les contrôles des caractéristiques des eaux de déversement ou de rejet sont effectués conformément aux dispositions des articles 49 et 50 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et aux textes réglementaires subséquents.

Art. 52. — Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, et aux risques de contamination et de pollution.

Chapitre 5

De la prévention des risques d'inondations

Art. 53. — Pour assurer la protection des personnes et des biens implantés en aval des retenues d'eau superficielle et à proximité des oueds, et en conformité avec les dispositions législatives en vigueur en la matière, des dispositifs fixés par voie réglementaire, peuvent, le cas échéant, prévoir des instruments de prévision des crues et des mesures d'alerte et d'intervention.

Art. 54. — Sur les digues de protection contre les inondations, il est interdit de labourer, de planter des arbres, de faire circuler des animaux ou de déployer toute activité pouvant détériorer la structure des ouvrages.

Art. 55. — Dans les régions ou les zones menacées par la remontée des nappes phréatiques, l'Etat et les collectivités territoriales réalisent des ouvrages et infrastructures de protection et initient toutes mesures préventives et d'aide aux populations concernées en vue de sauvegarder le cadre de vie et les biens et de prévenir les risques encourus.

TITRE IV

DES INSTRUMENTS INSTITUTIONNELS DE LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

Chapitre 1

Des plans directeurs d'aménagement des ressources en eau

Art. 56. — Pour chaque unité hydrographique naturelle, il est institué un plan directeur d'aménagement des ressources en eau qui définit les choix stratégiques de mobilisation, d'affectation et d'utilisation des ressources en eau, y compris les eaux non conventionnelles, en vue d'assurer :

— la satisfaction des besoins en eau correspondant aux usages domestique, industriel et agricole et autres usages économiques et sociaux ;

— la protection quantitative et qualitative des eaux souterraines et superficielles ;

— la prévention et la gestion des risques liés aux phénomènes naturels exceptionnels, tels que la sécheresse et les inondations.

Art. 57. — Le plan directeur d'aménagement des ressources en eau détermine, sur la base de l'offre et de la demande en eau, en quantité et en qualité, les objectifs de développement des aménagements de mobilisation et de transfert d'eaux entre unités hydrographiques naturelles, en tenant compte des paramètres économiques.

Le plan directeur d'aménagement des ressources en eau définit également les objectifs en matière d'utilisation des ressources en eau ainsi que les mesures liées aux exigences d'économie, de valorisation et de protection de la qualité de l'eau, dans une perspective de gestion durable de ces ressources.

Art. 58. — Les modalités d'élaboration, de concertation, d'adoption, d'évaluation et d'actualisation du plan directeur d'aménagement des ressources en eau, ainsi que ses limites territoriales, sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre 2

Du plan national de l'eau

Art. 59. — Il est institué un plan national de l'eau qui définit les objectifs et les priorités nationales en matière de mobilisation, de gestion intégrée, de transfert et d'affectation des ressources en eau.

Il définit également les mesures d'accompagnement d'ordre économique, financier, réglementaire et organisationnel nécessaires à sa mise en œuvre.

Art. 60. — Les modalités d'élaboration, d'approbation, de mise en œuvre, d'évaluation et d'actualisation du plan national de l'eau sont fixées par voie réglementaire.

Art. 61. — Les programmes de réalisation des aménagements d'intérêt national, régional ou local ainsi que les instruments et décisions à caractère technique ou économique initiés par l'administration chargée des ressources en eau doivent prendre en compte les objectifs et les mesures fixés par le plan national de l'eau.

Chapitre 3

Du cadre institutionnel de la gestion intégrée des ressources en eau

Art. 62. — Il est créé un organe national consultatif dénommé "Conseil national consultatif des ressources en eau" chargé d'examiner les options stratégiques et les instruments de mise en œuvre du plan national de l'eau ainsi que sur toutes questions relatives à l'eau pour lesquelles son avis est demandé.

Art. 63. — Le Conseil national consultatif des ressources en eau est composé de représentants des administrations, des assemblées locales, des établissements publics concernés, et d'associations professionnelles et/ou d'usagers.

Les missions, la composition et les règles de fonctionnement du Conseil national consultatif des ressources en eau sont fixées par voie réglementaire.

Art. 64. — Au niveau de chaque unité hydrographique naturelle, la gestion intégrée des ressources en eau est exercée par une agence de bassin hydrographique, dont les missions, les règles d'organisation et de fonctionnement et le cadre de concertation sont fixés par voie réglementaire.

Art. 65. — La régulation des services publics de l'eau peut être exercée par une autorité administrative autonome.

L'autorité de régulation est chargée, dans le cadre de la législation en vigueur et des dispositions de la présente loi, de veiller au bon fonctionnement des services publics de l'eau, en prenant en compte, notamment, les intérêts des usagers.

Dans le cadre de sa mission, l'autorité de régulation :

— contribue à la mise en œuvre du dispositif de gestion des services publics de l'eau et à l'établissement des normes et règlements y afférents ;

— veille au respect des principes régissant les systèmes tarifaires et contrôle les coûts et les tarifs des services publics de l'eau ;

— effectue toutes enquêtes, expertises, études et publications portant sur l'évaluation de la qualité du service aux usagers.

Les attributions ainsi que les règles d'organisation et de fonctionnement de l'autorité de régulation sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre 4

De l'information sur l'eau

Art. 66. — Il est établi par l'administration chargée des ressources en eau un système de gestion intégrée de l'information sur l'eau, harmonisé avec les systèmes d'information et les bases de données constituées notamment au niveau des organismes publics compétents.

