



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Saad Dahlab-Blida
Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement

**Mémoire de fin d'études Master
Spécialité : Hydraulique
Option : Sciences de l'eau**

Titre :

Réalisé par: BELKACEMI Thinhinène

Membres du Jury

M. Khouli Mohammed Rédha.....Président

Pr.REMINI Boualem.....Promoteur

M.Bensafia Djillali.....Examinateur

M.Fillali.....Examinateur

Je dédie ce travail

*A la mémoire de mon père qui m'a appris la rigueur et la
persévérance et qui continue à illuminer mon chemin*

*A la mémoire de mon grand père dont le rêve était que je réussisse
mes études en toutes circonstances*

A ma mère pour son dévouement

*A ma sœur Yakout et mon frère Karim qui ont été patients et qui
m'ont encouragée à persévérer*

*A mon oncle Hamza et mon cousin Nadir pour leurs conseils et leur
présence permanente*

A mon oncle Lounes

A mes amis

A mes camarades de promotion

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenue

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail je tien à remercier d'une manière particulière mon promoteur Mr REMINI Boualem qui a toujours été présent pour m'orienter tout au long de la réalisation de ce mémoire, et qui a su me donner du courage et de la force pour mener à bien ce projet.

Je remercie vivement les enseignants membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'ensemble des professeurs du département des sciences de l'eau et de l'environnement pour l'enseignement qui nous ont fournis tout au long de notre formation

Mes vifs remerciements s'adressent au personnel de la DHW, ANRH, DSA, OPVM, APC d'El Atteuf pour leurs disponibilité et leurs mobilité qui se sont avérées d'une grande aide dans la réalisation de ce travail.

Je ne saurais oublier Mr Bakir et tous les agriculteurs de la région d'El Atteuf de leur précieuse contribution dans l'élaboration de notre étude sur le terrain

Enfin, mes sincères remerciements s'adressent à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce projet.

El Atteuf, une oasis située dans la vallée de Mzab dans une région hyper aride du Sahara Algérien caractérisée par une faible pluviométrie. Grace au savoir faire, les oasisiens ont effectué des aménagements hydraulique pour capter et stocker les eaux des crues. Le système hydraulique est basé essentiellement sur le grand barrage d'El Atteuf réalisé pour réalimenter la nappe phréatique et les puits pour extraire les eaux infiltrées.

Dans la présente étude basée sur les observations in situ et les enquêtes menées auprès de la population ksourienne, on met en évidence le rôle de ces aménagements hydrauliques dans l'irrigation de la palmeraie. Si aujourd'hui, l'oasis d'El Atteuf est arrosé de l'excédent des eaux de l'oued Mzab déversés par les barrages de Ghardaia, Mlika, Beni Isguen et Bounoura, l'oasis d'El Atteuf reçoit la totalité des eaux usées des quatre oasis. Le rôle de la station d'épuration par lagunage dans la dépollution des eaux réalisée à l'aval de l'oasis a été traité dans cette étude.

Mots clés : Eau – Oasis – El Atteuf – Environnement – Barrage.

Abstract :

El Atteuf , an oasis located in the valley of M'zab in Algerian Sahara, an hyper arid region characterized by low rainfall . Thanks to their know-how, the oasis population conducted hydraulic facilities for the sake of capturing and storing floodwaters. The hydraulic system is primarily based on the large dam of El Atteuf made to replenish groundwater and wells to extract water infiltrated. this study based on in situ observations and surveys among the Ksourien population, highlights the role of these water projects in irrigation of the palm . If today , the oasis of El Atteuf is watered with the excess water discharged by the dams of the M'zab river Ghardaia ,Mlika , Beni and Isguen Bounoura , the oasis of El Atteuf receives all wastewater of the four oasis. The role of the purification plant lagoons in the decontamination of water produced downstream of the oasis was treated in this study.

Keywords : Water - Oasis - El Atteuf - Environment - Dam .

ملخص

تقع واحة العطف في وادي مزاب في منطقة قاحلة وسط الصحراء الجزائرية تتميزها مناخ جاف و قلة كمية الامطار المتساقطة . بفضل الدراية ، أجرى سكان الواحة منشآت مائية لالتقاط وتخزين مياه الفيضانات . ويستند النظام الهيدروليكي على السد الكبير للعطف الذي دور لتغذية المياه الجوفية والآبار لاستخراج المياه المتسربة . في هذه الدراسة مبنية على الملاحظات والدراسات الاستقصائية في موقع الدراسة.حيث انه يسلط الضوء في هذه الدراسة دور نظام الري في الواحة .ان واحة العطف تتلقى الماء الفائض من سدود واحات وادي نهر مزاب غرداية مليكة وبيني إيزغن و بنورة . فانها تتلقى كذلك جميع مياه الصرف الصحي للواحات الأربع تتطرق هذه الدراسة الى دور محطة تنقية المياه في إزالة تلوث واحة العطف

كلمات البحث: المياه - واحة - ش العطوف - البيئة - السد

INTRODUCTION GENERALE

L'étude menée au niveau de la palmeraie d'El Atteuf consiste à établir un constat concernant la situation qui régnait autrefois dans l'oasis sur le plan environnemental hydraulique et agricole, et ce afin de faire des spéculations pour l'état future de la palmeraie tout en tenant comptes des différent paramètres engendrés par le fait de la réalisation de la station d'épuration.

L'étude consiste à mené des réflexions d'après les deux missions effectuées sur le terrain du du 15 au 22 mars 2013, et du 5 au 16 mai 2013.

Cette étude est par des témoignages recueillis à travers des habitants de la région en l'occurrence les propriétaires de terrains agricoles qui détiennent de vastes connaissances de leurs territoires et du domaine hydrique.

La mission effectué au niveau de la station d'épuration par lagunage d'El Atteuf située en aval de la palmeraie, nous a permis de faire plusieurs constatation notamment le processus de l'épuration des eaux usées et aussi l'évacuation de l'eau épurée au niveau de l'exutoire, d'où des éventuels propositions concernant la réutilisation des effluents épurées dans l'irrigation.

Le déplacement au niveau de la palmeraie nous a conduits dans des propriétés agricoles privées qui s'étendent sur plusieurs hectares et qui englobent maintes activité agricole à savoir l'arboriculture, phonéculture, maraichère ainsi que l'élevage bovin etc.... cela nous donne une idée générale sur les potentialités de la région dans le domaine agricole notamment après à la résolution du problème de la remontée des eaux

Cette station d'épuration est récente, elle à été mise en services en janvier 2013, son existante a donné à la palmeraie une autre tournure dans le bon sens, car avant l'existence de cette dernière, la zone souffrait d'une catastrophe écologique causée par les effluents d'eaux usées provenant de part et d'autre de la willaya, notamment de Metlili, Melika, Beni Izguen Ghardaia,

Bounoura et El Atteuf , vu sa situation géographique en aval de la vallée du m'Zab.

Le but de cette étude consiste d'une part à mettre en exergue de manière détaillée ce que la palmeraie a vécu en matière de dégradation sévère et de baisse de rendement agricole important dans les années qui ont précédé le plan de sauvetage mis en place par les autorités concernées qui visait la mise en valeurs des domaines agraires et l'implantation d'une station d'épuration des eaux usées urbaines de 50 hectares .cette dernières présentent des avantages inouïes pour l'activité agricole de la région d'El Atteuf si les solutions proposées par cette études sont mises en œuvre , notamment l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, et les boues extraites pour la fertilisation de la terre. Par ailleurs, la réalisation des aires de repos (espaces verts) et des lacs artificiels pour faire un pôle d'attraction pour les habitants de la région

INTRODUCTION GENERALE

L'étude menée au niveau de la palmeraie d'El Atteuf consiste à recueillir des propos concernant la situation qui régnait autrefois dans l'oasis sur le plan environnemental hydraulique et agricole. ceci afin de faire des spéculations pour l'état future de la palmeraie tout en tenant comptes des différent paramètres engendrés par le fait de la réalisation de la station d'épuration.

L'étude consiste à mener des réflexions appuyées par des témoignages recueillis lors de nos deux mission du qui ont e habitants de la région en l'occurrence les propriétaires de terrains agricoles qui détiennent de vastes connaissances de leurs territoires et du domaine hydrique.

La mission effectué l...au niveau de la station d'épuration par lagunage d'El Atteuf située en aval de la palmeraie, nous a permis de faire plusieurs constatation notamment le processus de l'épuration des eaux usées et aussi l'évacuation de l'eau épurée au niveau de l'exutoire, d'où des éventuels propositions concernant la réutilisation des effluents épurées dans l'irrigation.

Le déplacement au niveau de la palmeraie nous a conduits dans des propriétés agricoles privées qui s'étendent sur plusieurs hectares et qui englobent maintes activité agricole à savoir l'arboriculture, phonéculture, maraichère ainsi que l'élevage bovin etc.... cela nous donne une idée générale sur les potentialités de la région dans le domaine agricole notamment après à la résolution du problème de la remontée des eaux

Cette station d'épuration est récente, elle à été mise en services en janvier 2013, son existante a donné à la palmeraie une autre tournure dans le bon sens, car avant l'existence de cette dernière, la zone souffrait d'une catastrophe écologique causée par les effluents d'eaux usées provenant de part et d'autre de la willaya, notamment de Metlili, Melika, Beni Izguen Ghardaia, Bounoura et El Atteuf , vu sa situation géographique en aval de la vallée du m'Zab.

Le but de cette étude consiste d'une part à mettre en exergue de manière détaillée ce que la palmeraie a vécu en matière de dégradation sévère et de baisse de rendement agricole important dans les années qui ont précédé le plan de sauvetage mis en place par les autorités concernées qui visait la mise en valeur des domaines agraires et l'implantation d'une station d'épuration des eaux usées urbaines de 50 hectares. Cette dernière présente des avantages inouïs pour l'activité agricole de la région d'El Atteuf si les solutions proposées par cette étude sont mises en œuvre, notamment l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation, et les boues extraites pour la fertilisation de la terre. Par ailleurs, la réalisation des aires de repos (espaces verts) et des lacs artificiels pour faire un pôle d'attraction pour les habitants de la région.

1.1. Introduction

La willaya de Ghardaïa s'étend sur une superficie de 86105km², avec un nombre d'habitants estimé à 405015. (*APC El Atteuf*)

L'agriculture est la principale activité de la région, incontestablement celle-ci consomme des volumes d'eau très important. Ces eaux sont puisées de la nappe du continental intercalaire, la principale ressource en eau de la willaya, via 228 forages en service et 345 recensés à travers la willaya (*ANRH Ghardaïa 2012*).

Cette situation a engendré un rabattement du niveau piézométrique ainsi que des difficultés d'extraction de l'eau vu la géologie et l'hydrogéologie de la région évoquées en détail dans ce chapitre.

