

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES.
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département génie de l'environnement.

Laboratoire de Recherche de Technologie Alimentaire (LRTA)

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Génie de l'Environnement
Option : Traitement des effluents industriels

***LA MISE EN PLACE D'UN PLAN
D'INTERVENTION EN CAS DE
SECHERESSE POUR LA WILAYA
D'ALGER***

Réalisé par :
Mr MEKLATI Abdelkader

Devant le Jury :

Monsieur YAHY Hamid	Professeur (U. Tizi Ouzou)	Président.
Monsieur LOUHAB Krim	Professeur (UMBB)	Examineur
Monsieur NOURI L'hadi	Professeur (UMBB)	Examineur
Monsieur BENRACHEDI Khaled	Professeur (UMBB)	Rapporteur
Monsieur BOURAGHDA Messaoud Med Zin	Maître assistant A (UMBB)	Examineur

REMERCIEMENTS

Grâce à Dieu le Tout Puissant cette thèse a été réalisée. Ce travail a été effectué au laboratoire LRTA, que je remercie sincèrement l'ensemble du personnel et utilisateurs de cette sphère de recherche.

*Que Monsieur **BENRACHDI Khalad** Professeur à l'UMBB, reçoive toute l'expression de ma reconnaissance pour m'avoir proposé ce sujet de recherche, et, pour tout son dynamisme et ses compétences scientifiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude.*

*Je remercie tous particulièrement Monsieur **YAHY Hamid** Professeur à Université de Tizi Ouzou, ma fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de cette thèse qu'il trouve ici l'expression.*

*Je tiens également à remercier Monsieur **LOUHAB Krim**, et Monsieur **NOURI L'hadi** Professeurs à Université de Boumerdes, d'avoir acceptés de participer au jury de ce mémoire.*

*J'adresse également mes remerciements à Monsieur **MESSAOUD-BOURAGHDA MOHAMED Ezzine**, chargé de cours à L'UMMB.*

Merci aussi à tous mes collègues et amis de longue date, du laboratoire qui se reconnaîtront ici. Je leur exprime ma profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.

Je souhaite enfin remercier mes amis de la vie professionnelle, pour leurs encouragements.

Mes remerciements vont également aux Monsieur et Madame, cadres supérieurs de l'Etat et fonctionnaires des institutions, ADE, ONA, DHWA, MRE, rencontré lors de la collecte des données.

Enfin, une pensée émue pour tous les étudiants avec qui j'ai partagé une salle, un café, un repas ou une console d'ordinateur pendant tous ces années.

A tous les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de ce mémoire.

Merci

Dédicaces

- ✚ *A la mémoire de mon frère Mohamed, mes grands parents, mes oncles et mes tantes.*
- ✚ *A ma mère et mon père.*
- ✚ *A mes frère, Ismail et Billal.*
- ✚ *A mes sœurs et mes beaux frères.*
- ✚ *A mes neveux : Hala, Naziha, Abdelouahab, Luiza, Fatima Zahra, Med Amin, Ouidad, Youcef et Ichrak.*
- ✚ *A tous mes amis.*
- ✚ *A tous ceux qui me sont chère.*

Abdelkader

الهدف من هذه المذكرة هو وضع برنامج استعجالي يمكننا من طرح حلول كفيلة بتسيير المياه بالنسبة لولاية الجزائر في حالة تعرض المنطقة إلى جفاف محتمل. تقيما للإمكانيات الكمية و النوعية التي تتوفر عليها الولاية من حيث الموارد المائية سواء منها الجوفية أو السطحية و كذلك بالنسبة لتخليه مياه البحر و محطات تصفية المياه المستعملة. وضعنا عدة سيناريوهات جفاف محتملة و درسنا تأثيراتها على الموارد المائية. البرنامج الاستعجالي يكمن في إعادة استعمال المياه المستعملة بعد تصفيتها و كذلك إعداد برنامج تربيوي بيئي شامل لاحتواء الوضع.

الكلمات الدالة

الجفاف-تدخل-إعادة الاستعمال-تربية بيئية-الجزائر.

Résumé :

Cette étude a pour cadre la mise en place d'un plan orsec d'intervention en cas de sécheresse dans la région d'Alger. Un bilan quantitatif des ressources et des besoins en eau a été établi. Des estimations des quantités des eaux des barrages, des eaux souterraines et des eaux dessalées ont été quantifiées. De même pour les besoins des secteurs : industriel, agriculture et domestique.

Plusieurs scénarios ont été mis en place tel que des sécheresses de plusieurs années, et leur impact sur les activités Industrielles et agricoles. Le plan consiste en une réutilisation des eaux usées épurées et éducation environnementale pour faire face au déficit en eau.

Mots_ clés : Sécheresse, Orsec, Intervention, Réutilisation, Eaux usées, Education environnemental. Alger.

Abstract:

This study has as a framework the installation of orsec plan of intervention in the case of dryness in Algiers region. A quantitative balance sheet of the resources and water requirements was established. Estimates of the water quantities of the dams, underground waters and desalting water were quantified. To satisfy the needs of the following sectors: industrial, agriculture and domestic.

Several scenarios were found such as the dryness of several years, and their impact on the industrial and agricultural activities. The plan consists of the re-use of purified wastewater, and environmental education to face the water deficit.

Key words: Drought, Orsec, Intervention, Re-use, wastewater, Environmental education, Algiers.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I « Potentialités en eaux de la Wilaya d'Alger & Problèmes affectant cette ressource. »	
1 Introduction	3
Aperçu sur la zone d'étude	3
I- les caractéristiques socio-économiques	3
I-1 La Population	3
I-2 Activité agricole	3
I-3 Activité industrielle	4
II- Le milieu naturel	4
II-1-Situation géographique	4
II-1-2. Le Climatologie	6
II-1-32 les zones humides	6
III- Bilan des connaissances acquises sur les potentialités en eau	8
III-1 Introduction	8
III-2. Le découpage hydrographique de l'Algérie	8
III- 2_1. Le bassin hydrographique Oranie_Chott-Chergui	8
III- 2_2. Le bassin hydrographique Chellif_Zahrez	9
III- 2_3. Le bassin hydrographique Algérois_Hodna_Sommam	9
III_2_4. La région hydrographique Constantinois _ Seybousse_Mellègue	9
III. Potentialités en eaux de la Wilaya d'Alger	9
III-3_1. Les eaux souterraines	9
III-3_1.1. Aquifère de la Mitidja	10
Aquifère alluvial	11
Aquifère de l'Astien	12
III-3_1_2. Massif du Sahel.	12
III-3-3. Les potentialités en eaux superficielles	13
III-3-3 Les barrages en exploitations	13
III-3_4. Les eaux non conventionnelles	14
III-3_4_1 : Les eaux usées	14
III-3_4_2. Le dessalement de l'eau de mer	15
IV. Evaluation des prélèvements	15
IV -1. Evaluation des prélèvements en eau souterraine	15
IV - 1_1 Evaluation des prélèvements en eau a usage domestique	15
IV - 1_2. Les eaux souterraines prélevées pour l'irrigation	18

IV -4-1_3. Les eaux souterraines prélevées pour l'industrie.....	18
II_4_2 Evaluation des prélèvements à partir des eaux de surface.....	18
IV-4_2_1. Evaluation des prélèvements d'eau potable à partir des barrages.....	18
IV -4-2- Evaluation des prélèvements d'eau de surface pour l'irrigation.....	19
IV -4_3 Evaluations de l'alimentation en eau potable à partir des stations de dessalement d'eau de mer.....	19
V- Problèmes affectant les ressources en eau alimentant la wilaya d'Alger.....	22
V-I Introduction.....	22
V-2 Les problèmes des eaux usées	22
V-2-1 Bassin versant de Oued El Harrach	23
V-2-2. Le bassin versant de Oued Réghaia	23
V-2-3. Le bassin versant de Oued Beni Messous.....	23
V-2-4. Le bassin versant du Mazafran	23
V-3 Les problèmes affectant les eaux souterraines	24
V-3_1. Les problèmes liés à la qualité	25
V-3-1-1 Qualité des eaux de la nappe alluviale du Quaternaire.....	25
<i>Etat de pollution de la nappe de la Mitidja</i>	25
a) Pollution par les nitrates	25
b) Pollution par les métaux lourds	26
c) Pollution par les eaux salées (intrusion marine)	26
Qualité des eaux de la nappe Astien gréseux	26
V_3_2 Problèmes liés aux rabattements des niveaux piézométriques	26
V-4. Problèmes affectant les ressources en eau des barrages.....	27
V-4-1 La qualité des eaux de barrages en exploitation région centre.....	28
V_4_2. Les fuites dans les barrages.....	29
V_4_3. Evaporation des lacs de Barrages.....	31
V_4_4. L'envasement des barrages.....	31
V-5. D'autres facteurs menassent la ressource en eau	33
Chapitre II « Étude de la sécheresse dans la région d'Alger. »	
I- Introduction	34
II Historique des sécheresses en Algérie	35

III- Conséquence de la sécheresse	36
IV- Etude statistique de la sécheresse dans la région d'Alger	37
IV-1 Méthodologie	37
IV-2 Etude des écarts des débits (Apports) moyens annuels	38
4- 3 Etude de l'indice normalisé des précipitations mensuelles et annuelles	39
V- Conclusion.....	42

Chapitre III « Simulation des scénario de crise d'eau liée a des sécheresses de longue durée. »

Prévision de la demande en eau pour la wilaya d'Alger	43
I- Introduction.....	43
Le choix de l'horizon d'étude 2012.....	43
II- Besoin En Eau Potable Pour L'horizon 2012	44
III- Besoin En Eau Industrielle	45
IV- Besoin En Eaux Agricole	46
V- Les besoins totaux en eau pour la wilaya d'Alger	47
VI- Bilans Besoins Ressources.....	48
VII- Scénario de sécheresse.....	49
PLAN DE CRISE	50
VII-1 1 ^{er} scénario de sécheresse.....	50
VII2 Deuxième scénario de sécheresse	54
VII-3 Troisième scénario de sécheresse.....	56

Chapitre IV « Plan d'intervention »

I- Introduction.....	61
II- Accroissement de la ressource en eau (la réutilisation des eaux épurées).....	61
II-1 Diagnostic du système d'épuration de la ville d'Alger.....	62
II-1-1- Les infrastructures d'assainissement.....	62
II-1-2- Les eaux usées rejetées	62
II-2- Systèmes d'épuration de la wilaya d'Alger	62
II-2-1 Diagnostic quantitatif	62
II-2-2 - Diagnostic qualitatif	64
II-2-2/A/ Etude de la Station de STAOUALI.....	65
A-1/ Analyses physico-chimiques des eaux.....	65
Analyse des éléments chimiques	66
Analyses des métaux lourds	70
A/2- Analyses microbiologiques	70

Examen parasitologique des eaux-----	71
II-2-2/B/ Etude de la station d'épuration de Baraki -----	72
II-2-2/c/ Etude de la station d'épuration de Beni Messouss -----	73
II-2-2/C/ Etude de la station d'épuration de Réghaia -----	73
Etat global du système d'épuration de la W. d'Alger -----	74
III- L'éducation et la sensibilisation en tant que politique fiable pour la maîtrise et la conservation des ressources en eaux -----	74
I- Introduction-----	74
III-2- Le niveau de sensibilisation acquit par notre société-----	74
III-3- Les outils d'une bonne conservation de l'eau -----	75
III-4- Les stratégies de sensibilisation pour une meilleure conservation de l'eau -----	75
III-4- 1-Sensibilisation -----	76
III-4-2- Formation et éducation -----	77
III-4-3- La sensibilisation accrue par le biais des mosquées -----	78
III-4-4- La sensibilisation accrue par le biais des canal l'informations -----	78
Conclusion générale-----	80.
Références bibliographiques	

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : prélèvement annuel en eau	17
Figure I-2 Evaluation des prélèvements mensuels en eau.....	20
Figure I-3 Evaluation du volume d'eau dessalée.....	21
Figure I-4 : évaluation des fuites dan les barrages qui alimentent Alger.....	30

Chapitre II

Figure II-1 : La variation annuelle de $E_{\text{écart}}\%$ pour la période 1979-2003.....	38
Figure II-2 : les apports annuels de l'Oued El Harach pour la période 1979-2003.....	39
Figure II-3 : Indices normalisés des précipitations annuelles.....	41

Chapitre III

Figure III-1 . Les Ecarts de précipitations mensuelle.....	51
Figure III-2 . Réponses des barrage Hamiz et Keddara soumissent a un scénario de sécheresse de 24 mois.....	52
Figure III-3 . Les volumes d'eau prélevés pour l'AEP durant le premier scénario.....	53
Figure III-4 . Ecarts des précipitations mensuelles (2 ^{ème} scénario).....	54
Figure III-5 . Bilan hydrique des barrages de Keddara et Hamiz durant le 2 ^{ème} scénario.....	55
Figure III-6 . Ecarts pluviométriques mensuels (3 ^{ème} scénario de sécheresse)	57
Figure III-7 . Comportement hydrique des barrages de Hamiz et Keddara face au 3 ^{ème} scénario de sécheresse.....	59

Chapitre IV

Figure IV-1 : L'évolution de la conductivité électrique à la sortie de la STEP de Staouali.....	69
--	----

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I_1. L'évolution de la population pour différents horizons	3
Tableau I-2 Principales productions végétales	4
Tableau I-3 : Zones industrielles de la wilaya d'Alger.....	4
Tableau I_4 Les potentialités en eau souterraine	12
Tableau I_5. Les capacités des stations de dessalement	15
Tableau I_6. Les dotations en l/hab/j pour différents horizons	17
Tableau I_7. La production annuelle en eau pour Alger.....	17
Tableau I-8. L'évolution des prélèvements en eau de surface	19
Tableau I_9. Production d'eau potable à partir des stations de dessalement pour la Wilaya d'Alger	21
Tableau I-10. Les eaux usées rejetées par bassin versant.....	24
Tableau I-11. La charge polluante rejetée pour la Wilaya d'Alger.....	24
Tableau I-12 Compagnes de suivi de la qualité des eaux de la nappe de la Mitidja ..	25
Tableau 13. La pollution en nitrate de la nappe de Mitidja	25
Tableau I-14 Rabattement des niveaux piézométriques de la nappe de Mitidja entre 09/2001 et 10/2002 dans les principaux champs de captages.....	27
Tableau I_15. Paramètres physicochimiques des barrages en exploitations	28
Tableau I-16. Le volume perdu par mois et par barrage.....	30
Tableau I_17. Volume perdu mensuel des barrages qui alimentant Alger.....	31
Tableau I-18. Prévission de l'envasement des barrages qui alimentant Alger pour l'année 2010	32

Chapitre III

Tableau III-1. Besoins en eau potable pour l'horizon 2012	45
Tableau III-2. Les besoins en eau pour la W d' Alger à l'Horizon 2012	47
Tableau III-3. Les capacités de différentes ressources qui alimentant Alger	48

Chapitre IV

Tableau V-1 Tableau récapitulatif des capacités de l'ensemble des stations d'épuration de la Wilaya d'Alger	64
Tableau IV 2 : Les points et les fréquences de prélèvement.....	65
Tableau IV-3 Les teneurs moyennes des paramètres physicochimiques de l'eau épurée de la STEP de STAOUALL.....	66
Tableau IV-4. Les teneurs moyennes des paramètres chimiques de l'eau épurée	68
Tableau IV-5. Teneurs en métaux lourds à la sortie de STEP de STAOUALI	70
Tableau IV-6. Analyses bactériologiques des eaux traitées de la STEP de Staouli	71
Tableau IV-7. Caractéristiques d'eau avant et après traitement.....	72

Abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.
AEA : Alimentation en eau pour l'agriculture.
A.E.I : Alimentation en eau Industrielle.
A.E.P : Alimentation en eau potable.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.
AFI : Alimentation sur forages Indépendants
CA : Communes Autonomes
DAEP : Direction d'alimentation en eau potable.
DBO5 : La demande biochimique en oxygène pondant cinq jours d'incubation mg/l.
DCO: Demande chimique en oxygène mg/l
DHW : Direction d'hydraulique de Wilaya.
DRC : Direction régionale de centre.
Déc : Décembre.
Eq/hab/j, Equivalant habitant par jour.
Ecart : L'écart des apports moyens annuels au apport moyen interannuel.
FAO: Food and Agriculture Organization.
Févr : Février
Ha: Hectare.
Hm : hecto mètre.
HWD : Hama Water Desalination.
I : Indice centré réduit.
IRR : Irrigation.
Jan : Janvier.
MES : Matières en suspension en mg/l.
MO : matière organique.
ND : Non disponible.
Nov : Novembre.
NTK : Azote total Kjeldahl
ONID : Office National de l'Irrigation et Drainage.
ONPI : Office National des Périmètres Irrigués.
PMH : petite et moyenne hydraulique.
PNE : Plan national de l'eau.
RS : salinité en mg/l.
S : l'écart type.
SAA : Sécurité d'alimentation d'Alger
SAR : Sodium Absorption Ratio.
SP3 : Station de pompage.
SPIK : Système de production Isser Kedara
STEP : Station d'épuration.
T : Taux de croissance annuel.
TA : Titre alcalimétrique.
TAC : Titre alcalimétrique complet.
TH: Titre Hydrotimétrique.
TRA : Total réseau d'adduction.
TWA : Total Besoin AEP Wilaya d'Alger.
WSW_ENE : Ouest Sud Ouest_ Est Nord est.
 X_i : La hauteur des précipitations pour l'année « i ».
X : La moyenne annuelle pour la période d'étude.

Introduction générale:

Le Maghreb est en situation de stress hydrique et devrait au delà de 2025 se retrouver en situation de pénurie d'eau. En Algérie, la problématique de l'eau sera sans doute une préoccupation majeure durant ce siècle, s'ajoute que nos ressources en eau deviennent de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Leur répartition sur le territoire est inégale. Quelle soit souterraine ou superficielle, l'eau subit depuis une trentaine d'années une dégradation sensible et tend à se raréfier dans l'ensemble du pays. Toutes ces ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans le temps et dans l'espace. Elles sont aussi exposées à des risques de pollution de plus en plus importants, qui compromettent leur utilisation dans de nombreuses régions du pays.

L'historique des données climatologiques de l'Algérie montre la persistance des sécheresses. Ce phénomène naturel observé depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de dégradation quantitative et qualitative de la réserve en eau et par enchaînement, ces sécheresses ont eu des conséquences néfastes sur la satisfaction des besoins en eau de tous les secteurs socio-économiques, en particulier agricoles, et sur la préservation des écosystèmes terrestres et aquatiques.

Sur l'ensemble des sécheresses qui ont marquées l'histoire de l'Algérie, Il y a lieu de signaler que les grands centres urbains du pays sont les plus touchés par les effets de ce phénomène naturel. Tel que, durant les dernières années, une grande partie de l'opinion publique a été sensibilisée à une situation d'insuffisance d'eau. L'alerte a été déclarée à la suite des récents événements météorologiques qui ont provoqué une sensible réduction des apports hydrologiques en particulier dans la wilaya d'Alger. Cette circonstance s'est insérée, malheureusement, dans un système déjà amplement compromis par une utilisation non appropriée des ressources en eau. En parallèle, les autorités publiques ont entamés un ensemble d'actions d'urgence, tels que la réalisation des nouveaux forages et le lancement d'un programme ambitieux de dessalement de l'eau de mer pour sécuriser l'alimentation en eau de la ville la plus stratégique qui est la capitale de l'Algérie.

Dans une telle situation il devient prioritaire d'établir une stratégie pour sécuriser l'alimentation en eau pour la ville d'Alger.

Vue les ouvrages de stockage, de traitement et de mobilisation d'eau existant pour la wilaya d' Alger et dans un contexte de développement économique et social, la croissance des

industries ainsi que la modernisation de l'agriculture et le développement des loisirs entraînent un accroissement considérable de la demande en eau, et la question qui est digne d'être posée est : « quelle sera la situation d'alimentation en eau en cas d'une réapparition d'une sécheresse et quels seront les moyens à mettre en place pour faire face ? »

Pour tenter d'élucider ce problème, il est indispensable d'analyser au préalable les potentialités en eau de la zone d'étude, la caractérisation des sécheresses qui a vécue la wilaya d'Alger.

Donc, la nécessité d'une prévision de la demande en eau axée sur un diagnostic du rapport (besoin&demande) et qui inclus des scénarios de crises simulées.

A la fin, nous étudions l'impacte du plan d'intervention mis en place pour faire face à une éventuelle réapparition des sécheresses de plusieurs années.

CHAPTRE I « Potentialités en eaux de la Wilaya d'Alger & Problèmes affectant cette ressource. »

APERÇU SUR LA ZONE D'ETUDE.

Alger, capitale de l'Algérie, centre des activités, siège des institutions politiques (ministères, ambassades, administrations..), connaît la complexité des problèmes d'urbanisme, d'habitat, de transport public, de voirie, de circulation, et en particulier, l'alimentation en eau, qui exige des mesures exceptionnelles et urgentes à même de la hisser au rang de métropole rayonnant sur la méditerranée [1].

I- Les caractéristiques socio-économiques

I-1 La population

La population totale de la Wilaya d'Alger était de 2.562.424 habitants selon le recensement général de la population et de l'habitat de 1998. Elle est estimée au 31 Décembre 2002 à 2.700.449 habitants, soit une densité de 3.337 habitants par Km², dont la surface totale de la Wilaya d'Alger est de 80992 Km² [1].

Durant la période des deux recensements 1987/1998, la population s'est accrue avec un taux de croissance annuelle moyen de 1.6% « inférieur au taux national qui est 2.5% ».

Tableau I_1. L'évolution prévisionnelle de la population de la wilaya d'Alger pour différents horizons.

Horizon	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Population	2630475	2810117	2989710	3154792	3299645	3422505	3524311

I-2 Activité agricole

Selon l'office national des périmètres irrigués, la Wilaya d'Alger compte une superficie agricole utile de 35.726 hectares. Les plus importants périmètres se sont le périmètre de Hamiz et une partie de la Mitidja Ouest, qui comptent une superficie équipée respectivement : 17000 et 17680 hectares [2].

Tableau I-2 Principales productions végétales.

Désignation	Superficies emblavées (Ha)	Superficies récoltées (Ha)	Productions obtenues (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Blé dur	2.118	2.102	23.854	11
Blé tendre	824	824	12.767	15
Orge	833	821	9.353	11
Avoine	405	405	4050	10
Céréales	4180	4152	50024	12
Tomate Industrielle	400	291	85800	295
Fourrages	30810	3800	231.289	61

I-3 Activité industrielle :

L'activité économique de la Wilaya d'Alger basée sur l'activité industrielle orientée principalement vers le raffinage du pétrole, la métallurgie, le bâtiment, l'automobile, l'agroalimentaire et l'imprimerie.

Sa position stratégique et son port, le premier du pays, contribuent à faire de la Wilaya un centre exportateur, notamment de produits agricoles. C'est un important nœud routier et ferroviaire, desservi par un aéroport international [1,2].

Tableau I-3 : Zones industrielles de la wilaya d'Alger.

Désignation	Superficie Ha
Oued Smar + extension	320 + 61
El Harach	78
Sidi Moussa	57
Rouiba _ Reghaia	1000
Total Wilaya	1455 + 61

II- Le milieu naturel**II-1-Situation géographique :**

La wilaya est limitée par :

- La mer méditerranée au Nord.
- La Wilaya de Blida au Sud

- La Wilaya de Tipaza à l'Ouest.
- La Wilaya de Boumerdes à l'Est.

1-1. Le Relief :

Le relief se caractérise par trois zones longitudinales :

- le Sahel
- le littoral
- la Mitidja

- **le Sahel** : En forme de sommet plat, il constitue une région de collines aux formes douces, d'altitudes variables, généralement plus de 200m à l'Ouest de la baie d'Alger avec un point culminant de 470m à Bouzaréah [3,4].
- **Le littoral** : Dominé par le Sahel, il est constitué par une ancienne terrasse étroite et faible (moins de 25m) et présente des pentes inférieures à 12% et une inclinaison généralement orientée vers le Nord [3,4].
- **La Mitidja** : Elle est constituée d'alluvions formant par des sols de bonne fertilité. L'altitude de cette plaine ne dépasse pas 50m, la nappe phréatique favorise le développement des cultures maraîchères [5].

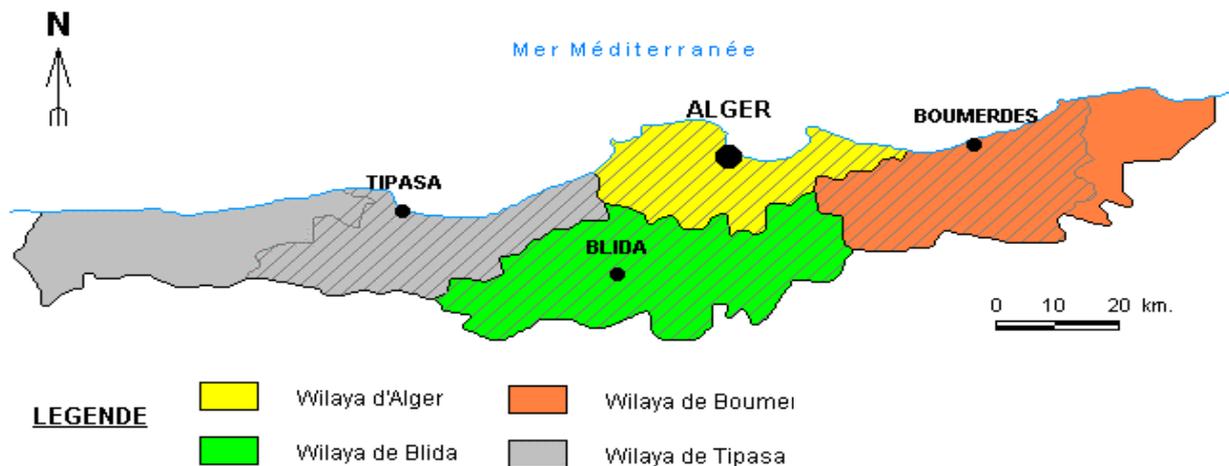


Schéma N 1. Situation de la Wilaya d'Alger.

II-1-2. Le Climatologie :

Le climat est de type méditerranéen modéré. Il est d'amplitude thermique faible avec un peu de gelée. Les deux contraintes climatiques sont constituées par les vents d'Ouest dominants qui nécessitent des brises vent et la grêle qui manifeste en moyenne 12jours/an sur le Sahel. Il est à noter le vent de sud qui peut durer jusqu'à 20 jours par an en moyenne. La température moyenne annuelle varie entre 16/18°C [6].

➤ La pluviométrie

La présentation pluviale varie entre 670 à 800 mm/an avec un dépassement de 100 mm/an les mois de Novembre, Décembre et Janvier [6].

➤ Evapotranspiration :

L'évaporation potentielle varie entre 1 214 et 1 569 mm selon les données l'ANRH [7].

II-1-3 Les zones humides :

La zone humide naturelle (lac de Réghaia) :

- Bordures des plans d'eau : Situé à 30 Km à l'Est d'Alger et à 14 Km de la ville de Boumerdes, le lac de Reghaia est la seule réserve naturelle côtière dans le bassin du Côtier – Algérois. Cette zone humide chevauche sur deux communes à savoir Reghaia et Heraoua [8].
- Superficie du marais : 150 ha,
- la surface du lac (plan d'eau libre) : 75 ha. Cette surface varie en fonction des apports. Sur une étendue d'eau couvrant environ 842 ha et englobant le lac de Reghaia et une partie maritime jusqu'à l'île Agueli (Hadjrat Bounatah), seuls 150 ha correspondant à la superficie du lac de Reghaia sont classés comme zone humide naturelle selon la convention Ramsar depuis 2002 [8].
- Importance de la zone humide de Réghaia : Le lac du Réghaia recèle une importance capitale sur le plan écologique, scientifique, pédagogique, historique et touristique, comme illustré dans le tableau ci après : [4,8]

Historique	<ul style="list-style-type: none"> • Dernier vestige de la Mitidja.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité des écosystèmes ; • Richesse en faune et flore ; • Milieu d'hivernage pour les oiseaux migrateurs.
Scientifique	<ul style="list-style-type: none"> • De nombreux travaux ont été réalisés dans ce site notamment ceux concernant l'inventaire de la faune et de la flore, d'autres travaux sont en cours.
Pédagogique	<ul style="list-style-type: none"> • Lieu idéal pour la reconnaissance et le suivi d'oiseaux d'eau ; Support pédagogique pour les classes vertes de l'éducation.
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigation de 1 200 Ha de terre agricole ; • Lieu de pâturage
Touristique	<ul style="list-style-type: none"> • Reçoit des milliers d'estivants (Plage d'El Kadous) ; • Milieu de loisir et de détente en plein air pour de nombreuses familles. • Milieu idéal pour le tourisme écologique.