Les modalités d'organisation et de fonctionnement du système de gestion intégrée de l'information sur l'eau sont fixées par voie réglementaire.

Art. 67. — Les personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, titulaires d'une autorisation ou d'une concession d'utilisation du domaine public hydraulique naturel, les concessionnaires ou délégataires de services publics de l'eau et de l'assainissement et les concessionnaires d'exploitation des périmètres irrigués sont tenus de fournir périodiquement, à l'autorité chargée du système de gestion intégrée d'information, tous renseignements et données dont ils disposent.

Art. 68. — L'administration chargée des ressources en eau fournit, à la demande de quiconque veut entreprendre la réalisation dûment autorisée d'un ouvrage de prélèvement d'eau dans le domaine public hydraulique naturel pour un usage public ou privatif, tous renseignements d'ordre hydrologique et hydrogéologique disponibles, ainsi que toutes informations portant sur les prescriptions de protection qualitative et/ou quantitative.

Art. 69. — Les ressources en eau souterraine et superficielle sont soumises à des contrôles de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

Les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons sont fixées par voie réglementaire.

Art. 70. — Les inventaires et les bases de données relatifs aux ressources en eau et aux ouvrages et installations hydrauliques de toute nature, sont établis et tenus à jour par l'administration chargée des ressources en eau.

TITRE V

DU REGIME JURIDIQUE DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU

Chapitre 1

De l'utilisation des ressources en eau

Art. 71. — Toute utilisation de ressources en eau, y compris les eaux destinées à l'usage agricole et les eaux non conventionnelles, par des personnes physiques et morales, de droit public ou privé, au moyen d'ouvrages et d'installations de prélèvement d'eau ou à des fins d'aquaculture, ne peut être effectuée qu'en vertu d'une autorisation ou d'une concession, délivrée par l'administration compétente conformément aux dispositions de la présente loi et de ses textes d'application.

Art. 72. — L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau confère à son titulaire la disposition, pour une durée déterminée, d'un débit ou d'un volume d'eau déterminé sur la base des ressources globales disponibles en année moyenne et des besoins correspondant à l'usage considéré.

Art. 73. — L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau donne lieu au paiement de redevances fixées par la loi de finances.

Les modalités de recouvrement de ces redevances sont fixées par voie réglementaire et sont précisées dans les actes d'autorisation ou de concession.

Section 1

Du régime juridique de l'autorisation d'utilisation des ressources en eau

Art. 74. — L'autorisation d'utilisation des ressources en eau est un acte de droit public délivré à toute personne physique ou morale, de droit public ou privé qui en fait la demande en conformité avec les conditions fixées par la présente loi et selon des modalités définies par voie réglementaire.

Art. 75. — Sont soumises au régime de l'autorisation d'utilisation des ressources en eau, les opérations portant sur :

— la réalisation de puits ou de forages, en vue d'un prélèvement d'eau souterraine ;

— la réalisation d'ouvrages de captage de source non destinés à une exploitation commerciale ;

— la construction d'ouvrages et installations de dérivation, de pompage ou de retenue, à l'exception des barrages, en vue d'un prélèvement d'eau superficielle ;

— l'établissement de tous autres ouvrages ou installations de prélèvement d'eau souterraine ou superficielle.

Section 2

Du régime juridique de la concession d'utilisation des ressources en eau

Art. 76. — La concession d'utilisation des ressources en eau relevant du domaine public hydraulique naturel est un acte de droit public délivré à toute personne physique ou morale, de droit public, ou privé, qui en fait la demande, conformément aux conditions fixées par la présente loi et selon les modalités définies par voie réglementaire.

Art. 77. — Sont soumises au régime de la concession d'utilisation des ressources en eau, les opérations portant notamment sur :

— la réalisation de forages en vue d'un prélèvement d'eau dans les systèmes aquifères fossiles ou faiblement renouvelables, pour des usages agricoles ou industriels, notamment dans les zones sahariennes ;

— l'établissement d'installations de prélèvement d'eau souterraine ou superficielle, y compris par raccordement sur des systèmes d'adduction d'eau, en vue d'assurer un approvisionnement autonome de zones ou unités industrielles ;

— l'établissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres pour cause d'utilité publique ou pour la satisfaction de besoins propres ;

— la réalisation d'infrastructures destinées à l'utilisation d'eaux usées épurées pour des usages agricoles individuels ou collectifs ou pour des usages industriels ;

— l'aménagement de captages d'eaux minérales naturelles, d'eaux de source ou d'eaux dites "eaux de table" d'origine souterraine, ayant fait l'objet d'une procédure de reconnaissance de qualité en vue d'une exploitation commerciale à des fins de consommation ;

— l'aménagement de captages ou de forages d'eaux thermales ayant fait l'objet d'une procédure de reconnaissance de leurs propriétés thérapeutiques en vue d'une exploitation à des fins de soins curatifs ;

— l'établissement d'installations et la mise en œuvre d'opérations particulières au niveau des retenues d'eau superficielle et des lacs, en vue d'y développer l'aquaculture et la pêche continentale ou des activités de sports et loisirs nautiques ;

— l'établissement d'installations au pied des barrages, plans d'eau et ouvrages de dérivation en vue d'alimenter des usines hydroélectriques.

Art. 78. — L'octroi d'une concession d'utilisation des ressources en eau est subordonné à la signature par l'autorité concédante et le concessionnaire d'un cahier des charges particulier.

Des cahiers des charges-types sont fixés par voie réglementaire pour chacune des catégories d'utilisation prévues par les dispositions de l'article 77 ci-dessus.