1.2. Aperçu historique sur la région d'étude

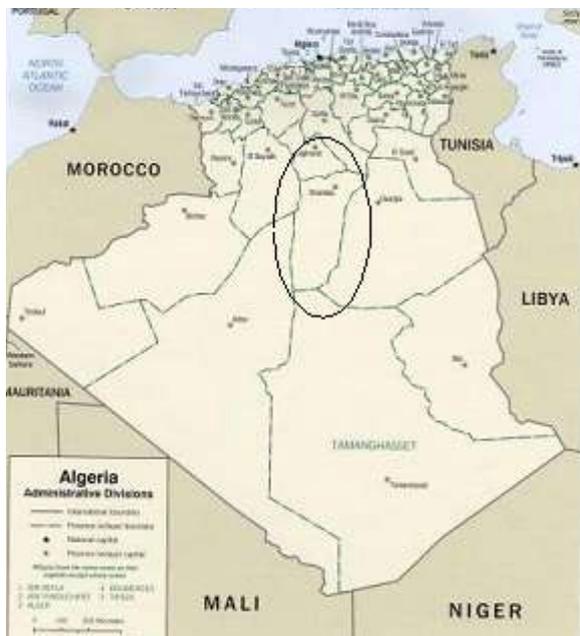
La vallée du M'zab fut occupée par une population d'un rite religieux très particulier de l'Islam : les Ibadites. Originaires de Teharet ; les Ibadites se sont réfugiés dans cette vallée du Sahara au 10^{iem} siècle après l'effondrement de l'état Rostémide. (*OPVM*)

La vallée du M'Zab a été bâtie (entre 1012 et 1350), de manière très particulière, en cinq agglomérations ou villes fortifiées, appelées les « K'sour ». Elles sont situées de l'aval à l'amont comme suit : el Atteuf, Bounoura, Melika, Béni Isguen et Ghardaïa. Chacune d'elles comprend trois éléments constitutifs de l'ensemble urbain mozabite : le ksar, le cimetière et la palmeraie avec ses résidences secondaires pour la saison estivale. (*OPVM 2013*)

La ville d'El Atteuf est la plus ancienne ville de la confédération. Elle a été bâtie en l'an 1012 par les Ibadites dans un coude de l'Oued, d'où, elle tire son nom « le détour ou le tournant ». Sa situation sur la rive droite de l'Oued M'zab à l'extrémité aval de la Pentapole, fait qu'elle est détachée des quatre autres K'sours. Elle s'étend sur une superficie de 15503 ha.

1.3. Géographie

La palmeraie d'El Atteuf qui est notre zone d'étude, est située en aval de la vallée du M'zab dans la wilaya de Ghardaïa. Cette dernière se trouve au centre du Sahara septentrional Algérien, à 600km de la capitale Alger. Elle est limitée au nord par la wilaya de Laghouat (200Km), au nord-est par la wilaya de Djelfa (300Km), à l'est par la wilaya d'Ouargla (200Km), au sud par la wilaya de Tamanrasset (1470Km), au sud-ouest par la wilaya d'Adrar (400Km) et à l'ouest par la wilaya d'El-Bayad (350Km). (fig.1.1)



1.4. Cadre administratif

Administrativement la wilaya de Ghardaïa; comprend 9 daïras subdivisées en 13 communes ; comme suit (APW 2013)

- Ghardaïa qui comprend la commune de Ghardaïa ;
- El Meniaa comprend la commune el Meniaa et Hassi el Gara ;
- Metlili comprend la commune de Berriane ;
- Dhaya Ben Dahoua comprend la commune Ben Dahoua ;

- Mansoura comprend Mansoura et Hassi Fhal ;
- Zelfana comprend la commune Zelfana;
- Guerrara comprend la commune Guerrara ;
- Bounoura comprend la commune Bounoura et El Atteuf.

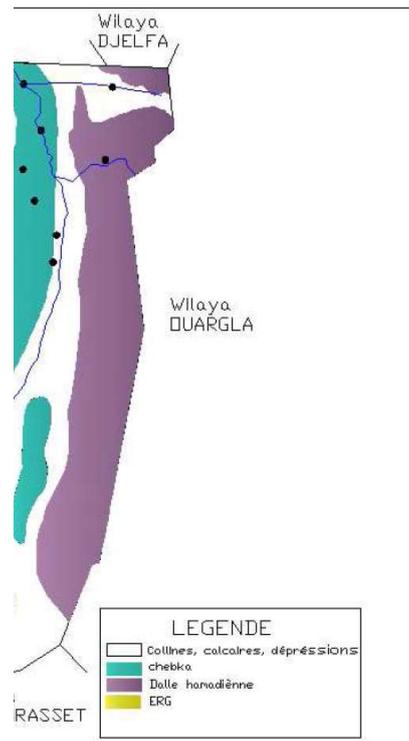
1.5. Géomorphologie de la vallée du M'Zab

La vallée du m'Zab se trouve dans le plateau de la Hamada, dans le Sahara septentrional, où figure la Chebka (filet) du M'Zab. C'est un ensemble orographique globalement homogène. Elle est composée d'un plateau épais carbonaté qui peut s'élever à plusieurs mètres d'altitude (600 mètres) et se situe entre 31° et 33° de l'altitude boréale et 3° et 4° de longitude orientale (*Fig.1.2*). La chabka est limitée au Nord par la région des Daya, à l'Est par la région des Guêntras qui se prolonge jusqu'à oued Mya, à l'Ouest par le grand Erg occidental, au Sud par les plateaux du Tademaït, il est aride et dénudé de toute végétation. Ce plateau calcaire est disséqué en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les un sur les autres sculptant des mailles qui à leurs tour forment un filet ouvert (la Chabka) du Nord-ouest vers le Sud-est pour laisser passer l'Oued M'Zab. (*BENZAYET B., 2010*)

1.6. Géologie

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. En période de crue, les volumes écoulés seront d'autant plus grands que le bassin sera plus imperméable.

La willaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin secondaire du bas Sahara, sur un grand plateau sub- horizontal de massif calcaire d'âge turonien connu par la dorsale du M'zab. [*BABKER ; NASRI.2010*]

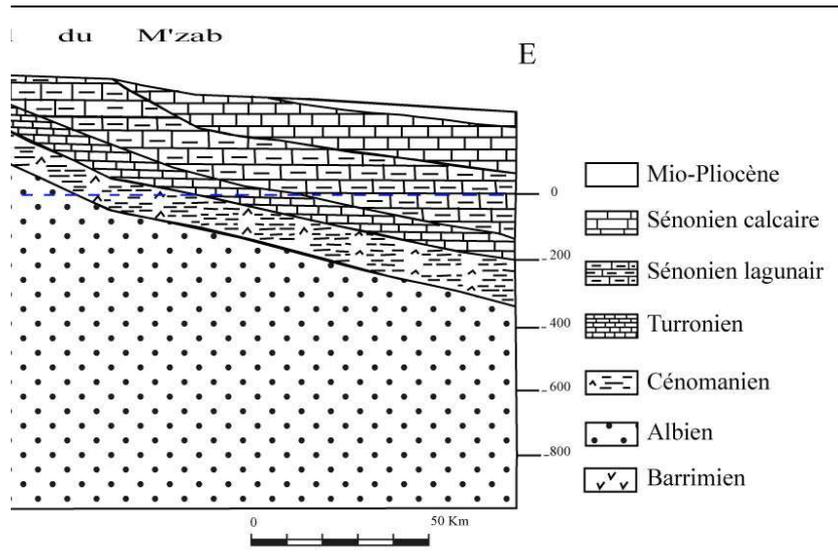


La dorsale du M'zab est un plateau rocheux de direction Nord - Sud, qui sépare l'Erg oriental et l'Erg Occidental. Ce plateau se présente comme étant une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre marquée par la forte érosion fluviale du début du Quaternaire qui a découpé dans sa partie sud des buttes à sommet plat et a façonné des vallées. A l'Est la dorsale est caractérisée par d'immenses dépôts continentaux du Quaternaire

La stratigraphie de la région de Ghardaïa se présente comme suit [MELLAK ; 2009, BOUKRAA T., 2003] (Fig.1.3) :

- ✓ **Le Barrémien** : Cet étage est caractérisé par des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers, et d'argiles avec intercalations carbonatées peu nombreuses.
- ✓ **L'Aptien** : C'est une formation d'une épaisseur moyenne de 30 mètres, renfermant des couches de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite et d'argiles.

- ✓ **L'Albien** : Cet étage renferme des grès argileux, grès rouges et sables moyens à fins argileux. Son épaisseur varie de 200 à 300 mètres.
- ✓ **Le Cénomaniien** : Le Cénomaniien est formé par une alternance de bancs d'argile de dolomie, de calcaire dolomitique, et d'évaporites. Son épaisseur est de l'ordre de 200 mètres.
- ✓ **Le Turonien** : Les formations carbonatées du Turonien affleurent la dorsale du M'zab au centre. Il est constitué de calcaire dolomitique massif et de marnes jaunes à la base et de calcaire grisâtre à blanc au sommet. Au niveau de la vallée du M'zab son épaisseur varie de 40 à 50 mètres. Dans les premiers mètres de ces assises calcaires, on note la présence des fissures pouvant renfermer de l'eau. Ces eaux proviennent de l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'zab.
- ✓ **Cénomaniien** : Sous la formation Turonienne, on rencontre une épaisse couche imperméable d'argile bariolée et de marnes gypseuses d'une épaisseur d'environ 300 à 350 mètres qui est le Cénomaniien
- ✓ **Le Sénonien** : Couche de calcaire marneux est argiles gypseuses située à l'est Moï-Pliocène, allant de l'est au nord est. Cette formation renferme des sables rougeâtres consolidés.
- ✓ **Le Quaternaire** : Le Quaternaire apparaît sous forme de dépôts alluvionnaires et sableux ; tapissant le fond des vallées des oueds. Son épaisseur peut atteindre les 45 mètres.



1.7. Climatologie

Le climat de la willaya de Ghardaïa est typiquement saharien aride. Les moyennes annuelles des températures enregistrent une valeur pouvant atteindre les 25°, et une évaporation frôlant la valeur de 2000mm par an. Le taux des précipitations est faible, il atteint une moyenne de 60mm par an.

L'écart des températures entre l'été et l'hiver est très important. Le mois de janvier est le mois le plus froid (10.7C°) et le moi de juillet est le mois le plus chaud 47C°.

Le climat se présente en deux saisons, une saison chaude et sèches, allant d'avril à septembre, et une autre tempérée allant d'octobre à mars. (ANRH Ghardaïa, 2013)

1.7.1. Les vents

La vitesse des vents varie de 0 [m/s] à une moyenne estimée à 4.8 [m/s] selon les saisons (tableau 1.1 ; Fig.1.4)

Tableau.1. 1.Variation de la vitesse des vents dans la Willaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

Temps	Janvier	février	Mars	avril	mai	Juin	juillet	août	septembre	octobre	Novembre	Décembre
vitesse moyenne des vents en [m/s]	3,6	3,7	4,4	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,6	3,2	3,3	3,5

Fig.1. 1.variation de la vitesse des vents dans la Willaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

1.7.2. Température

On distingue deux périodes, la première se caractérise par des températures chaudes pouvant atteindre les 46 C° le mois d'août et des températures faibles atteignant les (-1) C° le mois de janvier. (*Tableau.1.2 ; Fig.1.5*)

Tableau.1. 2.Températures mensuelles dans la willaya de Ghardaïa

moi	janvier	février	Mars	avril	Mai	juin	juillet	août	septembre	Octobre	Novembre	décembre
Minima [C°]	- 0,4	1,6	2,2	5,7	11	14,9	21	19	13,6	9,8	3,6	2
moyenne [C°]	10,8	13,1	16,8	20,6	25,9	31,1	33,7	33,7	28,9	23,2	16,1	11,8
Maxima [C°]	24,4	30,7	33,6	39	42,5	45	47	46,2	43,6	39,8	33,4	25,3

1.7.3. Pluviométrie

Vu la situation géographique de la région de Ghardaïa la pluviométrie est assez faible de l'ordre de 60 mm/an.

Fig.1. 2.Variation annuelles des précipitations ns la Willaya de Ghardaïa (DHW Ghardaïa)

1.7.4. Evaporation

L'évaporation au niveau de la région de Ghardaia est très importante vu la température, elle peu atteindre les 450 mm le moïn de juillet. (*Tableau .1.3. Fig.1.7.*)

Tableau .1. 3. Variation de l'évaporation dans la willaya de ghardaia

Temps	janv ier	févr ier	mar s	Avri l	mai	Juin	juill et	aou t	sept emb re	Oct obr e	Nov emb re	déc emb re
Evaporatio n (mm)	110,4	138	201,3	266,1	329,8	397,9	452,4	413,4	305	215,6	138	142

Fig.1. 3.variation de l'évaporation dans la willaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

1.8. Hydrogéologie

Deux sources d'eaux souterraines sont distinguées dans la willaya de Ghardaïa ; la première nappe superficielle dite nappe phréatique, et nappe profonde captive située dans les formations de l'albien à de grandes profondeurs, dites nappes du continental intercalaire. (*SIOUSSIOU, DEDJEL2011*) ; (*Tableau .1.4*).