- **Facteurs de dégradation du site** : Malheureusement, ce fabuleux site est considéré aujourd'hui comme le réceptacle final des eaux usées urbaines et industrielles non traitées. Cette source de pollution est liée à l'aspect hydrographique du site [9,8].

En plus des apports provenant des eaux souterraines, le lac de Reghaia est alimenté en grande partie par l'Oued Reghaia qui charrie une quantité importante des eaux usées des agglomérations de la commune de Reghaia.

Dans le but de protéger le lac de Réghaia contre les pollutions d'origines urbaines et industrielles, une station d'épuration a été réalisée dans les années 90.

Le traitement retenu en première phase est d'ordre primaire, [10]. La station est prévue pour une capacité de 400 000 équivalents habitant. A cela, s'ajoute :

- ◆ La surexploitation des eaux du lac pour l'irrigation
- ◆ La sur fréquentation estivale de la zone marine
- ◆ L'extraction du sable
- ◆ L'urbanisation anarchique
- ◆ Le surpâturage et le braconnage
- ◆ Les décharges anarchiques.

III- BILAN DES CONNAISSANCES ACQUISES SUR LES POTENTIALITES EN EAU

III-1 Introduction :

Le territoire Algérien couvre une superficie de 2 381 000 Km², ce qui représente 8% du continent Africain. Cependant, il faut souligner que 80% de cette étendue correspondent à une zone désertique où les précipitations sont quasi nulles. C'est donc seulement dans le Nord du pays où jouit un climat Méditerranéen que l'on peut parler de pluviométrie et sa relation avec les potentialités en eaux de l'Algérie, [11].

Dans notre pays, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livre l'agriculture, l'industrie et l'A.E.P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de nombreux pays [12].

III-2. Le découpage hydrographique de l'Algérie

Selon la nouvelle politique de l'eau, le territoire algérien est découpé en cinq régions en bassins hydrographiques : [12,13].

- Oranie_Chott-Chergui.
- Chellif_Zahrez.
- Algérois_Hodna_Sommam.
- Constantinois_Seybousse_Mellègue.
- Sahara.

Le découpage hydrographique adopté a été essentiellement basé sur les critères suivants :

- Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions.
- Le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert, [12].

III-2_1. Le bassin hydrographique Oranie_Chott-Chergui. :

La région hydrographique Oranie_Chott-Chergui couvre une superficie d'environ 77 169 Km², soit le tiers du Nord de l'Algérie. Elle est limitée au nord par la mer méditerranée, à l'Est par la région Chellif_Zahrez, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par le bassin de Sahara.

La pluviométrie moyenne annuelle de la région Oranie_Chott-Chergui est de 318 mm, soit un volume d'eau précipitée de 24 600 Millions de m³, alors que les écoulements annuels en eau de surface sont estimés à environ 971 Millions de m³ [12,13].

III-2_2. Le bassin hydrographique Chellif_Zahrez

Le bassin hydrographique Chellif_Zahrez couvre une superficie d'environ 56 227 Km². Il est limité à l'ouest par Oranie_Chott-Chergui, à l'Est par Algérois_Hodna_Sommam, au Nord par le bassin Méditerranéen et au Sud par le Sahara.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 418 mm, soit un volume d'eau précipitée de 23500 Millions de m³. Alors les écoulements superficiels annuels sont estimés à environ 1947 millions de m³ [12,13].

III-2_3. Le bassin hydrographique Algérois_Hodna_Sommam.

La région hydrographique Algérois_Hodna_Sommam couvre une superficie d'environ 47 908 Km². Elle est limitée par la région Chellif_Zahrez à l'Ouest et la région Constantinois_Seybousse_Mellègue à l'est, au nord par la mer Méditerranée et au Sud par le bassin de Sahara. La pluviométrie moyenne annuelle est de 442 mm, soit 21 200 Millions de m³ d'eau par an, alors que les écoulements annuels en eau de surface sont estimés à environ 4 303 Millions de m³ [14].

III_2_4. La région hydrographique Constantinois _ Seybousse_Mellègue.

Cette région couvre une superficie d'environ 440719 Km². Elle est située entre la région Algérois_Hodna_Sommam et la Tunisie, au Nord limitée par la mer Méditerranée et au Sud par le bassin de Sahara.

Cette région reçoit une pluviométrie annuelle de l'ordre 26 000 millions de m³ et un apport annuel moyen de 5595 Millions de m³ [14].

III-3. Potentialités en eaux de la Wilaya d'Alger.

La Wilaya d'Alger appartient au sous bassin de l'Algérois qui couvre une superficie de 12 463 Km² soit 26.28% de superficie totale du bassin Algérois-hodna-soummam [4].

La population dans le bassin de l'Algérois est de 6.331.128 habitants (année 98) répartie sur quatre wilayas en totalité (Alger, Blida, Boumerdes et Tizi Ouzou) et cinq wilayas en partie (Béjaia, Bouira, Médéa, Tipaza et Ain Defla) [4].

A ce stade, on ne peut pas parler des potentialités en eaux propres à la Wilaya d'Alger, mais des eaux souterraines en communs avec d'autres wilayas et aussi des eaux superficielles qui proviennent de la majeure partie en dehors de territoire de la wilaya qui fait l'objet de la présente étude.

III-3_1. Les eaux souterraines :

La région de l'Algérois est essentiellement alimentée par l'une des plus grandes plaines de l'Algérie de Nord, celle de la Mitidja. Quatre autres groupes d'aquifères de

moindre importance constituent l'essentiel des autres ressources en eau souterraine de la région, ce sont : [4-6]

- Massifs dunaires du Sahel ;
- Plaine de l'Oued Hachem ;
- Plaine alluviale du Bas Isser ;
- Zonnes fissurées.

III-3_1.1. Aquifère de la Mitidja :

La plaine de la Mitidja administrativement est répartie entre les Wilaya d'Alger, de Blida, de Tipasa et de Boumerdes [5].

Elle s'étend sur une superficie de 1450 Km² et orientée WSW_ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au Sud. Son altitude moyenne varie de 50 à 100 mètres. La pente dans la plaine tend vers zéros ce qui favorise l'infiltration là ou les conditions géologiques le permettent.

La plaine de Mitidja est traversée par plusieurs Oueds qui coulent généralement du Sud vers le Nord. Il s'agit principalement d'Ouest en Est de : [5]

- Oued Djer qui se trouve à l'Ouest du chef lieu de Daira d'EL Affroun et à l'extrémité Ouest de la Wilaya de Blida.
- Oued Bouroumi qui est situé à l'Est de la ville d'Al affroun.
- Oued Chiffa qui est localisé au bord de la ville du même nom et à l'extrémité Ouest de la ville de Blida.

Ces trois oueds forment en aval de la plaine l'Oued Mazafran qui se jette dans la mer Méditerranée [14].

- L'Oued El Harach qui se trouve à l'Ouest de la ville de Bougara qui se jette dans la mer après la traversée de la localité d'El Harach.
- L'Oued djamaa qui est situé à la périphérie Ouest de la ville de l'Arba et rejoint l'Oued El Harach près la ville de Bareki.



Schéma N2. Situation de la plaine de Mitidja [5].

Les Oueds mentionnés ci-dessus sont en grande partie en liaison hydraulique avec la nappe de la Mitidja puisque leurs eaux peuvent s’infiltrer ou inversement drainer la nappe. Ces cours sont généralement pérennes [4].

En outre, la plaine de Mitidja est répartie entre trois sous bassins versants (bassin versants des oueds Mazafran, El Harach et El Hamiz) qui appartient en totalité au grand bassin versant des côtiers Algérois. Par conséquent les exutoires des eaux superficielles qui traversent la plaine sont situés à l’aval de ces trois Oueds, en bordure de la mer méditerranée ou les eaux se jettent [5].

Le bassin est constitué de trois entités lithologiques bien distinctes dont deux formes des réservoirs aquifères :

- Alluvions d’âges quaternaire (réservoir supérieur).
- Grès et grès calcaire de l’Astien (réservoir inférieur),
- Marnes séparant les deux entités précédentes (couche imperméable).

Les formes alluvionnaires du quaternaire et les grès de l’Astien constituent deux nappes représentant le système aquifère de la Mitidja.

Aquifère alluvial : l’aquifère alluvial de la Mitidja est formé essentiellement d’une alternance de graviers et de galets avec des niveaux limono_ argileux, le tout reposant sur les marnes d’El Harache séparant cette forme, des grès de l’Astien sous jacent.

L’épaisseur de la nappe varie en moyenne de 150 m’El Harach, Hamiz) à 100 m (région de Mazafran). Elle diminue progressivement pour atteindre une épaisseur de 15 à 30 m ver le Sud. Cependant, dans certains endroits, particulièrement au centre de la plaine (région de Baraki), des épaisseurs de 200 m ont été relevées [5].

Aquifère de l'Astien : Séparé du remplissage alluvionnaire sous jacent par les marnes d'El Harach. Il déborde largement sous l'aquifère sous jacent en affleurant sur le borrelet du Sahel. Il s'étend sur la majeure partie du bassin, sans atteindre toutefois la mer.

Il débute par un niveau caractéristique à glauconie et se poursuit par de la molasse, des marnes jaunes, des formations à faciès gréseux et d'autres à faciès calcaire ou calcaire gréseux. [5]

L'épaisseur moyenne de l'Aquifère est comprise entre 100 et 300 m. l'aquifère de l'astien est atteint à partir de 250 à 300 m de profondeur. Très peu connu et très peu sollicité, il est capté essentiellement dans les zones où l'aquifère alluvionnaire est absent.

III-3_1_2. Massif du Sahel.

Ces deux aquifères sont situées en bordure nord du Sahel. Le plus important est situé entre Bernard et Ain Benian (Sahel Est), le second, plus modeste, affleure entre Ain Taya et Boudouaou (Sahel Ouest). L'ensemble des affleurements, constituant ces aquifères, représente une superficie de 150 Km². leur nature lithologique est constituée par des sables dunaires fins, légèrement argileux par endroit, souvent cimentés à la base avec un grès calcaire formant de petites corniches. L'ensemble de la formation qui ne dépasse pas 30 m d'épaisseur repose sur un substratum imperméable constitué par les marnes du plais ancien [5].

Plusieurs petites nappes libres, alimentées uniquement par les eaux de pluie, sont captées par des ouvrages (10 à 50 m³/h) ou bien leurs eaux s'écoulent naturellement vers la mer. Ces aquifères, topographiquement très superficiels, sont exposés à la pollution et, en été, au tarissement. Leurs ressources potentielles sont estimées à 30 millions de m³ par an.

Le tableau suivant illustre les potentialités des deux aquifères qui alimentent Alger.

Tableau I_4 Les potentialités en eau souterraines

Aquifère	Potentialités million m ³ /an
Plaine de la Mitidja	328
Massifs du Sahel	30
Total	358

III-3-3. Les potentialités en eaux superficielles.

La wilaya d'Alger, la ville possède la plus grande densité, estimée 3.337 habitants par Km². Par contre, cette importante agglomération ne contient aucun barrage sur son territoire. L'alimentation en eaux à partir des ressources superficielles se fait à l'aide des conduites de transferts, [4].

Actuellement, la ville d'Alger est alimentée à partir de deux grandes conduites : [3]

- A partir de la conduite SAA (sécurité d'alimentation d'Alger). Le système SAA (capacité : 150 000 m³ /j) c'est une connexion entre les barrages Boukourdène et Bouroumi
- A partir du barrage Kaddara.

Les barrages en exploitations :

On cite 05 barrages et/ou qui seront opérationnels, qui totalisent une capacité globale de 658 millions de m³.

Les apports de deux barrages sont renforcés par des dérivations D'oueds :

- Le barrage de Boukourdène renforcé par la dérivation de Oued Nador.
- Le barrage de Bouroumi est renforcé par trois dérivations : celle de Harbil, de Chifa et de Djer.

Barrage de Bouroumi : le barrage de Bouroumi, dont la capacité est de 188 millions de m³, se trouve à 8 Km environ à l'Est de Bou Medfâa et à 15 Km au sud d'El Affroun. Il est situé sur l'Oued du même nom et contrôle un bassin versant de 150 Km². En plus de ses apports propres, le barrage reçoit les eaux qui dérivent à partir du barrage de Harbil, de Chiffa et de Djer. Ce barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de la Mitidja ouest et, à l'alimentation en eau potable, [15].

- **Barrage de Boukourdène :** le barrage de Boukourdène est situé sur l'oued El Hachem, à environ 1.3 Km au sud du village de Sidi Ammar dans la Wilaya de Tipaza. Son bassin versant est de 158 Km² est sa capacité de 102 Millions de m³. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de Tipaza, et Alger à partir du système SAA. Et aussi pour l'Irrigation de la vallée de l'Oued El Hachem et des régions de Hadjout et du sahel Algérois [16].

- **Barrage du Hamiz :** Il est situé sur l'Oued Arbaâtache, à un bassin versant de 139 Km² et une capacité de 21 millions m³. Il est situé à 6 Km de Khemis El khechna dans la wilaya de Boumerdes. Il est construit entre 1869 et 1879, puis consolidé et surélevé de 7 m en 1933. Il est destiné à l'irrigation du périmètre de la Mitidja Est. Depuis 1987, il est dérivé par une galerie ses eaux excédentaires vers le barrage de Keddara.
- **Barrage de Keddara :** le barrage du Keddara est situé dans la Wilaya de Boumerdes à 8 Km au Sud de Boudouaou et à 50 Km à l'Est d'Alger. D'une capacité de 145 millions m³, il mobilise, en plus de ses apports propres, les eaux dérivées du barrage du Hamiz ainsi que celles transférées à partir du barrage de Beni Amrane. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de l'agglomération Algéroise. Le barrage a été mis en service en 1987 [16].
- **Le barrage de Teksebt :** ce barrage, mis en eau en 2001, est situé sur l'Oued Aissi à 8 Km à l'amont du chef-lieu de la Wilaya de Tizi Ouzou. Sa capacité est de 170 millions m³. l'apport annuel moyen de l'Oued au niveau du barrage à été estimé à 202 millions m³ pour une superficie de 446 Km². cet important ouvrage est destiné à l'alimentation en eau potable du couloir Tizi Ouzou –Boumerdes-Alger [16].

III-3_ 4. Les eaux non conventionnelles :

L'accroissement rapide de la demande en eau dans le secteur de l'irrigation, l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à recourir aux dessalement et la réutilisation des eaux usées épurées, [17].

III-3_4_1 : Traitement des eaux usées :

Le nombre de stations d'épuration des eaux usées dans la Wilaya d'Alger est de (06). Il s'agit :

- Baraki capacité 900 000 eq/hab/j. remise en service, en 2008
- Réghaia capacité 400000 eq/hab/j. fonctionne avec le traitement mécanique.
- Staoueli capacité 15000 eq/hab/j. fonctionne après réhabilitation.
- Zeralda capacité : 5000 eq/hab/j. elle est en service.
- Beni Massouss : 250 000 eq/hab/j en cours d'achèvement.
- Moritti de capacité 5000 eq/hab/j. elle est en service.

Ces stations totalisent une capacité de traitement estimée à 1475000 équivalent habitant, [18].

Le volume d'eau épuré/ou qui sera épuré par ces stations est estimé à 294000 m³/j.

III-3_4_2. Le dessalement de l'eau de mer.

Après la sévère sécheresse qui a frappé la région centre du pays en 2001, un programme d'urgence de réalisation des unités de dessalement d'eau de mer a été lancé, dont trois petites stations qui totalisent une capacité de 12500m³/j et, une grande station, celle de l'Hamma d'une capacité de 200000 m³/j, mise en service en 2008. Ces stations produisent 212500 m³/j. Pour servir 1416640 habitants [3].

Tableau I_5. Les capacités des stations de dessalement.

localisation	Type	Capacité m ³ /j	Population à servir
Hamma	Grande	200000	1333320
Champ de tir	Petite station	5000	33330
Palm Beach	Petite station	2500	16660
La Fontaine	Petite station	5000	33330.

IV. Evaluation des prélèvements :

En Algérie la consommation d'eau pour usage divers est estimée en 2000 à 6,074 Millions de m³, dont 3,938 Milliards de m³ destinés à l'irrigation (65%), 1,335 Milliards aux usages domestiques (22%) et 801 millions de m³ à l'industrie (13%).

Les prélèvements en eau pour la Wilaya d'Alger se fait à partir des eaux souterraines, superficielles et a partir des unités de dessalement, [18].

IV -1. Evaluation des prélèvements en eau souterraine

Dans la Wilaya d'Alger, les ressources en eaux souterraines sont soumises à l'accroissement rapide de la demande dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins en eaux potables de la population.

IV - 1_1 Evaluation des prélèvements en eau a usage domestique :

Pour l'alimentation en eau potable, la nappe de Mitidja fournit environ 166 Millions de m³ par an dont 62% pour la Wilaya d'Alger. L'adduction en eau potable se fait par les champs de captage suivant : Mazafran 1et 2, Baraki, Haouch Flit, haouch Ben Abbas, Trois cave et Dar El Beida, [19].

Dans la Wilaya d'Alger, comme dans le reste du pays, l'alimentation en eau potable est assurée de façon discontinue depuis de longues années, [3]. (D'après le ministère des ressources en en eau, sur les 57 communes de la Wilaya, aucune commune n'est dotée d'un service H24. Le service est assuré quotidiennement dans 3 communes et un jour sur deux dans 12 communes, [19].

La dotation en eau domestique de la Wilaya d'Alger est illustrée dans la carte suivante

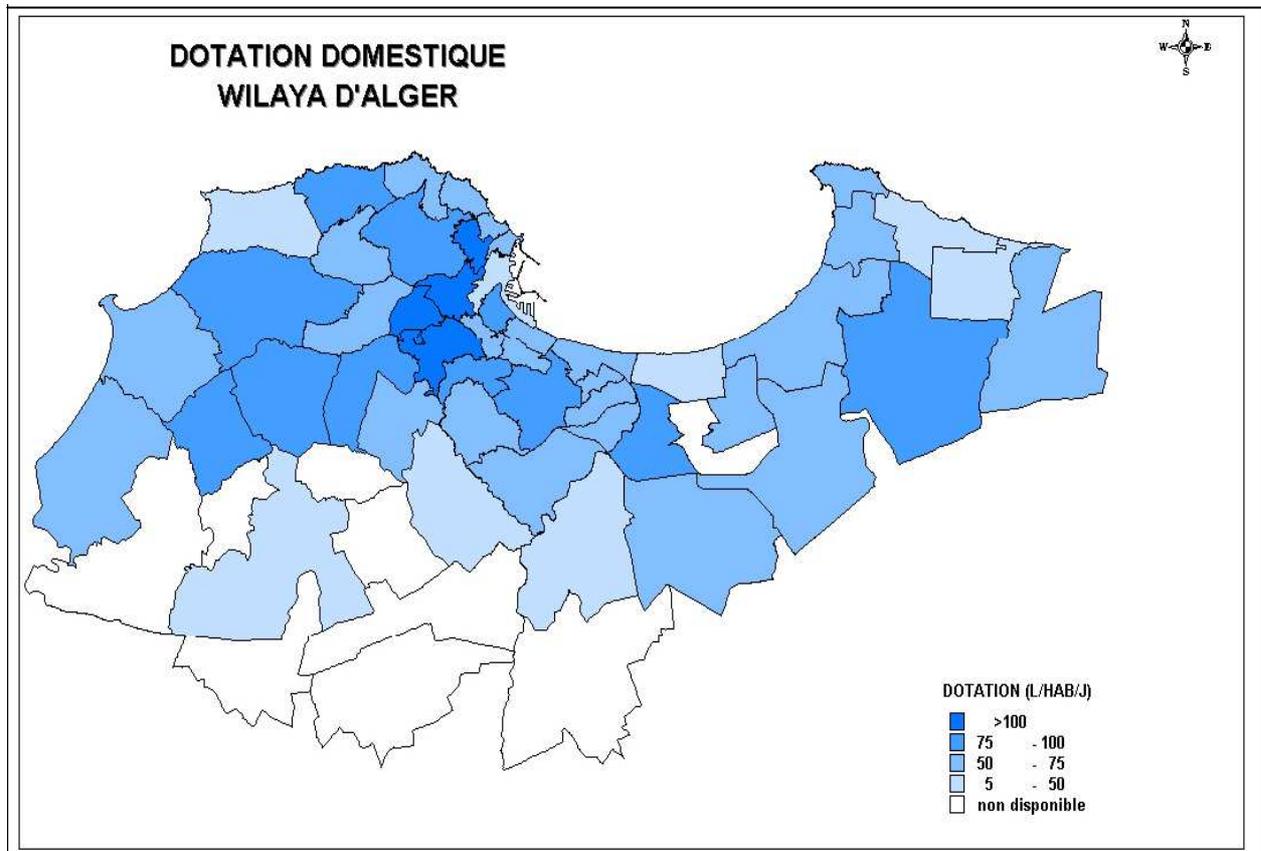


Schéma N°3 : Dotations domestique en eau de la Wilaya d'Alger, [3]

Selon le plan national de l'eau (PNE 97), nous établirons les besoins journaliers de la Wilaya d'Alger pour différents horizons : [20]

Tableau I_6. Les dotations en l/hab/j pour différents horizons.

Horizon	Population	Dotation l/hab/j	Dotation millions m ³ an
1995	1883425	160	110
2000	1985425	170	123,19
2010	2128425	185	143,72
2020	2203425	205	167.9

L'évolution des prélèvements des trois dernières années à partir des champs captant est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau I_7. La production annuelle en eau pour Alger [21-23]

	Année 2003	Année 2004	Année 2005
Débit de production million m ³ /j	0,238788	0,261078	0,268271
production en million m ³ /an	0,87157609	0,87461023	0,97918757

D'après ce tableau nous pouvons dire que la demande en eau est en nette progression, de 2003 à 2005 (deux années seulement). La différence des volumes prélevés est de 10,82 millions m³

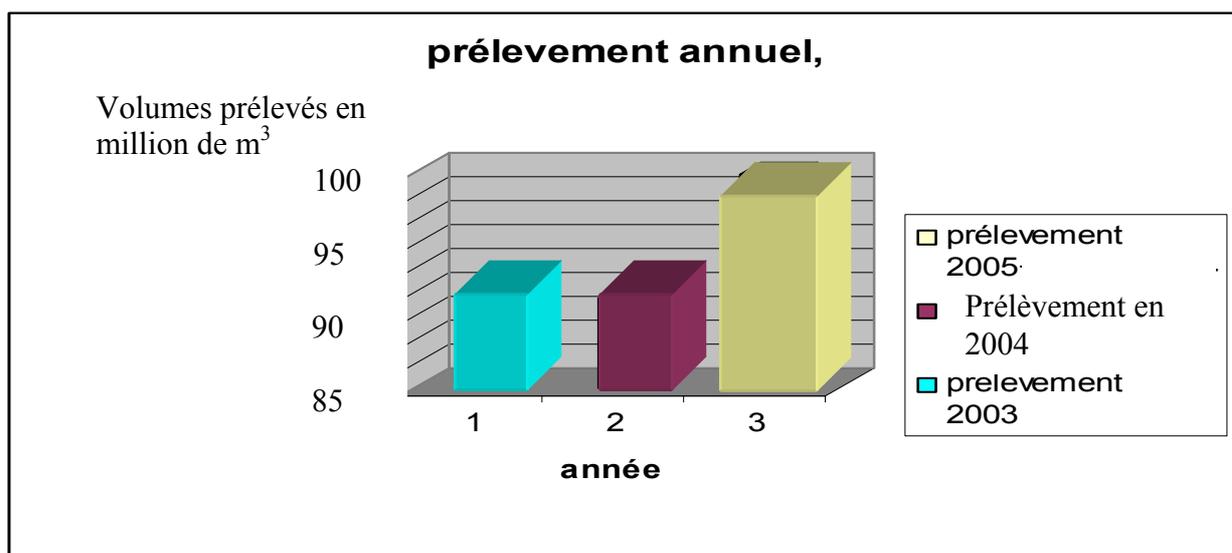


Figure N°1 : prélèvement annuel en eau.

IV - 1_2. Les eaux souterraines prélevées pour l'irrigation.

Au niveau des exploitations agricoles, l'irrigation se fait d'une manière autonome et pour la plupart à partir des eaux souterraines et dénommée petite et moyenne hydraulique (PMH), [3]. Selon l'office national des périmètres irrigués, la Wilaya d'Alger possède une superficie agricole utile de 35 726 hectares, dont 12 583 hectares sont irrigués :

- 9 128 hectares sont irrigués à partir de 1570 forages.
- 3423 hectares irrigués à partir de 1391 puits.
- 32 hectares irrigués à partir de 7 sources.

La quantité d'eau estimée par hectare et par an en temps normal est de 5000m^3 , mais cette estimation est loin d'être réelle, à cause du système d'irrigation utilisé d'une part et la longue période de sécheresse qu'a vécue le Nord de l'Algérie ces dernières années. L'irrigation de ces périmètres se fait par trois modes : [3].

- Gravitaire c'est le mode d'irrigation le plus utilisé 94% pour la Wilaya d'Alger, la superficie irriguée par ce mode est de 11 799 hectares.
- Le mode aspersion : la superficie irriguée par ce système est de 448 hectares.
- Goutte à goutte : c'est un mode économique malheureusement la surface irriguée par ce mode n'est que 336 hectares.

Cependant, le volume total prélevé pour l'irrigation des petits périmètres est $62,915\text{m}^3$ par an, [3].

IV -4-1_3. Les eaux souterraines prélevées pour l'industrie.

La Wilaya d'Alger possède une importante base industrielle, malheureusement les autorités ne possèdent pas des données sur l'alimentation de ces unités industrielles. Cette situation peut être justifiée par la majorité des usines ont leurs propres forages et ces derniers échappent de tout contrôle de l'Etat. Si on réfère aux données ADE, on trouve que le volume facturé n'est que 1.7 Millions de m^3 et, on note que la demande des unités industrielles est estimée par le Ministère des Ressources en Eau (DAEP) à 51 Millions de m^3 , [3].

IV_4_2 Evaluation des prélèvements à partir des eaux de surface.

Les barrages sont des ouvrages de stockage d'eau sont utilisés dans notre pays pour alimenter la population, l'irrigation des terres agricoles et de degré moindre pour l'approvisionnement des industries, [12].

IV-4_2_1. Evaluation des prélèvements d'eau potable à partir des barrages.

La Wilaya d'Alger bénéficie d'un appoint d'eau de surface. Ce volume est fourni par :

- Le barrage de Keddara.

- L'interconnexion d'Alger appelée SAA. Ce système a porté sur l'amenée de 150000 m³/j, [16].