Art. 79. — Les cahiers des charges portant sur la concession d'utilisation des ressources en eau fossiles doivent tenir compte des exigences de conservation des nappes aquifères, de sauvegarde des ouvrages de captage traditionnels ainsi que de protection des écosystèmes locaux.

Art. 80. — Les cahiers des charges portant sur la concession d'utilisation des ressources en eau pour assurer un approvisionnement autonome de zones et unités industrielles doivent tenir compte des possibilités de valorisation des eaux non conventionnelles ainsi que des exigences d'économie et de recyclage d'eau à travers un choix de procédés appropriés.

Art. 81. — En vertu de la présente loi, la concession de réalisation et d'exploitation d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres à des fins d'utilité publique peut être accordée conformément aux dispositions de l'ordonnance n° 01-03 du Aouel Joumada Ethania 1422 correspondant au 20 août 2001 relative au développement de l'investissement.

Art. 82. — Les cahiers des charges portant sur la concession d'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation de certaines cultures ou l'arrosage d'espaces verts doivent tenir compte des mesures préventives liées aux risques sanitaires et aux impacts sur l'environnement.

Art. 83. — La définition des eaux minérales naturelles, des eaux de source, des eaux thermales, et des eaux dites "de table" ainsi que les conditions de leur classification et de leur exploitation commerciale sont fixées par voie réglementaire.

Dans tous les cas, les cahiers des charges relatifs à cette catégorie de concession doivent tenir compte des besoins d'alimentation en eau potable des agglomérations et localités avoisinantes ainsi que de la satisfaction des usages agricoles préexistants.

Art. 84. — Les cahiers des charges portant sur la concession d'utilisation des ressources en eau pour le développement des activités aquacoles, sportives ou de loisirs nautiques ou pour la production d'énergie électrique doivent prendre en charge les nécessités d'exploitation et de maintenance des retenues d'eau ainsi que de sécurisation des ouvrages hydrauliques.

Section 3

Des prescriptions communes aux régimes de l'autorisation et de la concession d'utilisation des ressources en eau

Art. 85. — Le refus d'autorisation ou de concession d'utilisation des ressources en eau doit être motivé.

Les demandes sont refusées si les besoins à satisfaire ne sont pas justifiés, si leur satisfaction porte préjudice à la protection quantitative et qualitative des ressources en eau, s'ils lèsent l'intérêt général ou s'ils sont contraires aux droits des tiers dûment établis.

Art. 86. — L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau peut, à tout moment, être modifiée, réduite ou révoquée pour cause d'intérêt général, avec indemnisation si le titulaire de l'autorisation ou de la concession subit un préjudice direct, selon des modalités fixées par l'autorisation ou le cahier des charges.

Art. 87. — L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau est révoquée sans indemnité, et après mise en demeure adressée au titulaire, dans le cas de non-respect des conditions et obligations qui résultent des dispositions de la présente loi, des textes réglementaires pris pour son application ainsi que de l'autorisation ou du cahier des charges.

Art. 88. — L'administration chargée des ressources en eau peut ordonner :

- la modification de travaux d'équipement non conformes aux conditions de l'autorisation ou de la concession ;

- la démolition des ouvrages effectués sans autorisation ou concession ou, en cas de déchéance du droit à l'autorisation ou à la concession, la remise en l'état des lieux.

Art. 89. — Les titulaires d'une autorisation ou d'une concession d'utilisation des ressources en eau sont tenus :

- d'utiliser l'eau de façon rationnelle et économique,
- d'observer les dispositions relatives aux conditions de mise en service et d'exploitation des ouvrages hydrauliques,
- de respecter les droits des autres utilisateurs de l'eau,
- d'installer des dispositifs de mesure ou de comptage des consommations d'eau,
- de se soumettre aux interventions de contrôle effectuées par les agents habilités.

Art. 90. — Sans préjudice des sanctions pénales prévues par les dispositions de la présente loi, l'administration chargée des ressources en eau peut procéder à la suspension provisoire de l'autorisation ou de la concession d'utilisation des ressources en eau en cas de gaspillage de l'eau dûment constaté et quelle qu'en soit la cause.

Le rétablissement de l'autorisation ou de la concession est subordonné à la constatation par l'administration chargée des ressources en eau des dispositions prises par les utilisateurs concernés pour remédier au gaspillage constaté.

Art. 91. — En cas de calamités naturelles et notamment en situation de sécheresse, l'administration chargée des ressources en eau peut prendre des mesures de limitation ou de suspension provisoire des utilisations d'eau ou procéder à des réquisitions en vue de mobiliser les eaux nécessaires pour lutter contre les sinistres et pour assurer, en priorité, l'alimentation en eau des populations et l'abreuvement du cheptel.

Art. 92. — Les ouvrages et installations hydrauliques réalisés par les personnes de droit privé doivent répondre aux normes et règles prescrites à l'article 18 de la présente loi.

Art. 93. — Des aides et soutiens de toute nature peuvent être accordés aux personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, qui initient et mettent en œuvre des opérations portant notamment sur :

- le développement, l'implantation ou la modification de technologies, de procédés, d'installations ou d'équipements qui permettent d'économiser, de recycler et de valoriser l'eau ;

- l'utilisation d'eaux usées épurées en vue de valoriser les eaux traitées.

Chapitre 2

Des servitudes liées aux régimes de l'autorisation et de la concession d'utilisation des ressources en eau

Art. 94. — Toute personne physique ou morale, de droit public ou privé, titulaire d'une autorisation ou d'une concession d'utilisation des ressources en eau, bénéficie d'un droit de passage des eaux, y compris les eaux de drainage des terres, par conduite souterraine dans les fonds intermédiaires, à l'exclusion des cours, jardins et enclos attenant aux habitations. Ce passage doit s'effectuer dans les conditions les plus rationnelles et les moins dommageables à l'exploitation des fonds traversés, à charge d'une juste et préalable indemnité.