1.8.1. Nappe phréatique

Les alluvions des vallées des oueds de la région constituent les poches des nappes phréatiques de la région du M' Zab, qui se situent à des profondeurs allant de 10 à 50 mètres. *(DHW Ghardaïa ; 2012)*

Les eaux de cette nappe sont principalement utilisées pour l'irrigation, et sont captées via des puits artésiens appelés HASSI.

A présent, l'eau de la nappe phréatique est soutirée par pompage. N'étant pas potable, elle n'est destinée qu'à usage agricole au niveau des palmeraies et à usage domestique au niveau des ksour, où même certains puits traditionnels se sont transformés en bouches d'incendies.

Dans la région du M'zab on distingue deux aquifères superficiels et superposés, l'un alluviale dont la recharge se fait par les eaux pluviales, et par les apports en irrigation par le continental intercalaire, et l'autre étant carbonaté fissuré. *(DHW Ghardaïa)*

a. **L' aquifère alluvionnaire Quaternaire**

Cette formation aquifère est constituée d'alluvions et de sables fins et grossiers, qui lui donnent ainsi une porosité et une perméabilité d'interstice. Celle-ci permettant l'infiltration des eaux superficielles et l'écoulement souterrain. La couche alluvionnaire constitue le fond des lits des oueds, son épaisseur est comprise entre 25 et 45 mètres.

Elle repose sur la barre carbonatée Céno-mano-Turonienne, qui est suivie de la couche des argiles.

b. **L'aquifère Céno-mano-Turonien**

Grâce à sa nature lithologique de calcaire dolomitique massif cet aquifère est caractérisé par une perméabilité de fissure. Il est alimenté par les eaux provenant directement de la surface ou par l'intermédiaire de l'aquifère alluvionnaire. Son épaisseur varie entre 40 à 100 mètres. *[ANRH Ghardaïa ; 2013]*

La plupart des puits en amont de la vallée (Dayet ben dahoua) ont été creusés plus profondément que les alluvions quaternaires. Ils atteignent les calcaires du Turonien (substratum) de 2 à 4 mètres; expliquant ainsi la baisse du niveau de la nappe qui est provoquée par son exploitation intensive d'une part et les faibles apports d'eaux d'alimentation par les crues des oueds d'autre part. (SIOUSSIOU, DEDJEL2011)

1.8.2. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du continental intercalaire se trouve à une profondeur allant de 250 à 1000 mètres. Elle est jaillissante par moment dans les régions suivantes : Zelfana, Guerara , Ménée , ceci étant due à un drainage gréseuse et Grésos-argileuse du Baramien et de l'Albien. Elle est exploitée par pompage dans les régions de Ghardaïa, Berriane Metlili et dans certaines régions de Ménée (centre).

L'écoulement des eaux de la nappe albienne se fait de l'ouest à l'est. Son alimentation est minime. Elle est principalement due l'accident sub-atlasique, via les eaux de précipitation. (Fig.1.8)

Les eaux de cette nappe sont la principale ressource de la région. Elles sont utilisées pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation ainsi que pour l'industrie

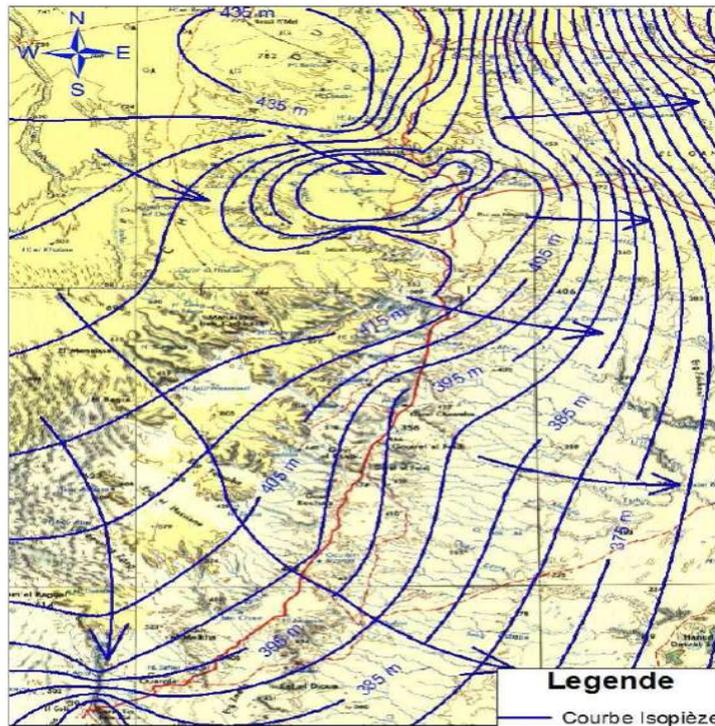


Fig.1. 4. Carte piézométrique de la nappe albienne dans la vallée du M'Zab (ANRH)

Ses eaux sont favorables à la consommation grâce à l'épaisseur de l'aquifère ainsi qu'à la nature lithologique de ce dernier formé de grés et de sable fin argileux

**Tableau .1. 4. Formation hydrogéologique dans la willaya de Ghardaia
(DHW Ghardaïa)**

Nom de l'aquifère	Formation géologique	Intérêt hydrogéologie
Nappe phréatique	Quaternaire alluvionnaire	Aquifère (perméabilité d'interstice)

	Cénomano-Turonien	aquifère (Perméabilité fissurée)
Cénomanién		Substratum
Nappe continentale intercalaire	Albien	Aquifère (perméabilité d'interstice)
	Aptien	
	Barrémien	

1.9. Historique des crues de la vallée du M'Zab

La région de *Ghardaïa* est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued *Sebseb* ; Oued *Metlili* ; Oued *M'zab* ; Oued *N'sa* ; Oued *Zegrir*. (Fig.1.9)

Le climat aride et la sporadicité des précipitations dans la région de *Ghardaïa* se traduisent au niveau des oueds par un régime de crue très irrégulier à caractère accidentel et discontinu. En effet quand les pluies s'abattent l'écoulement des oueds ne dure que quelques jours. Cet écoulement peut être torrentiel et drainer d'énormes quantités d'eau qui provoque le débordement des oueds si les précipitations sont importantes.

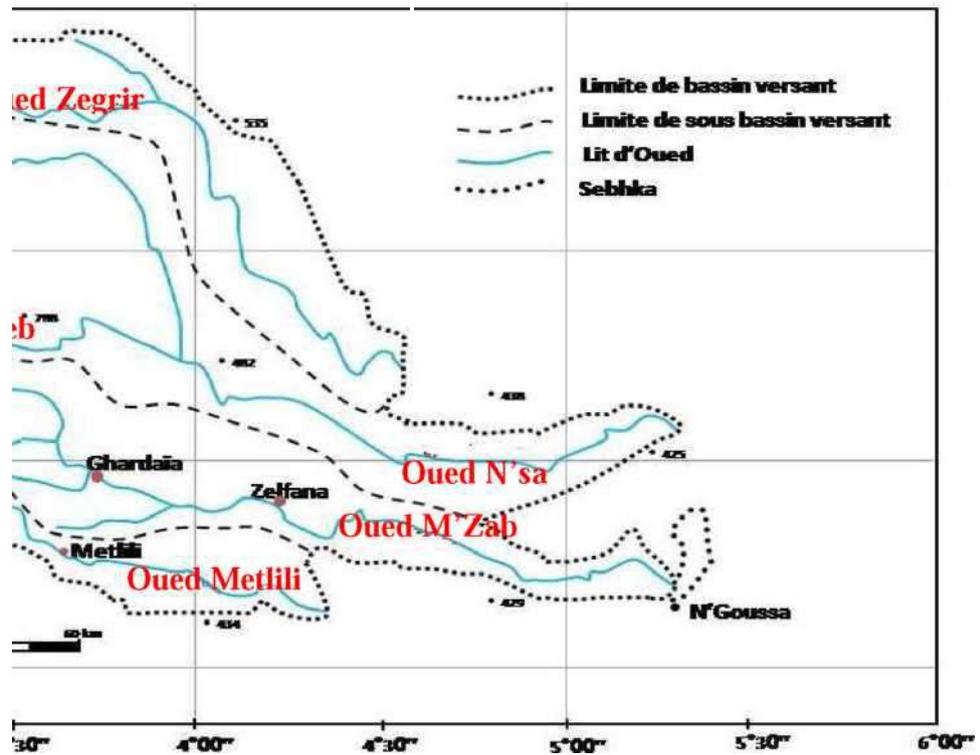
Ces crues qui peuvent se produire à toutes les saisons de l'année sont souvent à l'origine d'énormes dégâts humains et matériels notamment au niveau de l'oued *M'zab*

Le tableau suivant résume l'historique des crues les plus importants qu'a connu la région du *M'zab*. (Tableau 1.5)

Tableau 1. 5. Historique des crues dans la willaya de *Ghardaïa* (DHW *Ghardaïa*)

Dates de la crue	Importance	Remarques
1921	Importante	La crue arrive au 3 ^{ème} barrage, la palmeraie est inondée

28 mai		
1923 23 mai	Importante	Inondation des oasis de Ghardaïa, Melika, Bou Noura, Atteuf. Atteint Zelfana à 64 km en aval de Ghardaïa, à 150 km de la source.
1925 15-17 mars	Importante	Dépasse Bou Noura après avoir rempli tous les barrages situés en amont.
1929 7 septembre.	Importante	Remplit tous les barrages
1931 29 mai	Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa.
1932 8 novembre	Importante	Coule jusqu'au barrage; oasis arrosée.
1933 décembre	Importante	Remplit les barrages de Ghardaïa et s'arrête à celui de Melika.
1938 18 avril	Importante	Coule jusqu'à la ville de Ghardaïa
1938 25 novembre	Importante	Inondation totale des oasis de Ghardaïa, Beni Isguen, partielle de celle de Bou Noura (oued Zouil).
1939 février	Importante	Arrive jusqu'à El Atteuf, remplissant à moitié le barrage d'aval de l'oasis. Tous les barrages situés sur le parcours aval de l'oued ont été remplis.
1946 21 janvier	Très importante	Inondation de toutes les oasis. L'oued M'zab est arrivé à El Atteuf, tous les barrages ont été remplis sauf El Atteuf qui ne l'a été qu'en partie
1952 24 avril	Très forte	La chute de pluie a été considérable à partir d'un point situé à 15 km en amont de Ghardaïa et jusqu'au-delà de Zelfana. Les oueds du bassin supérieur du M'Zab n'ont pas ou peu coulé (oueds El Kekakh, El Abiod, Djaref). A Ghardaïa, la crue ne s'est fait sentir qu'à partir de la Daïa ben Dahoua; elle est de courte durée, mais violente par suite d'un ruissellement intense. A Zelfana, le débit maximum a pu être évalué entre 500 et 1000 m ³ seconde. La crue emportant plus de 1200 têtes de bétail
1991 2 juin	Très importante	Nombreux dégâts.
29 et 30/09/1994	Très importante (15 Imm. 873m ³ /s	Dégats importants
2008	1100m ³ /s	Dégats importants



Conclusion

De part la configuration géologique et la situation géographique de la vallée du M'Zab, une forte aridité carectérise l'aspect climatique, qui

impique une faible pluviometrie ne dépassant pas les 100mm/an et une forte évaporation dépassant aisément les 2000 mm/ an.