Les volumes fournis par le barrage de Keddara et l'interconnexion SAA sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau I-8. L'évolution des prélèvements en eau de surface. [22-24]

mois	Production année 2003		Production année 2004		Production année 2005	
	Boudoouaou	SAA	Boudoouaou	SAA	Boudoouaou	SAA
Janvier	762631	1955869	8402515	1112528	9916	1062657
Février	3892200	0	8066197	1462481	9087202	885049
Mars	3443511	615151	7553967	187377	10421751	967804
Avril	9099600	914099	10287000	1851249	10118984	760855
Mai	8771852	2896988	11773530	1246774	9717515	950411
Juin	9090938	2663990	11052247	1327712	10770524	803839
Juillet	96779857	2663990	12607084	727345	11223008	934177
Aoûts	9857147	2154617	11591773	1158263	10507863	989138
Sep	9836163	1412157	11507801	969168	9928859	669685
Octobre	10179369	925254	12484563	997268	9507563	1105693
Novembre	9442255	690276	11244361	1077265	8723470	1097863
Décembre					9076489	706596
Total	84056651	16892391	116571038	13803830	118999265	10933767
Total eau de surface millions m ³	100,949		130,37		129,93	

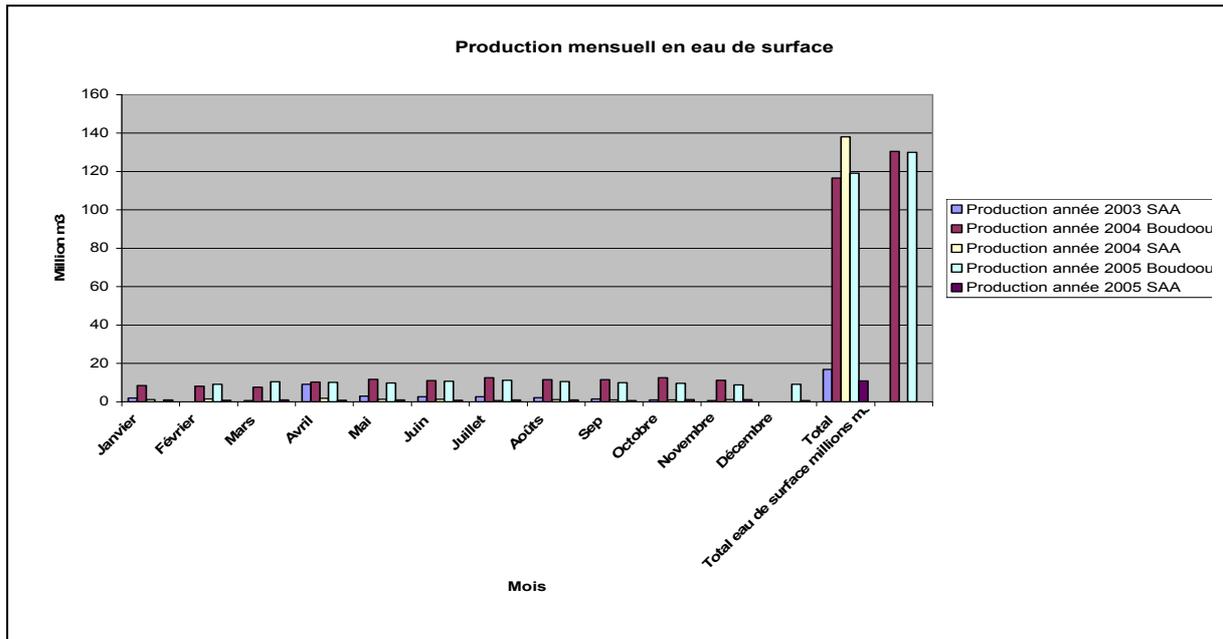


Figure 2 Evaluation des prélèvements mensuels en eau.

IV -4-2- Evaluation des prélèvements d'eau de surface pour l'irrigation.

Le plus important périmètre irrigué est celui de Hamiz, qui occupe une superficie équipée de 17000 hectares, dont la superficie irriguée n'est que 11000 hectares. Après la sécheresse qui a touché la région Nord de l'Algérie, et en particulier le centre et l'Ouest. La superficie réellement irriguée a été de ce fait, fortement réduite (12 397 Ha en 1983 à 2396 Ha en 1996). Cependant, la superficie irriguée en 2005 est 2520 Ha, le volume alloué à partir du barrage Hamiz est estimé à 10 millions de m³. Selon l'Office National des Périmètres Irrigués (ONPI). La dotation par Hectare et par an est entre 2740 et 6243 m³, [3].

Enfin, on peut estimer le volume prélevé à partir des barrages pour différents usagers pour l'année 2005 à 139.958 Millions de m³.

IV -4_3 Evaluations de l'alimentation en eau potable à partir des stations de dessalement d'eau de mer.

L'alimentation en eau potable à partir de dessalement de l'eau de mer a commencée qu'en 2004. Le tableau ci après illustre les prélèvements mensuels pour les deux années (2004 et 2005), [22,23].

Tableau I_9. Production d'eau potable à partir des stations de dessalement pour la Wilaya d'Alger, [22,23].

	Eau dessalée année 2004	Eau dessalée année 2005
Janvier	182995	215873
Février	178031	197363
Mars	152212	324547
Avril	18355	308948
Mai	228961	329272
Juin	264418	301511
Juillet	310456	333671
Août	310629	371792
Septembre	289394	326697
Octobre	333123	346266
Novembre	311515	348642
Décembre		333726
Total eaux dessalées m ³	2746289	3738303

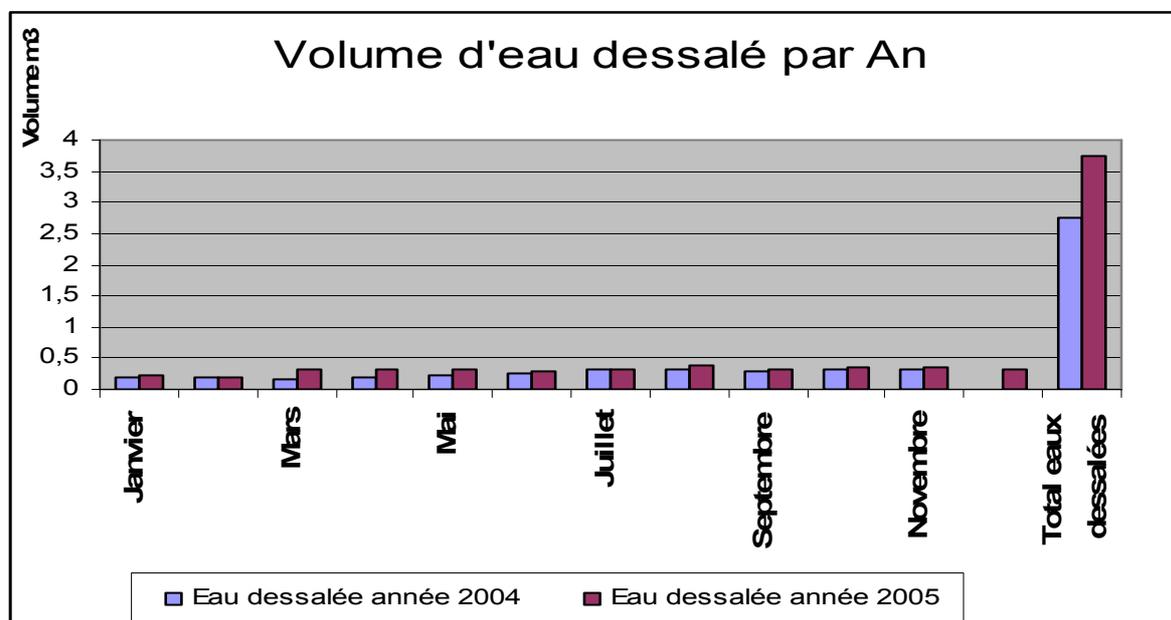


Figure 3 Evaluation du volume d'eau dessalé.

A la fin on note que le volume total prélevé par la Wilaya d'Alger pour l'AEP et l'Agriculture pour l'année 2005 est estimé comme suit : [23]

- Pour l'AEP : 231,59 millions m³.
- Pour l'irrigation : 75 millions de m³.
- Pour l'Industrie : 51 millions de m³.

Donc le volume total prélevé par la Wilaya d'Alger est de 357.6 Millions de m³ pour l'année 2005. Ces informations doivent toutefois être prise avec précaution dans la mesure où il n'y pas eu d'enquête réelle sur le terrain, qui détermine avec exactitude la consommation à partir des forages autonomes exploités par l'industrie, l'agriculture et la dotation domestique.

V PROBLEMES AFFECTANT LES RESSOURCES EN EAU ALIMENTANT LA WILAYA D'ALGER.

V-I Introduction

Pendant les dernières années, une grande partie de l'opinion publique a été sensibilisée à une situation d'insuffisance d'eau qui intéresse en particulier la région centre du pays. L'alerte a été déclarée à la suite des récents événements météorologiques qui ont provoqué une sensible réduction des apports hydrologiques en particulier dans la wilaya d'Alger.

Cette circonstance s'est insérée, malheureusement, dans un système déjà amplement compromis par une utilisation non appropriée des ressources en eau. Des agglomérations se sont donc trouvées dans des graves conductions de carence d'eau, à cause de leur vulnérabilité. Pour celles-ci en effet, la diminution contingente des ressources est allée s'ajouter à une situation préexistante de baisse de qualité par rapport aux utilisations, entraînant ainsi des problèmes d'approvisionnement pour les différents usagers, [18].

V-2 les problèmes des eaux usées.

Le bassin hydrographique de l'Algérois se trouve dans un état de dégradation avancé, dont les eaux usées d'origines urbaines et industrielles sont déversées directement dans les Oueds sans aucun traitement préalable, [3].

Le débit d'eaux usées urbaines rejeté quotidiennement à travers la Wilaya d'Alger est estimé entre 400 000 et 450 000 m³/j, avec un taux de raccordement vers le réseau d'assainissement de 95%, s'ajoute à ça, le tissu industriel implanté dans cette Wilaya qui a connu un développement remarquable tant dans sa diversité que dans sa capacité.

V-2-1 bassin versant de Oued El Harrach :

Le bassin versant de l'Oued El Harrach est caractérisé par une activité industrielle très importante. De ce fait, l'Oued El Harrach reçoit les eaux usées provenant des unités localisées principalement dans : [2]

- La zone industrielle de Oued Smar, qui compte pas moins de 228 unités industrielles.
- La zone industrielle d'El Harrach : compte 47 unités industrielles.
- La zone industrielle de Gué de Constantine, compte 32 unités industrielles.

Les eaux usées provenant de ces unités sont chargées de multiples polluants, puisque aucune n'est dotée d'une station d'épuration.

Les eaux usées rejetées dans l'Oued El Harrach sont estimées à 23.4 millions m³ par an, [2].

V-2-2. Le bassin versant de Oued Réghaia :

Oued Réghaia fait transiter tous les effluents provenant des zones industrielles de Rouiba et de Réghaia. Ces effluents aboutissent au lac de Réghaia et sont les principales sources de pollution. Cet Oued reçoit annuellement un volume d'eau usée estimé à 12.6 millions m³ par an, [8, 9].

V-2-3. Le bassin versant de Oued Beni Messous. Ce bassin reçoit principalement les eaux usées des unités industrielles implantées ; notamment dans la zone d'activité de Cheraga. La majorité des activités industrielles existantes appartiennent aux secteurs agro-alimentaires. Ces unités ne sont pas dotées d'un système de prétraitement, [2].

V-2-4. Le bassin versant du Mazafran.

Situé à 40 Km à l'Ouest d'Alger, constitue l'unité majeure du bassin versant côté Algérois, somme de tous les rejets naturels ou anthropiques. La présence relative en abondance de phosphates et nitrates permet le développement d'une flore importante. Si les apports hydriques ne sont pas suffisants, se produit une phase d'eutrophisation, qui provoque la mort d'un grand nombre d'organisme faunistiques. Ce phénomène se produit régulièrement à la saison sèche, [25].

La pollution au sein du bassin versant du Mazafran est due essentiellement à la contamination des eaux des Oueds Chiffa, El Kebir, Bouroumi et Mazafran.

Les conséquences d'une telle pollution ont pour origine [26] :

- Les exploitations agricoles modernes utilisant massivement des engrais chimiques, ainsi que des produits phytosanitaires.
- Les décharges brutes et sauvages.

- La pollution des eaux est à 60% d'origine industrielle.
- Les stations d'épuration existantes sont à l'arrêt.

Afin de donner une approche globale sur le volume d'eau usée rejeté par bassin versant nous présentons le tableau suivant :

Tableau I-10. Les eaux usées rejetées par bassin versant.

bassins	Eaux usées millions m ³ /an
El Harrach	23.4
Mazafran	19.9
Côtiers Ouest	4.5
Côtiers Centre	35.5
Côtiers Est	12.6

Il y a lieu d'ajouter que les rejets d'eau usées des zones industrielles de Blida, Beni Tamou et Meftah sont pris en compte dans le volume rejeté dans le bassin versant de Mazafran, [3].

La charge polluante qui correspondre à : $MES + (DBO5 + 2DCO)/3$ est donnée, pour les différents bassins, dans le tableau ci-après (en tonnes par an).

Tableau I-11. La charge polluante rejetée pour la Wilaya d'Alger.

Bassins	DBO5 tonne	DCO tonne	MES tonne	Charge polluante Tonne
El Harrach	29968	34761	52143	85306,3333
Mazafran	16132	19358	29038	47320,6667
Côtiers Est	9984	11980	17971	29285,6667
Côtiers Centre	23860	28632	41045	68086,3333
Côtiers Ouest	2940	3528	5293	8625
Total	82884	98259	145490	238624

V-3 Les problèmes affectant les eaux souterraines

L'inadéquation entre les besoins et la disponibilité de la ressource a induit ces dernières années une surexploitation de l'aquifère de la Mitidja. Il s'ajoute à ça les risques de la pollution par les eaux usées urbaines, industrielles et aussi par les activités agricoles.

V-3_1. Les problèmes liés à la qualité

V-3-1-1 Qualité des eaux de la nappe alluviale du Quaternaire

L'aspect qualitatif de la nappe alluviale du Quaternaire portera sur l'interprétation des résultats d'analyses des deux campagnes de prélèvement effectuées par l'ANRH (DRC) comme indiqué dans le tableau ci-dessous

Tableau I-12 Campagnes de suivi de la qualité des eaux de la nappe de la Mitidja

Années	Périodes		Nombre de points d'eau	Lieux
	Hautes eaux	Basses eaux		
2002	Mai	Octobre	10	Partie Ouest de la Mitidja
2003	Mai	Septembre	15	Partie Est de la Mitidja

Etat de pollution de la nappe de la Mitidja :

Durant ces deux dernières décennies, les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja, ont connue quatre (04) types de pollution, à savoir : [3,27]

- Pollution par les Nitrates,
- Pollution par les métaux lourds (Fer, Manganèse, Cadmium, etc...), au niveau de la zone industrielle de l'oued Smar,
- Pollution par les eaux marines dans la Mitidja Orientale,
- Pollution accidentelle par les hydrocarbures.

a) Pollution par les nitrates

La répartition spatiale des nitrates dans les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja se présente comme suit :

Tableau 13. La pollution en nitrate de la nappe de Mitidja, [27].

	1985-1991	1997-2000
Mitidja Ouest	5 à 100mg/l	51 à 125 mg/l
Mitidja Est	8 a 287 mg/l	65 à 190

Les valeur réparties ci-dessus dépend du la période de prélèvement basse eau et haute eau, [27].

b) Pollution par les métaux lourds

La pollution des eaux souterraines par les métaux lourds (Fer, Manganèse, Cadmium) dans la nappe de la Mitidja s'est rencontrée essentiellement au niveau de la zone industrielle de Oued Smar. Cette pollution touche la partie la plus superficielle de la nappe alluviale, atteignant parfois 65 m de profondeur, [3].

c) Pollution par les eaux salées (intrusion marine)

L'intrusion de l'eau de mer dans les aquifères côtiers a été étudiée par Ghyben et Herzberg [41] à la fin du XIX^e siècle. L'eau de mer, plus dense que l'eau douce, entre naturellement dans les aquifères côtiers jusqu'à une certaine profondeur Z , qui est en fonction de la charge de l'eau douce sus-jacente, [42].

Sur le pourtour méditerranéen, les aquifères constituent une ressource en eau souterraine stratégique et parfois unique [38, 39]. Leur utilisation est cependant souvent limitée par une contamination saline, dont il est difficile, voir impossible, de s'affranchir, et dont les mécanismes restent encore mal connus, [40].

Le front salé ne cesse d'avancer dans le continent depuis 1973. Les eaux souterraines de la zone côtière entre El Mohamadia et Bordj El Bahri sont affectées par une intrusion d'eau de mer.

Actuellement, nous rencontrons des eaux salées à environ 2kms de la mer ($RS = 4500$ mg/l) et les niveaux piézométriques ont atteint au champ de captage d'El Hamiz, (-14 m) au-dessous du niveau de la mer, ce qui a engendré le changement du sens de l'écoulement de la nappe (de la mer vers le continent), [29].

Qualité des eaux de la nappe Astien gréseux

Cette nappe ne fait pas l'objet d'un suivi qualitatif par l'ANRH. Deux (02) forages captent cette nappe (F16 Haouch Flit et F3 de Dergana) ont été mise à l'arrêt par cause de pollution (Analyses faites par l'ADE Agence Régionale d'Alger), [27].

V_3_2 Problèmes liés aux rabattements des niveaux piézométriques

En l'absence des données exactes sur les prélèvements destinés à l'irrigation et à l'industrie, on estime que la nappe de la Mitidja est exploitée au maximum de ses potentialités, pour ne pas dire surexploités.

On peut relever que la dernière campagne de mesures effectuée par ANRH, en octobre 2002, à celle de septembre 2001, montre un abaissement général de la surface

piézométrique,. Les mesures ont été réalisées sur un réseau de 88 points, constitués de puits et forages, [27].

Le tableau suivant montre les rabattements dans les principaux champs de captage de la Mitidja

Tableau I-14. Rabattement des niveaux piézométriques de la nappe de Mitidja entre 09/2001 et 10/2002 dans les principaux champs de captage.

Champs de captage	Rabattement en m
Hamiz	5
Mazafran I	4
Mazafran II	7
Blida I	5
Blida II	3
Boufarik	5
Larbâa	13
Chiffa	14

Cette baisse généralisée est expliquée par :

- La longue période de sécheresse, notamment celle de 2001 qui a conduit à la réalisation d'un programme spécial de 40 forages pour pallier la défaillance du barrage de Keddara, destiné à l'AEP ; [3].
- Le démarrage prématuré de l'irrigation par les exploitants agricoles pour faire face au déficit hydrique engendré par cette sécheresse exceptionnelle. [30]
- La prolifération des forages illicites, difficile à endiguer en raison de la faiblesse des structures de gestion et de contrôle [2].

En effet, d'après la fiche des situations des forages éditée le 31/12/2005 par le DHW d'Alger le nombre de forage mis à l'arrêt pour des raisons techniques, pollution, et autres raisons non indiqués, est 12 forages, cela a induit un déficit de production de 73656 m³/j, [31].

V-4. Problèmes affectant les ressources en eau des barrages

La rareté grandissante des ressources en eau qui résulte de la diminution des quantités et l'altération de la qualité de ressources disponibles, sans oublier que le développement de l'économie du pays est articulé sur l'accroissement de la ressource d'une part, et la mise en place d'une politique de protection de cette ressource d'autre part. Les principaux problèmes affectant les eaux de barrages sont :

- L'envasement des barrages ;
- L'évaporation ;
- Fuites dans les barrages ;
- Les problèmes qualitatifs.

V-4-1 La qualité des eaux de barrages en exploitation région centre

Le suivi de la qualité des eaux de l'ensemble des barrages Algériens se fait par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). A partir des bulletins de la qualité des eaux de barrages pour le premier semestre 2006, on extrait les caractéristiques des eaux de barrages qui alimentent la Wilaya d'Alger, [32-35]

Tableau I_15. Paramètres physicochimiques des barrages en exploitations. [32]

Takse	Boukourdane	Bouroumi	Ghrib	Keddara	Barrage
AEP-	AEP-IRR	AEP-IRR	AEP-IRR	AEP	Usage
166.78	53.314	29.795	30.917	127.625	Volume Hm ³
1					
8.00	8.10	7.80	7.50	7.94	pH
316	520	1150	2326	812	RS Mg/l
-	-	122.0	134.0	90.50	O ₂ d %
0	2.8	8	5	7.11	NO ₃ Mg/l
0.000	0.023	0.108	0.208	0.160	NO ₂ Mg/l
0.001	0.000	0.044	0.194	0.00	NH ₄ Mg/l
0.122	0.000	0.257	0.018	0.000	PO ₄ Mg/l
-	2.3	-	-	5.0	DBO ₅ Mg/l
10	9	9	46	12.5	DCO Mg/l
4.2	13.3	5.5	18.2	5.6	MO Mg/l

A partie de ces résultats nous pouvons dire que :

- Les eaux de l'ensemble des barrages présentent une bonne minéralisation à l'exception de celles de barrage de Ghrib qui présente une salinité élevée (résidu sec RS=2.326 g/l)
- Nitrates-Ammonium : les eaux des barrages Keddara, Ghrib, Bouroumi sont chargées en (NO_2 et/ou en NH_4), les teneurs élevées sont dues soit à l'oxydation de la matière organique azotée soit au mélange des eaux du fond et de surface.
- Les Phosphates : les teneurs des eaux en phosphate (PO_4), s'expliquent par les rapports externes ou du relargage par les eaux de fond des réservoirs de cet élément ; ces teneurs sont concentrées dans les barrages Bouroumi et Teksebt.
- Les Matières organiques : les eaux des barrages ghrib, Boukourdane présentent une pollution organique exprimée en (DBO_5 et/ou en DCO et MO). L'origine de cette pollution est due aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées.
- Oxygène : les barrages de Ghrib et Bouroumi présentent une sursaturation en oxygène qui est due peut être au prolifération accrue en algues.

A la fin nous pouvons dire que les eaux de nos barrages risquent d'être eutrophisées vue la présence des sels minéraux avec de tenures élevées, notamment les Nitrates et les Phosphates.

V_4_2. Les fuites dans les barrages

Quelque soit l'emplacement d'un barrage, il y'aura toujours des pertes d'eau, non pas à travers le corps de l'ouvrage, mais à travers les berges et les fondations. En raison de la forte poussée hydrostatique exercée par l'eau du lac sur le fond et les berges d'un barrage, un volume d'eau s'infiltré et s'évacue. Le problème est beaucoup plus grave qu'on imagine, puisque dans la circulation des eaux dans les failles de la roche dont la section mouillée augmentera dans le temps qui engendrera l'érosion de la roche et avec le temps c'est le glissement au niveau des berges et l'ouvrage sera en danger.

On note que, en Algérie le volume total des fuites enregistrées durant la période 1992-2002 avoisinent les 350 Millions de m^3 .

L'histogramme suivant représente le volume perdu dans les fuites pour l'ensemble des barrages qui alimentent Alger.

EVALUTION DES FUITES DANS LES BARRAGES

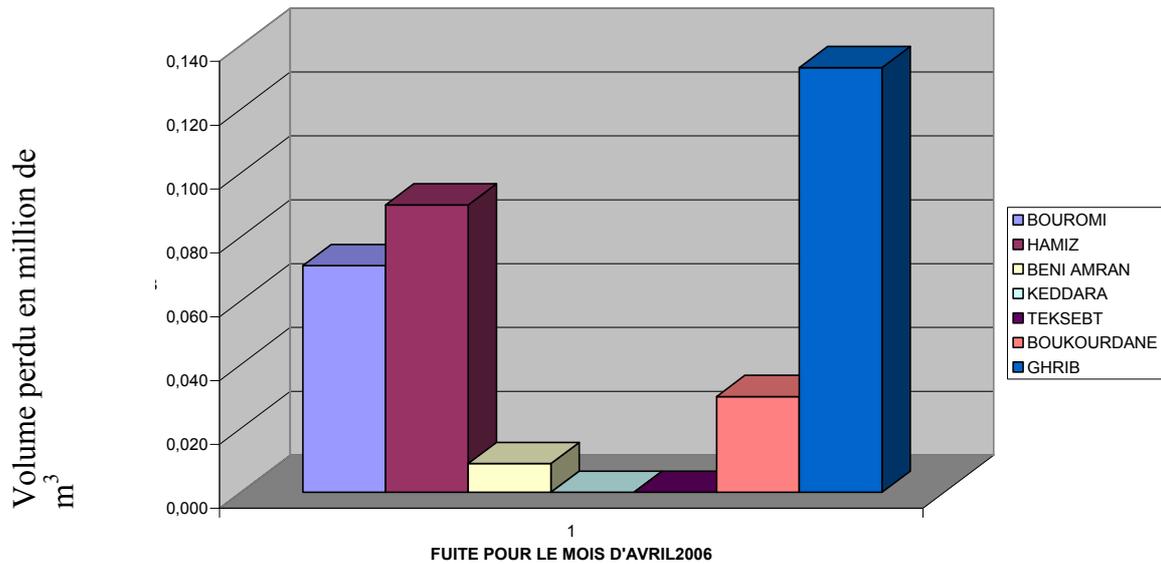


Figure I-4 : Evaluation des fuites dans les barrages qui alimentent Alger

Le tableau ci-après présente les volumes perdus dans les fuites par les barrages qui alimentent Alger.

Tableau I-16. Le volume perdu par mois et par barrage.

Volume perdu par fuite millions m ³	Novembre 2005	Décembre 2005	Janvier 2006	Février 2006	Mars 2006	Avril 2006
Ghrif	0.158	0.150	0.144	0.144	0.145	0.133
Bouroumi	0.035	0.032	0.031	0.028	0.031	0.071
Hamiz	0.000	0	0	0.012	0.093	0.09
Beni Amran	0.011	0.100	0.009	0.008	0.010	0.009
Keddara	0.000	0	0	0	0	0
Teksebt	0.000	0	0	0	0	0
Boukourdane	0.030	0.031	0.031	0.028	0.031	0.030
Total	0.234	0.313	0.215	0.292	0.310	0.333

V_4_3. Evaporation des Barrages

L'évaporation des plans d'eau est conditionnée par les températures de l'eau de l'air, par le degré d'humidité de l'air en contact avec la surface de l'eau, et par la turbulence de l'air, donc par le vent.

En Algérie, la hauteur d'eau évaporée annuellement par une surface d'eau libre est presque toujours supérieure à la quantité de pluie tombée sur la même surface. 0.94 M en moyenne à Alger.

Le tableau ci-après présente les volumes perdus par évaporation pour l'ensemble des barrages qui alimente Alger

Tableau I 17. Volume perdu mensuel des barrages qui alimentent Alger.

Volume évaporé Hm³	Novembre 2005	Décembre 2005	Janvier 2006	Février 2006	Mars 2006	Avril 2006
Bouroumi	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hamiz	0.036	0.031	0.038	0.051	0	0.135
Beni Amran	0.067	0.031	0.030	0.062	0.087	0.080
Keddara	0.269	0.192	0.217	0.200	0.368	0.563
Teksebt	0.141	0.076	0.073	0.104	0.292	0.413
Boukourdane	0.128	0.099	0.111	0.123	0.335	0.352
Total	0.739	0.488	0.631	0.653	1.007	2.09

ND : Non disponible

V_4_4. L'envasement des barrages

En Algérie, l'envasement des 50 barrages en exploitations est estimé à un taux de 20 Millions de m³ de matières solide pour l'années 2000. Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants, favorisé par la nature des sols et l'absence de boisement.

Tableau I-18. Prédiction de l'envasement des barrages qui alimentent Alger pour l'année 2010.

	CAPACITE INITIALE HM3	CAPACITE ESTIMEE 2000 HM3	VOLUME VSE à 2000 HM3	ENVASEMENT MOYEN CALCULE HM3/AN	CAPACITE ESTIMEE 2010 HM3/AN	VOLUME VASE A 2010 HM3	TAUX ENVASEMENT %
BENI- AMRANE	16	6	10	0,833	0,0	16,0	100,0
HAMIZ	21	15,6	5,4	0,083	14,8	6,2	29,7
BOUKOU RDANE	97	96	1	0,125	94,8	2,3	2,3
KEDDAR A	145,6	143,8	1,8	0,120	142,6	3,0	2,1
TAKSEBT	175	175	0	0,265	172,4	2,7	1,5
BOUROU MI	188	182	6	0,400	178,0	10,0	5,3
GHRIB	280	145,2	134,8	2,210	123,1	156,9	56,0
Total	922,6	763,6	159	4,036	725,7	197,1	28.12

A partir de ce tableau nous pouvons dire que la capacité de nos barrages sera réduite à cause des forts débit solide qui reçoit chaque barrage, en citant, que à l'an 2010 le volume

envasé sera 197.1 millions m³. dont le barrage de Beni Amrane sera envasé a 100% et celle de Ghrib a 56 % pour le même horizon.

V-5. D'autres facteurs menassent la ressource en eau :

La spécificité et la dimension de la région d'Alger, rendent l'eau dans le centre de polémique, telle que cette précieuse ressource est menacée aussi par :

- La pression sur la ressource, engendrée par l'extension de plus en plus la demande de différents usagers ;
- La perte d'eau due à l'inadéquation de réseau de distribution, qui est de l'ordre de 40% du volume produit ;
- Une population non sensibilisée de la valeur de l'eau, et le méfie du gaspillage. Ça peut être le bas tarif de l'eau ;
- La fragilité des textes législatives, et la non application de la réglementation en vigueur.
- Les risques majeurs tels que : l'inondation, le glissement de terrain, le séisme et beaucoup altérée par la sécheresse qui sera exposée dans le prochain chapitre.