Les contestations résultant de l'établissement de la servitude et de l'indemnisation relèvent des tribunaux.

Art. 95. — Les propriétaires ou exploitants des fonds intermédiaires affectés par la servitude établie à l'article 94 ci-dessus, ont la faculté de bénéficier des travaux réalisés au titre de ladite servitude pour l'écoulement des eaux entrant ou sortant de leurs fonds. Ils supportent, dans ce cas :

- une part proportionnelle de la valeur des travaux dont ils profitent ;
- les dépenses résultant des modifications que l'exercice de cette faculté peut rendre nécessaire ;
- une part contributive pour l'entretien des ouvrages devenus communs.

Art. 96. — Toute personne physique ou morale, de droit public ou privé, titulaire d'une autorisation ou d'une concession d'utilisation des ressources en eau a la faculté d'appuyer, sur la propriété du riverain opposé, les ouvrages nécessaires à sa prise d'eau à charge d'une juste et préalable indemnité.

Sont exemptés de cette servitude, les bâtiments, cours et enclos attenant aux habitations.

Art. 97. — Le riverain sur le fonds duquel l'appui est réclamé peut demander l'usage commun de l'ouvrage, en contribuant, pour moitié, aux frais d'établissement et d'entretien. Dans ce cas, aucune indemnité n'est respectivement due.

Lorsque l'usage commun de cet ouvrage n'est demandé qu'après le commencement ou l'achèvement des travaux, celui qui le demande doit supporter, seul, l'excédent de dépenses auquel donnent lieu les changements devant intervenir quant à l'ouvrage.

Art. 98. — Tout propriétaire a le droit d'user et de disposer des eaux pluviales qui tombent sur ses fonds.

Le propriétaire d'un fonds inférieur est tenu de recevoir sur son fonds les eaux qui s'écoulent naturellement du fonds supérieur, notamment les eaux de pluie, de neige ou de sources non captées.

Art. 99. — Tout propriétaire qui, lors de travaux souterrains ou de sondage, fait surgir des eaux dans son fonds, a le droit de passage sur les propriétés des fonds inférieurs, suivant le tracé le plus rationnel et le moins dommageable.

Les propriétaires des fonds inférieurs ont droit à une indemnité en cas de dommage résultant de l'écoulement de ces eaux.

TITRE VI

DES SERVICES PUBLICS DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

Chapitre 1

Des dispositions relatives aux modes de gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement

Art. 100. — L'alimentation en eau potable et industrielle et l'assainissement constituent des services publics.

Art. 101. — Les services publics de l'eau relèvent de la compétence de l'Etat et des communes.

L'Etat peut concéder la gestion des services publics de l'eau à des personnes morales de droit public, sur la base d'un cahier des charges et d'un règlement de service approuvés par voie réglementaire. Il peut également déléguer tout ou partie de leur gestion à des personnes morales de droit public ou privé sur la base d'une convention.

La commune peut, selon des modalités fixées par voie réglementaire, exploiter les services publics de l'eau en régie dotée de l'autonomie financière ou concéder leur gestion à des personnes morales de droit public.

Section 1

De la concession de service public

Art. 102. — Le concessionnaire d'un service public de l'eau ou de l'assainissement est chargé, dans les limites territoriales de la concession, de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de la réhabilitation et du développement des ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel et permettant d'assurer selon le cas :

— la production d'eau à partir des ouvrages de mobilisation et de transfert, le traitement, l'adduction, le stockage et la distribution d'eau à usage domestique et industriel ;

— la collecte, l'évacuation et l'épuration des eaux usées ainsi que le traitement des boues résultant de l'épuration en vue de leur élimination finale.

Le concessionnaire est également chargé de l'exploitation commerciale de la concession, incluant l'ensemble des opérations de facturation et de recouvrement des montants dus par les usagers du service public de l'eau ou de l'assainissement conformément au système de tarification.

Art. 103. — Dans le cadre de la concession d'un service public de l'eau ou de l'assainissement, le concessionnaire est tenu, selon le cas, de :

— s'assurer de la compatibilité des projets de développement des infrastructures hydrauliques avec les prescriptions des plans directeurs d'aménagement des ressources en eau ;

— gérer rationnellement les ressources en eau superficielle et souterraine et les ressources en eau non conventionnelles qui sont mises à sa disposition ;

— promouvoir des procédés technologiques et des actions d'information et de sensibilisation visant l'économie d'eau par les usagers du service public ;

— veiller à la protection des milieux récepteurs contre les risques de pollution de toute nature ;

— respecter les normes et règles relatives à la sécurité des installations.

Section 2

De la délégation de service public

Art. 104. — L'administration chargée des ressources en eau, agissant au nom de l'Etat, ou le concessionnaire, peuvent déléguer tout ou partie de la gestion des activités des services publics de l'eau ou de l'assainissement à des opérateurs publics ou privés présentant des qualifications professionnelles et des garanties financières suffisantes.

Le concessionnaire peut également déléguer tout ou partie de ces activités à une (ou des) filiale (s) d'exploitation créée (s) à cet effet.

Art. 105. — La délégation de service public s'effectue par voie d'appel à la concurrence en précisant notamment la consistance et les conditions d'exécution des prestations mises à la charge du délégataire, les responsabilités engagées, la durée de la délégation, les modalités de rémunération du délégataire ou de tarification du service payé par les usagers et les paramètres d'évaluation de la qualité de service.