La zone d'étude est dotée de deux ressources hydriques souterraines à savoir la nappe phréatique superficielle exploitées à des profondeurs de moyenne de 30mètres et la nappe du continental intercalaire exploité à de grande profondeur via des forrages atteignant parfois les 500 mètres de profndeurs.

La vallée du M'Zab est sujette à des crues parfois dévastatrices, toutefois bénéfique pour l'agriculture et la réalimentation de la nappe phréatique.

2.1. Introduction

Le potentiel agraire au niveau de l'oasis d'El Atteuf est important et diversifiée cela revient a la qualité des sols.

A fin de tirer profit de cette potentialité, la disponibilité de la ressource hydrique en quantité et en qualité joue un rôle primordial, et pour cela la gestion des crues s'avère être l'une des alternative les plus apte à accomplir cette tache.

Cependant la crue à elle seule ne peut subvenir au besoin de l'irrigation, elle nécessite une gestion partielle et totale de ses flux afin d'optimiser son exploitation, à titre d'exemple diguette et zone d'infiltration, canalisation et drainage...

2.2. Agriculture

2.2.1. Présentation général de l'agriculture dans la vallée du M'zab

Si l'on considère la surface occupée par le désert, celle occupée par la végétation apparait comme minime .En effet le nombre d'espèce qui habitent ce désert est assez réduite .Les conditions climatiques et géographiques du M'Zab font de lui une région désertique, à la limite nord du désert absolu. Ceci explique la rareté de la végétation qui pousse uniquement en bordure des oueds et au niveau des palmeraies. [*BENZAYET B., 2010*]

Le secteur agricole au niveau de la willaya de Ghardaïa est limité, il est à vocation phoenicicole. Sur les 8.466.012 Ha couverts par la superficie de la Wilaya 1.370.0911 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile (SAU) est évaluée à 32.745 hectares.[*DSA Ghardaïa ;2013*]. (*Tableau 2.1*)

Tableau 2. 1.surface agricole utile par commune dans la willaya de Ghardaïa

(DSA Ghardaia ;2013)

Commune	Surface agricole utile (Ha)	Superficie de la commune (Ha)	Pourcentage %
Ghardaïa	1316	30647	4.29
El-Ménéa	4516	2392068	0.18
Daya	1379	223494	0.61
Berriane	1082	260980	0.41
Metlili	2133	501012	0.4
Guerrara	3972	338227	1.17
El-Atteuf	896	71701	0.12
Zelfana	1182	194623	0.6
Sebseb	4051	436682	0.92
Bounoura	761	77892	0.97
Hassi-El-F'hel	5420	687539	0.78
Hassi-El-Gara	3961	2769892	0.14
Mansoura	2076	481255	0.43
Total	32745	8466012	0.38

2.2.2. L'agriculture dans l'oasis d'El Atteuf

A première vue, la palmeraie d'El Atteuf est une zone agricole très riche. Elle englobe une très large gamme de variétés agricole : culture maraîchère ; arbres fruitiers, (tableau 2.2 ; fig.1.2) et palmiers dattiers. Selon la DHW de la willaya, la superficie utile est de 1216 ha.

Tableau 2. 2.variétés agricoles dans l'Oasis d'El Atteuf [DSA Ghardaïa ;2013]

Culture Fourrages (Q_s)	Agrumes(Q_s)	Culture maraîchère(Q_s)	Phonéciculture(Q_s)
310813	13231	18682	17599

En effet, la terre de la palmeraie d'El Atteuf est fertile. Cette fertilité est due à deux facteurs principaux :

- ✓ La palmeraie se situe à l'aval de l'oued M'zab, par conséquent les particules du sol arable érodé de l'amont, sont transportés par les crues et se déposent au niveau de la palmeraie.
- ✓ Les terres de la palmeraie ont été revalorisées par les agriculteurs au fil du temps, tout spécialement en utilisant les vases déposées au niveau du barrage d'El Atteuf

La surface agricole irriguée par les forages s'étend jusqu'à 656 ha. Celle irriguée par les hassi est estimée à 108ha. [DHW ghardaia]

Les systèmes d'irrigation varient selon le type de culture. (Goutte à goutte, aspersion, immersion, gravitaire). Néanmoins, par économie d'eau, il est préférable d'utiliser le système goutte à goutte. (*Fig 2.2.*)

Les engrais naturels sont les plus utilisés dans la région en parallèle avec les engrais industriels.

L'élevage bovin est répandu dans la région. son but primaire était de procurer des engrais naturels (fumier) pour utilisation agricole. Cette activité s'est développée au cours des années pour la production de lait et de viande. (*Tableau 2. 3*)

Tableau 2. 4. L'élevage dans l'oasis d'El Atteuf [DSA Ghardaïa ;2013]

<i>Bovins (Tête)</i>	<i>Ovins (Tête)</i>	<i>Caprins (Tête)</i>	<i>Camelins (Tête)</i>
<i>360</i>	<i>4000</i>	<i>2200</i>	<i>150</i>

Le secteur de l'agriculture dans l'agglomération d'El Atteuf tout comme des la willaya de Ghardaïa, est caractérisé par deux systèmes d'exploitation. [*BAHI , BENSALÉM . ; 2012*]

a) ***Le système de l'ancienne palmeraie***

Ce système ancestral appelé système oasisien a été développé au fil des siècles par les habitants de la région. Les palmeraies étaient la source de vie des ksour, elles sont caractérisées par une forte densité des plantations, des cultures étagées notamment en palmiers dattiers âgés.

Le système d'irrigation utilisé dans l'ancienne palmeraie est traditionnel. L'arrosage s'effectue à travers les seguias qui sont des réseaux de rigoles qui permettent l'écoulement gravitaire surfacique des eaux dans les jardins vers les plantations. (*Fig.2.3*)

Compte à l'élevage, cette activité reste réduite à de petits élevages de cheptel dans le but d'utiliser le fumier en guise d'agrès pour fertiliser les sols.

b) *Le système de la mise en valeur*



La mise en valeurs est une initiative qui a pour but l'extension de la surface agricole utile en bonifiant des surfaces à priori non agricoles (*Fig.2.4*); et le développement de l'élevage bovin et caprin en apportant des techniques modernes de labourage, de fertilisation et d'irrigation .

Selon la taille des exploitations, le système de mise en valeur dans l'oasis d'El Atteuf se partage en :

- *Mise en valeur péri-oasienne*

Cette mise en valeur comprend l'extension des anciennes palmeraies selon un système oasien amélioré. C'est une petite mise en valeur dont les exploitations sont structurées et s'étendent sur des surfaces allant de 2 à 10 hectares. Elle est caractérisée par un alignement régulier et une densité optimale des plantations ainsi qu'une irrigation localisée visant l'économie de l'eau.

✓ *Mise en valeur d'entreprise*

c'est la mise en œuvre de d'importants moyens d'exploitations, basée sur une exploitation exclusive des eaux de la nappe profondes et est caractérisée par : domaine agricole importants allant jusqu'à 500ha,



mécanisation plus importante notamment concernant les moyens de labourage, soutirage et de pompage des eaux, une modernisation des systèmes d'irrigation, en occurrence l'irrigation localisée et par aspersion. les moyens importants mobilisée dans cette mise en valeur favorise la diversité des produit agricole : vergers phoénicoles et arboricoles, culture maraicher...etc. Parallèlement les activités d'élevage de cheptel associés aux productions végétales sont importants notamment ovin et bovin. (Fig. 2.5.)

2.2.3. Potentialité de la région dans le domaine de l'agriculture

Le soleil et la température sont deux paramètres propices à la prolifération de grandes variété de cultures à maturation précoce, notamment le maraîchère et quelques types d'arboricultures. (Fig. .2.6)



Par ailleurs les plateaux bas et les Dhayates (grandes dépressions) sont favorables pour booster la mise en valeur agricole et pastorale grâce aux alluvions très fertiles qui s y déposent, et s'accumulent.

La densité du réseau hydrographique et la diversité des espèces jouent un rôle essentiel dans l'acheminement de la matière hydrique.

Les parcours du Nord de la Wilaya disposent des possibilités de régénération grâce à l'élevage par l'importance de ses effectifs constitue une richesse capable de générer une production conséquente par une conduite rationnelle.

2.2.4. Les contraintes de la région dans le domaine de l'agriculture

- La rareté des précipitations, la fréquence récurrente des vents et les températures ardentes que connaît la région, jouent en défaveur du développement agricole. L'évaporation et l'évapotranspiration sont des facteurs

catalyseurs de ce phénomène en contribuant au dessèchement des cultures. Il va donc de soit que la mise en place de dispositifs d'irrigation adéquat et plus que nécessaire.

- L'Erg occidental qui couvre environ 21 % de la superficie de la Wilaya limite l'espace à développer, et constitue une source d'ensablement pour les zones environnantes. *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*

- La roche calcaire couvre 55% de la surface de la willaya de Ghardaïa, ce qui représente une entrave à l'action de mise en valeur des terres agricoles

- Les caractéristiques morphologiques de la région du M'zab fait que les surfaces cultivables se limitent aux zones d'accumulation des eaux et de dépôts alluvionnaires. *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*

- Pour ce qui est des ressources hydriques, les nappes phréatiques ne peuvent constituer un support suffisant pour le développement agricole.

- La nappe du Complexe Terminal est mal connue et nécessite une étude. par ailleurs elle présente les contraintes suivantes:

- Profondeur importante ;
 - Température élevée de l'eau au niveau de Guerrara et Zelfana ;
 - Durée de vie limitée des forages ;
 - Baisse progressive du niveau de l'eau dans la nappe, et retrait progressif de l'artésianisme ;
 - Réalisation de forages, énergie pour le pompage, refroidissement de l'eau et entretien des équipements
- La faiblesse de la taille des exploitations agricoles, le mode d'exploitation essentiellement traditionnel, la configuration de la structure foncière, la mauvaise qualité des parcours, l'insuffisante production fourragère

débouchent sur une production agricole faible orientée vers l'autoconsommation.

- Compte tenu des conditions climatiques de la Wilaya, les plantations forestières reviennent excessivement chères du fait qu'elles nécessitent impérativement une clôture, une amenée d'eau et une irrigation permanente. La population est fortement concentrée dans les agglomérations urbaines importantes (Ghardaïa, Berriane, Guerrara, Metlili, El Ménéa) ; une telle structure de population ne favorise guère le développement agricole.
- Les agglomérations situées au Nord de la wilaya sont confrontées aux contraintes du relief qui pose le problème de leur extension. C'est le cas des cités de la vallée du M'Zab (Ghardaïa, Bounoura, Mélika, Beni Izguen). *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*
- L'une des conséquences les plus graves relevée est la destruction de la palmeraie environnante par l'urbanisation ; de ce fait les extensions ne peuvent être envisagées qu'en dehors de la vallée.
- Le relief constitue un obstacle de taille par rapport à l'extension de la palmeraie, car rien n'est envisageable pour la mise en valeur au niveau des terrains accidentés. D'autant plus que l'intrusion de l'urbanisme joue en défaveur de la palmeraie.

2.3. Hydraulique

2.3.1. Aperçu sur l'hydrauliques des oasis du M'zab

En étudiant l'organisation hydraulique des oasis du M'zab, il est remarquable que la population locale s'est parfaitement adaptée aux conditions arides et à la rareté de la matière hydrique que connaît la région. Cette organisation est caractérisée par une ingéniosité et une rationalité qui permet

de capter la moindre goutte de pluie, de la canaliser et de la partager de manière tout à fait équitable sur l'ensemble des habitants et des palmeraies de la région. D'autre part, l'excédent est conservé et sert pour la réalimentation artificielle de la nappe par le biais de petites diguettes qui permettent à l'eau ruisselante de stagner et de s'infiltrer vers le sous sol.

En effet les mozabites ont, de génération en génération, mis en place un système rationnel et ingénieux de gestion et de protection contre des eaux de crues.