CHAPITRE II : « Etude de la sécheresse dans la wilaya d'Alger »

I- Introduction

Le mot « **sécheresse** » recèle une certaine ambiguïté selon qui l'on y associe le terme « météorologique », c'est-à-dire l'absence prolongée et inhabituelle de précipitations avec, comme corollaires, la siccité accentuée de l'air, l'élévation concomitante des températures et des rayonnements solaires ; ou, d'autre part, le terme « hydrologique », c'est-à-dire la raréfaction des écoulements, à différentes échelles de temps ; et on corollaire dans les deux cas, les conséquences des déficit hydrique sur les ressources en eau disponibles pour la vie agronomique et pastorale, et pour la vie urbaine, [44].

La sécheresse est la conséquence de la persistance d'un écart à la « normalité » hydro climatique, appréciée par des notions statistiques de fréquences d'apparition ou durée de retour, et l'intensité par la mesure du déficit hydrique, relativement pour une série de disciplines propres au cycle de l'eau : pluviométrie, hydrométrie, piézométrie... [45].

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, la sécheresse est définie comme étant « un déficit de pluviosité par rapport à une moyenne établie sur une longue durée, affectant de grandes surfaces pendant une ou plusieurs saisons ou années, et qui réduit notablement la production primaire des écosystèmes naturels et l'agriculture pluviale »[46].

De plus, la sécheresse est un phénomène complexe et mal compris. Elle affecte cumulativement l'être humain et son environnement [47, 48].

Du point de vue d'un Hydrologue, la sécheresse peut être considérée comme étant le facteur principal qui cause la réduction des approvisionnements en eau, y compris l'écoulement superficiel, ou/et les approvisionnements d'eaux souterraines [48, 49].

D'une manière générale, la sécheresse est une situation de déficit en eau suffisante pour avoir un effet inverse sur la végétation, les animaux et l'homme, dans une région donnée [50].

Certain Auteurs [51- 54], dans la définition des sécheresses multi années se sont basés sur une théorie, où un événement de sécheresse peut être considérés comme étant des déficits par rapport a un seuil indiquée et qui est caractérisé par trois composantes : une durée D, une sévérité S et une intensité magnétique M, tel que :

$$M = S/D .$$

Naturellement, le risque sécheresse peut affecter d'abord l'agriculture et l'élevage. Il peut avoir aussi des conséquences sur les consommations urbaines et industrielles dès lors que les ressources mobilisables pour ces consommations deviennent insuffisantes ou doivent être rationnées. La sécheresse conduit alors à une pénurie conjoncturelle, [44, 45].

Au-delà des difficultés sémantiques, il s'agit là d'un phénomène redoutable, peut être le plus grave dans les affrontements homme_nature, et désormais au premier rang des préoccupations en matière de risques, notamment en Méditerranée.

II Historique des sécheresses en Algérie :

Les travaux consacrés à la sécheresse sont nombreux en Algérie. Ces travaux se sont intéressés à la variabilité interannuelle des pluies, les effets et la sévérité de la sécheresse qui a caractérisé l'histoire de l'Algérie [55, 56].

De 1945 à 1947 l'Algérie a connu une terrible sécheresse dont aux confins du Sahara, ou il n'est même pas tombé les 80 ou 90 mm de pluie observée en temps normal. Dans le Sud Oranais, sur le territoire de Geri Ville, dans la région de Ain Sefra on a eu à déplorer, selon des sources officielles, environ 3000 morts de faim sur une population de 80000 habitants et 900000 moutons, soit 90% du cheptel ont péri. Vingt ans plus tard, au début de l'année 1966, on a constaté en Algérie que la pluviométrie la plus basse enregistrée depuis 1945, et cette sécheresse n'a permis, dans beaucoup de régions de pays ni des semailles normale, ni la germination convenable après les semailles [57].

Une étude sur l'évolution climatique de l'Algérie du Nord a été réalisée en 1994. Les auteurs se sont basé sur l'utilisation du paramètre précipitation, qui est reconnu comme étant le paramètre le plus représentatif et le plus caractéristique du phénomène de la sécheresse. Afin de mettre en évidence l'évolution temporelle des précipitations, des calculs statistiques ont été effectués sur un échantillon de 120 stations pluviométriques réparties sur le nord de l'Algérie. Cette étude a montrée l'existence des périodes sèches et des périodes humides entre 1922 et 1992 [58].

Dont il apparaît :

- Une période humide de 1922 à 1939 ;
- Une période sèche de 1939 à 1948 ;
- Une période humide de 1948 à 1972 ;
- Une période sécheresse accentuée de 1973 à 1992.

Les périodes sèches confirment l'accentuation des sécheresses des années 1910/1920 et celle de 1938/1948. Ces sécheresses se sont caractérisées par des famines, des incendies de forêt, des perturbations sociales importantes. Pour l'épisode 1973/1992, l'ampleur de déficit pluviométrique n'a pas manqué de réapparaître. Enregistrant un déficit pluviométrique qui s'est accentué de l'Est vers l'Ouest, passant de 17% à l'Est à 33% à l'Ouest, d'autre part, les effets

de cette sécheresse dévoile nettement leurs effets néfastes sur la ressource hydrique dont on a enregistré des diminutions importantes sur les écoulements et les apports aux barrages ; un abaissement des niveaux piézométriques des nappes, un assèchement des puits de faible profondeur et le tarissement des sources [58].

En effet, ces sécheresses vécues en Algérie ont touchées l'ensemble de l'Afrique du Nord et de l'Ouest [59].

En 2001, une étude similaire à celle citée ci-dessus confirme la tendance à la sécheresse pour la période 1975 à 1998, et les effets de cette sécheresse sont analogues aux effets de la sécheresse 1973/1992, dont l'ampleur de déficit pluviométrique est estimé à 20% à l'Ouest et 11% à l'Est [60].

En 2002, un événement météorologique, a traversé le pays et a donné naissance à une sécheresse accentuée, qui a touchée tout le territoire Algérien et a provoquée une pénurie d'eau surtout dans les grands centres urbains comme Alger et Oran, dont l'opinion publique s'est retrouvée face à des conditions sérieuses de carence d'eau [61].

III- Conséquences de la sécheresse

Les sécheresses hydrologiques affectent tous les secteurs économiques et peuvent altérer les systèmes, écologiques. Dans les zones où l'approvisionnement en eau est déjà rare, les sécheresses peuvent aggravées les conflits d'usage c'est-à-dire engendrent un déséquilibre entre les besoins économiques, humains et environnementaux [62,48].

Plusieurs chercheurs ont étudié les diverses manifestations de la sécheresse qui se traduisent par : [63, 64]

- Le déficit hydrique des sols avec dessèchement des litières sous forêt et, en périodes végétatives des cultures et des prairies: c'est la sécheresse agricole: [65]
- L'abaissement des niveaux piézométriques lié à un déficit de régénération des nappes, qui est par fois considérable; [66, 67]
- La diminution du débit des rivières avec une perte de vitesse d'écoulement d'où une décantation des matières en suspension, et une augmentation de la concentration des matières dissoutes; [45]
- L'augmentation du pouvoir évaporant en l'atmosphère qui agit sur la demande en eau donc sur le bilan hydrique; [45, 57]
- L'augmentation de la température de la masse d'eau, qui entraîne un accroissement de la végétation aquatique (prolifération des algues) et une diminution des teneurs en oxygène dissous d'autant plus important si la masse d'eau est polluée et, par conséquence l'accentuation de l'eutrophisation dans les systèmes de stockage d'eau.

Il faut aussi considérer que des conséquences graves sur l'alimentation des populations peut être déséquilibrée et c'est le résultat direct dû aux difficultés de traitement à cause de la forte pollution organique des eaux brutes [66, 57].

Les conséquent des sécheresses sur l'agriculture sont fatales. L'on sait d'ores et déjà que la sécheresse a eu des effets sur l'élevage et différentes récoltes. Bien entendu les cultures non irriguées sont les plus touchées.

Lahcene et al 2004, [68] ont étudié les conséquences écologiques de la sécheresse, dont ils ont estimés que ce phénomène à des conséquences directes sur les zones humides, d'où l'abaissement des niveaux des lacs et les débits des rivières, provoquant des crises écologiques plus ou moins aiguées. Baisse des courants et du taux d'oxygène, réchauffement et forte minéralisation des eaux, eutrophisation du milieu, avec possibilité de disparition d'espèces des eaux froides au profit d'espèces thermophiles [69, 70]. Les cours d'eau vont subir ainsi des pertes écologiques irréversibles de disparition considérable de leur valeur piscicole [45]. D'une manière indirecte la sécheresse a des effets sur le plan socio-économique; tel que le déclenchement des exodes ruraux qui manifestent pour le gonflement brutal des centres urbains provoquant ainsi un accroissement excessif d'eaux usées, et de la demande de l'eau potable et industrielle. Pendant ce temps, la demande en eau d'irrigation n'a pas cessait d'augmenter [71].

IV- Etude statistique de la sécheresse dans la région d'Alger

L'objet de cette étude est de confirmer la persistance du phénomène de la sécheresse dans la région d'Alger.

L'étude consiste à mettre en évidence la représentation graphique des indices normalisés des précipitations annuelles et mensuels d'une part et l'étude des variations annuelles des écarts des apports moyens annuels au apport moyen interannuel.

Les données de précipitations et les apports des Oueds sont fournis amiablement par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (**ANRH**), dont ces données concernent la station hydrométrique de **Beraki**.

IV-1 Méthodologie :

L'étude de la sécheresse à travers la région d'Alger, consiste à mettre en place une analyse chronologique des séries pluviométriques résumées par les apports de l'Oued El Harach exprimés par la variation temporelle de l'écart des apports moyens annuels au apport moyen interannuel et la hauteur des précipitations exprimées en indice normalisé des précipitations mensuelles et annuelles.

IV-2 Etude des écarts des débits (Apports) moyens annuels :

La méthode des écarts des apports consiste à mettre en relief les périodes durant lesquelles les apports de l'Oued sont significativement inférieurs par rapport à l'apport moyen annuel. Connaissant que les périodes humides ou sèches sont classées selon l'intervalle de l'écart des apports moyens annuels au apport moyen interannuel ($E_{\text{écart}} \%$) [72], tel que si:

- $E_{\text{écart}} \% > 60$ la période est considérée humide.
- $40 < E_{\text{écart}} \% < 60$ la période est moyennement normale.
- $E_{\text{écart}} \% < 40$ la période est sèche.

Pour le présent cas nous avons traité les données enregistrées pendant la période hydrométrique 1979 à 2003.

La figure II-1 illustre la représentation graphique de $E_{\text{écart}} \%$ pour la même période d'étude (1979/2003).

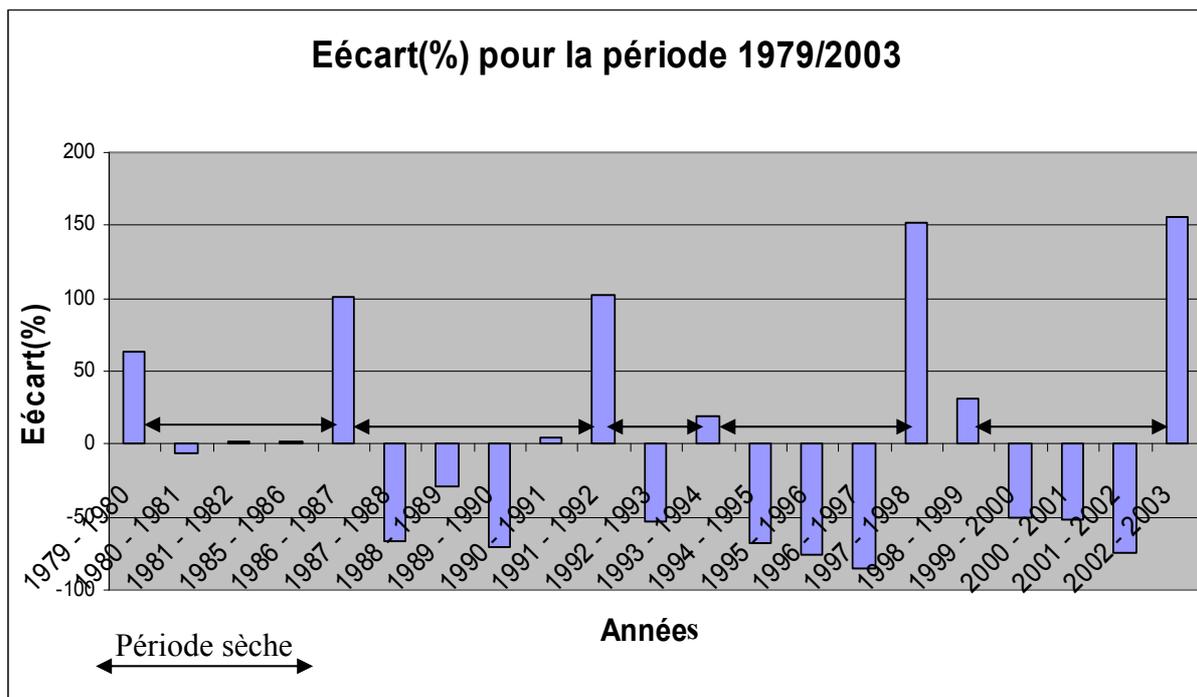


Figure II-1 : La variation annuelle de $E_{\text{écart}} \%$ pour la période 1979-2003 (Oued El Harach).

La figure II-1 montre que entre 1979 et 2003, l'existence de trois périodes sèches de plusieurs années successivement, où les apports annuels sont significativement inférieurs par rapport à l'apport moyen interannuel enregistré pour l'Oued El Harach pour la même période d'étude.

La longueur maximale de la période sèche est de cinq (05) ans, durant la période (1992 et 1996).

La Réapparitions des périodes sèches n'est pas synonyme d'une absence totale d'écoulement dans l'Oued, mais dans chaque cas l'effet sur l'écoulement est étroitement lié à la hauteur des précipitations [62]. La figure II-2 illustre les apports annuels de l'Oued El Harach pour la période 1979-2003.

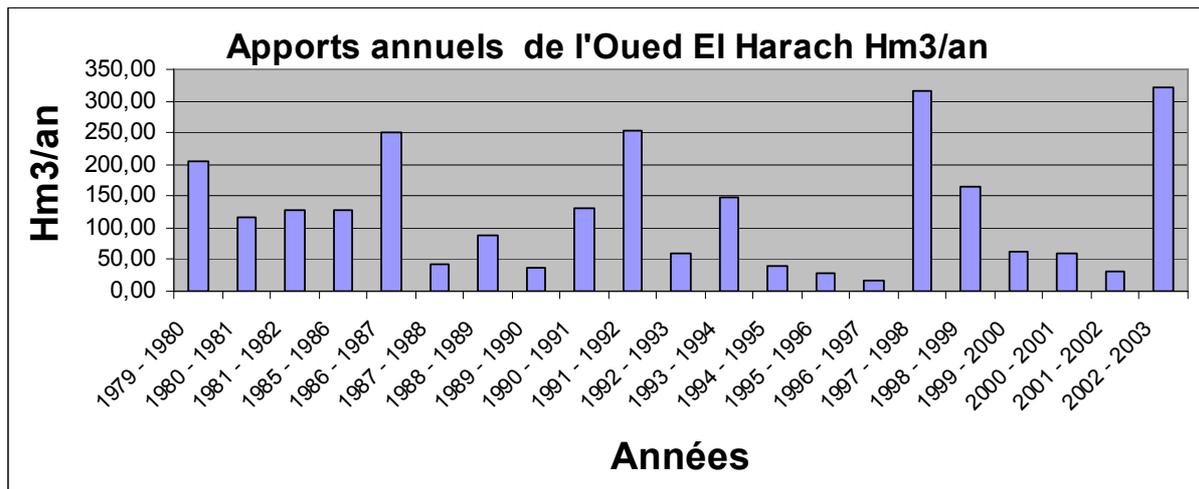


Figure II-2 : les apports annuels de l'Oued El Harach pour la période 1979-2003

Tel que pour l'année 1996 – 1997 le déficit sur l'écoulement enregistré est 85.92%. Cette valeur très accentuée met en évidence l'ampleur de la sécheresse qui peut être atteinte même au tarissement des Oueds et d'autres écosystèmes.

IV- 3 Etude de l'indice normalisé des précipitations mensuelles et annuelles :

Par définition, l'indice normalisé des précipitations annuelles ou bien l'indice centré réduit est le rapport entre l'écart des précipitations annuelles et la moyenne de précipitation interannuelles et l'écart type pour la même période d'étude [72].

$$I = \frac{X_i - X}{S}, \text{ tel que :}$$

I : Indice centré réduit ;

X_i : La hauteur des précipitations pour l'année « i ».

X : La moyenne annuelle pour la période d'étude.

S : l'écart type pour la même période d'étude.

A partir des données pluviométriques mises à notre disposition par l'Agence Nationale des Ressources hydrique (ANRH), nous avons calculé les indices Centrés Réduits mensuels et annuels couvrant les trente trois (33) années d'observations.

Le graphe (Figure II-3) illustre les répartitions des indices centrés réduits pour la période 1971 et 2004.

L'analyse chronologique des indices réduits des précipitations confirme que la distribution des périodes sèches et humides est presque similaire à celle observée dans le premier cas, étant donné que la persistance des sécheresses de plusieurs années est toujours vérifiée, tel que :

- ✓ Entre 1976 et 1978 nous avons enregistré un déficit pluviométrique de 16% par rapport à la valeur moyenne des précipitations interannuelles d'une part et un déficit sur l'écoulement des Oueds qui est de 48% pour la même période d'étude. Cela expliqué par une corrélation directe entre les précipitations et les apports des Oueds.
- ✓ Entre 1981 et 1984, la région d'Alger a subi trois années sèches consécutives dont le déficit pluviométrique moyen pour cette période est de 22%.

La période à travers laquelle nous avons enregistré la plus longue période de sécheresse (plusieurs années sèches consécutives) est entre 1987 et 1994 telle que l'ampleur de déficit hydrique a atteint 17%.

Après cette période, nous avons enregistré des années de forte pluie telle que la hauteur annuelle de précipitations a touchée les 700mm puis elle a diminué durant la période 1998 et 2002 où les précipitations n'ont pas dépassées les 450mm, synonyme d'un déficit pluviométrique de 25%.

Ainsi, ces sécheresses ont provoquées des perturbations cruelles sur l'équilibre du système hydrique dans la région d'Alger et par conséquent des crises d'eau réelles et répétitives qui ont troublées le bilan besoin&ressource et ont engendré des préjudices socioéconomiques.

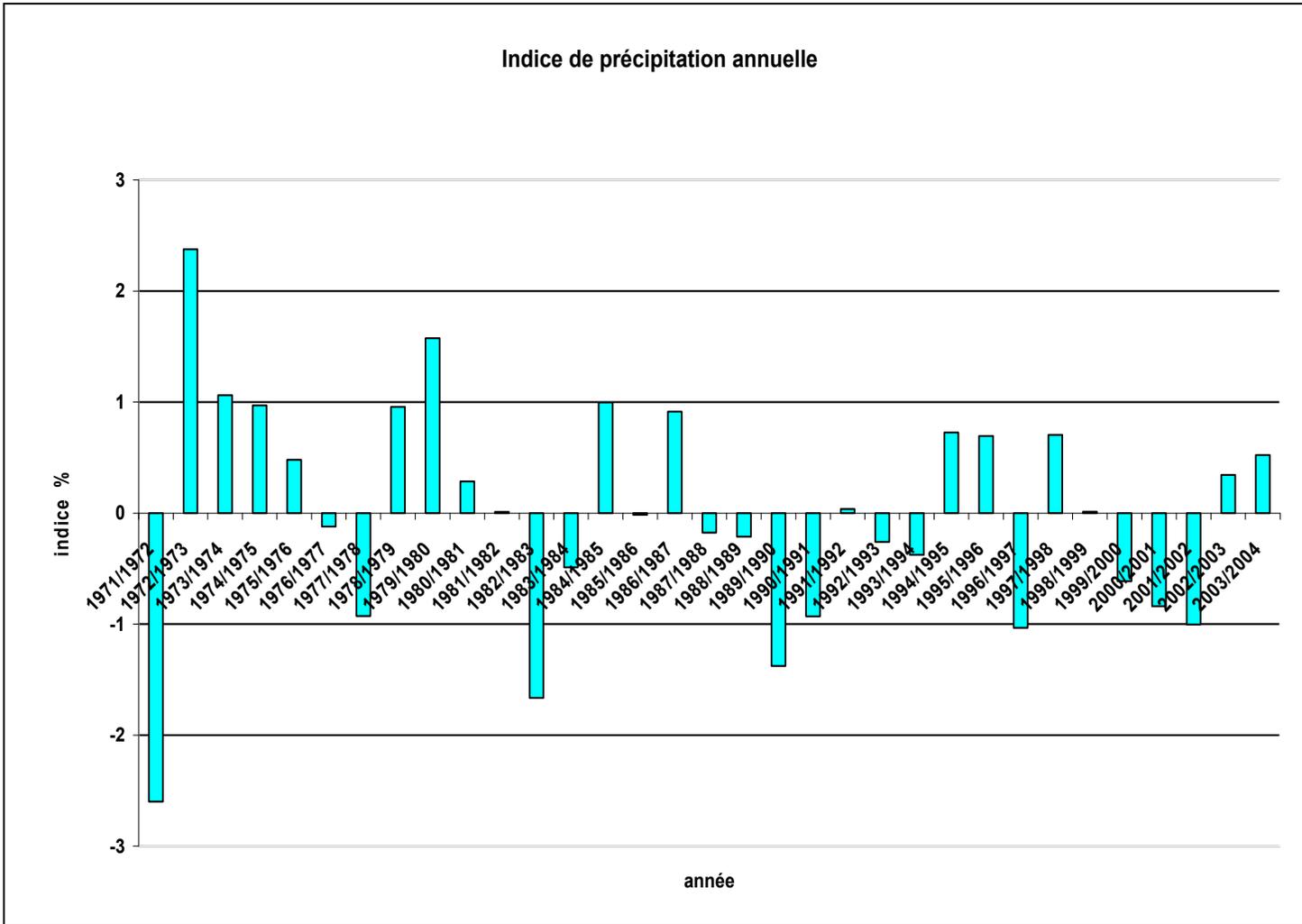


Figure II-3 : Indices normalisés des précipitations annuelles.

V- Conclusion:

En Algérie, la ressource en eau a été souvent aggravée par les effets des différentes sécheresses qui a vécue le climat de la partie Sud de la méditerranée. L'absence de pluie pendant la saison d'automne de 2001 et, aussi pendant la saison d'hiver 2002, a rendu la situation de l'approvisionnement en eau potable particulièrement critique dans les grands centres urbains de l'Algérie et en particulier dans la Wilaya d'Alger. Ainsi, l'ensemble des barrages qui alimentent Alger, en l'occurrence le barrage de Keddara, Hamiz et Ben Amrane; se sont retrouvés dans ce qu'on appelle " la tranche morte" avec un volume stocké en fin janvier 2002 d'environ 8.8 millions de m³, soit une baisse jamais atteinte depuis leurs mise en service. La même situation s'est présentée pour le barrage de Hamiz avec un volume de 1.91 millions m³ et celui de Ben Amrane, qui s'est trouvé avec un volume de 1.18 millions m³. La question qu'on doit la posée s'est quelle sera la situation de l'approvisionnement en eau pour la Wilaya d'Alger en cas de réapparition des sécheresses analogues à celles des années 2001 et 2002, et aussi quelle sera la confrontation ressources&besoins en cas de réveille avec une épisode de sécheresse de plusieurs années consécutives ?

Chapitre III « Simulation des scénario de crise d'eau liée a des sécheresses de longue durée. »

PREVISION DE LA DEMANDE EN EAU POUR LA WILAYA D'ALGER:

I- Introduction.

Pour l'estimation des besoins en eau, il faut essentiellement évaluer les volumes d'eau nécessaires à l'alimentation en eau potable (AEP), en eau industrielle et en agriculture. Pour cela les hypothèses adoptées sont :

- Le rapport sur l'agriculture « a new opportunity for growth » élaboré par la banque mondiale relatif à l'Algérie, indique que le taux de croissance annuel moyen de la production agricole est de 5.5 % ce qui induit une demande en eau pour le secteur agricole proportionnelle au taux de croissance [73].

- Les besoins en eau industrielle sont aussi, calculés sur la base de la croissance économique. Dont ce dernier il a connu une amélioration constante pour les dernières années, passant de 2%/an entre 1990 et 2001. 6.8 en 2003, à un taux moyen de 5.3%/an sur la période 2002/2004. d'après les projections pluriannuelles associe à la loi de finance pour 2005 tablent sur un taux moyen de 5.3% sur la période 2005-2009 [19, 73]. Pour la période 2009_2025 nous avons maintenu le même taux de croissance.

- Les besoins en eau potable sont calculés d'une manière à respecter la structure du système d'adduction. Le volume alloué par habitant par jour est de 250 litres, dont les pertes sur le réseau d'adduction (5%), et sur les réseaux de distributionnels (30à 40%) sont intégrées [19].

Le choix de l'horizon d'étude 2012

Le choix de l'horizon (2012) tient compte principalement :

- De la disponibilité d'études sectorielles réalisées au niveau national à l'horizon considéré.
- De l'existence de projection concernant la population.
- De la fiabilité des projections à moyen terme.
- De voir une idée sur le comportement des systèmes hydrauliques en cas de crise, afin de planifier le secteur de l'eau à long terme

II- Besoin en eau potable pour l'horizon 2012

En l'absence des données de consommation effectivement mesurées et d'un plan d'urbanisation bien établi, dont les données de la consommation aidèrent le gestionnaire à déterminer la demande sur la base des données historiques « la valeur d'une quantité à un pas de temps donné est principalement déduite de la valeur au pas de temps précédent » [74]. Dans notre cas, l'évaluation de la demande en eau a fait l'objet d'une étude socio urbanistique de la Wilaya d'Alger pour différents horizons. Référant aux données de l'administration concernant l'implantation de différents ouvrages et la répartition de la population, nous avons considéré wilaya d'Alger comme étant une structure qui se divise schématiquement en trois parties :

- Une zone Est, articulée autour de l'adducteur du SPIK (système de production Isser Kedara) entre la station de traitement de Boudouaou et le pôle de répartition d'El Harrach, et qui couvre essentiellement les secteurs de ROUIBA et Dar El Beida.
- Une zone Ouest, à partir de la Station SP3, et qui englobe Zeralda et Cheraga.
- Une zone centrale, principalement desservies par les stations de pompage d'El Harrach et de Gue de Constantine lesquelles peuvent être alimentées par l'Est et par l'Ouest. Cette zone couvre approximativement les secteurs d'Alger Ouest, centre, Nord, Est, Sud et Gué de Constantine.

Basant sur les hypothèses ci-dessus, les besoins en AEP à l'horizon 2012 sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III-1. Besoins en eau potable pour l'horizon 2012

SP3	55700 m³/j	
SP Plateau	600 m³/j	
SP Douera	1700 m³/j	
SP1	88 000 m³/j	
Zone Ouest (ZO)	\sum ZO	146 000 m³/j
Guè de Constantine	132 900 m³/j	
El Harrach	196300 m³/j	
Baraki	7400 m³/j	
Zone Centre (ZC)	\sum ZC	336 600 m³/j
Beaulieu, Benzinz, Kourifa	106 500 m³/j	
SPIK Amont	136 500 m³/j	
Reghaia	13 500 m³/j	
Zone Est (ZE)	\sum ZE	256 500 m³/j
Total réseau d'adduction (TRA)	\sum (ZE+ZO+ZC)	740 100 m³/j
Alimentation sur forages Indépendants (AFI)		51 600 m³/j
Communes Autonomes (CA)		26 400 m³/j
Total Besoin AEP Wilaya d'Alger (TWA)	\sum (TRA+AFI+CA)	818 100 m³/j

II- Besoin en eau industrielle

La wilaya d'Alger, détient une importante base industrielle, dont le raffinage du pétrole, la métallurgie, le bâtiment, mécanique, l'agroalimentaire et l'industrie du papier sont les principales activités industrielles qui caractérisent le milieu économique de la Wilaya. Cet important arsenal industriel s'étale sur une superficie de 1516 Ha [1]. L'absence d'une enquête réelle sur la gestion des eaux industrielles, rend la prévision des besoins en eaux dans le futur difficile à déterminer. Citant que le volume facturé en 2003 pour l'industrie n'est que

1.7 Millions de m³. Par contre, le ministère des ressources en eau estime que la demande en eau pour les unités industrielles est 51 Millions de m³ [3].