Art. 106. — La délégation de service public peut consister en la construction d'infrastructures hydrauliques ou leur réhabilitation ainsi que leur exploitation dans le cadre d'opérations de partenariat incluant la conception des projets et le financement des investissements y afférents.

Art. 107. — La convention de délégation de service public est approuvée selon les modalités fixées par voie réglementaire.

La modification, la prolongation ou l'annulation de la convention sont effectuées dans les mêmes formes.

Art. 108. — Lorsque la délégation de service public est initiée par le concessionnaire, agissant comme organisme délégant, celui-ci est tenu de solliciter, préalablement à sa mise en concurrence, l'accord préalable de l'administration chargée des ressources en eau.

Art. 109. — Le concessionnaire doit soumettre à l'autorité concédante un rapport annuel permettant de contrôler et d'évaluer les conditions d'exécution de la délégation de service public.

Ce rapport annuel et les appréciations qui découlent de son examen font l'objet d'une communication au Gouvernement.

Art. 110. — Le délégataire est tenu de mettre à la disposition du concessionnaire tous documents techniques, financiers et comptables utiles à l'évaluation de la délégation de service public.

Chapitre 2

Des dispositions spécifiques à l'alimentation en eau potable

Art. 111. — Au sens de la présente loi, on entend par eau de consommation humaine toute eau destinée à :

- la boisson et aux usages domestiques ;
- la fabrication des boissons gazeuses et de la glace ;
- la préparation au conditionnement et à la conservation de toutes denrées alimentaires.

Art. 112. — Toute personne physique ou morale, de droit public ou privé, fournissant de l'eau de consommation humaine, est tenue de s'assurer que cette eau répond aux normes de potabilité et/ou de qualité fixées par voie réglementaire.

Art. 113. — Les conditions d'approvisionnement en eau de consommation humaine par citernes mobiles à partir d'un point de prélèvement ou d'un réseau d'alimentation en eau potable sont fixées par voie réglementaire.

Art. 114. — La nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau pratiquées au niveau des ouvrages et installations de production, de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution de l'eau de consommation humaine, ainsi que les conditions d'agrément des laboratoires devant effectuer ces analyses, sont fixées par voie réglementaire.

Art. 115. — Dans le cadre du contrôle sanitaire prévu par les lois et règlements en vigueur, il est procédé régulièrement aux analyses de contrôle de qualité de l'eau de consommation humaine.

Les résultats de ces analyses doivent être rendus publics.

Art. 116. — Les méthodes et les produits chimiques utilisés pour le traitement et la correction des eaux de consommation humaine sont définis par voie réglementaire.

Art. 117. — Toute personne exerçant au niveau des ouvrages et installations d'exploitation d'un service public de l'eau doit faire l'objet d'un suivi médical selon des modalités fixées par voie réglementaire ; ne peuvent y exercer les personnes atteintes de maladie pouvant être transmise par voie hydrique.

Chapitre 3

Des dispositions spécifiques à l'assainissement

Art. 118. — En zone agglomérée est obligatoire le branchement au réseau public d'assainissement de toute habitation ou établissement.

Art. 119. — Tout déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration d'eaux usées autres que domestiques est soumis à l'autorisation préalable de l'administration chargée des ressources en eau.

Ce déversement peut être subordonné à une obligation de pré-traitement dans le cas où, à l'état brut, ces eaux usées peuvent affecter le bon fonctionnement du réseau public d'assainissement ou de la station d'épuration.

Art. 120. — Il est interdit d'introduire dans les ouvrages et installations d'assainissement toute matière solide, liquide ou gazeuse susceptible d'affecter la santé du personnel d'exploitation ou d'entraîner une dégradation ou une gêne de fonctionnement des ouvrages de collecte, d'évacuation et d'épuration des eaux usées.

Art. 121. — Dans les zones à habitat dispersé ou dans les centres ne disposant pas d'un système d'assainissement collectif, l'évacuation des eaux usées doit se faire au moyen d'installations autonomes agréées et contrôlées par l'administration chargée des ressources en eau.

Art. 122. — Tout système autonome d'assainissement doit être mis hors d'état de servir dès la mise en place d'un réseau public d'assainissement.

Art. 123. — Tout propriétaire d'immeuble doit établir les toits de ses constructions de manière que les eaux pluviales s'écoulent sur son terrain ou sur la voie publique ; il ne peut les faire verser sur le fonds de son voisin.

Art. 124. — Les eaux usées provenant des habitations peuvent être amenées vers les ouvrages de collecte dans les mêmes conditions et sous les mêmes réserves que celles prévues à l'article 94 de la présente loi.

TITRE VII

DE L'EAU AGRICOLE

Chapitre 1

Des dispositions générales relatives à l'eau agricole

Art. 125. — En vertu de la présente loi, est qualifiée d'eau agricole toute eau destinée à un usage exclusivement agricole et, accessoirement, aux autres besoins liés aux activités agricoles.

Art. 126. — Tout prélèvement d'eau agricole ne peut être opéré que selon les modalités fixées par les articles 71 à 93 de la présente loi.

Art. 127. — Les ouvrages et installations relevant du domaine public hydraulique artificiel et destinés à l'usage agricole sont classés en infrastructures de grande, moyenne et petite hydraulique agricole et font l'objet de concession selon des conditions et des modalités fixées par voie réglementaire.