Selon les fonctions du système hydraulique de la région du M'Zab ; nous pouvons distinguer deux parties

La première partie a comme rôle de collecter et de canaliser l'eau des pluies orageuse vers les ouvrages de distribution et de partage, La deuxième partie est conçue de la sorte à partager les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

a. Les barrages

Les barrages se présentent sous deux formes :

- ✓ Les barrages situés en amont : ceux sont des ouvrages de dérivation, qui servent à partager en plusieurs bras le flot de crue et de le diriger vers les séguias qui le conduisent vers les jardins à irriguer (*Mellak, 2009*).
- ✓ Les barrages construits en aval appelée 'Ahbas', sont des ouvrages dont le rôle est de retenir les eaux. Ils barrent les lits de l'oued; et incites l'eau à se répandre sur l'ensemble de la surface des jardins adjacents d'une part, et à percoler dans le sous sol pour alimenter la nappe phréatique qui à son tour alimente les puits utilisés principalement pour l'irrigation en période de sécheresse.

b. Les ouvrages de régulation

Les crues dans la région du M'zab s'avèrent être d'intensités très importantes, pouvant causer d'innombrables dégâts, et sans être bénéfique ni pour les jardins ni pour l'alimentation de la nappe phréatique. En connaissance de causes les habitants locaux ont développé un système comportant des ouvrages de régulation et de partage des eaux avant d'arriver aux jardins. Ce système comprend un ensemble de digues, de déversoirs et de canaux.

Nous distinguons les Tissembades (canalisations), déversoir, canaux souterrains et les canaux à ciel ouvert

Avant l'arrivée de l'eau de crue à la palmeraie, un système de canaux, de digues, de déversoirs et de "tissembades" servent à réguler et à distribuer l'eau avant d'arriver aux jardins. (DJOUDI., RAFA.; 2009)

✓ **Tissembades**

Les tissembades sont des ouvrages formés par une série de plusieurs orifices appelés "tissembades". (Fig.2. 1.) Ces dernières sont faites de grandes pierres plates appelées « madun », leur fonction est de casser la vitesse de l'eau et de réguler son débit. En cas de nécessité, cet ouvrage est doté de vannes (portières métalliques) qui permettent de dévier complètement le cours de l'eau en les fermant ; contrôlant ainsi l'eau et l'envoi aux autres endroits de la palmeraie. (HASSANI., 2009)

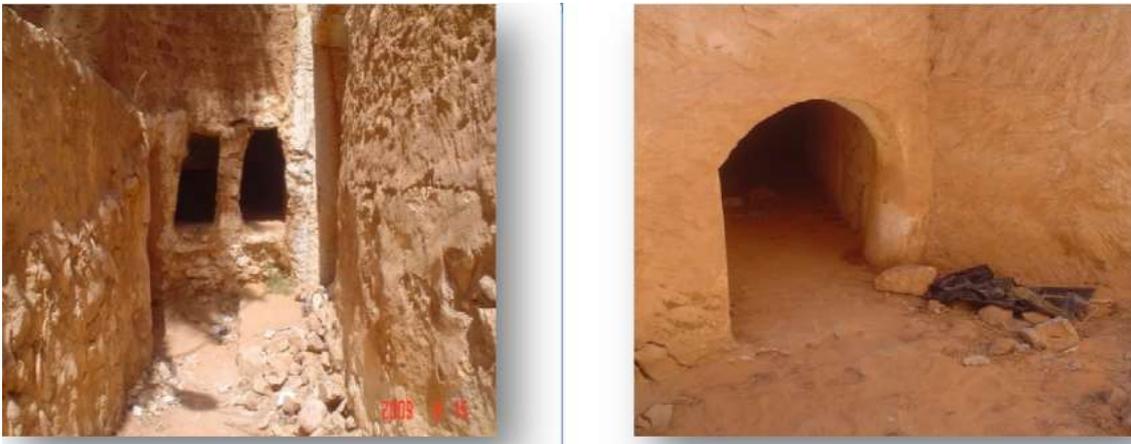


✓ **Déversoir « tachrif »**

Le déversoir se présente comme un ouvrage complémentaire aux « *tissembades* ». Il est construit sur la paroi du canal juste avant *tissembades*. Son rôle est de déverser le surplus d'eau en cas de fortes crues vers les canaux, permettant ainsi aux eaux en excès de ne pas être perdues.

✓ **Canaux souterrains**

L'eau qui traverse *tissembades* est canalisée dans des galeries souterraines qui conduisent et partagent les eaux équitablement vers des groupes de jardins selon leurs grandeurs et le nombre de palmier qui s'y trouvent. (*Fig2. 2*)



a. Les canaux à ciel ouvert "Tardja"

Les Tradja (*fig 2.11*) sont des canalisations à ciel ouvert se situant à l'intérieur des oasis. Ce sont des ruelles pavées et clôturées par les murs des jardins, qui en temps sec servent de chemin pour la circulation à l'intérieur de l'oasis. En temps de crues, ces ruelles se transforment en canaux à ciel ouvert qui représentent les artères principales du système d'irrigation et de partage des eaux dans l'oasis.



c. Les ouvrages de distribution d'eau au niveau des jardins

✓ Koua

Les murs des jardins contiennent des ouvertures ou des orifices appelées « koua ou et el khana » à travers les lesquels l'eau est déversée à l'intérieur des jardins. Au niveau de chaque ouverture est prévu un ralentisseur qui permet de diminuer la vitesse et le débit de l'écoulement pour laisser l'eau submerger la surface des jardins. Le dimensionnement des koua est fonction de la surface à irriguer ainsi que du nombre de palmier qui s'y trouvent.

✓ Le trop plein

Le trop plein (Fig.2.12) comme son nom l'indique permet d'évacuer l'eau excédentaire issues de l'irrigation vers d'autres jardins dans le cas des jardins étagés, ou directement dans le cours de l'oued.



2.3.2. Hydraulique de l'oasis d'El Atteuf

L'oasis d'El Atteuf se particularise d'une part par le fait qu'elle ne reçoit que le surplus des eaux des crues qui traversent la vallée vu sa position en aval de l'Oued M'zab. d'autre part par son système hydraulique ancestral, principalement axé sur l'exploitation des eaux de la nappe phréatiques uniquement, contrairement aux autres oasis du M'zab, Bounoura et Ghardaïa à titre d'exemple, dont les ouvrages hydrauliques permettent l'exploitation directes des eaux des crues notamment en agriculture.

Les principaux ouvrages hydrauliques de l'oasis d'El Atteuf permettent la réalimentation de la nappe phréatique exploitée via les puits traditionnels

a. La digue Kaf Doukhane d'El Atteuf

La digue de Kaf Eddoukhane (*Fig.2.13*) est la digue principale de la palmeraie d'El Atteuf. Elle a été construite en aval par les ancêtres en

matériaux locaux dans le but de protéger la palmeraie des crues et pour la rétention de l'eau afin d'assurer l'alimentation de la nappe phréatique.

Le barrage d'El Atteuf est doté d'un déversoir (*Fig2.14*) qui est un ouvrage qui permet d'éviter la surverse au dessus des ouvrages de régulation. ce dernier



risquent une rupture en cas de fortes crues.

b. Les puits traditionnel

Le puits traditionnel (*Fig.2.15*) est l'ouvrage hydraulique principal dans l'oasis d'El Atteuf. Il permet l'exploitation des eaux de la nappe phréatiques dont la recharge s'effectue principalement au niveau de la digue de Kaf Eddoukhane.

Autrefois, les Hassi étaient creusés à l'aide d'outils rudimentaires telles les cornes de chèvres. L'eau était soutirée grâce à un système de poulie et de cordage tiré par des animaux en l'occurrence les ânes. Les eaux puisées des hassi servaient pour la consommation des habitants au niveau des k'sour et pour l'irrigation au niveau des palmeraies.

c. Les forages



La principale ressource hydrique de l'oasis d'El Atteuf se limitait aux eaux de la nappe phréatique jusqu'au jour où le développement démographique et les différentes activités anthropiques en l'occurrence l'agriculture ont pris de l'ampleur. Les eaux des Hassi ne parvenaient alors plus à subvenir aux besoins de la région en matière hydrique. Il y a donc eu recours aux eaux de la nappe albienne.

Les eaux de cette nappe sont exploitées via de nombreux forages depuis 1948 à ce jour.

L'agglomération d'El Atteuf comprend 23 forages (*Tableau 2.5 ; Fig. 2.16*), dont deux situées dans la palmeraie. Le volume annuel extrait dépasse les 8.26 hm³/an.

Tableau 2. 5. Etat des forages dans l'agglomération d'El Atteuf (DHW 2013)

Nom Du Forage	date mise en service	Utilisation des eaux (AEP, AEI, IRR)	Etat actuelle du forage
EL-ATTEUF 02 Aoulaoul	1948	AEP	EN ARRET
Aérodrome 01	1956	AEP	EXPLOITE
El-Atteuf 01	1963	AEP	ABANDONNE
Ammi-Hamou	1986	AEP	EXPLOITE
Aoulaoual	1986	AEP	EXPLOITE
Coupe Sud	1987	IRR	EN ARRET
El-Djauoai	1987	IRR	EXPLOITE

Zonne Economique	1989	AEI	EXPLOITE
Garadi	1990	IRR	EXPLOITE
Kef Doukhane	1992	IRR	EXPLOITE
100 Logements	1993	AEP	EXPLOITE
El-Hamraya	1993	AEP	EXPLOITE
Timssassine 1concessions	1996	IRR	EXPLOITE
El-Djauoue2	1997	IRR	EXPLOITE
Hay Rezzeg	1997	AEP	EXPLOITE
Aérodrome 02	1997	AEP	EXPLOITE
Complex Sportif	1998	AEP	EXPLOITE
Timssassine 2concessions	2000	IRR	EXPLOITE
Universite	2003	AEP	EXPLOITE
Zizratou	2010	AEP	EN ARRET
Tete Aoulaoual	2010	IRR	EN ARRET
Ahbas Encien	2010	IRR	EN ARRET
Zone Des Siences	2012	AEP	EN ARRET

2.3.3. conclusion

La zone d'El Atteuf compte une diversité de produits agricoles grâce aux conditions favorables à leur développement à savoir le sol fertile du à



l'emplacement de l'oasis en aval de la vallée du M'Zab et au taux d'ensoleillement assez élevée d'une part, l'exploitation de la nappe albienne ont contribué à donner un élan à l'agriculture. Mais cependant le manque de matériel et de moyens ralentie la production agricole.

Le système ancestrale qui repose sur le fait de ralentir les eaux de la crue qui passe à travers la diguette lui permettant ainsi d'avoir un temps nécessaire de s'infiltrer et d'alimenter la nappe phréatique et élever le niveau piézométrique.

3.1. Introduction

La vallée du M'zab connaît un développement démographique considérable qui multiplie l'ampleur de l'impact de l'action anthropique sur l'environnement, tout particulièrement avec l'exploitation intensive des eaux de la nappe albiennaise. Ce facteur conjugué avec les caractéristiques naturelles de la région, (un climat aride, des crues irrégulières, une géologie favorable au ruissellement), font de ce milieu naturel une zone fragilisée, sujette à la détérioration et la dégradation.

Cette dégradation de l'environnement est particulièrement ressentie et accentuée au niveau de l'exutoire de la vallée, l'oasis d'El Atteuf.

En premier lieu, il est question dans ce chapitre de mettre l'accent sur les différentes problématiques environnementales que connaît l'oasis d'El Atteuf, notamment celles liées à la pénurie hydrique. En second lieu, de présenter des solutions qui s'adaptent au contexte naturel et aux activités agricoles répandues dans cette oasis.