A partir de ces données et fondant sur l'hypothèse évoquée ci-dessus, relative à l'évolution du taux de croissance économique, la demande en eau pour le secteur industriel de la Wilaya d'Alger est estimée comme suit :

- La demande en eau industrielle est directement proportionnelle, au taux de croissance économique, qui est estimé à 5.3%/an.
- La donnée de base est la valeur communiquée par l'administration et, qui est 50Millions de m³ pour l'année 2003.

$$\text{Donc : } V_{2004} = (T \times V_{2003}) + V_{2003} \quad \Longrightarrow \quad T = 5.3\%, \quad V_{2003} = X_0 = 51 \text{ Millions m}^3$$

$$V_{2005} = (T \times V_{2004}) + V_{2004} \quad \dots\dots\dots V_n = T \times V_{n-1} + V_{n-1}$$

$$\Longrightarrow V_n = (T + 1)^n \times X_0.$$

La demande en eau industrielle pour différents horizons est calculée par la formule suivante $V_n = (T + 1)^n \times X_0$.

A l'horizon 2012 on estime le volume d'eau qui doit être alloué pour le secteur industriel à 82 millions m³.

III- BESOIN EN EAUX AGRICOLE

Comme nous avons cité dans le Chapitre I, la surface agricole utile dans la Wilaya d'Alger est 35 726 Ha. Dont 12 583 Ha sont irriguées à partir de PMH (9 128 Ha sont irriguées par 1570 forages; 3423 Ha irriguées par 1391 puits ; et 32 Ha irriguées à partir de 7 sources) et s'ajoute au grand périmètre irrigué de Hamiz, qui occupe une superficie équipée de 17 000 Ha, desservait à partir du barrage de Hamiz et la nappe de Benrahal.

Il y a lieu de citer que 94% de la superficie est irriguée par le mode d'irrigation gravitaire dont il est reconnu par sa grande consommation d'eau, et selon l'administration (ONID, ONPI) qui estime la quantité d'eau irriguée par hectare et par an à 6243 m³. Par contre, le mode d'irrigation « goutte à goutte » n'est préconisé que pour 336 Ha, c'est-à-dire 2.67% de la superficie irriguée.

Dans la mesure d'absence des enquêtes réelles sur le terrain qui contrôlent les volumes d'eau consommés par les fermes agricoles et, l'absence d'une planification qui dicte les ambitions de secteur agricole d'une part et qui oriente les exploitants vers l'utilisation des modes d'irrigations modernes d'autre part, dont la quantité d'eau à consommer pour tel ou tel

agriculture soit bien étudiée, ces contraintes mettent en relief la planification de la demande en eau agricole qui est l'objectif de notre travail dans cette étape.

Pour cela, notre travail s'articule sur l'hypothèse évoquée ci-dessus, qui décrit le taux annuel moyen de la croissance dans le secteur agricole publié par la banque mondiale, égale à 5.5 %.

On rappelle, que la surface équipée est de l'ordre de 17 000 Ha. Si on maintient le taux de croissance de 5.5% dans le sens d'équiper le reste de la superficie utile. On estime l'évolution de la superficie équipée comme suit :

On désigne, S_{e2005} comme étant la superficie équipée à l'an 2005 ; $S_{(ED)N}$ la superficie qui doit être équipée à l'horizon N-2005 et S_{NE} la superficie non équipée à l'an 2005.

$$S_{(ED)N} = (T)(N - 2005) \times S_{NE} + S_{e2005}$$

Donc à l'horizon 2012, la superficie qui doit être équipée est de **21845 HA** avec une demande en eau de 6000 m³/an/Ha, c'est-à-dire le volume d'eau qui doit être alloué pour l'irrigation de cette superficie à l'horizon 2012 est de **131,07 millions m³/an**. S'ajoute à une quantité allouée en temps normal à partir des forages autonomes pour l'irrigation de la surface non équipée, estimée au même horizon à **13881 Ha** est **69,405 millions m³**.

IV- LES BESOINS TOTAUX EN EAU POUR LA WILAYA D'ALGER

Les besoins en eau pour les différents usagers : Alimentation en eau potable, Alimentation en eau pour le secteur industriel (AEI) et pour le secteur agricole (AEA) sont illustrés dans le tableau ci après :

Tableau III-2. Les besoins en eau pour la W d' Alger à l'Horizon 2012.

Les usagers	Besoin en Eau à l'Horizon 2012 millions m ³
AEP	300
AEI	82
AEA	200.5
Total	582.5

Donc, à l'horizon 2012, Alger renfermera au moins 582.5 millions m³ d'eau, pour satisfaire les besoins domestiques, Industriels et Agricoles. A signaler, que les fuites enregistrées sur les réseaux d'adduction, le gaspillage et la non éducation des usagers engendrent, une perte d'eau qui dépasse les 45% du volume total prélevé [19]. Vue la

demande en eau qui est en nette progression (une augmentation de 62% par rapport à l'an 2005), ceci engendre une confrontation entre ressources et besoins [75].

V- Bilans Besoins Ressources :

Pour avoir les capacités de production d'eau de la wilaya d'Alger nous avons regroupés les données dans le tableau ci-après :

Tableau III-3. Les capacités de différentes ressources qui alimentent Alger.

Ressources Utilisées	Eaux de Surface		Eaux Souterraines					Eaux Dessalées		
	SAA	Boudouaou	Baraki	H.Felit	Hamiz	Fourrage	Ziralda	HWD	Palm Beach	Champ de tir
Capacité X 1000 m ³ /j	150	600	60	20	40	6.53	200	200	2.5	5
Σ	750		326.53					207.5		
Total millions m ³ /j	1,284030									

En tenant compte du niveau théorique de production, on peut dire à première vue que la situation est satisfaisante pour les besoins domestiques si en tient compte de l'approvisionnement de l'industrie et de l'agriculture à partir des ouvrages autonomes soit à partir des ouvrages gérés par l'ONID destinés aux superficies agricoles équipées. Toutefois, l'expérience a démontré que certaines de ces ressources pouvaient être défaillantes, à cause de la répétitivité de la sécheresse qui accroît la vulnérabilité de la ressource [76]. Cette situation s'ajoute à de nombreux problèmes de mauvaise gestion d'une part et l'état vétuste des systèmes de distribution qui accroît les volumes perdus dans les fuites et sans oublier les volumes d'eau surconsommés, liée à la fois aux gaspillages et la non sensibilisation des usagers. Sans oublier d'autres facteurs responsables du manque d'eau, tel que l'accroissement de la population, l'urbanisation et le développement industriel.

Une approche largement utilisée pour l'évaluation de la disponibilité en eau est la mesure de l'index de pénurie, c'est-à-dire des ressources renouvelables annuelles disponibles par habitant pour les différents usages. Référent aux expériences passées de pays moyennement développés en zone aride, le chiffre de 1000m³ /hab/an a été proposé comme seuil au-dessous duquel la plupart des pays sont susceptibles de subir une pénurie chronique

suffisamment importante pour freiner le développement et être préjudiciable à la santé des hommes [77]. Selon les mêmes experts, au-dessous de 500 m³/hab/an, les pays connaissent une pénurie absolue [78]. D'après (World Resources, 1997) [79], qui a publié une prévision de l'index de pénurie d'eau d'ici à 2050, du quel on a tiré que l'Algérie connaîtra actuellement une pénurie chronique, dont la disponibilité de ressources en eau correctes est liée beaucoup aux facteurs naturels tel que les sécheresses de plusieurs années. [80] Il confirme l'étroite relation entre le développement socioéconomique et l'approvisionnement renouvelable annuel en eau par personne. En outre, la dégradation du niveau habituel d'approvisionnement en eau est fréquemment perturbée par les sécheresses qui se produisent d'une manière périodique. Néanmoins, à ce stade il est fort probable d'apparition d'un déséquilibre d'utilisation d'eau d'un secteur à l'autre et d'une région spécifique à une autre [81, 82].

Dans le même contexte, plusieurs organismes et chercheurs ont consacré leurs recherches pour l'établissement d'une carte mondiale, dans laquelle se trouve les pays soumis à des contraintes et les raisons d'une telle pénurie d'eau, dont l'Algérie se trouve parmi les pays qui possèdent un niveau d'eau renouvelable au-dessous de 1000m³/Hab/An [83, 84, 85, 86].

Selon Falkenmark et Lindh, 1993 [87] un approvisionnement d'eau douce annuel en 1000 m³ par habitant est la valeur critique, au-dessous du quelle les pays souffriront de manques sérieux en eau qui pourraient affecter le développement économique et la santé humaine.

Par conséquence, si l'Algérie est mal classée en matière de réserve et d'approvisionnement en eau, la question qui doit être posée, quelle sera la situation de l'eau à moyen terme dans la région d'Alger en cas de réapparition d'une sécheresse de plusieurs années, sachant qu'Alger est la ville la plus importante en matières de densité de population et activités industriels, agricoles et sociales ?

VI- Scénario de sécheresse :

Tae-Woog Kim et al. 2003 [88] ont défini la sécheresse comme étant un phénomène naturel caractérisé par l'impact sur l'environnement dont ce dernier est fonction de la période de retour de la sécheresse et la durée de persistance [89, 90, 91].

Dans cette partie, nous nous mettrons en scène, la probabilité d'apparition des sécheresses de plusieurs années, pour l'horizon 2012 dont l'étude de l'influence de ce phénomène naturel sur l'approvisionnement en eau pour les différents usagers est le centre d'intérêt de notre étude.

VII- Plan de crise

Les résultats que nous avons obtenus dans le chapitre précédent, dans l'étude des séries pluviométriques entre la période 1972/2004, confirment l'apparition des sécheresses de plusieurs années. De plus, nous avons déjà mentionné ce dessus et sur la même période d'étude, la persistance des périodes sèches de deux ans sept ans sur la région d'Alger. Ainsi, il existe une corrélation directe entre la précipitation et les apports des barrages. Nous allons étudier ci-après le comportement des barrages en cas de crises climatiques [92]. Cependant, nous nous tenus compte d'une augmentation annuelle moyenne en consommation d'eau pour les différents secteurs de 8.75 %. Cette auto augmentation touche les transferts entre barrages, l'irrigation, l'industrie et l'AEP.

Le choix de l'étude des bilans hydriques des barrages qui ravitaillent directement la wilaya d'Alger est en relation directe avec la disponibilité des données (apports, évaporation, précipitation et volumes prélevés). L'absence des levés piézométriques des nappes qui alimentent Alger pour la même période d'étude est l'obstacle pour lequel nous n'avons pas optés à simuler d'une telle situation de sécheresse en fonction des eaux souterraines.

VII-1 1^{er} scénario de sécheresse

Comme illustré dans le chapitre précédent, l'apparition d'une sécheresse de deux ans est fort probable de se reproduire dan le futur. L'étude de l'écart de précipitation mensuelle est présentée sur la Figure ci-après

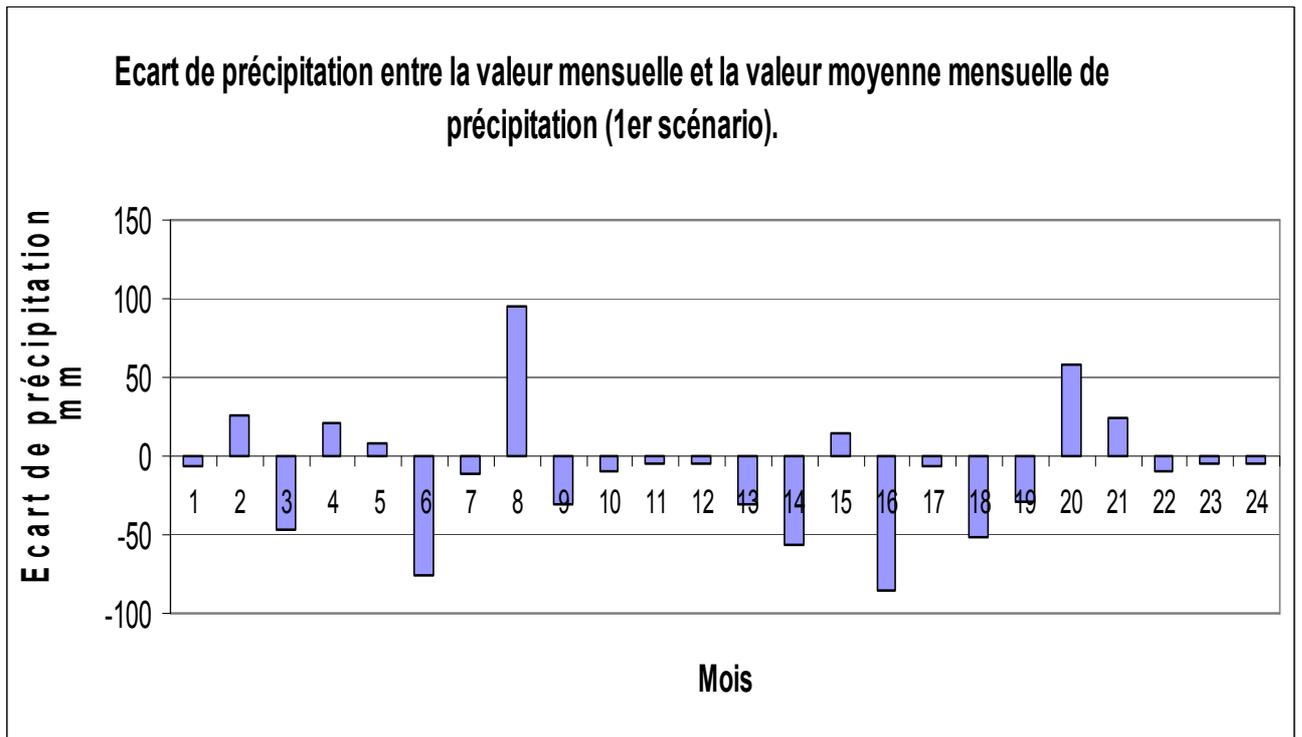


Figure III-1. Les Ecart de précipitations mensuelle (années hydrologiques 1976\1977 et 1977\1978).

- A travers cette période de sécheresse, le déficit annuel moyen de précipitation est de %, et les diverses manifestations de la sécheresse qui peuvent être aggravés le déficit hydrique des sols avec dessèchement de ce dernier : c'est la sécheresse agricole.

Afin de voir l'influence de cette sécheresse sur les eaux superficielles, suite a ce scénario on a représenté le bilan hydrique des barrage Hamiz et Kaddera.

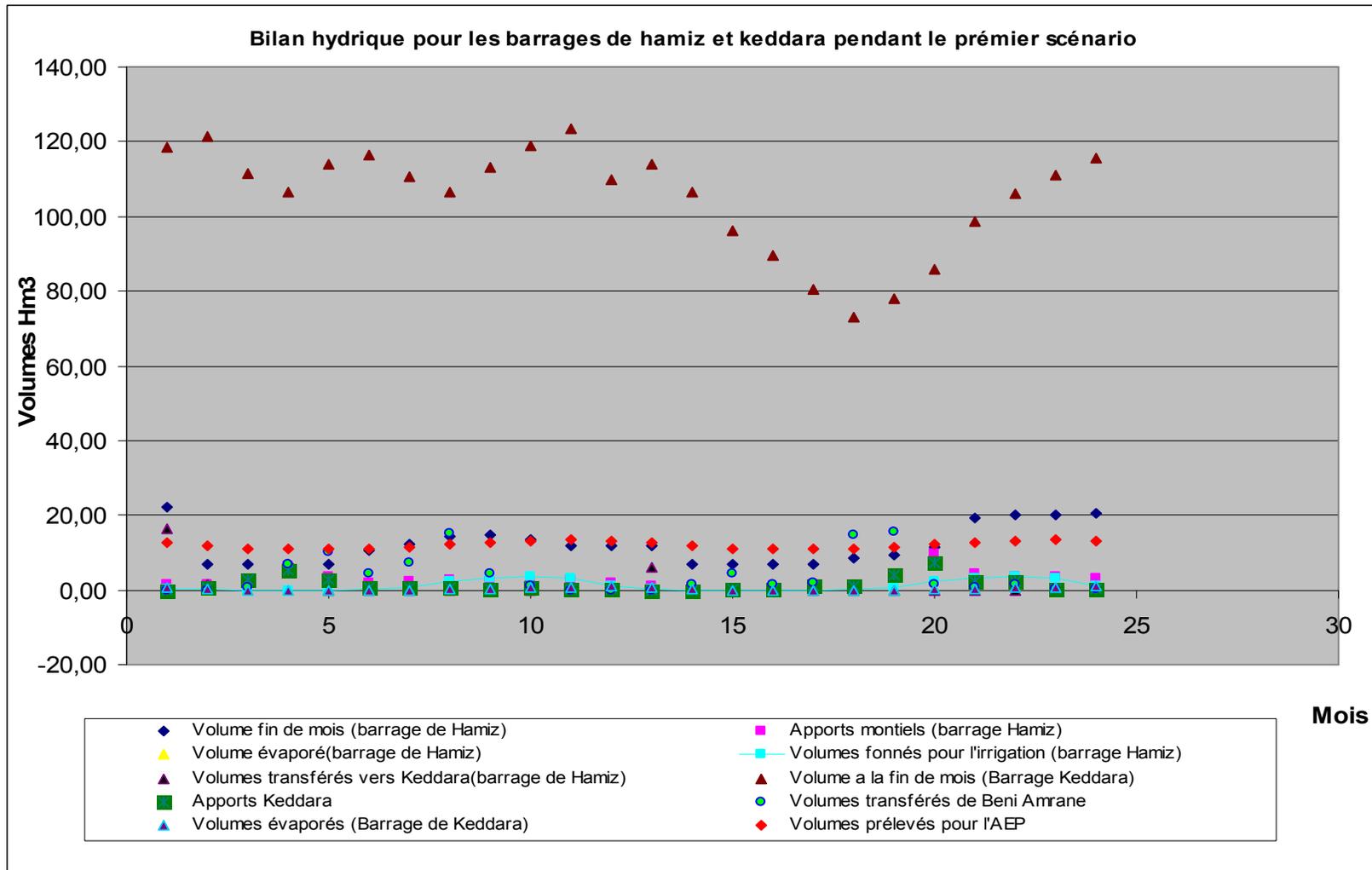


Figure III-2. Réponses des barrages Hamiz et Keddara soumis à un scénario de sécheresse de 24 mois.

La figure ci-dessus représente clairement le bilan hydrique durant le scénario de sécheresse des deux principaux barrages qui alimentent Alger, en l'occurrence Barrage de Hamiz et Keddara, dont la concomitance de la sécheresse a provoquée :

- L'augmentation du pouvoir évaporant dont le taux d'évaporation dépasse le taux de précipitations
- La diminution du débit des rivières s'est traduite par de faibles apports des barrages par rapport aux apports moyens mensuels.
- Une nette augmentation des volumes prélevés pour l'AEP, de l'ordre de 56.2% par rapport aux volumes moyens prélevés annuellement, tel illustré dans le graphe ci-après.

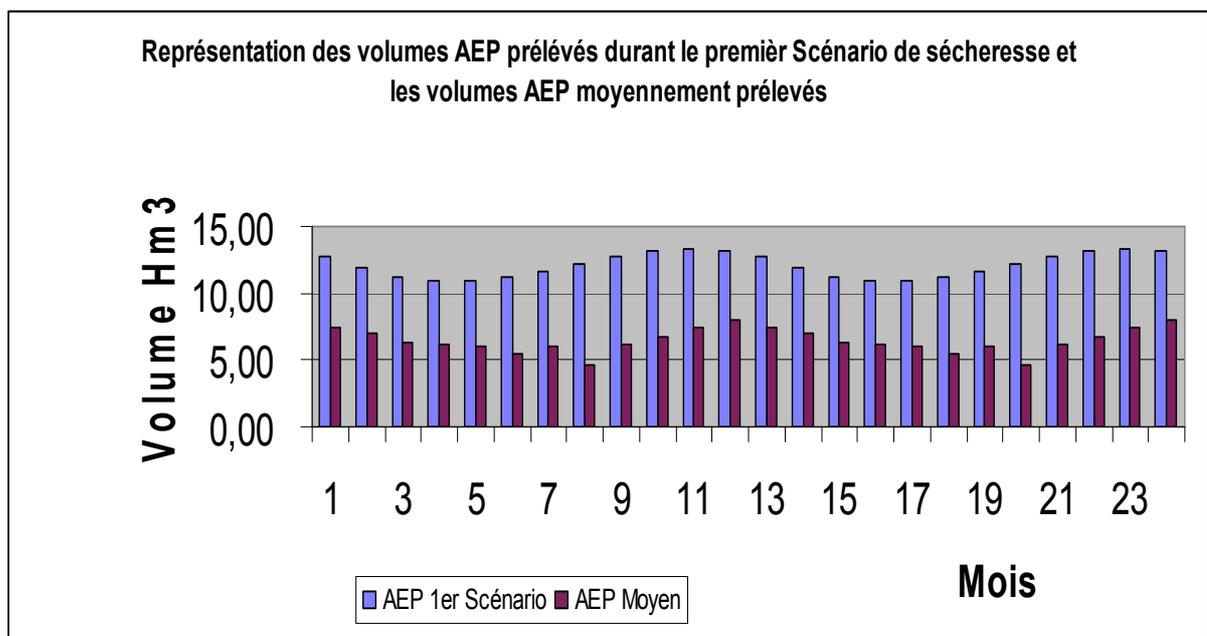


Figure III-3. Les volumes d'eau prélevés pour l'AEP durant le premier scénario.

A signaler, cette augmentation est due aux surconsommations d'eau en période caniculaire. Cette surconsommation peut être due à des volumes prélevés à partir du barrage au lieu des nappes à cause de déficit de recharge. Cette action peut éviter la surexploitation des nappes qui aggrave l'intrusion saline.

D'une manière générale nous constatons que cette sécheresse de deux ans successifs n'a pas un effet très accentué sur les usagers dans la mesure où les volumes

d'eau stockés ne subissent des grandes variations. Mais nous nous interrogeons quelle sera la situation en cas d'une sécheresse plus de deux années cumulatives.

VII-2 Deuxième scénario de sécheresse :

Nous référons aux résultats obtenus dans le chapitre II, qui concerne l'étude chronologique des précipitations annuelles par rapport à la moyenne des précipitations interannuelles pour la période allant de 1971 au 2004, pour mettre en scène la probabilité d'apparition d'une sécheresse de trois années de longueur consécutives. Nous étudierons par la suite les effets qui peuvent porter atteinte aux systèmes de stockages d'eau tel que les barrages, et par conséquent, déterminer le niveau de la réserve par rapport à l'accroissement de la demande.

Pour mieux se rapprocher aux contraventions de cette sécheresse nous avons représenté les écarts entre les précipitations mensuelles et la précipitation moyenne mensuelle, dont les résultats sont illustrés dans l'histogramme suivant :

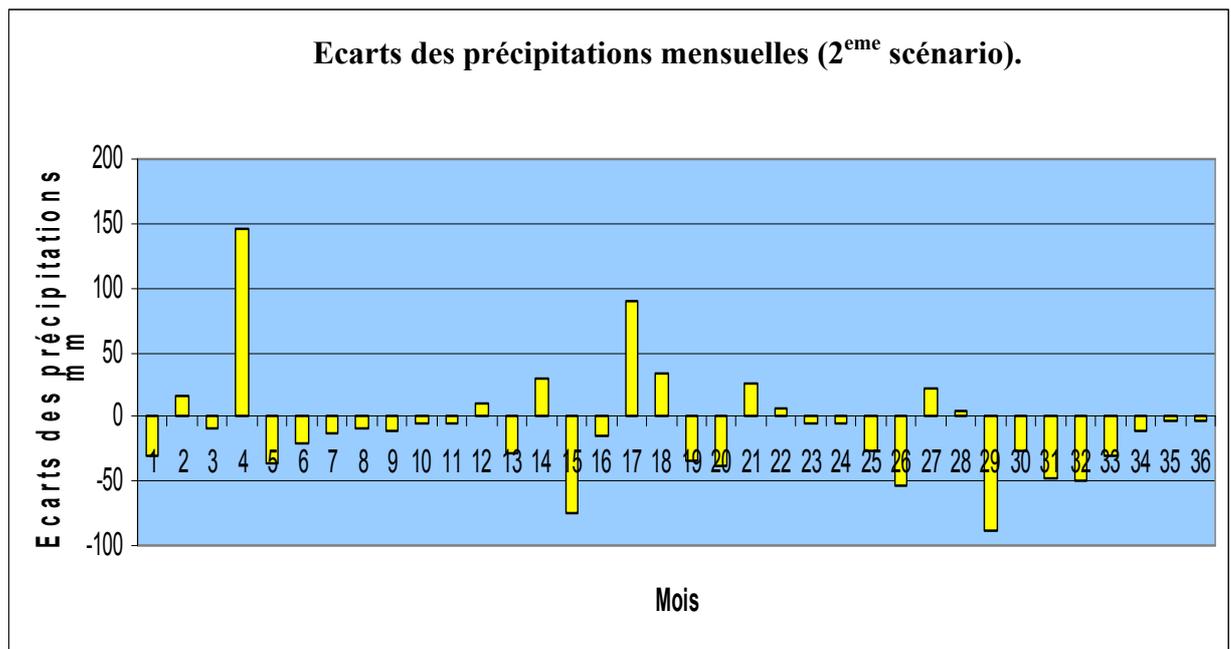


Figure III-4. Ecart des précipitations mensuelles (2^{ème} scénario).

Le long de cette période, le déficit sur la pluviométrie est très important avec un hiver plus ou moins sec. Ainsi, nous avons observé que le mois de Janvier est déficitaire. Il en est de même pour les mois de Novembre, Mars et Avril, où les écarts pluviométriques dans ces cas sont de l'ordre de 18mm.

Pour mieux comprendre les effets de cet épisode de sécheresse nous allons représenter ci-après, figure III-5 le comportement hydrologique des deux barrages qui alimentent directement la wilaya d'Alger.

Bilan hydrique des barrages Keddara et Hamiz pendant le deuxièmes scénario

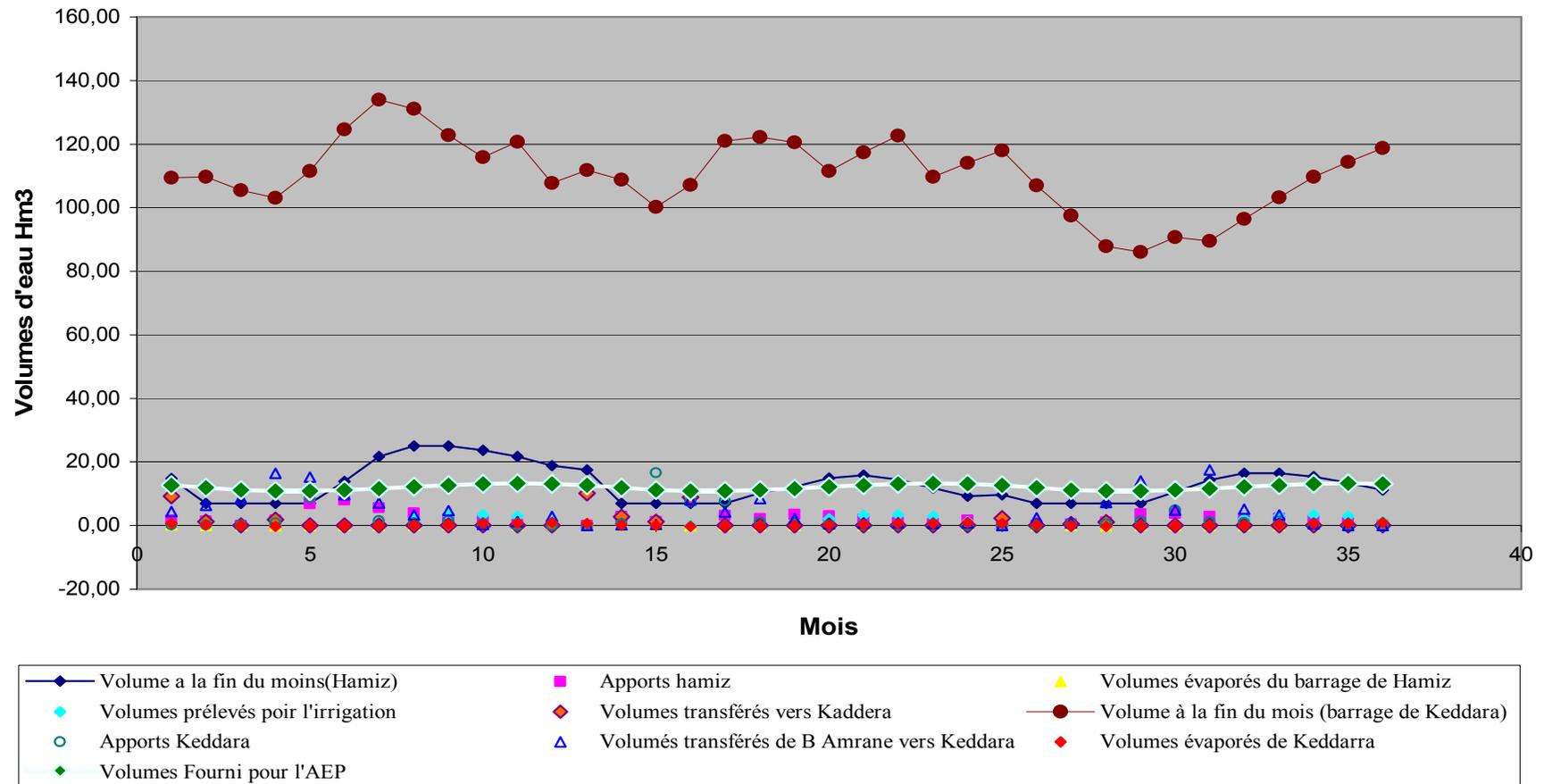


Figure III-5. Bilan hydrique des barrages de Keddara et Hamiz durant le 2^{ème} scénario.