Art. 128. — L'autorisation ou la concession d'utilisation des ressources en eau à des fins d'irrigation est accordée au profit d'un fonds déterminé. En cas de cession du fonds considéré, le droit d'utilisation est transféré de plein droit au nouveau propriétaire ; celui-ci doit déclarer à l'administration chargée des ressources en eau cette cession, dans un délai de trois mois à dater de la mutation de la propriété.

En cas de morcellement du fonds, la répartition des eaux entre les parcelles en découlant doit faire l'objet d'autorisations ou de concessions nouvelles qui se substitueront au droit d'utilisation originaire.

Art. 129. — Les propriétaires et exploitants des terres agricoles sont tenus de procéder à une utilisation rationnelle de l'eau agricole, notamment à travers l'utilisation de techniques permettant d'économiser l'eau.

Art. 130. — L'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite.

Chapitre 2

Des périmètres d'irrigation

Art. 131. — Au sens de la présente loi, on entend par périmètre d'irrigation tout ensemble de parcelles de terres agricoles disposant d'infrastructures d'irrigation et d'assainissement, ainsi que de la disponibilité d'une ressource en eau pérenne.

Art. 132. — La typologie des périmètres d'irrigation ainsi que les règles, mesures et obligations permettant d'assurer la valorisation de l'eau et la conservation des terres agricoles qui les composent sont fixées par voie réglementaire.

Art. 133. — La gestion des périmètres d'irrigation équipés par l'Etat ou pour son compte est concédée à des personnes morales de droit public ou privé sur la base d'un cahier des charges fixant, notamment, les règles relatives à l'exploitation, à l'entretien et au renouvellement des ouvrages et installations d'irrigation, de drainage et d'assainissement des terres, et aux modalités de couverture des charges de gestion.

Le cahier des charges précise également les éléments relatifs au règlement de distribution et d'usage de l'eau à l'intérieur du périmètre d'irrigation.

Le cahier des charges-type de gestion des périmètres d'irrigation par concession est fixé par voie réglementaire.

Art. 134. — Les actes de concession des ouvrages et installations de mobilisation d'eau fixent les règles d'organisation de la distribution d'eau et de sa valorisation ainsi que les modalités de couverture des charges d'entretien et d'exploitation des infrastructures d'irrigation et d'assainissement des terres agricoles.

Art. 135. — Tout concessionnaire de la gestion d'un périmètre d'irrigation est tenu de :

— contrôler le niveau de la nappe phréatique et de s'assurer de sa compatibilité avec une exploitation rationnelle des sols ;

— suivre l'évolution des sols et la qualité des eaux d'irrigation au moyen d'analyses périodiques ;

— veiller à ce que les eaux utilisées ne constituent pas, par leur stagnation, une source de détérioration des sols cultivables ou de propagation de maladies, notamment en mettant en œuvre des systèmes de drainage et d'assainissement agricole.

Chapitre 3

Des dispositions particulières à l'eau agricole

Art. 136. — Des mesures et des prescriptions particulières peuvent être précisées par voie réglementaire pour assurer le développement de :

- l'hydraulique pastorale et l'abreuvement du cheptel ;
- l'épandage d'eaux de crues.

TITRE VIII

DE LA TARIFICATION DES SERVICES DE L'EAU

Chapitre 1

Des dispositions communes relatives à la tarification des services de l'eau

Art. 137. — Les systèmes de tarification des services de l'eau sont établis par zone tarifaire selon des conditions et modalités fixées par décret.

Art. 138. — Les systèmes de tarification des services de l'eau sont basés sur les principes d'équilibre financier, de solidarité sociale, d'incitation à l'économie d'eau et de protection de la qualité des ressources en eau.

Art. 139. — Les tarifs des services publics de l'eau sont fixés et facturés par l'organisme exploitant. Ils comprennent tout ou partie des charges financières d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de renouvellement des infrastructures liées à la gestion du service public.

Les tarifs de l'eau doivent tenir compte des exigences d'optimisation des coûts, de progrès de la productivité et d'amélioration des indicateurs de performances et de la qualité de service.

Art. 140. — Dans le cas où l'application d'obligations incidentes conduit à des tarifs ne correspondant pas au coût réel justifié par le concessionnaire ou le délégataire, il pourra lui être attribué une dotation financière compensatoire équivalente aux charges additionnelles subies à ce titre.

Art. 141. — Les concessionnaires ou les délégataires des services de l'eau sont tenus de présenter à l'autorité concédante, pour chaque exercice comptable, les éléments de comptabilité analytique permettant d'analyser les charges, les produits et les coûts de revient et d'assurer la transparence des tarifs.

Art. 142. — Les tarifs des services de l'eau peuvent faire l'objet de révision si l'évolution des conditions économiques générales l'exige.

Chapitre 2

Du système de tarification de l'eau à usage domestique et industriel

Art. 143. — La tarification du service public d'alimentation en eau potable est fondée sur le principe de progressivité des tarifs selon les catégories d'usagers et les tranches de consommation d'eau afin, d'une part, d'assurer aux usagers domestiques la fourniture, à un tarif social, d'un volume d'eau suffisant pour la satisfaction des besoins vitaux et, d'autre part, de réguler la demande correspondant aux consommations élevées des différentes catégories d'usagers.

L'application de ce principe se traduit par l'établissement, pour chaque zone tarifaire, d'un barème de tarifs progressifs déterminés par application de coefficients au tarif de base calculé en fonction des paramètres de charges définis à l'article 139 de la présente loi.

Art. 144. — La fourniture en gros d'eau brute ou d'eau traitée par le concessionnaire ou le délégataire de service public à des communes ou à des zones d'activités qui assurent, sous leur responsabilité, la gestion de leur système de distribution, fait l'objet de tarifs spéciaux.