3.2. Problématique environnementales dans l'oasis d'El Atteuf

Cette partie du chapitre se propose de mettre le point sur la situation environnementale de l'oasis d'El Atteuf, en évoquant différents volets en l'occurrence la ressource hydrique.

3.2.1. Pollution de l'oasis par les eaux usées

L'oasis d'El Atteuf est située à l'exutoire du bassin versant de la vallée du M'zab. De ce fait elle a connu maintes complications d'ordre environnementales, sanitaires et esthétiques. En effet pendant plusieurs années des étendus d'eaux usées ont été remarquées au sein de la palmeraie dues à la remonté des eaux usées. Ce phénomène est non seulement responsable des odeurs nauséabondes et de la dégradation du paysage mais aussi il est à l'origine des maladies et des épidémies qui se sont manifestées au niveau de la population et du bétail.

Ce problème s'avère d'autant plus important et persistant au niveau des jardins de la palmeraie (*Fig.3.1*) qui ne sont ni raccordées au réseau d'assainissement ni dotées de fosses septiques. Les eaux usées des activités d'élevage et d'agriculture et celles des résidences secondaires sont donc déversées directement dans la nature.

3.2.2. Contamination de la nappe phréatique par les eaux usées



Pour ce qui concerne la nappe phréatique une sérieuse contamination d'ordre bactériologique s'est propagée sur un rayon important au fil des années (*SIOUSSIOU, DEDJEL 2011*) ; engendrant ainsi la pollution des eaux des puits traditionnels (hassi) largement utilisés dans l'irrigation des parcelles agricoles (*TALEB ;2008*) et dans l'abreuvement du bétail. Cette anomalie a particulièrement affecté les cultures maraichères irriguées par ces eaux

contaminées ainsi les cheptels qui ont développé de sérieuses pathologies selon les éleveurs de la région (*Tableau .3.1*)

Tableau.3. 1.pollution biologique de la nappe phréatique au niveau de l'oasis d'El Atteuf (SIOUSSIOU, DEDJEL 2011)

Coliformes totaux	>1100	>1100
Coliformes fécaux par 100 mll	500	1100
Escherichia-cloli Par 100mll	200	150
Streptocoques fécaux par 100mll	>110	>1100

Cette contamination s'est accentuée vers les années 1970 au fur et à mesure que la nappe albienne fut exploitée.

3.2.3. Destruction partielle de la digue d'El Atteuf

La de l'oasis et tributaire d'une zone de recharge qui est appuyée par une diguette (**Fig.3.2**) construite par la population Ksourienne autre fois pour augmenter le taux de recharge de la nappe et élever son niveau piézométrique.

Au fait cette diguette fait office d'obstacle (**Fig.3. 3**) pour ralentir les flux lors de l'arrivé de la crue et assurer un bon taux de percolation des eaux vers la nappe phréatique. Cette diguette a été partiellement endommagée au fil du temps par les crues, néanmoins celle d'octobre 2008 a été la plus destructive (**Fig.3.2**) par conséquent les infiltrations de l'eau vers la nappe ce sont amoindries par endroit et le niveau piézométriques a sensiblement baissé.

3.2.4. Contribution des produits phytosanitaire dans l'oasis



L'agriculture au sein de la palmeraie d'el Atteuf a pris une tournure vers les méthodes modernes de fertilisation et d'élimination d'insectes nuisibles (*Fig. 3.4*), or ces nouveaux procédés présentent tant d'inconvénients que d'avantages pour l'aspect hygiénique et sanitaire de la nappe phréatique.

3.2.5. Problèmes des eaux de colature

Les parcelles agricoles dans la palmeraie présentent toutes des pentes qui donnent sur l'oued principal. Étant donné que ces dernières ne sont pas

toujours équipées de système de drainage, le surplus (eaux de colature) des eaux d'irrigation chargées en pesticides, fertilisants et sels sera sujet à l'infiltration et par conséquent une contamination de la nappe phréatique est très probable.

3.2.6. Manque d'investissements et de moyens

Malgré le développement des techniques de fertilisation et d'élimination des insectes nuisibles, les moyens utilisés dans l'irrigation, le labourage des sols et les récoltes des différentes cultures, reste très rudimentaire et même archaïque dans certains jardins, cela met le rendement a contribution, dans le sens ou l'économie du secteur est sérieusement mise en question. Car la plupart des moissons des propriétés privées n'ont pas dépassé le seuil de l'autosuffisance et la notion de rentabilité en dépit des moyens techniques et financiers mis en œuvre, alors comme conséquences de ces difficultés l'agriculture dans la palmeraie d'El Atteuf reste en majeure partie du loisir

3.2.7. Risque de contamination de la nappe phréatique par les rejets de la station d'épuration

Les eaux usées traitées rejoignent directement l'oued M'zab (*Fig.3.5*) et risquent de contaminer la nappe phréatique par leur infiltrations au niveau du lit mineur, vu la perméabilité de fissure que caractérise le terrain, et le faible pouvoir épuratoire du sol. Des analyses régulières sont indispensables au niveau du rejet final ainsi qu'au niveau des eaux de la nappe phréatique pour s'assurer que ces eaux traitées ne présentent pas un taux de concentration en matière de polluant.



3.3. Solutions

La deuxième partie de ce chapitre propose des solutions aux problèmes soulevés précédemment à travers notre étude sur le terrain.

Ce premier volet consiste à présenter la station d'épuration d'El Atteuf qui constitue le principal changement que connaît l'Oasis depuis le mois de mars 2013.

Le deuxième volet présente des solutions tout particulièrement en ce qui concerne les répercussions du problème de la remontée de eaux sur l'environnement

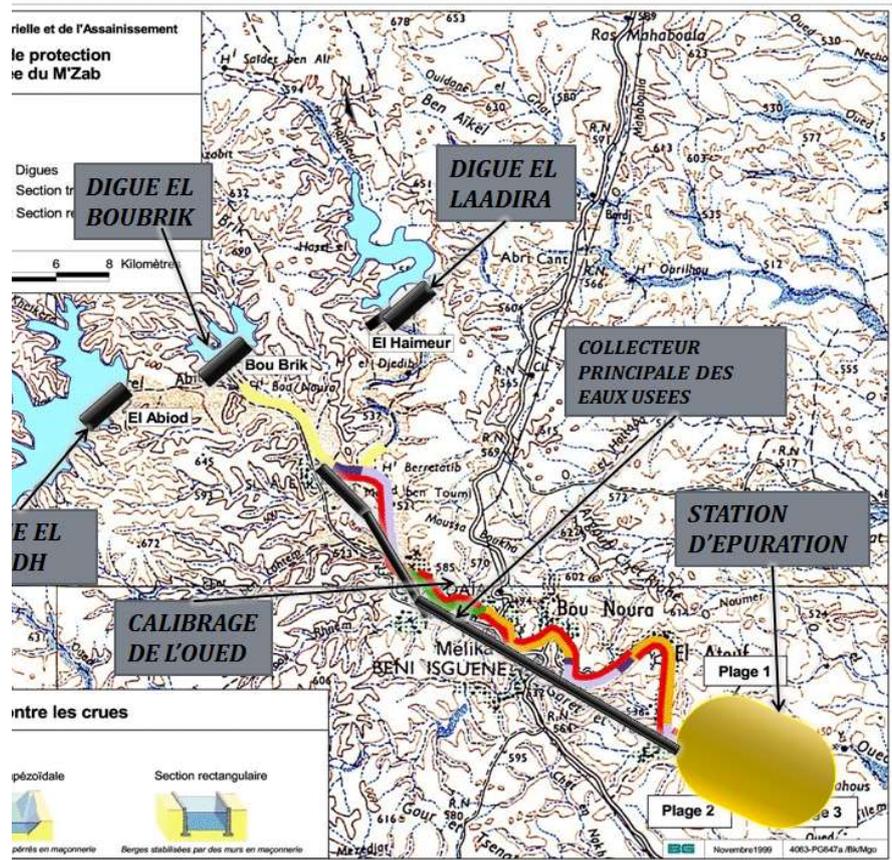
3.3.1. Rôle de la station d'épuration dans la suppression du risque sanitaire et environnemental

La vallée M'zab a toujours été menacé par des facteurs naturels telles que la violence des crues, et des facteurs anthropiques telle que et la pollution de l'environnement et des eaux superficielles et souterraines par les eaux usées.

Dans le cadre de la protection de l'oued du M'Zab, plusieurs travaux d'aménagement (fig3.6.) ont vu le jour à différents niveaux de cet oued.

En amont des digues de protection contre les inondations et ont été bâties et un réaménagement de l'oued a été effectué.

En aval une station d'épuration des eaux usées urbaines a été bâtie au niveau de l'oasis d'El Atteuf parallèlement à la conception d'un réseau d'assainissement qui achemine les eaux usées vers cette station.



a) Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration d'El Atteuf se situe à Kaf Doukhane en aval de l'oasis. Elle reçoit toutes les eaux usées des agglomérations de Daya Ben Dahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf.

C'est une station d'épuration par lagunage naturel ; comprenant 8 bassins anaérobies et 8 autres aérobies. (Fig3.12)

Cette station s'étend sur une superficie de 50ha et comprend trois filières de traitement. Elle traite un débit de 46400m^3 d'eaux usées par jour, avec une charge polluante de 11600kg/j .

La collecte des eaux usées se fait de manière gravitaire sur une distance de 25 km, dont 4.5km en galerie ovoïde, de l'agglomération de Daya en amont vers El Atteuf en aval (exutoire).

Le projet de l'exploitation de la station s'étend sur une période relativement longue. La population estimée être raccordée à l'horizon 2030 est de 332 000 EH.

b) **Fonctionnement de la station d'épuration d'El Atteuf**

La station d'épuration des eaux usées comprend une filière de prétraitement, une série de bassins primaires et une série de bassins secondaires

- **Le prétraitement :** Le but du prétraitement est la rétention des déchets grossiers et des huiles qui se trouvent dans les eaux résiduaires urbaines. Cette filière comprend un dispositif de dégrillage de dessablage et de déshuilage (fig.3.7).



Fig3. 1.filière de prétraitement -STEP el atteuf

- **Le traitement primaire :** les eaux issues du prétraitement sont réparties à travers 8 bassins de 3.5 mètres de profondeur, où s'effectue le traitement anaérobie des eaux avec un temps de séjours de 3 jours. (Fig3.8)



- **Le traitement secondaire** : Après avoir subi le traitement anaérobie l'eau est acheminée et répartie à travers les 8 lagunes de 1.50 mètre de profondeur pour le traitement aérobie (*Fig3.9*). Le temps de séjour est estimé à 10 jours, avant que l'eau épurée ne rejoigne le milieu naturel (oued) (*Fig.3.10*)



- **Exploitation des boues** : le procédé d'épuration des eaux usées produit une grande quantité de boues issues de la dégradation de la matière organique, qui se décantent tout particulièrement au fond des bassins secondaires où le temps de séjour est plus long



D'une part les boues décantées sont riches en microorganismes décomposeurs de la matière organiques. D'autre part elles constituent une matière fertilisante.

La station d'épuration d'El Atteuf est dotée d'un dispositif qui permet d'extraire lixivie des bassins secondaires et de l'exploiter au niveau des bassins primaires pour y améliorer le rendement épuratoire.

D'autre part la station comprend des étendues de séchages (*fig.3.12*) des boues qui peuvent tout aussi bien être exploitées à des fins agricoles.



c) Analyses des résultats de la qualité de l'eau de la station d'épuration

Les analyses effectuées sur les eaux de la station d'épuration d'El Atteuf dans les différentes étapes du processus d'épuration (rejet brutes, rejets du bassin primaire et rejet final des bassins secondaires), ont donné les résultats suivants :

✓ **Azote total**

L'azote global est la somme de l'azote organique, l'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates.