La Figure III-5 illustre que les effets de cette sécheresse à travers ce scénario sont analogues à celle du premier scénario. Donc, la prolongation de la durée de persistance d'une années n'a pas vraiment donnée un effet remarquable sur le bilan total des deux barrages qui alimentent Alger.

Globalement, nous pouvons dire que jusqu'à ce niveau, la situation n'est pas alarmante, car les volumes assurés par les barrages n'ont pas subis des conséquences qui mettent en difficulté la satisfaction de la demande en eau.

A partir de ce stade, nous constatons que les scénarios de sécheresse mis en place jusqu'à la, ne sont pas accentués. Cependant, pour mieux tester le comportement des systèmes de stockage d'eau qui alimentent la Wilaya d'Alger, nous allons mettre en place un scénario de crises plus accentué.

VII-3 Troisième scénario de sécheresse.

Appuyant sur la théorie qui considère la sécheresse comme étant un événement caractérisé par une durée et une intensité, [51- 53] et en se référant à l'étude chronologique des indices centrés de précipitations pour la période 1971 à 2004. Tel que, à travers cette période la wilaya d'Alger a vécue des périodes de sécheresses de plusieurs années consécutives. En se basant sur la théorie qui considère la sécheresse comme étant un évènement météorologique caractérisé par une période de retour [62, 93], nous mettons en scène la probabilité d'apparition d'une sécheresse de plus de quatre ans consécutive dont l'évolution des écarts de précipitations mensuelles est toujours similaire dans la même durée de sécheresse étudiée dans le chapitre II.

Pour avoir une idée plus ou moins proche sur le système hydrique nous avons représenté l'évolution des écarts de précipitations mensuelles en fonction du temps.

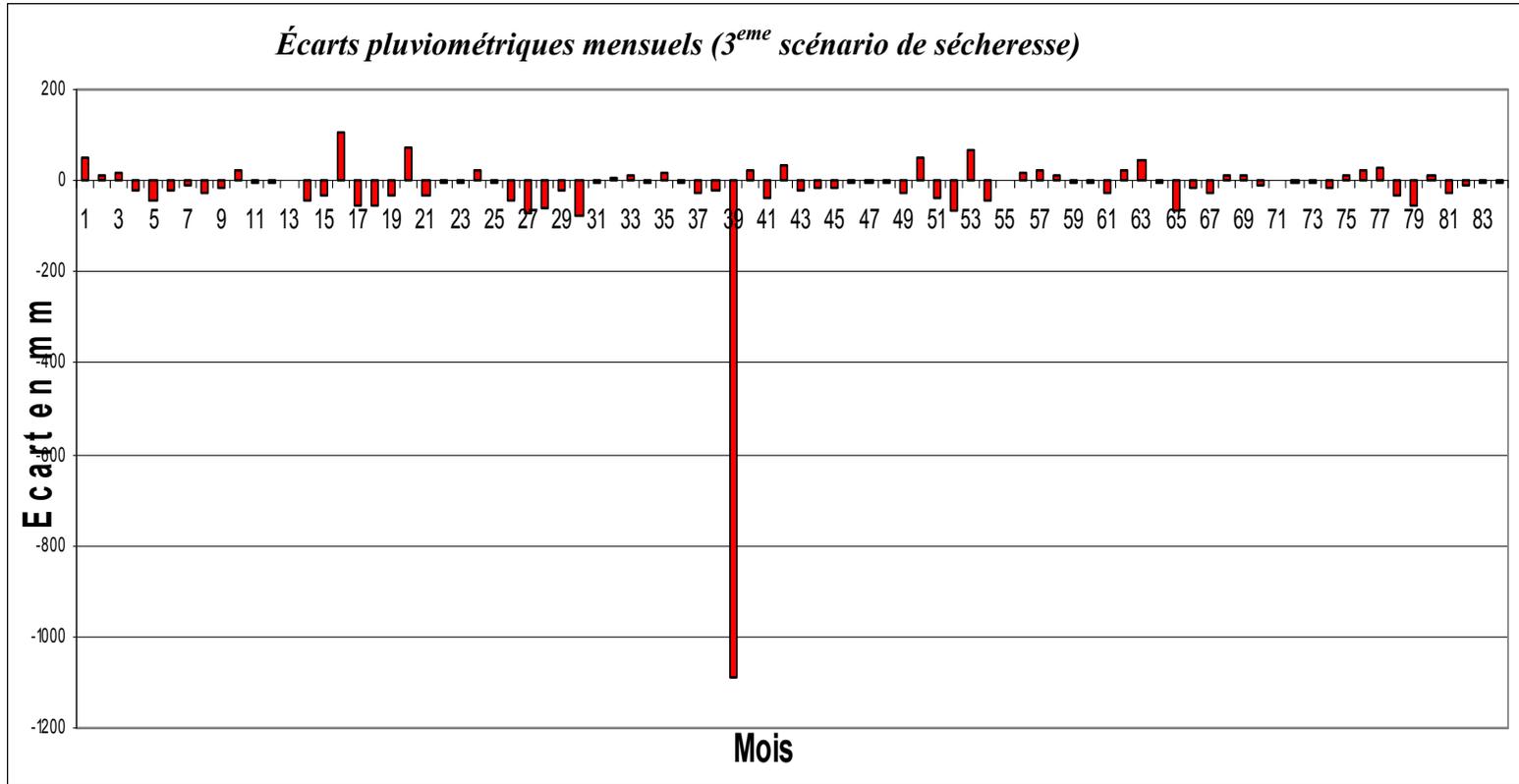


Figure III-6. Ecarts pluviométriques mensuels (pour la période 1998 a 2002)

La figure III-6 montre que le déficit moyen sur la pluviométrie pour ce cas est de 25%. Ce qui explique la sévérité de cette sécheresse. Par enchaînement, les effets de cet épisode sur les ressources en eaux seront plus graves que dans les cas des deux précédents scénarios. En effet, les eaux de surfaces sont les premières à subir la dégradation qualitative et quantitative, suite à une crise générée par le déficit pluviométrique.

Pour mieux connaître les effets de cet épisode de sécheresse sur les systèmes de stockage de la wilaya d'Alger, nous représentons par la suite l'évolution des volumes d'eau qui doivent être alloués pour satisfaire les besoins en eau potable, agricole et industrielle.

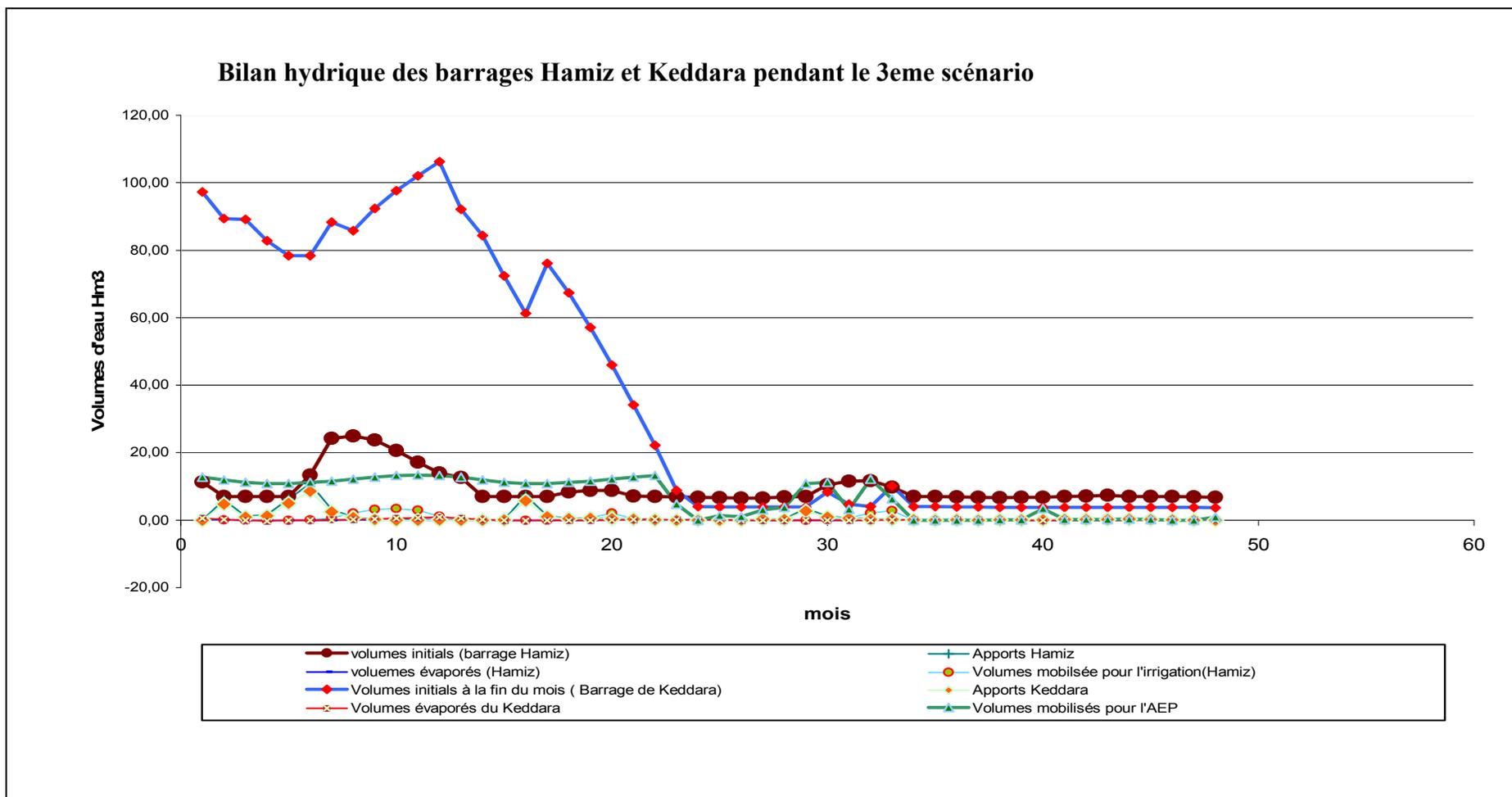


Figure III-7. Comportement hydrique des barrages de Hamiz et Keddara face au 3^{eme} scénario de sécheresse.

L'ensemble des graphes ci-dessus montre une situation critique en matière de la réserve en eau pour cet épisode de sécheresse. En effet, les barrages ont atteint le volume mort. Ainsi, le barrage de Keddara s'est retrouvé à un volume de stockage de 3Hm^3 . Par ailleurs, ce même barrage renferme un volume d'eau moyen annuel de 120Hm^3 . Donc, le déficit est de 97.5%. Ce déficit a influé beaucoup sur l'approvisionnement de l'eau potable. Le prélèvement doit être arrêté à partir du 36^{ème} premier mois de cet épisode, comme le montre la figure III-7. Une telle action est motivée par les faibles volumes qui n'aident pas à assurer l'équilibre écologique des barrages et aussi le prélèvement pour AEP. Ce dernier est freiné par la modification des caractéristiques de l'eau qui ne convient pas aux critères de dimensionnement des stations de traitement d'eau potable existantes.

De même, le barrage de Hamiz s'est retrouvé dans sa tranche morte à partir du milieu de déclenchement de cet événement de sécheresse, duquel le déficit de stockage a dépassé 92% par rapport aux volumes régularisés par ce barrage en temps normal. L'insuffisance de remplissage est due aux faibles apports et fortes évaporations du plan d'eau. Dans ce contexte, c'est l'irrigation qui s'est trouvée condamnée. Cependant, la réserve d'eau dans ce cas n'assure même pas une irrigation de deux mois, c'est-à-dire, c'est insuffisant pour sauver une récolte saisonnière.

D'une manière générale, cette présente étude, nous a indiqué que les systèmes d'eau qui alimentent la wilaya Alger sont limités devant la persistance d'une sécheresse de plusieurs années. Les professionnels de l'eau et les usagers se sont trouvés face à des difficultés étranges de carences d'eau due à la persistance d'un phénomène redoutable, peut être le plus grave dans les affrontements homme-nature, et désormais au premier rang des préoccupations en matière de gestion des risques, notamment dans notre pays où la ressource en eau est rare.

Dans ces conditions pareilles de niveau de disponibilité d'eau, quels sont les moyens à mettre en place pour bâtir une politique objective qui fait face à une crise d'eau très souvent répétitive, et aussi qui met en relief le renforcement du niveau de sécurisation en matière d'approvisionnement d'eau pour satisfaire les besoins vitaux des différents usagers.

Chapitre IV : « plan d'intervention »

I- Introduction

Dans une situation de pénurie d'eau et, surtout si nous nous retrouvons devant une sécheresse aigue de plusieurs années comme c'est simulé dans les scénarios de sécheresse étudiés dans le chapitre précédent, dans des conditions climatiques pareilles, les autorités publiques ainsi que les usagers doivent trouver des solutions efficaces et durables qui leur permettent de surpasser les moments de crises liés à l'insuffisance de disponibilité de l'eau pour une ville comme Alger où le niveau des activités socio-économiques sont aussi élevées nécessitant une demande d'eau assez importante.

Pour faire face à une telle situation de crises d'eau liée à une sécheresse qui peut manifester plusieurs années, nous nous proposons une étude articulée sur :

- ❖ L'accroissement de la ressource en eau par l'utilisation des ressources en eau autre que les eaux conventionnelles telle que la réutilisation rationnelle des eaux usées après un traitement adéquat ;

- ❖ L'éducation et la sensibilisation des usagers en matière d'utilisation et de préservation de l'eau. Ainsi, on prépare les différents usagers pour une toute éventuelle action de valorisation d'eau. C'est-à-dire préparer l'opinion à accepter le recyclage des eaux usées pour différents domaines socio-économiques après un certain niveau de traitement exigé par telle ou telle utilisation.

II- Accroissement de la ressource en eau (la réutilisation des eaux épurées)

L'augmentation de l'extraction de l'eau pour la satisfaction des besoins vitaux de la vie, tels que : l'industrie, l'agriculteur et l'usages urbains ont provoqué le changement du cycle naturel de l'eau [94]. En plus, les ressources en eau et sur toutes celles qui alimentent la wilaya d'Alger, sont soumises à des contraintes naturelles telles que les sécheresses qui persistent plusieurs années. Pour faire face à ces lacunes, ces dernières années beaucoup de pays à travers le monde ont rendu effectif le recyclage des eaux usées après traitement pour satisfaire les besoins socio-économiques [95, 96]. En effet, la wilaya d'Alger n'est pas à l'abri de ces types de pénurie d'eau où les sécheresses séjournent plusieurs années et, par conséquence la région se retrouve dans une situation de stress hydrique accentué. Une crise d'eau analogue à celle vécue dans le passé ne peut être jamais dépassée si on ne pense pas à des solutions durables qui mettent en relief la réutilisation des eaux usées. Mais avant qu'on parle du stade de la réutilisation on doit rechercher si la ville d'Alger possède un système de

traitement des eaux usées adéquat, qui lui permet de générer une eau à recycler et, qui répond aux critères qualitatifs et quantitatifs pour tel ou tel usage. Sachant que, une gestion équitable de l'eau c'est celle qui met la qualité en parallèle de la quantité d'eau produite [97].

II-1 Diagnostic du système d'épuration de la ville d'Alger.

Afin d'avoir une idée technique du système d'épuration existant dans la ville d'Alger ainsi sur les réseaux d'assainissement, nous avons envisagé un diagnostic rigoureux des infrastructures d'assainissement et de même pour les stations d'épurations.

II-1-1- Les infrastructures d'assainissement

Le linéaire total des réseaux d'assainissement de la wilaya d'Alger est estimé à environ de 2.789 km, selon les indications données par les directions de l'hydraulique de wilaya, et répartis entre les réseaux primaires (573km) et les réseaux secondaires (2.216km).

Les matériaux sont, essentiellement, le béton et le ciment armé ordinaire. Le PVC ou l'amiante ciment sont rarement utilisés [3].

II-1-2- Les eaux usées rejetées

Si on se base sur l'état des consommations d'eau et en supposant que les eaux usées correspondent à **80%** des volumes consommés, le volume total des eaux rejetées serait de 240 millions de m³ par an pour la wilaya d'Alger. Par ailleurs, la consommation en eau des différentes unités industrielles n'étant pas toujours assurée par l'ADE (forages propres aux unités industrielles), Etant donné l'insuffisance des infrastructures d'épuration et, quand elles existent, leur non fonctionnement ont provoqué le rejet directe des eaux usées dans la nature. Il y a lieu d'ajouter à ces estimations, les rejets d'eaux usées des zones industrielles, particulièrement concentrées:

❖ dans les bassins côtiers Est (Reghaia et Rouiba) et El Harrach (Baraki, Oued Smar) pour Alger, avec des charges aussi importantes et une urbanisation sans cesse croissante, la pollution dans la région d'Alger ne cesse de s'aggraver. Dès le début des années 1970, les pouvoirs publics ont pris conscience de cette situation: c'est pourquoi d'ailleurs, un schéma directeur d'assainissement a été élaboré. Malheureusement, la réalisation des objectifs définis dans le cadre de ce schéma n'a pas beaucoup évolué en matière d'épuration. Même après l'expertise réalisée par l'Etat sur ce schéma, la situation n'a pas beaucoup évolué.

II-2- Systèmes d'épuration de la wilaya d'Alger

II-2-1 Diagnostic quantitatif :

Le système d'épuration de BARAKI: Il a été défini dans le cadre du Plan Directeur d'Assainissement des Eaux Usées du Grand Alger et réalisé entre 1984 et 1989. La capacité

nominale de la station était de 750.000 équivalents-habitants. Sur la base des valeurs de charges spécifiques corrigées (50 au lieu de 60 g DBO5/EH/j), la capacité de la station serait de 900 000 équivalents- habitants. La station a été exploitée par l'ADE (ex EPEAL) à partir de 1989 avec l'assistance du réalisateur pendant 3 années.

Selon le ministère des ressources en eau, qui a procédé à une expertise en 1995, la station n'est plus opérationnelle notamment du fait:

- ❖ Qu'elle est sous-alimentée en eaux usées brutes depuis l'arrêt en avril 1995 suite à la dégradation de la station de relevage N°2 de la collecte des eaux usées de l'agglomération d'Alger. Les eaux qui arrivent à la station ne sont plus que de l'ordre de 2000 m³/j contre 100000 m³/j prévus.

- ❖ La filière de traitement des boues est totalement arrêtée après l'endommagement de la cloche du gazomètre (fausse manoeuvre lors d'une opération d'entretien en 1993). La réhabilitation de la station est actuellement envisagée par le Ministère des Ressources en Eau. Par ailleurs, dans le cadre de l'actualisation du Plan Directeur d'Assainissement, des extensions sont prévues pour porter la capacité à 3600000 équivalents habitants. L'acheminement des eaux usées vers la station nécessite également la réhabilitation et l'extension d'un certain nombre de collecteurs avec des stations de relevage. Il s'agit notamment des Collecteurs Oued Smar (2^{ème} tranche), Oued Ouchaiah, Pointe Pescade, El Harrach industriel, Eucalyptus (partie avale), Baba Ali (partie avale).

Le système d'épuration Beni Messouss : L'assainissement de la zone Ouest de la wilaya d'Alger est prévu dans le cadre de la réalisation de la station de Beni Messouss, retenue dans le plan Directeur d'Assainissement du Grand Alger. Cette dernière est mise en service à la fin de l'année 2007.

Système d'épuration de REGHAIA : La zone Est est prise en charge par la station d'épuration existante de Réghaia. Celle-ci envisage un traitement physique (mécanique). Les travaux de réhabilitation ont été effectués sur la station, mais la collecte des eaux n'est toujours pas totalement assurée (collecteurs non encore réalisés, collecteurs dégradés ou stations de relevage non encore opérationnelles).

Le reste des stations d'épuration sont illustrés dans le tableau IV-1.

Tableau V-1 Tableau récapitulatif des capacités de l'ensemble des stations d'épuration de la Wilaya d'Alger.

Station	Capacité Eq-hab/J	Situation
Baraki	9 00 000	en service
Beni Messouss	270000	en service
Reghaia	300 000	Traitement mécanique
Staouali	15 000	En service
Zeralda	5000	En service
Mouriti	5000	En service
Totaux	1495000	A l'an 2011 l'ensemble est fonctionnel

II-2-2 - Diagnostic qualitatif :

Durant les dernières années beaucoup de pays ont profité des opportunités offertes par la réutilisation des eaux usées afin de soutenir leurs déficits en eau d'une manière générale, ainsi faire de cette ressource une réserve qui peut être utilisée en cas de pénurie d'eau [98]. Incontestablement, la pénurie de l'eau est une motivation majeure pour chercher des provisions alternatives de l'eau, La stratégie de la réutilisation des eaux usées est une composante importante dans la conservation de l'eau [99]. Pour pouvoir juger si une eau issue d'une station d'épuration qui peut être utilisée à des fins socioéconomiques, l'eau en question doit répondre à des critères physicochimiques et microbiologiques très strictes qui s'ajoutent à des tolérances très sévères en matière d'existence des métaux lourds [100- 102].

Donc, la potentialité d'une région de recycler ses eaux usées est beaucoup limitée par la qualité de l'eau à la sortie des stations d'épurations [103]. Dans ce contexte, le système d'épuration existant dans la wilaya d'Alger génère-il une eau qui répond aux critères de réutilisation ?

Pour répondre à cette question, nous avons jugé utile de procéder à un diagnostic qualitatif des stations d'épuration. Nous avons effectué des analyses physicochimiques des paramètres de l'eau pour la station de STAOUALI, dont les résultats sont représentés ci-dessous. Pour la station de BARAKI, nos diagnostics sont limités à l'analyse des caractéristiques de base de dimensionnement. Pour la station de Beni Messous qui a connue les essais industriels qu'en fin 2007, donc un suivi qualitatif ne nous donnera pas l'état réel du niveau de traitement. De même, pour la station de Réghaia, où elle ne fonctionne qu'avec le

traitement mécanique. Donc, d'une manière générale, vu le non achèvement à 100% les travaux de mise en service ou bien de réhabilitations, nous nous sommes limités d'étudier la qualité des rejets qu'à partir de critères de dimensionnement.

II-2-2/A/ Etude de la station de STAOUALI

A-1/ Analyses physico-chimiques des eaux

Pendant un mois la Station de Staouali a fait l'objet d'un suivi journalier. Le tableau suivant illustre la fréquence et les points de prélèvement :

Tableau IV 2 : les points et les fréquences de prélèvement.

Paramètres	Effluent	Zone Aérobique	Sortie	Fréquence
Débit (m ³ /j)			●	J
MES (mg/l)	●	●	●	J
DCO (mg/l)	●		●	H
DBO -5 (mg/l)	●		●	H
pH	●	●	●	J
NH ₄ -N (mg/l)	●	●	●	H
NO ₂ -N (mg/l) I	●	●	●	H
NO ₃ -N (mg/l)	●	●	●	H
PO ₄ -P (mg/l)	●	●	●	H
Turbidité (NTU)			●	J

NB : **J** : prélèvement journalier ; **H** : prélèvement hebdomadaire

La moyenne mensuelle des **pH**, **MES**, **DBO**, **NTK**, **DCO**, **Orthophosphate** et **Azote** est présenté dans le tableau ci-après :

Tableau IV-3 Les teneurs moyennes des paramètres physicochimiques de l'eau épurée de la STEP de STAOUALI.

Paramètres de pollution	Valeur moyenne de mois de mars (2005)	Norme de rejet		Normes FAO
		sur 2 heures	sur 24 heures	
pH	7.8	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5 à 8,4
MES (mg/l)	7	40	30	20 à 30
DBO (mg/l)	8.75	40	30	10 à 20
DCO (mg/l)	70.3	120	90	30 à 60
NTK (mg/l)	4.04	50	40	
Azote (mg/l)	23.17			
Orthophosphate (mg/l)	5.99			

A la sortie de la station, l'eau épurée présente une DBO₅ de 8.75 mg/l et une DCO de 70.3 mg/l. Sachant que la FAO a fixée les normes de réutilisations de l'eau à une DBO₅ de 10 à 20 mg/l, une DCO de 30 à 60 mg/l [104]. L'irrigation répétée avec l'eau relativement chargée en matières organiques donne une bonne structure au sol par la formation des agrégats qui forment avec l'argile le complexe argilo humique. C'est sur ce complexe que se fixent les ions apportés par les engrais qui seront libérés dans la solution du sol pour être absorbés par les racines [99].

Le pH est un paramètre essentiel pour l'irrigation qui peut affecter la pression osmotique des plantes et la précipitation de certains éléments toxiques comme les métaux lourds [105, 106, 107]. Le pH de cette eau se situe entre 7.7 et 7.9 qui est favorable à l'utilisation en agriculture et qui répond à la norme la FAO ($6.5 < \text{pH} < 8.4$) [104].

Teneur en matière en suspension : La teneur en matières en suspensions dans les eaux épurées est de 7 mg/l, correspondant à un pourcentage d'élimination de 95%, qui répond largement à la norme recommandée par le FAO (20-30 mg/l) [104]. Avec ce seuil de MES le colmatage des sols en surface (les pores) et l'obstruction des appareillages d'irrigation (pompe, Vanne) souvent évitée [108- 110].

Les éléments nutritifs La valeur fertilisante de l'effluent se traduit par sa richesse en éléments majeurs (N, P, K). Les concentrations en N et P dans les eaux épurées peuvent varier sensiblement selon la source d'eau usée et le procédé de traitement.

a) l'azote : Les résultats d'analyses montrent que la teneur en nitrates est élevée (84.62mg/l ou 19.1 mg/l de N) qui peut classer cette eau dans la classe « léger à modéré » par rapport aux normes recommandées par la FAO qui varient entre 5-30 mg/l de N [104]. Cette teneur peut poser un problème de pollution des eaux souterraines dans les zones irriguées, sur des sols légers (sableux, très perméable), où les NO₃⁻ se lessivent en profondeur. Elles sont peu retenues par le complexe argilo humique due à l'insuffisance de la matière organique [111, 112]. Pour l'azote ammoniacal, la teneur est très faible (0.73 mg/l) par rapport à la norme (0.2-10 mg/l) [104].

b) Le phosphore : Selon la FAO, la valeur admissible en phosphate pour une eau d'irrigation se situe entre 1 et 5 mg/l [104]. Pour cela, l'évaluation de phosphate devrait être réalisée avec les analyses de sol pour bien quantifier la valeur exacte qui se trouve dans l'eau et le sol [99]. Si cette quantité est insuffisante pour les besoins des cultures, on doit effectuer des amendements complémentaires. La teneur moyenne en phosphate dans l'eau de la STEP de STAOUEL est de 1.95 mg/l, donc est admissible pour l'irrigation.