Les volumes d'eau fournis sont mesurés par un dispositif de comptage installé au point de livraison.

Art. 145. — La facturation aux usagers de la fourniture du service public d'alimentation en eau potable est établie sur la base du barème de tarifs par zone tarifaire territoriale ; elle comprend deux termes :

— une partie variable, d'un montant proportionnel au volume consommé pendant un temps donné et mesuré au compteur particulier ou, exceptionnellement, déterminé forfaitairement ;

— une partie fixe dite redevance fixe d'abonnement, d'un montant couvrant tout ou partie des frais d'entretien du branchement particulier, de location et d'entretien du compteur d'eau et de gestion commerciale des usagers.

Art. 146. — Pour les immeubles collectifs d'habitation, la facturation est établie individuellement au nom de chaque occupant, copropriétaire ou locataire, sur la base du volume réellement consommé et mesuré par un compteur particulier en tenant compte de la consommation d'eau relative aux parties communes, déterminée en fonction des indications du compteur général et des compteurs particuliers.

Art. 147. — Le concessionnaire, le délégataire et la régie communale sont tenus d'installer des compteurs particuliers à la demande du propriétaire de l'immeuble ou de l'administrateur de copropriété, formulée selon les conditions réglementaires et/ou particulières régissant la copropriété.

Art. 148. — A titre transitoire, pour les immeubles collectifs d'habitation non dotés de compteurs particuliers, la facturation est établie sur la base d'un barème adapté ou de tarifs spéciaux tenant compte du nombre de logements et de locaux à usage professionnel desservis à partir du compteur général ainsi que des conditions d'alimentation en eau et des caractéristiques du réseau de distribution à l'aval du compteur général.

Chapitre 3

Du système de tarification de l'assainissement

Art. 149. — La tarification du service public d'assainissement est fondée sur le principe de progressivité des tarifs selon les catégories d'usagers et les tranches de consommation d'eau correspondant au service public d'alimentation en eau potable et ce pour prendre en compte l'importance, la nature et la charge polluante des effluents déversés dans le réseau de collecte des eaux usées.

Art. 150. — Pour chaque zone tarifaire, le barème des tarifs progressifs est déterminé par l'application de coefficients au tarif de base calculé en fonction des paramètres des charges définis à l'article 139 de la présente loi.

Art. 151. — La facturation aux usagers de la fourniture du service public d'assainissement est établie sur la base d'un barème des tarifs par zone tarifaire territoriale ; elle comprend deux termes :

— une partie variable, d'un montant proportionnel au volume d'eau facturé au titre du service public d'alimentation en eau potable ;

— une partie fixe dite redevance fixe d'abonnement, d'un montant couvrant tout ou partie des frais d'entretien du branchement particulier et de gestion commerciale des usagers.

Art. 152. — Pour les immeubles collectifs d'habitation, la facturation est établie selon les modalités définies dans l'article 146 de la présente loi.

Art. 153. — Pour les usagers du service public d'assainissement qui disposent d'une alimentation en eau autonome par rapport au service public d'alimentation en eau potable, la facturation de la partie variable est assise sur le volume d'eau utilisé et mesuré par un dispositif de comptage, à la charge des usagers, ou estimé par le concessionnaire, le délégataire ou la régie communale.

Art. 154. — La facturation et le recouvrement de la fourniture du service public d'assainissement peuvent être assurés par le concessionnaire ou le délégataire du service public d'alimentation en eau potable selon des modalités fixées par voie conventionnelle.

Chapitre 4

Du système de tarification de l'eau d'irrigation

Art. 155. — La tarification de l'eau d'irrigation dans les périmètres équipés par l'Etat ou pour son compte et gérés par voie de concession est fondée sur les principes de valorisation optimale de l'eau et de régulation de la demande en fonction des systèmes de cultures et des modes d'irrigation.

Art. 156. — Les systèmes tarifaires de l'eau d'irrigation prennent notamment en compte les types de cultures ou d'assolement.

Art. 157. — Pour chaque périmètre d'irrigation, le barème des tarifs est déterminé en fonction des paramètres de charges définis à l'article 139 de la présente loi.

Art. 158. — La facturation aux usagers de la fourniture de l'eau d'irrigation dans les périmètres d'irrigation comprend deux termes :

— une partie variable, d'un montant proportionnel au volume d'eau consommé pendant une durée donnée et mesuré directement par un dispositif de comptage ou estimé indirectement sur la base du débit ou du module d'arrosage utilisé ;

— une partie fixe dite redevance fixe, dont le montant est déterminé en fonction de la superficie irrigable et du débit maximal souscrit par l'utilisateur au titre de la campagne d'irrigation.

TITRE IX

DE LA POLICE DES EAUX

Art. 159. — Il est institué une police des eaux constituée par des agents relevant de l'administration chargée des ressources en eau.

Pour exercer leurs fonctions, les agents de la police des eaux prêtent, devant le tribunal de leur résidence administrative, le serment suivant :

"أقسم بالله العلي العظيم أن أؤدي وظيفتي بأمانة وإخلاص وأن أحافظ على سر المهنة وأسهر على تطبيق قوانين الدولة ."

Le statut spécifique de la police des eaux, le niveau de formation de ses agents, les indemnités auxquelles ces derniers ouvrent droit ainsi que l'obligation de port d'insignes distinctifs sont fixés par voie réglementaire.

Art. 160. — Les agents de la police des eaux exercent leurs prérogatives conformément à leur statut, aux dispositions de l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966 portant code de procédure pénale, modifiée et complétée, notamment ses articles 14 (alinéa 3), et 27 et aux dispositions ci-après .