L'élimination de ce paramètre est bien assurée par la station d'épuration. Le taux prélevé au niveau du rejet final de la STEP est de l'ordre de 26.05 mg/l il est donc inférieur aux normes de rejet de l'OMS fixées à 50 mg/l.

Les résultats montrent une diminution entre les valeurs des eaux brutes et celles des eaux traitées, cette diminution peut être expliquée par la perte d'une partie de l'azote sous forme de diazote gazeux (N_2) par le processus de dénitrification dans les conditions anaérobies.

✓ **Azote ammoniacale (NH_4)**

Selon les résultats obtenus (**fig3.14**), la valeur moyenne de l'azote ammoniacal pour les eaux brutes est de l'ordre de 19.63mg/l, et pour les eaux traitées est 22.3mg/l. Cette dernière est supérieure aux normes internationales des eaux d'irrigation selon FAO ($NH_4^+ < 0.2$ mg/l).

Fig3. 2. Concentration de l'azote ammoniacal dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 05-06 et 29-08-2013

La variation des teneurs entre les eaux brutes et traitées n'est pas très forte; à cause de la transformation continue de la matière organique azotée en azote ammoniacal par un processus d'ammonification.

✓ **Les nitrites (NO_2^-)**

Afin d'aboutir à une interprétation correcte des résultats de mesure des concentrations en nitrites (**Fig.3.15**), il est nécessaire de prendre compte des teneurs de nitrates, d'azote ammoniacale et de la matière organique. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque.

Fig3. 3. Concentration des nitrites dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

D'après les résultats on remarque par fois une légère augmentation enregistrée dans le cas des eaux traitées. Cela est dû soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Les nitrites ne représentent qu'un stade intermédiaire entre l'ammoniaque et les nitrates dans le cycle de l'azote, et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité.

Les résultats des eaux traitées obtenues en nitrites sont très faibles avec une moyenne de 0.302 mg/l, qui répond aux normes internationales des eaux d'irrigation selon OMS ($\text{NO}_2^- < 0.1 \text{ mg/l}$).

✓ **Les nitrates (NO_3^-)**

Toutes les formes de l'azote (azote organique, ammoniaque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Fig3. 4. Concentration des nitrates dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 29-09-2013

Les bactéries nitratantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates, cette réaction appelée nitratisation s'accompagne aussi d'une consommation d'oxygène.

A partir des résultats obtenus (*Fig.3.16*), nous enregistrons des valeurs qui oscillent entre (0.428 et 1.06mg/l) pour les eaux traitées, et entre (0.200 et 0.660mg/l) pour les eaux brutes, avec une valeur moyenne de 0.500mg/l. Ces valeurs sont compatibles aux normes internationales des eaux d'irrigation selon OMS ($\text{NO}_3^- < 50 \text{ mg/l}$).

✓ Demande chimique en oxygène DCO

Les résultats obtenus montrent une diminution des valeurs de la Demande chimique en oxygène DCO pour les eaux épurées.

Tableau.3. 2.variation de la DCO entre le rejet brute et le rejet initial de la STEP d'El Atteuf

Date de Prélèvement	DCO du rejet brute [mg/l]	DCO du rejet final [mg/l]	rendement épuratoire %
29.05.2013	294	116	60,5
12.06.2013	468	170	63,7
02.07.2013	491	184	62,5
30.07.2013	294	108	63,3
04.08.2013	214	99	53,7
11.08.2013	271	112	58,7
18.08.2013	317	110	65,3
25.08.2013	344	113	67,2
01.09.2013	211	103	51,2
10.09.2013	245	102	58,4

Fig3. 5.variation de la DBO du rejet brute au rejet final de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

La réduction de la demande chimique en oxygène (*Fig.3.17*) peut être expliquée par la diminution de la matière organique complète par oxydation chimique des molécules oxydables continues dans l'eau.

Par comparaison entre les valeurs de DCO des eaux brutes et celle des eaux épurées, nous notons un bon rendement qui avoisine les 60%. (*tableau.3.2.*)

Ces résultats paraissent légèrement élevés. Ceci est dû au fait que la mesure de la DCO s'effectue au niveau du laboratoire de la station d'épuration de Ouargla à 200 km de Ghardaïa, et vu que les conditions de transport ne sont pas réunies, la DCO

ceci dénote l'efficacité du traitement secondaire de la station dans l'élimination de cette pollution organique.

✓ **Demande biologique en oxygène (DBO₅)**

Dû au manque de matériel nécessaire à la mesure de la DBO₅ au niveau du laboratoire de la station d'épuration d'El Atteuf, le nombre de résultats s'avère très réduit et insuffisant pour effectuer une synthèse et une analyse bien détaillée sur ce paramètre.

✓ **Matières en suspension (MES)**

La concentration moyenne en MES dans le rejet final de la station d'épuration dépasse de loin les normes de l'OMS et les normes Algériennes de rejet fixées à 30 mg/l.

En effet le pourcentage de la pollution organique éliminée est estimée à 45 %. ce taux est estimé comme étant assez faible car les eaux brutes enregistrent une concentration de 100 mg/l ; et les eaux de rejet n'enregistrent pas moins que 73[mg/l] de MES. (*fig3.17*)

La charge de MES élevée dans le rejet final est due à la présence intensive d'algues. Ceci étant l'une des limitations du procédé d'épuration des eaux usées par lagunage.

Fig3. 6. Concentration des MES dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

✓ **potentiel hydraulique (pH)**

Le pH au niveau du rejet final de la station est alcalin. il s'adapte aux normes de rejet de l'OMS et aux normes Algériennes fixées à ($\leq 8,5$).

Le pH alcalin conjuguée à la température modérée des bassins constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des bactéries qui établissent un parfait équilibre biologique permettant la dégradation de la matière organique et la décontamination de l'eau.

d) **Apport de la station d'épuration à l'oasis d'El Atteuf :**

Il est clair que la réalisation de la station d'épuration en aval de la vallée du M'zab présente plusieurs avantages pour l'oasis d'EL ATTEUF. La collecte des eaux usées de la vallée que recevait l'oasis et leur épuration, sont indubitablement un pas de géant pour l'amélioration de la situation environnementale de cette région.

En effet la suppression du phénomène de la remontée des eaux usées, l'atténuation des odeurs nauséabonde et l'amélioration progressive de la qualité des eaux des puits, au niveau de l'oasis sont remarquables.

Les résultats des mesures effectuées au niveau de l'exutoire de la station sont prometteurs. Hors les anomalies relevées concernant les teneurs en azote ammoniacale et en matières en suspension doivent être prises en considération notamment dans le cas de réutilisation de ces eaux.

3.3.2. Décontamination des eaux de la nappe phréatiques

Pour ce qui concerne le problème de la contamination de la nappe phréatique par les eaux usées qui persiste malgré l'implantation de la station d'épuration, la solution adéquate qui remédierait à cette situation est de procéder à une décontamination de cette nappe.

Plusieurs procédés peuvent être mis en œuvre selon les moyens disponibles et la sévérité de la pollution qui varie par endroit (d'amont en aval).

a) **La phytoremédiation**

Sous cette appellation sont regroupées plusieurs processus traitement sur site ou hors site, qui utilisent les végétaux comme épurateurs du milieu a titre d'exemple les roseaux. Le principe de base est identique pour tous.

Des végétaux supérieurs spécifiques sont plantés sur la zone à traiter, dans une unité spéciale par où va transiter une eau contaminée.



b) **la phytostimulation**

- C'est une technique qui stimule la dégradation microbienne et fongique par les exsudats et les enzymes libérées dans la rhizosphère racinaire, ce qui entraîne la destruction des polluants organiques présents. Cette technique présente plusieurs avantages notamment :
- Elle est sans danger pour l'environnement, économique et esthétique
- Elle peut servir à éliminer une grande quantité de contaminants.

La phytoremédiation présente également des inconvénients:

- C'est un processus lent puisqu'il dépend du cycle naturel des plantes;
- La phytoremédiation a plus de succès lorsque la contamination se situe à proximité des racines des végétaux, en général à une profondeur de 1 à 1,80m pour les plantes herbacées et de 3 à 4,5m pour les arbres
- Certaines plantes qui absorbent une grande quantité de métaux toxiques pourraient mettre en danger la chaîne alimentaire si des animaux les mangent

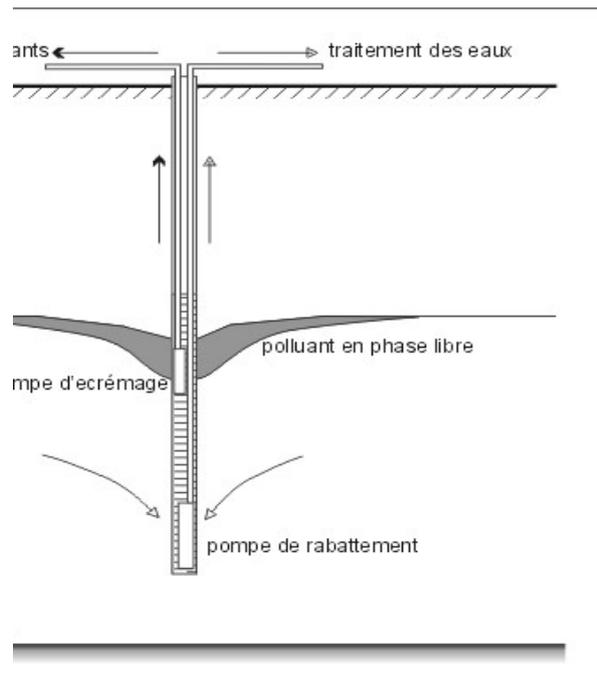
✓ **Procédés physique: “pump and treat”**

Cette technique s'effectue en deux phases.

- la première in situ qui consiste à extraire l'eau de la nappe par pompage,
- et la deuxième ex situ consiste à traiter l'eau en surface. Cette technique a largement été utilisée avant l'existence des techniques in situ en lançant une campagne de pompage massif suivant une étude établie préalablement sur les zones concernées par cette pollution.

✓ **Rabattement écrémage :**

La technique de rabattement écrémage (**fig.3.21**) consiste à extraire les composés organiques peu solubles flottant à la surface de la nappe phréatique, dont la densité est inférieure à la valeur 1. Elle s'applique d'une manière intéressante sur les phases libres telles que les hydrocarbures légers (essence).



Ce procédé *in situ*, permet de récupérer les composés organiques par gravité en créant un cône de dépression vers un puits de rabattement. Une fois les composés extraits mécaniquement (écrémage) de la nappe, ils sont stockés dans des dispositifs.

Malgré le fait que cette technique concerne les polluants insolubles, une pollution dissoute n'est pas totalement exclue. Elle peut être extraite et traitée si la concentration l'exige.

3.3.3. Recharge artificielle de la nappe phréatique

Par rapport au taux de la recharge artificielle de la nappe phréatique qui a sensiblement baissé depuis 2008, faute de la rareté des crues en partie et en deuxième partie qui est la plus importante, la destruction de la diguette. Cette dernière faisait office de barrage temporaire qui freinait l'eau tout en la maintenant dans la zone d'infiltration en lui permettant un temps suffisant pour percoler et élever le niveau piézométrique de la nappe. La solution à ce problème est de rénover la diguette telle qu'elle était autrefois, c'est-à-dire il faut garder les mêmes mesures en hauteur et longueur et aussi la même disposition et le même emplacement.

Il serait même bénéfique de réaliser une série de bassins d'infiltration répartis dans la zone, afin d'augmenter la surface allouée à la réalimentation, est de minimiser le taux d'évaporation ; qui est très élevé à cause des températures ardentes ; et par conséquent d'optimiser le taux de la recharge.

Cette recharge peut être effectuée via les eaux usées épurées issues de la station d'épuration, pour cela une étude approfondie qui porte sur l'analyse finale du rejet de la STEP, et sur la topographie la géologie et hydrogéologie.