Les caractéristiques chimiques de l'eau épurée :

Le tableau ci-après présente les valeurs moyennes pour chaque élément chimiques.

Tableau IV-4. Les teneurs moyennes des paramètres chimiques de l'eau épurée

Paramètres chimiques	Essai n° 1	Essai n° 2	Essai n° 3	Moyenne
Magnésium Mg⁺⁺ (mg/l)	39.85	27.46	33.53	31.16
Sodium Na⁺ (mg/l)	155	195	180	149.66
SAR	2.98	3.92	3.33	3.11
Potassium K⁺ (mg/l)	11	15.5	13	11.75
Chlorure Cl⁻ (mg/l)	156.71	183.25	184.07	176.93
Sulfate SO₄⁻⁻ (mg/l)	185.2	170.4	224	179.6
Bicarbonate HCO₃⁻ (mg/l)	370.88	325.74	375.76	360.25
Carbonate CO₃⁻⁻ (mg/l)	0	0	0	0
TH (F°)	48	46.8	54.7	
TAC (F°)	33	26.7	30.8	
TA (F°)	0	0	0	0
Potassium (mg/l)	11	15.5	13	11.75

La salinité : La salinité est un paramètre essentiel pour arbitrer si la qualité de l'eau est acceptable pour l'irrigation. Selon la FAO, le problème ne se pose pas si elle est $<700 \mu s/cm$, entre $700 \mu s/cm$ et $3000 \mu s/cm$. Il faut choisir des cultures tolérantes aux sels. C'est le cas de l'eau épurée de la station de STAOUELI (où la salinité est égale à $1485 \mu s/cm$). Cette valeur exprime une forte salinité qui peut provoquer des problèmes de salinisation au niveau du sol. Ayant un SAR de 3.11, cette eau d'après le diagramme de Riverside est classée en **C3-S1**. Cette classe est admissible pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés.

La salinité dans la forme de sodium peut affecter directement les propriétés du sol, à travers les phénomènes d'enfler et dispersion [113]. Ces effets se produisent puisque le sodium est un cation positivement chargé qui réagit réciproquement avec les couches négativement chargées (connu comme plaquettes) de particules en argile. Tel que l'augmentation des concentrations du sodium provoque la mobilité de l'électrophoretique des plaquettes en argile et par la suite engendre dispersion gonflée des particules en argile donc enfoncer la perméabilité du sol [113].

La variation électrique de l'eau traitée par la station de STAOUALI es représentée sur le graphe suivant.

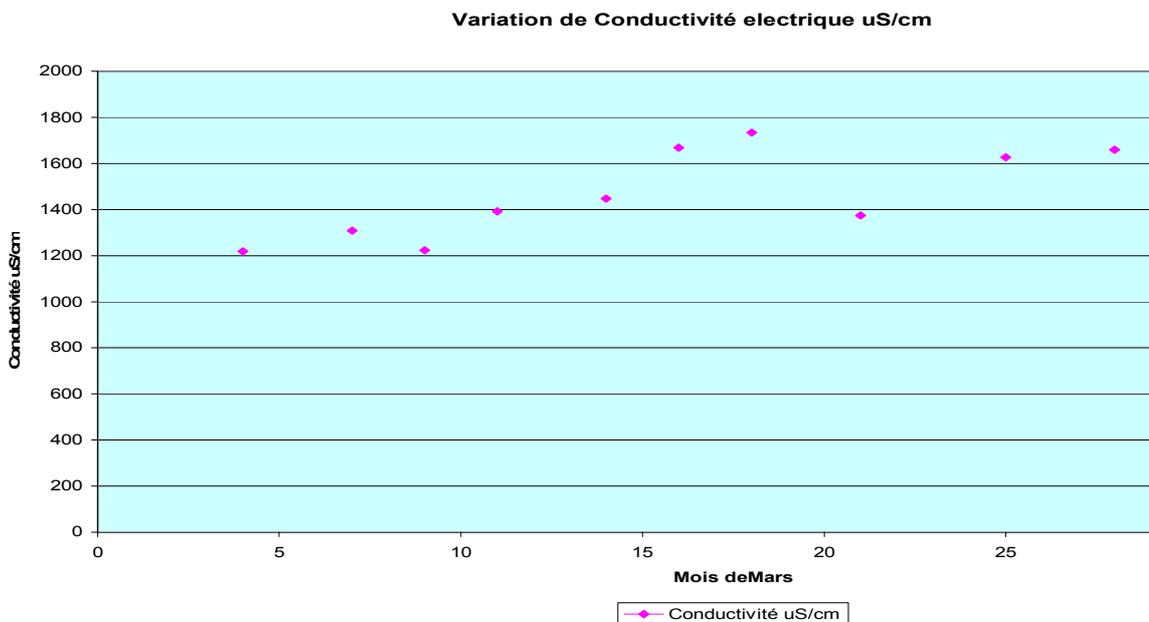


Figure IV-1 : L'évolution de la conductivité électrique à la sortie de la STEP de Staouali.

La figure V-1 : Variation de la conductivité électrique (année).

La figure V-1 montre nettement la haute teneur de la conductivité électrique de l'eau traitée.

D'autre part, l'eau étudiée présente une teneur en chlorures de 176.93mg/l (5 meq/l), cette concentration est admissible pour l'irrigation en surface selon la FAO (4 à 10meq/l). Pour les sulfates, notre eau présente une teneur de 176.9 mg/l. Si cette valeur est supérieure à 380mg/l, l'eau devient impropre à l'irrigation [104]. De même pour les bicarbonates, une valeur de 5.9 meq /l, répond largement aux valeurs admissibles par la FAO, qui se situent entre (1.5 - 8.5 meq/l).

Potassium : Le potentiel de fertilisation potassique des eaux usées est de 30mg/l selon la norme de la FAO, La teneur moyenne en potassium de l'eau épurée est de 11.75mg/l qui est insuffisante pour l'irrigation, un amendement en potasse est exigé selon les besoins des cultures [104].

Un des impacts majeurs de la salinité sur le sol est la réduction de la conductivité hydraulique au niveau du sol lui-même [115].

Analyses des métaux lourds :

L'analyse des métaux lourds des eaux épurées dans but de la réutilisation, c'est une étape très importante. Pour cela, nous avons effectué des analyses afin de détecter les teneurs en fer, Mg, Cu, Zn, Cd et Cr. Le tableau IV-6 donne les teneurs moyennes en métaux analysés.

Tableau IV-5. Teneurs en métaux lourds à la sortie de STEP de STAOUALI (année 2005).

Métaux Lourds analysés	Essai N° 1	Essai N° 2	Moyenne	Normes (FAO) Eau utilisée en permanence sur tous les types de sol	Norme (FAO) Utilisation allant jusqu'à 20ans sur des sols à texture fine, 6<pH<8.5
Fer (mg/l)	0.102	0.08	0.091	5	20
Mn (mg/l)	0.091	0.019	0.055	0.2	10
Cu (mg/l)	0.04	0.025	0.0325	0.2	5
Zn (mg/l)	0.127	0.15	0.138	2	10
Cd (mg/l)	0.002	0.00	0.001	0.01	0.05
Cr (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.1	1

La présence des métaux lourds dans les eaux usées épurées peut poser des problèmes sanitaires pour les humains et les animaux et peut également affecter les cultures irriguées. Les résultats d'analyses montrent l'existence d'éléments en trace dans l'eau épurée à des concentrations très faibles par rapport aux normes recommandées par la FAO [104].

Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans les sols, et plus tard dans les produits alimentaires [116- 118].

A/2- Analyses microbiologiques

Avant de procéder à la réutilisation des eaux usées suite à un certain degré de traitement exigé par les normes d'irrigation de différentes cultures, une analyse microbiologique est évidemment nécessaire [119]. Les germes pathogènes présents dans l'eau peuvent contaminer directement le sol irrigué et par conséquent les fruits des récoltes [98].

Les caractéristiques bactériologiques l'eau traitée par la station de Staouali sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau IV-6. Analyse bactériologique des eaux traitées de la STEP de Staouli (année 2005)

Echantillons	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}
Germes totaux à 37°C UFC/100 ml	1.35 10 ⁶	5.9 10 ⁴	9.3 10 ⁴	2.6 10 ⁵	1.03 10 ⁵
Coliformes fécaux UFC/100 ml	>180	43	>180	>180	>180
Streptocoques fécaux UFC/100 ml	>180	>160	>180	>180	>180
Staphylocoque Fécaux UFC/100 ml	absence	absence	absence	absence	absence
Selmounella UFC/100 ml	absence	absence	absence	absence	absence
Shiguilla UFC/100 ml	absence	absence	absence	absence	absence
Eschirichia-coli	présence	absence	absence	présence	présence

L'analyse bactériologique des eaux traitées de la STEP de Staouli montre la présence des coliformes fécaux, coliformes totaux et l'absence des germes pathogènes tels que Salmonelles, shigella et staphylocoques. Les bactéries pathogènes, une fois présentes dans

l'eau d'irrigation sont capables de se reproduire dans le sol [120], et par la suite infecter les personnes en contact avec le milieu contaminé [119]. C'est pour ces effets là, l'eau traitée doit être désinfecté de telle manière à ne pas dépasser les normes FAO.

Examen parasitologique des eaux

L'examen parasitologique des eaux concerne les germes pathogènes suivants :

- ✓ Les Protozoaires : sont des eucaryotes unicellulaires, connu comme kystes ou oocysts, qui peuvent se produire après consommation de la nourriture ou l'eau contaminée avec le oocysts ou à travers personne à contact de la personne. [121, 122]
- ✓ Helminthes : sont des parasites intestinaux communs qui sont transmis par l'itinéraire fécales [123]. Le haut pouvoir pathogène des œufs d'helminthe inquiète l'utilisateur des eaux recyclées [124]. Néanmoins, le risque de contamination dépend toujours du niveau de traitement [125].

Il existe d'autres germes de moins importance tels que les œufs d'acariens flagelles et les Levures [123].

En ce qui concerne notre eau, l'analyse parasitologique montre la présence des germes pathogène cité ci-dessus, qui est due peut être au dysfonctionnement du système de désinfection de la station de STAOUALI. Dans le cas normal, un traitement biologique efficace peut éliminer la totalité de ces germes. [98]

D'une manière générale, nous pouvons révéler que la STEP de STAOUALI présente :

- ✓ un pH neutre, favorable à tous types de sol et culture;
- ✓ une salinité moyenne qui peut provoquer après des irrigations répétées une salinisation du sol et de la nappe phréatique ;
- ✓ une moyenne charge organique ($DBO_5 = 8.75\text{mg/l}$, $DCO = 70.3\text{mg/l}$) n'affectant pas les propriétés physiques du sol ;
- ✓ une faible teneur en MES= 7mg/l , qu'est favorable pour tous types de sol. Mais il faut toujours contrôler l'évolution de cette dernière pour éviter l'infiltration des éléments minéraux et toxiques ;
- ✓ La qualité de fertilisante de l'eau épurée est d'une manière générale, satisfaisante du point de vue éléments nutritifs.

II-2-2/B/ Etude de la station d'épuration de Baraki :

Comme nous avons révéler ci-dessus la station de Baraki est en état de réhabilitation ce qui nous a obligés de diagnostiquer la qualité de l'eau qui sera traitée par cette importante station à travers les données de dimensionnement fournies par l'administration.

La station en question dimensionnée a une capacité de 3600000Eqhab, ce qui correspond à un débit journalier de 720 000 M³. Mais dans les prochaines années, la station en premier lieu ne sera alimentée qu'avec un débit correspondant à 900 000Eqhab/j c'est à dire un volume de 180 000 M³/j selon l'administration. L'eau à l'entrée et à la sortie de la station est estimée d'avoir les caractéristiques suivantes :

Tableau IV-7 Caractéristique d'eau avant et après traitement.

Paramètres	Eau d'entrées	Eau après épurations
BBO ₅ (mg/l)	460	20 (sur 24 heures)
MES (mg/l)	438	<90 (sur 24 heures)
pH	6.5-8.5	6.5-8.5
DCO (mg/l)	825	20 (sur 24 heures)
NTK (mg/l)	40	
Phosphore total (mg/l)	10	

A partir de ces paramètres, il nous semble très difficile de dire si l'eau traitée peut être utilisée dans l'irrigation ou bien pour d'autres utilisations tel que le refroidissement des centrales électriques car il manque plusieurs paramètres dont la salinité, les métaux lourds, les chlorure.. Etc.

II-2-2/C/ Etude de la station d'épuration de Beni Messouss :

La station de Beni Messouss est dimensionnée de telle manière à rejeter une eau épurée qui répond aux critères de rejets exigés par la réglementation Algérienne.

- ✓ DBO₅ inférieure ou égale à 30 mg/l ;
- ✓ La DCO inférieure ou égale à 90 g/l ;
- ✓ Les MES inférieures ou égale à 30 mg/l ;
- ✓ Le pH entre 6.5 et 8.5 ;

De toute façon, il nous semble très difficile de dire que la station envisage un bon fonctionnement, en l'absence d'un suivi rigoureux de la qualité de d'eau à la sortie de station.

II-2-2/C/ Etude de la station d'épuration de Réghaia :

Malgré l'importance de la capacité volumique pour laquelle la station de Réghaia est dimensionnée. Cette dernière ne fonctionne qu'avec un traitement mécanique à cause d'un dysfonctionnement du système biologique qui lui-même freiné par la pollution liquide

industrielle. On rappelle que toutes les unités industrielles (industries de métallurgie énergie, matériaux de constructions, industries agro-alimentaires, industries chimiques caoutchouc, plastique, bois, papier, travaux publics industries de textiles et tanneries) ne disposent pas de systèmes de traitement des eaux résiduaires.

A la sortie de la station, en parlant uniquement du taux d'élimination des MES qui est égale à 60% correspondant à une concentration en MES à la sortie de 276 mg/l qui est loin par rapport aux normes de rejets.

Etat global du système d'épuration de la wilaya d'Alger :

A partir du diagnostic prescrit ci-dessus nous pouvons dire que la Wilaya d'Alger possède des potentialités énormes en matière de la quantité d'eaux usées traitées journallement (4175000 m³/j). Mais en parallèle, le diagnostic qualitatif nous a révélé que la majeure proportion de cette eau ne peut être réutilisée d'une façon directe. Donc, on doit courir d'une part vers la réutilisation sélective [126,127] et aussi l'eau traitée peut être utilisée pour le développement des zones vertes et régions de récréation dans les centres urbains (parcs, cours de tennis, urbain, régions complexes d'usage public) [128], sans oublier l'opportunité offerte par les eaux épurées telle que la réutilisation dans les complexes résidentiels pour usage dans la protection contre les feux [103]. D'autre part, vers l'intégration à la sortie de chaque station des systèmes de traitement tertiaire afin d'améliorer la qualité de l'eau épurée.

III- L'éducation et la sensibilisation en tant que politique fiable pour la maîtrise et la conservation des ressources en eaux.

I- Introduction

La conservation de l'eau correspond à un système complexe d'interconnexions comportant une variété d'aspects, depuis l'éducation du consommateur jusqu'à la technologie de pointe. Il faut envisager tous ces aspects dans leurs contextes économique, social, religieux, politique, juridique et esthétique [129, 130]. La conservation de l'eau doit être vue comme un élément fondamental de la gestion intégrée des ressources en eau ; la sensibilisation et l'éducation du public sont les outils de base nécessaires pour garantir la participation du public à la conservation de l'eau [131-133].

Beaucoup de personnes parmi les décideurs, les responsables d'entreprises publiques ou privées, les universitaires et les différents acteurs sociaux, ne saisissent pas à leur juste mesure les conséquences probables des manques d'eau et les mauvaises utilisations de ce

liquide précieux, tel que les fuites et le gaspillage. La persistance d'un tel état de pénurie est motivée par ;

- ❖ Manque de disponibilité des départements ministériels pour se consacrer à des activités liées aux préoccupations à moyen et long terme sur les problèmes de l'eau ;
- ❖ L'inexistence de données fiables et de disponibilités en matière de banques de données ;
- ❖ Manque d'outils d'aide à la décision ;
- ❖ Absence d'instruments juridiques et réglementaires adaptés ;
- ❖ Absence de sensibilisation et faiblesse de la participation des acteurs sociaux.

III-2- Le niveau de sensibilisation acquis par notre société.

Au niveau gouvernemental de la plupart des pays du Sud de la Méditerranée, on croit fermement que la conservation de l'eau est l'une des solutions les plus sûres et rentables face à la pénurie d'eau. Cette croyance se reflète clairement dans les recommandations formulées par les réunions régionales et internationales d'organismes chargés de l'eau [134-138]. Malheureusement, ces recommandations restent limitées aux responsables de l'eau (organismes chargés de l'eau et décideurs) et n'ont pas atteint les consommateurs (le public). C'est surtout le manque de participation et de sensibilisation du public qui semble expliquer cette lacune.

Une recherche approfondie portant sur la documentation relative aux activités de conservation de l'eau et de sensibilisation du public en Méditerranée a montré qu'il existe peu de références. Cela fait ressortir deux problèmes : d'abord l'insuffisance de telles activités, et ensuite le peu d'échange d'information et un accès limité à cette information dans ce secteur important. Un autre problème important doit être signalé : la plupart des activités de conservation ont jusqu'à maintenant ciblé les utilisateurs domestiques, ne s'intéressant presque pas à l'agriculture et à l'industrie.

III-3- Les outils d'une bonne conservation de l'eau.

L'information, la sensibilisation, la formation et l'éducation concernent aussi bien les secteurs impliqués par l'eau que l'ensemble des acteurs socio-économiques. La gestion efficace de l'eau constitue un domaine global, pluridisciplinaire et multisectoriel. C'est pourquoi, leur prise en charge est délicate et nécessite la coopération et la contribution de plusieurs institutions et divers organismes. Cependant, elle constitue aussi un élément fédérateur des acteurs économiques et sociaux. Au niveau national, deux cadres d'action sont indispensables et doivent se développer de façon parallèle à savoir la concertation et la participation. Le

cadre de concertation doit regrouper les principaux décideurs, la communauté universitaire et les représentants de la société civile comme les Organisations Non Gouvernementales (ONG). Le cadre de participation est indispensable pour assurer la pérennité des actions envisagées dans le cadre de concertation. La participation repose sur:

- ❖ l'appui des institutions de l'Etat,
- ❖ l'information (démonstrations, émissions télévisées, articles de presse, ouvrages de vulgarisation, etc.),
- ❖ l'éducation environnementale au niveau du système scolaire et universitaire,
- ❖ la mobilisation de l'opinion publique autour des problèmes liés aux mauvaises utilisations de l'eau et l'organisation de campagnes nationales d'actions relatives aux secteurs impliqués (énergie, industrie, transports, forêts, déchets, bâtiments, agriculture, etc.),
- ❖ les expositions itinérantes.

III-4- Les stratégies de sensibilisation pour une meilleure conservation de l'eau

Les programmes de conservation de l'eau devraient être réalisés par l'organisme chargé de la gestion des ressources en eau. L'exécution de tels plans pour les divers secteurs (par exemple municipal, agricole, industriel) devrait être coordonnée par l'organisme d'État correspondant à chacun des secteurs. Une coordination étroite et un partenariat devraient être institutionnalisés entre les organismes responsables de l'approvisionnement en eau, de la gestion de la demande ainsi que de l'éducation, des médias et de la sensibilisation. La participation et la coopération du public à la conception et à l'application des mesures de conservation sont également essentielles au succès des programmes de conservation de l'eau. Le public comprend les consommateurs, les fournisseurs de services, les gestionnaires, les planificateurs et les responsables politiques.

Pour que l'on puisse obtenir une meilleure coopération et une participation accrue, le public doit comprendre la situation de l'approvisionnement en eau, y compris les coûts de la livraison, l'état global des ressources en eau, le besoin de conserver ces ressources en eau et de les préserver pour les générations futures. Cet élargissement de la compréhension est la première étape de toute activité réussie de sensibilisation du public. Toutefois, la crédibilité de cette information est essentielle. La plupart des activités de conservation de l'eau requièrent un changement de comportement et d'attitudes, ce qui constitue habituellement un processus à long

terme. Par conséquent, des activités ponctuelles et occasionnelles de sensibilisation du public ne sont pas efficaces. Les autorités chargées de l'eau devraient planifier des activités continues et à long terme, en étroite collaboration avec toutes les parties intéressées. Certaines activités de conservation de l'eau engendrent des coûts qui doivent être payés par le public, notamment la réparation de robinets, la modernisation de systèmes d'irrigation ou la modification de lignes de production industrielle. Ces coûts des programmes de conservation de l'eau doivent être compensés par des mesures incitatives.

III-4- 1-Sensibilisation

Le maître mot de la sensibilisation est de responsabiliser le citoyen en lui expliquant que la protection de l'environnement et la lutte du gaspillage et les consommations excessives de l'eau ne sont rien d'autre que son bien être et la sauvegarde de son cadre naturel de vie. Ce qui va l'amener à prendre en charge, par lui-même, les préoccupations liées à ces risques. Le but ultime recherché de la sensibilisation est le respect de l'environnement et l'implication volontaire du citoyen. On doit stimuler et encourager l'édition des ouvrages, études, prospectus ainsi que la publication des recherches et synthèses dans le domaine de l'eau. Il faut saisir l'opportunité offerte lors des journées mondiales de l'environnement, de l'eau, de l'arbre, de la météorologie, de la désertification pour sensibiliser les décideurs et la communauté nationale aux problèmes de l'environnement et de l'eau. Il s'agit aussi pour la communauté universitaire et scientifique de saisir la tenue de conférences, de séminaires et de colloques pour sensibiliser les participants sur les liens existants entre la bonne gestion de l'eau et les activités visées par ces manifestations.

III-4-2- Formation et éducation

Il faut développer la formation en direction de l'ensemble des acteurs sociaux. Il s'agit là d'une activité spécifique et nouvelle entrant dans le cadre de la préservation et la bonne utilisation de l'eau. La formation se fera à deux niveaux :

- ❖ une formation générale en direction des décideurs et du public afin de les amener à une plus grande perception de la conservation de l'eau et des enjeux qui lui sont liés ;
- ❖ une formation spécialisée pour les opérateurs par secteur d'activité pour les aider à saisir la nature des liens existants entre leurs activités et les risques liés au manque d'eau et les amener à prendre, de façon progressive et graduelle, des mesures pratiques de réduction

des excès de consommation d'eau, le gaspillage et pertes dans les fuites, et éventuellement d'adaptation.

Le domaine de l'eau peut aussi donner l'occasion d'introduire l'éducation environnementale officielle et non officielle au niveau du système scolaire et universitaire. Tous les niveaux d'éducation officielle et non officielle sont essentiels pour augmenter la sensibilisation. Les thèmes de la pénurie et de la conservation de l'eau peuvent être abordés dans l'enseignement de matières telles que la religion, l'arabe, la science et la géographie. Malheureusement, l'éducation environnementale n'en est qu'à ses débuts dans notre pays. Ultime sera donc de mettre à jour les programmes d'études pour les matières mentionnées et d'y ajouter l'éducation environnementale, laquelle devrait porter sur toutes les questions prioritaires, y compris les ressources, la protection et la conservation de l'eau. Cette mise à jour des programmes d'études prendra un certain temps. Par conséquent, si des changements sont apportés aux manuels didactiques ou aux programmes d'études, les autorités chargées de l'eau devraient profiter de l'occasion et veiller à ce que les concepts de la conservation soient compris. Ainsi, de nouvelles filières peuvent voir le jour et permettre de nouveaux débouchés en matière d'emploi.

Compte tenu de la faiblesse de l'éducation environnementale officielle, l'éducation non officielle semble une voie plus réaliste à court terme. Des colloques, des ateliers et des communications pourraient profiter aux étudiants et à d'autres groupes. Les rapports, les articles de journaux, la publicité à la télévision, les affiches et d'autres outils des médias de masse sont également très efficaces pour atteindre le grand public. Cela relève habituellement des autorités chargées de l'eau en collaboration avec d'autres organismes de protection environnementale.

III-4-3- La sensibilisation accrue par le biais des mosquées

Tout musulman averti peut éduquer les autres au sujet de l'Islam. Bien que l'Islam n'ait pas de clergé officiel, les imams jouent un rôle clé dans la prestation des enseignements islamiques et dans l'éducation du public à travers les mosquées. Par conséquent, les imams et les mosquées devraient être des points de convergence des activités de sensibilisation du public à la conservation de l'eau. Les imams devraient être entraînés et informés de manière adéquate ;

ils ne devraient jamais être exclus des activités de planification et de gestion des ressources en eau.

Les imams peuvent atteindre le public mieux que les spécialistes de l'eau. Bien qu'ils soient habituellement bien formés (au sujet du fiqh, de la sunna et de la charia), leurs connaissances sur les ressources en eau et les pratiques de la conservation sont le plus souvent insuffisantes pour éduquer la population en ces matières. Par conséquent, les spécialistes de l'eau doivent former, éduquer et informer les imams non seulement au sujet des pénuries d'eau, des pratiques de conservation et du besoin de faire participer le public, mais aussi en matière d'utilisation de moyens audiovisuels et de documentation pouvant les aider à atteindre ce public.

Les prières du vendredi, dans les mosquées, sont des occasions hebdomadaires importantes dans la vie d'un musulman. Les imams devraient préparer leur sermon du vendredi en étroite collaboration avec les experts de la conservation de l'eau et de la communication, en s'appuyant aussi sur des faits et des chiffres fiables. Un sermon du vendredi traitant d'un thème lié à l'eau ne devrait pas être occasionnel, mais raisonnablement fréquent, afin de parvenir à changer les comportements. Il est recommandé que de tels exposés soient plus fréquents en été et pendant les périodes où la demande en eau est la plus élevée.

III-4-4- La sensibilisation accrue par le biais des canaux d'information :

L'Algérie utilise-t-elle convenablement et de façon continue les moyens médiatiques pour lancer des campagnes de sensibilisation et d'information ? La question mérite d'être posée, pour connaître justement, le degré d'intéressement à l'eau dans notre pays. Si l'intérêt pour l'eau est resté intact au niveau des pouvoirs publics, et son rôle pour le développement reconnu, la communication avec la population et son information sont demeurées faibles. Les médias publics, et comme nous l'avons déjà souligné, on n'aborde le thème de l'eau qu'à l'occasion de célébration de la journée de l'eau, de l'arbre et de l'environnement.

Mais avec l'apparition de journaux indépendants et le pluralisme démocratique aidant, l'intérêt pour l'eau et l'environnement est rehaussé, puisque certains journaux tiennent maintenant de façon régulière des rubriques consacrées à l'environnement, en plus des contributions qu'ils reçoivent de la part de spécialistes ou d'universitaires versés sur ces questions. Mais, l'obstacle réel pour une véritable prise de conscience des problèmes de l'eau reste l'analphabétisme. Donc, dans le but de toucher justement le plus grand nombre de

personnes, le recours aux mass-médias et notamment la télévision s'avère indispensable car les problèmes de l'eau dans le pays sont liés le plus souvent aux actes les plus élémentaires de la vie. Ainsi, la protection des ressources naturelles épuisables doit-elle relever des tous premiers réflexes de chaque individu. Développer l'information auprès des usagers et des décideurs pour une meilleure compréhension des solutions proposées et l'acceptation des contraintes qui en découlent en utilisant au mieux les moyens multimédias existants et déjà organisés en réseaux.

Conclusion générale.

Notre travail a pour objectif de mettre en place une politique globale qui nous permet de gérer l'approvisionnement de l'eau en situation de crise générée par l'apparition d'une sécheresse accentuée de plusieurs années consécutives.

Afin d'appliquer cette étude sur la wilaya d'Alger nous avons établis un bilan quantitatif et qualitatif des potentialités en eaux de la wilaya d'Alger.

Le bilan des connaissances acquit sur les ressources en eaux dans la région d'Alger fait état d'une consommation d'eau distribuée de 185 l/hab/j, si l'on tient compte des fuites (50%), l'industrie et du tourisme. Cette quantité devient 70 l/hab/j. Sachant que, la capacité totale des barrages qui alimentent directement Alger ou par les transferts est de 658 millions de m³. Ainsi, Alger est alimentée à partir de la nappe de la Mitidja d'une capacité 328 millions de m³/an. Aussi, il y a lieu de citer les stations d'épurations d'eau usées qui totalisent une capacité de 1475000 m³/j, s'ajoute aux stations de dessalement qui produisent 212500m³/j.