Chapitre 1

Des prérogatives de la police des eaux

Art. 161. — Les infractions à la présente loi font l'objet de recherche, de constatation et d'enquête par les officiers et agents de police judiciaire ainsi que par les agents de la police des eaux instituée par l'article 159 ci-dessus.

Art. 162. — Les infractions sont constatées par procès-verbal relatant les faits et les déclarations de leur(s) auteur (s).

Art. 163. — En vue de rechercher et de constater les infractions, les agents de la police des eaux ont accès aux ouvrages et installations exploités au titre des utilisations du domaine public hydraulique. Ils peuvent réquérir du propriétaire ou de l'exploitant de ces ouvrages et installations leur mise en fonctionnement afin de procéder aux vérifications utiles et peuvent exiger la communication de tous documents nécessaires à l'accomplissement de leur mission.

Art. 164. — Les agents de la police des eaux sont habilités à conduire, devant le procureur de la République ou l'officier de police judiciaire compétent, tout individu surpris en flagrant délit d'atteinte au domaine public hydraulique, sauf si la résistance du contrevenant constitue pour eux une menace grave. Dans ce cas, il est fait mention de l'acte de rébellion du contrevenant dans le procès-verbal de constatation de l'infraction.

Art. 165. — Dans l'exercice de leurs fonctions, les agents de la police des eaux peuvent requérir la force publique pour leur prêter assistance.

Chapitre 2

Des infractions et des sanctions

Art. 166. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 5 de la présente loi est puni d'une amende de cinq mille dinars (5.000 DA) à dix mille dinars (10.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 167. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 12 de la présente loi est puni d'une amende de cinquante mille dinars (50.000 DA) à cent mille dinars (100.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 168. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 14 de la présente loi est puni d'un emprisonnement d'un (1) an à cinq (5) ans et d'une amende de deux cent mille dinars (200.000 DA) à deux millions de dinars (2.000.000 DA).

Les équipements, matériels et véhicules ayant servi à commettre l'infraction peuvent être confisqués.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 169. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 15 de la présente loi est puni d'un emprisonnement de deux (2) mois à six (6) mois et d'une amende de cinquante mille dinars (50.000 DA) à cent mille dinars (100.000 DA) ou de l'une de ces deux peines seulement.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 170. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 32 de la présente loi est puni d'un emprisonnement de six (6) mois à trois (3) ans et d'une amende de cinquante mille dinars (50.000 DA) à un million de dinars (1.000.000 DA).

Les équipements et matériels ayant servi à commettre l'infraction peuvent être confisqués.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 171. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 44 de la présente loi est puni d'une amende de dix mille dinars (10.000 DA) à cent mille dinars (100.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 172. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 46 de la présente loi est puni d'un emprisonnement d'un (1) an à cinq (5) ans et d'une amende de cinquante mille dinars (50.000 DA) à un million de dinars (1.000.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 173. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 47 de la présente loi est puni d'une amende de cent mille dinars (100.000 DA) à un million de dinars (1.000.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 174. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 75 de la présente loi est puni d'un emprisonnement de six (6) mois à deux (2) ans et d'une amende de cent mille dinars (100.000 DA) à cinq cent mille dinars (500.000 DA).

Les équipements et matériels ayant servi à commettre l'infraction peuvent être confisqués.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 175. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 77 de la présente loi est puni d'un emprisonnement d'un (1) an à cinq (5) ans et d'une amende de cent mille dinars (100.000 DA) à cinq cent mille dinars (500.000 DA).

Les équipements et matériels ayant servi à commettre l'infraction peuvent être confisqués.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 176. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 112 de la présente loi est puni d'un emprisonnement d'un (1) an à deux (2) ans et d'une amende de deux cent mille dinars (200.000 DA) à un million de dinars (1.000.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 177. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 119 de la présente loi est puni d'un emprisonnement de deux (2) mois à six (6) mois et d'une amende de cent mille dinars (100.000 DA) à cinq cent mille dinars (500.000 DA) ou de l'une de ces deux peines seulement.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 178. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 120 de la présente loi est puni d'un emprisonnement de (6) mois à un (1) an et d'une amende de cent mille dinars (100.000 DA) à cinq cent mille dinars (500.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 179. — Quiconque commet une infraction aux dispositions de l'article 130 de la présente loi est puni d'un emprisonnement d'un (1) an à cinq (5) ans et d'une amende de cinq cent mille dinars (500.000 DA) à un million de dinars (1.000.000 DA).

En cas de récidive, la peine est portée au double.

TITRE X

DISPOSITIONS TRANSITOIRES ET FINALES

Art. 180. — Sont abrogées toutes dispositions contraires à la présente loi, notamment la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux.

Art. 181. — Les textes pris en application de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux demeurent en vigueur jusqu'à la promulgation des textes réglementaires prévus par la présente loi.

Art. 182. — Les autorisations, concessions et tous autres documents délivrés en vertu de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux sont actualisés conformément aux dispositions de la présente loi dans un délai n'excédant pas vingt quatre (24) mois.

Les ouvrages et installations d'utilisation des ressources en eau réalisés et exploités sans acte administratif à la date de publication de la présente loi au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire doivent faire l'objet, dans un délai d'un an, et sous peine de la mise en œuvre des dispositions des articles 174 et 175 ci-dessus et de la suppression de l'accès à la ressource hydrique, d'une déclaration en vue de leur régularisation dans les conditions fixées par la présente loi.

Art. 183. — La présente loi sera publiée au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005.

Abdelaziz BOUTEFLIKA