Malheureusement, ces potentialités en eaux sont menacées par divers problèmes, tels que l'envasement des barrages qui est atteint un taux alarmant. La pollution a touchée les eaux de surface et souterraine, s'ajoute à l'intrusion saline des nappes provoqué pas la sur exploitation des forages et la non sensibilisation des usagers.

Par ailleurs, l'étude statistique des indices de précipitation, nous a confirmé d'une part que ces réserves d'eau dépendent directement du taux de précipitation et d'autre part, la persistance des sécheresses de plusieurs années.

La mise en scène des scénarios de crise, nous a permit de voir le comportement des barrages afin de prévoir les solutions à mettre en place pour faire face à la conjoncture de manque d'eau provoquée par l'accentuation des sécheresses.

Enfin, nous avons établi un plan d'intervention articulé sur deux axes qui marchent en parallèles, en l'occurrence la réutilisation des eaux usées après un traitement requis ainsi que la sensibilisation et l'éducation continue des usagers.

Sachant que, la réutilisation et le recyclage des eaux permet de générer une sources d'eau non conventionnelle très importante qui diminue la pression sur les eaux conventionnelles. Ainsi, l'investissement dans l'éducation environnementale de tous les acteurs impliqués dans la production, la gestion et la consommation de d'eau, assure une utilisation appropriée des ressources hydriques et assurer la vie aux générations futures.

En perspective, la présente étude n'atteint pas ces objectifs si on tient pas compte d'une gestion rationnelle de la ressource en eau. Une gestion globale et durable de la ressource en eau doit accompagner avec les actions suivantes :

- ✓ La réforme du système du prix de l'eau, ce dernier étant déterminant en matière d'efficacité d'utilisation, et la généralisation de la notion surconsommation payeur.
- ✓ La rénovation des réseaux de distribution et la diminution des pertes.
- ✓ L'entretien des barrages afin de limiter leur envasement.
- ✓ L'accroissement de la ressource au moyen d'implantation des barrages, afin de limiter les quantités d'eau douce inutilisées qui rejoignent la mer.
- ✓ L'utilisation efficace de l'eau pour l'augmentation des de la production agricole avec l'utilisation des meilleurs technique d'irrigation approprié pour chaque nature de sol.
- ✓ L'investissement dans la lutte contre tout sortes de gaspillage doit être une priorité permanente.
- ✓ Le prix de l'eau usées rejetée doit être approprie avec l'adoption de la notion polluer payeur.
- ✓ l'élaboration d'une réglementation adéquate relative à la réutilisation des eaux usées épurées, sous contrôle régulier des services spécialisés dotés des moyens techniques et de compétences.
- ✓ Investissement contenu dans la formation et l'enseignement dans les sciences de l'eau.
- ✓ Encourager la recherche de développement dans le domaine de l'eau, particulièrement les recherches en partenariat entre plusieurs pays possèdent le même climat que le notre.
- ✓ Encourager la participation des associations d'usagers dans les différentes structures de gestion de l'eau
- ✓ La création d'une banque de données fiables, accessibles, compréhensibles et régulièrement mises à jour, tenant compte de normes internationales (unités de mesures,..) sur l'état de la ressource tant en qualité qu'en quantité est une nécessité.

- ✓ L'harmonisation et l'adaptation du cadre juridique et réglementaire aux nouvelles réalités du pays, à savoir l'économie du marché, la mondialisation, la privatisation
- ✓ Le renforcement des capacités de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux par des moyens humains et matériels.
- ✓ Une planification pluriannuelle des investissements dans le domaine de l'eau tant au niveau national.

Enfin, pour que l'eau soit une locomotive de développement de tous les secteurs socio-économiques, il est primordial de maîtriser la préservation du cycle naturel de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Office National de Statistique. Annuaire statistique de la Wilaya d'Alger, (2003).
- [2] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ; -programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide- Tendances et alternatives- Avril (2005).
- [3] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ; -programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide -Diagnostic- juin (2005).
- [4] Ministère des ressources hydriques, Mission VI. Document de synthèse « cadastre hydrique du bassin hydrographique du côtier Algérois » (2003)-31pp.
- [5] A. AYME. Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique. Bull. Serv. Cart Géol, N°8, pp347-362. (1956)
- [6] Ministère des Equipements et Aménagement de Territoire. Note sur les ressources en eaux souterraines de l'Algérie -Juin 1999- Document de Synthèse. (1999).
- [7] Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique. Annuaire pluviométrique de l'Algérie. (1973)
- [8] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Aménagement des communes côtières du marais de Réghaia. (2005).
- [9] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Action pilote : Site du lac de Réghaia. (2005).
- [10] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Activité : Gestion Intégrée de la Zone Côtière. Action « 1 » Bilan et Diagnostique. (2005).
- [11] Ministère des ressources hydriques, Agence du bassin hydrographique, Algérois- Hodna-soummam « les carnets de l'agence » N°01. (2002).
- [12] B. Remini. La problématique de l'eau en Algérie. Collection hydraulique et transport solide. Edition 2005. p 182.
- [13] Agence Nationale des Ressources Hydriques. Etude méthodologique des étiages de l'Algérie du nord (Application et Synthèse) N° : 317/ANRH/DHYL/Avril 1999. (1999).

- [14] B. BENGUEDDACH. Les Possibilités des mobilisations des ressources en Eaux. Journées Techniques et Scientifiques sur l'Eau. Blida 1999 ; pp.12-19. (1999).
- [15] S. LAHLAH. , T. LARBI; Evaluation des ressources en eau de surface de l'Algérie ; Journées Techniques et Scientifiques sur l'Eau. Blida 1999 ; pp. 3-11. (1999).
- [16] Ministère des Ressources en Eau. Le Secteur de l'eau en Algérie –Document de synthèse. (2005).
- [17] F. HASSANI. La réutilisation des eaux usées en irrigation. Journées Techniques et Scientifiques sur l'Eau ; Blida. (1999).
- [18] A. KETTAB. Les ressources en eau en Algérie : Stratégies, Enjeux et Vision. Desalination 136, 25-33. (2001)
- [19] Direction des ressources hydrauliques et de l'Economie de l'eau (2005). Contrat N°04_2001 : Réhabilitation du système d'alimentation en eau potable de la Wilaya d'Alger. Mission D : préparation d'un schéma directeur pour la réhabilitation et recalibrage du réseau d'AEP. Septembre 2005.
- [20] Ministère des ressources en eau ; (1997) ; le Plan national de l'eau.
- [21] Direction des ressources hydrauliques et de l'Economie de l'eau de la Wilaya d'Alger. (2003) ; Etat de la production des eaux souterraines des champs captant pour l'Année 2003.
- [22] Algérienne Des Eaux. Bilan de la production d'eau année 2004. Lettre envoyée au Ministère des ressources en eau : Réf : N°/133/DG/009/ADE/2005. (2005)
- [23] Algérienne des Eaux, Unité de production d'Alger. Productions mensuelles totales en eau pour l'année 2005. (2005)
- [24] Ministère Des Ressources en Eaux.; Prélèvements effectués pour l'AEP à partir des barrages en exploitations. Prélèvements mensuels pour l'année 2003. (2003).
- [25] T. ABOUNI, W. HAMRIOUI et G. SADOU Etude de la pollution dans le bassin versant du Mazafran- Bulletin international de l'eau et de l'environnement. Edit Info Eau, N°14 Mars 1997. (1997).
- [26] H. PAUC, L BENSLAMA et S BERKANE. Les apports fluviatiles sur la marge Algérienne, aspects quantitatifs et qualitatifs, leur rôle dans la pollution du bassin Méditerranéen, leurs charges polluantes, leurs effets sur le milieu- 8^{eme} rencontre de l'Agence Régionale pour l'Environnement PACA ; 10-11 octobre 1996 -NICE. (1997).
- [27] Salim Kehal. Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie. Desalination 136, pp 35–42. (2001).

- [28] M. Nacer N. Hydrologie et pollution des eaux: exemple du bassin versant du Mazafran. Thèses de doc. ING USTM de GRENOBLE. (1986).
- [29] H. PAUC, L'intrusion saline et la dynamique des matériaux en suspension au contacte fluvio-marin: région de crue et région d'étiage dans l'Oued Mazafran (Ouest Algérois)-Marine géologie; 87, pp. 95-102. (1989).
- [30] Fadi Karam, Randa Masaad, Thérèse Sfeir, Oussama Mounzer, Youssef Rouphael Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions Agricultural Water Management, Volume 75, PP 226-244. (2005).
- [31] Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Alger, Situation des forages à l'arrêt, Note de synthèse. (2005).
- [32] Agence Nationale de Ressources Hydriques (ANRH), Bulletin de la qualité des eaux de barrages pour le mois de Mai 2006; sous référence N°230/ANRH/DCES.(2006).
- [33] Agence Nationale de Ressources Hydriques (ANRH), Bulletin de la qualité des eaux de barrages pour le mois de Avril 2006; sous référence N°187/ANRH/DCES. (2006).
- [34] Agence Nationale de Ressources Hydriques (ANRH), Bulletin de la qualité des eaux de barrages pour le mois de Mars 2006; sous référence N°127/ANRH/DCES. (2006).
- [35] Agence Nationale de Ressources Hydriques (ANRH), Bulletin de la qualité des eaux de barrages pour le mois de Février 2006; sous référence N°82/ANRH/DCES. (2006).
- [36] Agence Nationale de Ressources Hydriques (ANRH), Bulletin de la qualité des eaux de barrages pour le mois de Janvier 2006; sous référence N°37/ANRH/DCES. (2006).
- [37] l'Ambassade de la France en Algérie; (2005): Mission économique -le secteur de l'eau en l'Algérie: Document de synthèse juin 2005; pp 04.
- [38] B. Remim, J. M. Avenard, A. Kettab. Envasement des Barrage. Les Editions CEDOC, p 208. (2003).
- [39] Bakalozicw, P. |fleury, N. Doerfliger, J.-L. Sridel, Coastal Karst aquifers in Mediterranean régions. In: países Mediterranosm instituto Geologica y :inero de Espana, pp.125-128. (2003).
- [40] L. Tulipano, D. Fidelibus; A. Panagopoulos, European commission, Groundwater management of karstic coastal aquifers; (Eds.) COST 621, (365p.). (2005)
- [41] B. Arfib, T. Cavqlira, E. Gilli, Influence de l'hydrodynamique sur l'intrusion, saline en aquifère côtier. C.R. Geoscience 338; pp. 757-767. (2006)
- [42] J. Bear, A.H.-D. Cheng, S. Sorek, I. Herrera, D. Ouazar (Eds.), Seawater Intrusion in coastal Aquifers, Kluwer Académie Publishers, (625p.). (1999)

- [43] E. Gilli, C. Mangan, J. Mudry, Hydrogéologie, Objets, méthode, applications, Dunod, (303p). (2005)
- [44] A. Delin Villevieille, les risques naturels en Méditerranée, pp. 66-157, Eds : economica, Paris. (1997).
- [45] P. Ballanr. Les sécheresses : conséquences sur le milieu, salubrité, environnement, la HOUILLE BLANCHE/N°2. (1990).
- [46] Eric Gaume. Sécheresses et étiages : quelques réflexions. La Houille Blanche, N°4 pp. 77-83. (2004).
- [47] Riebsame, W. E., S. A. Changnon, and T. R. Karl. *Drought and Natural Resources Management in United States*. Westview Press, 174 pp. (1991).
- [48] Kumar, V.& Panu, U. S. Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors, *J. Am. Wat. Resour. Assoc.* 33(6), 1255-1264. (1997)
- [49] U. S. PANU & T. C. SHARMA.. Challenges in drought research: some perspectives and future directions. *Hydrological Sciences-Journal—des Sciences Hydrologiques*, 47(S), 19-30. (2002).
- [50] G. Rossi, M. Benedini, G. Tsakiris and S. Giakoumakis. *On regional drought estimation and analysis. Water Resources Management. Volume 6, Number 4. 249-277. (1992).*
- [51] Yevjevich V. An Objective Approach to definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts. Hydrology papers, Colorado, No. 23, 18 pp. (1967).

[52] Dracup J. A, Lee K.S., Paulson F.G. Jr.. *On the Definition of Droughts*. *Water Resource* 16, 297-302. (1980).

[53] Kenyantash J., Dracup J.A. *The Qualification of Drought. An Evaluation of Drought Indices*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, California, 14 pp. (2002).

[54] Michael O. Alatise, Oladunni Bimpe Ikumawoyi. *evaluation of drought from rainfall data for lokoja. a confluence of two major rivers*. *electronic journal of polish agricultural universities*.10(1),(2007).

Available Online :<http://www.ejpau.media.pl/volume10/issue1/art-05.html>.

[55] Ait Mouhoub, D. *Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral Algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation*, thèse de Magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger. (1998)

[56] Talibi, M. *Etude et prévision de l'écoulement et son utilisation en cas de sécheresse*. *Actes des journées techniques et scientifiques de l'eau*. 22&23 février 1999, pp149-157. Blida- Algérie. (1999).

[57] J. R. Vaillant. *Accroissement et gestion des ressources en eau*. Edition EYROLLES. PARIS, P247. (1977)

[58] A. Demmak, A. ould Amara, T. Larbi, D. Allili, M. Tamibi. *La sécheresse en Algérie des années 70/80*. *Journée nationale d'étude sur la sécheresse*. 20 Juillet . (1994).

[60] A. Demmak, A Ouald Amara. *La sécheresse en Algérie des années 1970/1990 et son impact sur les ressources en eaux*. *Table ronde sécheresse_ Changement climatique- Désertification*. Alger, le 12 Mars. (2001)

[61] Ait Mouhoub, D.and A. Katteb, *l'eau objet de toutes les convoitises*, *Colloque international sur l'eau*. Chelef, 05/06/Février, Algérie. (2002).

[62] M. Karamoz, F. ASCE, S TORABI, S. ARAGHINEJAD: *Analysis of hydrologic and agricultural droughts in central part of Iran*. *Journal of hydrologic engineering*. September / October. pp402-414. (2004).

- [63] Lettenmair; D.P.,McCabe, G., and Stakhiv, E.Z, global resources hand-book, Part V, L.W.Mays, ed., McGraw-hill, New York. (1996).
- [64] Aswathanarayana, U. Water resources management and the environment, Blkema, Rotterdam, the Netherlands. (2001).
- [65] Rawls W, J. Infiltration and Soil Water Movement. Handbook of Hydrology, D.R. Maidement edition. McGraw Hill 5, 1-5, 51 pp. (1993)
- [66] Y.MERILLON, P.CHAPERON, la sécheresse de 1989. La houille blanche/N°5. (1990).
- [67] Roger J. Brooks, Mikhail A. Semenov and Peter D. Jamieson. Simplifying Sirius: sensitivity analysis and development of a meta-model for wheat yield prediction. European Journal of Agronomy. Volume 14, pp43-60. (2001).
- [68] Lahcen Chillasse, Mohamed Dakki, « potentialités et statut de conservation des zones humides de Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse) Sécheresse N°4 ; Vol. 15 décembre. (2004).
- [69] M. Rodriguez-Rodriguez, J. Benavente, J.J. Cruz-San Julian, F. Moral Martos. Estimation of ground-water exchange with semi-arid playa lakes (Antequera region, southern Spain). *Journal of Arid Environments* 66. pp272–289. (2006).
- [70] Joseph J. Donovan, Alison J. Smith, Valerie A. Panek, Daniel R. Engstrom, Emi Ito. Climate-driven hydrologic transients in lake sediment records: Calibration of groundwater conditions using 20th Century drought. *Quaternary Science Reviews*. 21- pp605–624. (2002).
- [71] Zineddine Nouaceur. Crise climatique et mutation des paysages en Afrique subsaharienne: la dynamique des paysages autour de la Ville Nouakchott et dans la région de Rosso (Mauritanie). *Revue électronique : Sécheresse Volume 1E, N°1* avril. (2003).
- [72] S. Niazi , M. Snoussi , A. Foutlane. “Impact des aléas climatiques sur la qualité des eaux d’un hydrosystème aménagé en zone semi-aride: CAS du bassin-versant du Nekkour (Maroc). *Sécheresse* Vol. 16, N°3, septembre 2005. PP 183-187. (2005).
- [73] Ministère De L’aménagement Du Territoire Et De L’environnement. Projet national ALG/98/G3.Elaboration de la stratégie et du plan d’action national des changements climatiques. Document de synthèse Mars 2001. p155. (2001).
- [74] J. Wu and K. Yao, "A Limited-Global-Information-Based Multicasting Scheme for Faulty Hypercube," *IEEE Transactions on Computers*, 44, (9), September 1995, pp1162-1166. (1995).

- [75] Cecilia Ferreyra, Rob C. de Loë, Reid D. Kreutzwiser. Imagined communities, contested watersheds: Challenges to integrated water resources management in agricultural areas Journal of Rural Studies, Volume 24, Issue 3, July 2008, pp 304-32.(2008).
- [76] Rebecca. L.Pirie, Robe. De Loe, Reid Kreiutzwiser. “Droughth planning and water allocation an assessment of local capacity in minnesota” journal of environment &Management 73, pp25_38. (2004).
- [77] FAO Aquastat: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.stm> Yémen: Données extraites du document officielles (source: NWSSIP). (2007)
- [78]_Hong Yang, Lei Wang and Alexander J.B. Zehnder. Water scarcity and food trade in the Southern and Eastern Mediterranean countries. Food Policy Volume 32, pp 585-605. (2007).
- [79] Mark W. Rosegrant, Ximing Cai, and Sarah A. Cline. World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity. Jointly published by the International Food Policy Research Institute (IFPRI) and the International Water Management Institute (IWMI). 322 pages. (2002)
- [80] M. Qadir, B.R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah, F. Karajeh. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. Agricultural Water Management, Volume 87, pp 2-22. (2007).
- [81] Pimentel, D., Bailey, O., Kim, P., Mullaney, E., Calabrese, J., Walman, L., Nelson, F., Yao, X. Will limits of the Earth’s resources control human numbers? Environ.Sustain. Dev. 1, pp 19–39. (1999).
- [82] Rijsberman, F.R. Water scarcity: fact or fiction. Agric. Water Manage. 80, pp 5–22. (2006).
- [83] Seckler, D., Amerasinghe, U., Molden, D., de Silva, R., Barker, R. World Water Demand and Supply 1990 to 2025: Scenarios and Issues. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 40 pp. (1998).
- [84] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Review of World Water Resources by Country. Water Reports 23, FAO, Rome, Italy, 110 pp. (2003).
- [85] Cosgrove, W.J., Rijsberman, F., 2000. World Water Vision: Making Water Everybody’s Business. World Water Council, World Water Vision, and Earthscan, 107 pp.
- [86] Bouwer, H. Integrated water management for the 21st century: problems and solutions. J. Irrig. Drain. Eng. 128, pp 193–202. (2002).
- [87] Falkenmark, M., Lindh, G. Water and economic development. In: Gleick, P.H. (Ed.), Water in Crisis. Oxford University Press, New York, USA, pp. 80–91. (1993).
- [88] Tae-Woong Kim, Juan B. Valdès; and Chulsang Yoo. “nonparametric Approach for estimating returne periods of droughts in arid regions” journal of hydrologic engineering. Vol. 8, N°5 p. 237-246. (2003)

- [89] Fernandez, B., and Salas, J.D. “Return period and risk of hydrologic events. I: Mathematical formulation.” *journal of hydrologic engineering* 4(4), pp 297-307(1999).
- [90] Fernandez, B., and Salas, J.D. “Return period and risk of hydrologic events. II: application.” *journal of hydrologic engineering* 4(4), pp 308-316(1999).
- [91] Chang, C.-H., and Salas, J. D. “Drought occurrence probabilities and risk of dependent hydrologic processes.” *journal of hydrologic engineering* 5(3), pp 259-268. (2000).
- [92] N. Dechemi; D. Ait Mouhoub; D. Souag. “ contribution à l’analyse du regime pluviométrique sur le littoral Algérien”. *Sécheresse N°1, VOL. 11, mars 2000. pp. 5-10. (2000).*
- [93] Pascal Yiou, Valérie Masson-Delmotte. Trends in sub-annual climate variability since the Little Ice Age in Western Europe *Comptes Rendus Geosciences, Volume 337, 10-11, August 2005, pp 1001-1012. (2005).*
- [94] K.P. Tasagarakis Recycled water valuation as a corollary of the 2000/60/CE water framework directive. *Agricultural Water Management. 72, pp1-4. (2005).*
- [95] Anderson, J. The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Sci. Techno. Water Supply* 3 (4), 1-10. (2003).
- [96] Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. Callenges and prospectives for water recycling and reuse in EU countries. *Water Sci. Techno. Water Supply* 33 (10), 2201-2217. (2003).
- [97] Santosh Kumar Sarkar, Mahua Saha, Hideshige Takada, Asokkumar Bhattacharya, Pravakar Mishra, Badal Bhattacharya. Water quality management in the lower stretch of the river Ganges, east coast of India: an approach through environmental education *Journal of Cleaner Production, Volume 15, Issue 16, pp 1559-156. (2007).*
- [98] Simon Toze, Reuse of effluent water—benefits and risks, *Agricultural Water Management* 80, pp 147-159. (2006).
- [99] A. Coppola, A. Santinib, P. Bottic, S. Vaccad, V. Comegnaa, G. Severino Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated Municipal wastewater *Journal of Hydrology* 292, pp 114—134. (2004).
- [100] A.G. Jiries, F.M. Al-Nasir, F. Beese, Pesticide and heavy metals residue in wastewater, soil and plants in wastewater disposai site near Al-Lajoun Valley, Karak/Jordan, *Water Air Soil Pollut. 133 (1-4), pp 97-104. (2002).*

- [101] Y. Luo, X. Jiang, L. Wu, J. Song, S. Wu, R. Lu. Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu-rich wastewater, *Geoderma* 115 (1-2), pp113-120. (2003).
- [102] R.K. Yadav, B. Goyal, R.K. Sharma, S.K. Dubey, P.S. Minhas, Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water - a case study, *Environ. Int.* 28 (6). pp 482-486. (2002).
- [103] Ioannis K. Kalavrouziotisa, Charis A. Apostolopoulosb An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas. *Building and Environment* 42, pp 1862-1868. (2007).
- [104] Pescod, M.B. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome. (1992).
- [105] F.L. Domergue, J.-C. Vedy, Mobility of heavy metals in soil profiles, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*; 46, pp 13-23. (1992).
- [106] P.F. Romkens, J. Bril, W. Salomons. Interaction between Ca^{2+} and dissolved organic carbon: implications for metal mobilization, *Appl. Geochem.* 11 (1/2), pp 109-115. (1996).
- [107] E.J. Temminghoff, S.E. van der Zee, F. A. de Haan, Effects of dissolved organic matter on the mobility of copper in a contaminated sandy soil, *Eur. J. Soil Sci.* 49 (4), pp 617—628. (1998).
- [108] Vandevivere, P., Baveye, P. Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56,1-13. (1992).
- [109] B.J. Alloway, *Heavy Metals in Soils*, Blackie, Glasgow, Royaume-Uni, 1990.
- [110] M.B. McBride, *Environmental Chemistry of Soils*, Oxford University Press, New York, (1994).
- [111] V. Camobreco, B.K. Richards, T.S. Steenhuis, J.H. Peverly, M.B. McBride, Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns, *Soil Sci.* 161 (11), pp 740-750. (1996).
- [112] S.L. Simpson, E.J. Maher, D.F. Jolley, Processes controlling metal transport and retention as metal-contaminated groundwaters efflux through estuarine sediments, *Chemosphere* 56 (9), pp 821-831. (2004).
- [113] Halliwell, D.J., Barlow, K.M., Nash, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil properties and their implications for irrigation Systems. *Aust. J. Soil Res.* 39, pp 1259-1267. (2001).
- [114] Surapaneni, A., Olsson, K.A. Sodification under conjunctive water use in the

Shepparton irrigation région of northern Victoria: a review. *Aust. J. Soil Res.* 42, pp249-263. (2002).

[115] Magesan, G.N., Williamson, J.C., Yeates, G.W., Lloyd-Jones, A.R.H. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. *Bioresour. Technol.* 71, pp21-27. (2000).

[116] S. Webera, S. Khanb, J. Hollendera. Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation *Desalination* 187, pp 53-64. (2006).

[117] H. Bouwer, Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. *J. Environ. Health*, 63, pp 17-20. (2000).

[118] Y. Luo, X. Jiang, L. Wu, J. Song, S. Wu, R. Lu. Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu-rich wastewater, *Geoderma* 115 (1-2), pp113-120. (2003).

[119] Haas, C.N., Rosé, J.B., Gerba, C.P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. John Wiley and Sons, NewYork. (1999).

[120] Toze, S., Hanna, J. The Survival Potential of Enteric Microbial Pathogens in a Treated Effluent ASR Project. In: Dillon, P. (Ed.), *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*. Balkema Publishers, Australia, pp. 139-142. (2002).

[121] Gennaccaro, A.L., McLaughlin, M.R., Quintero-Betancourt, W., Huffman, D.E., Rosé, J.B. Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, pp4983-4984. (2003).

[122] Carey, CM., Lee, H., Trevors, J.T. Biology, persistence and détection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Res.* 38, 818-862.

[123] Toze, S., 1999. PCR and the détection of microbial pathogens in water and wastewaters. *Water Res.* 33, pp 3545- 3556. (2004).

[124] Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D., Ruiz-Palacios, G. A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. *WELL Study*, <http://www.iboro.ac.uk/well/>. (2000).

[125] Carey, CM., Lee, H., Trevors, J.T. Biology, persistence and détection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Res.* 38, pp 818-862. (2004).

[126] Drakatos PA, Kalavrouziotis IK, Drakatos SP. Synergism of Cu and Zn in plants irrigated with processed wastewater. *Journal of Land Contamination and Réclamation.* 8(3), pp201-7. (2000)

[127] Drakatos PA, Kalavrouziotis IK, Hortis TC, Varnavas SP, Bladenopoulou S, Fanariotou

IN. Antagonistic action of Fe and Mn in Mediterranean-type plants irrigated with wastewater effluents following biological treatment. *International Journal of Environmental Studies* . 59(1), pp125-32. (2002).

[128] Drakatos PA, Kalavrouziotis IK, Varnavas SP. Utilization of treated wastewater of (from) the biological treatment plant of Mesologgi. In: Seventh panhellenic congress (conférence) of the Greek hydro technical association (society), 15-18 October 1997, Patras, p. 511-6. (1997).

[129] Abdul Razzak, M. J. et Khan, M. Z. A. « Domestic Water Conservation Potential in Saudi Arabia », *Journal of Environmental Management* 14 (2), pp167-78. (1990)

[130] OMM (Organisation météorologique mondiale). *The Dublin Statement. International Conférence on Water and Environment : Development Issues of the Twenty-First Century*, 26-31 janvier 1992, OMM, Genève. (1992).

[131] ONU. *Action 21, Chapitre 18 : Protection des ressources en eau douce et de leur qualité : application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau*, Centre de recherches pour le développement international, Ottawa. (1993)

[132] ONU. *Action 21, Chapitre 36 : Promotion de l'éducation, de la sensibilisation du public et de la formation*, Centre de recherches pour le développement international, Ottawa. (1993)

[133] OMS (Organisation mondiale de la santé). *Régional Strategy for Health and Environment*, OMS/EMRO/CEHA, Amman. (1992).

[134] OMS (Organisation mondiale de la santé). *Beirut Déclaration on Action for a Healthy Environment*, OMS/EMRO/CEHA, Amman. (1995).

[135] OMS (Organisation mondiale de la santé). *Centre chargé des activités relatives à l'hygiène du milieu (CERA) News Letter*, n° 23, OMS/EMRO/CEHA, Amman. (1997).

[136] USAID (Agence américaine pour le développement international). *Water Resources Action Plan for the Near East*, USAID, Washington, D.C. (1993).

[137] Banque mondiale. *From Scarcity to Security: Averting a Water Crisis in the Middle East and North Africa*, Banque mondiale, Washington, D.C. (1995)

[138] ONUDI (Organisation des Nations Unies Pour le Développement Industriel). « The Rôle of Industry in the Development and Conservation of Water Resources in the Arab Région : Challenges and Prospects », dans *Workshop on the Rôle of Industry in the Development of Rational Use of Water Resources in the Middle East and North Africa*, Amman, Jordan, 13-15 May, ONUDI, Vienne. (1997).