3.4.3. Remediation à la contamination par les pesticides

L'utilisation des fertilisants et des pesticides n'est pas condamnée dans le cas où la parcelle agricole est dotée de haies et de systèmes de drainage.

Les haies évitent la volatilisation des pesticides sur d'autres terres agricoles, et par conséquent d'éventuelle contamination. Par ailleurs elles favorisent la rétention des produits chimiques dans le sol.

3.4.4. Aménagement touristique au niveau de la station d'épuration

Le traitement des eaux par procédés de lagunage charge des terrains de grande superficie ; 50 ha pour la station d'El Atteuf ; avec des bassins interposés.

La création de la station d'épuration des eaux usées d'El Atteuf a coûté une somme faramineuse, de l'ordre de deux milliards de dinars. L'aménagement d'aires de repos est envisageable dans le but de tirer profit de sa structure



L'aménagement du site et de la structure en un lieu de plaisance ne nécessite pas des moyens colossaux.

3.4.5. Revalorisation des effluents épurés

Les eaux usées épurées présentent un taux de fertilisation qui serait rentable dans le domaine de l'agriculture ; car elles sont riches en éléments nutritifs et présentent des concentrations de phosphore et de nitrate très importantes, ceux-ci étant essentiels à la croissance et au développement des végétaux.

L'utilisation de l'eau épurée de la station à des fins agricoles, joue en faveur de la nappe phréatique, car le taux d'exploitation de cette dernière diminuera et permettra au niveau piézométrique une augmentation considérable et bénéfique pour l'ensemble des palmeraies de la région.

Par ailleurs une telle pratique épouse parfaitement les principes du développement durable.

Cependant il est exigé pour l'exploitation des eaux épurées à des fins agricoles, d'effectuer des analyses régulières et de se référer aux normes qui fixent les valeurs limites des teneurs des différents composés et les variétés de cultures tolérées à être irriguées par ces eaux non conventionnelles.

Il est d'ailleurs impératif de soulever le problème du taux élevé de matières en suspensions présent dans les eaux épurées de cette station (45% de rendement). Si les eaux d'irrigation présentent un taux important en MES, le sol arable risque

d'être colmater, et les conduite d'irrigation risquent d'être boucher au niveau des goutteurs dans le cas de l'irrigation localisées.

Pour y remédier, la mise en place de bassins de décantations des eaux destinées à l'irrigation sont indispensables.

Afin d'acheminer les eaux usées épurées à la sortie de la station aux édifices de stockage (adduction), il est plus intéressant de la canaliser pour éviter toutes éventuelles pertes éventuelles (évaporation).

Les terrains en aval de la station seraient desservis en eaux par gravité.

Pour ce qui concerne les édifices de stockages de l'eau épurés destinée à l'irrigation, ceux enterrés ou semi enterrés sont les plus adéquats, dans la région vu la topographie et la pente du terrain.

3.4.6. Revalorisation des boues

L'épuration des eaux par lagunage permet la formation de boues profitable en matière de rendement agricole, car elles ont un pouvoir de fertilisation par les matières qu'elles contiennent.

La station étant à ses débuts, la production de boue reste minime pour l'instant. Le niveau minimum nécessaire pour une éventuelle extraction des boues des bassins est de 50 centimètres. Cette hauteur ne peut être atteinte qu'après une durée de fonctionnement estimée à deux ans

3.4.7. conclusion

La Station d'épuration d'El Atteuf est considérée comme un plan de sauvetage pour la production agricole dans l'oasis. Cette dernière a absorbé les nuisances environnementales et écologiques qui se manifestaient par le phénomène de la remonté des eaux.

La mise en service de cette station d'épuration qu'a apporter la station d'épuration a enchainé l'avenue de plusieurs avantages qui se sont avérés aussi importants les uns que les autres.

L'agriculture au niveau de l'oasis d'el atteuf a bénéficié largement de cette structure d'épuration des eaux. Il en est tout aussi bien pour la nappe phréatique dont la qualité de l'eau s'est améliorée.

Des aménagements et des techniques qui rendraient cette station d'autant plus profitable à l'oasis peuvent être envisagés à long et à moyen terme.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de mémoire consiste à étudier le rapport entre la station d'épuration des eaux usées et la palmeraie d'El Atteuf sur les volé environnemental écologique et hydraulique. Cela m'a permis de renforcer mes connaissances dans les domaines de l'épuration des eaux par lagunage et la réutilisation des eaux usées épurées dans le recharge artificielle de la nappe qui est plus que nécessaire dans cette zone a sévère aridité . Cependant cette technique n'est pas encore été utilisée dans la zone d'étude car les analyses de la station sont peu concluantes, d'une part et d'autre par la nappe est déjà contaminée.

Alors il faut procéder d'abord a une décontamination de l'aquifère pour pallier à ce problèmes qui représente un risque potentiel de contamination et de maladies en cas d'abreuvement ou d'irrigations par ces eaux. D'autres problèmes ont été élucidés à travers cette étude et dont on a proposé des solutions préventives et curatives dans le cadre de la protection et le développement de la palmeraie d'El Atteuf qui est considérée comme étant un agent catalyseur de forte influence dans l'économie et l'agriculture dans la wilaya de Ghardaïa.

Pour que cette région agricole aille de l'avant, et épouse parfaitement le contexte de la demande agricole actuelle, des investissements et des plans d'actions sont indispensable pour le développement du secteur .

En fin tiré profil de la station reste la meilleur option pour l'oasis d'el atteuf , cela se concrétise dans l'utilisation des eaux épurées dans l'irrigation et dans la recharge artificiel de la nappe phréatique .

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1.INTRODUCTION.....	3
1.2.APERÇU HISTORIQUE SUR LA RÉGION D'ÉTUDE.....	3

1.3.GÉOGRAPHIE.....	3
1.4.CADRE ADMINISTRATIF	4
1.5.GÉOMORPHOLOGIE DE LA VALLÉE DU M'ZAB.....	5
1.6.GÉOLOGIE.....	5
1.7.CLIMATOLOGIE	8
1.7.1.Les vents	8
1.7.2.Température.....	9
1.7.3.Pluviométrie.....	10
1.7.4.Evaporation.....	10
1.8. HYDROGÉOLOGIE.....	10
1.8.1.Nappe phréatique.....	10
1.8.2.Nappe du Continental Intercalaire	12
1.9.HISTORIQUE DES CRUES DE LA VALLÉE DU M'ZAB.....	14
2.1.INTRODUCTION.....	18
2.2.AGRICULTURE.....	18
2.2.1.PRÉSENTATION GÉNÉRAL DE L'AGRICULTURE DANS LA VALLÉE DU M'ZAB	18
2.2.2.L'agriculture dans l'oasis d'El Atteuf.....	20
2.2.3.Potentialité de la région dans le domaine de l'agriculture....	24
2.2.4.Les contraintes de la région dans le domaine de l'agriculture	24
2.3.HYDRAULIQUE.....	26
2.3.1. Aperçu sur l'hydrauliques des oasis du M'zab	26
2.3.2.Hydraulique de l'oasis d'El Atteuf.....	31
2.3.3.conclusion.....	34
3.1.INTRODUCTION.....	36
3.2.PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALES DANS L'OASIS D'EL ATTEUF.....	36
3.2.1.POLLUTION DE L'OASIS PAR LES EAUX USÉES.....	37
3.2.2.Contamination de la nappe phréatique par les eaux usées... .	37
3.2.3.Destruction partielle de la digue d'El Atteuf.....	38
3.2.5.Problèmes des eaux de colature.....	39
3.2.6.Manque d'investissements et de moyens.....	40
3.2.7.Risque de contamination de la nappe phréatique par les rejets de la station d'épuration.....	40
3.3.SOLUTIONS.....	41
3.3.1.Rôle de la station d'épuration dans la suppression du risque sanitaire et environnemental.....	41
3.3.2.Décontamination des eaux de la nappe phréatiques.....	52
3.3.3.Recharge artificielle de la nappe phréatique.....	55
3.4.3.Remediation à la contamination par les pesticides	56
3.4.5.Revalorisation des effluents épurés	57
3.4.6.Revalorisation des boues.....	58
3.4.7.conclusion.....	59

CONCLUSION GENERALE60

LISTE DES TABLEAUX

LISTES DES FIGURES

1.1. Introduction

La willaya de Ghardaïa s'étend sur une superficie de 86105km², avec un nombre d'habitants estimé à 405015. (APC El Atteuf 2011)

L'agriculture est la principale activité de la région, incontestablement celle-ci consomme des volumes d'eau très importants. Ces eaux sont puisées de la nappe du continental intercalaire, la principale ressource en eau de la willaya, via 228 forages en service et 345 recensés à travers la willaya (ANRH Ghardaïa 2012).

Cette situation a engendré un rabattement du niveau piézométrique ainsi que des difficultés d'extraction de l'eau vu la géologie et l'hydrogéologie de la région évoquées en détail dans ce chapitre.

1.2. Aperçu historique sur la région d'étude

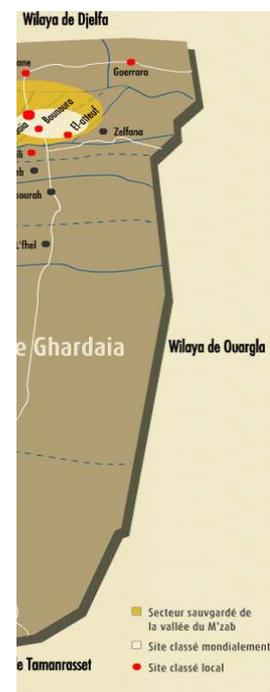
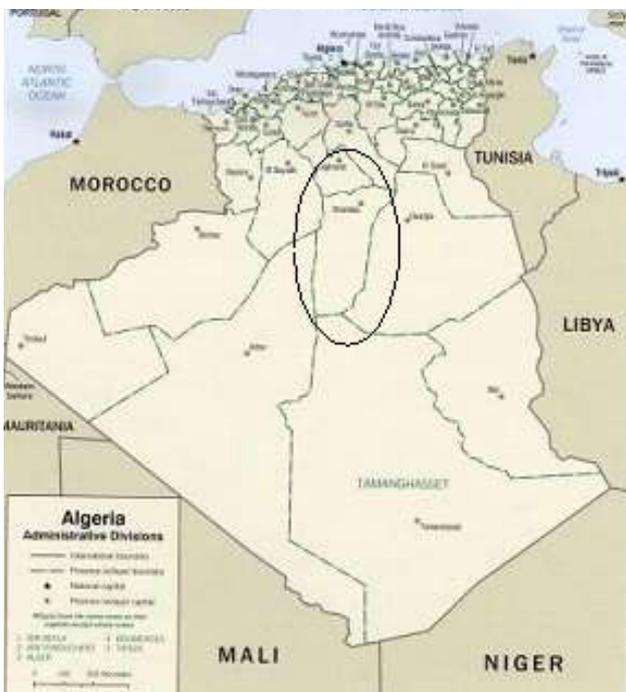
La vallée du M'zab fut occupée par une population d'un rite religieux très particulier de l'Islam : les Ibadites. Originaires de Teharet ; les Ibadites se sont réfugiés dans cette vallée du Sahara au 10^{iem} siècle après l'effondrement de l'état Rostémide. (OPVM)

La vallée du M'Zab a été bâtie (entre 1012 et 1350), de manière très particulière, en cinq agglomérations ou villes fortifiées, appelées les « K'sour ». Elles sont situées de l'aval à l'amont comme suit : el Atteuf, Bounoura, Melika, Béni Isguen et Ghardaïa. Chacune d'elles comprend trois éléments constitutifs de l'ensemble urbain mozabite : le ksar, le cimetière et la palmeraie avec ses résidences secondaires pour la saison estivale. (OPVM 2013)

La ville d'El Atteuf est la plus ancienne ville de la confédération. Elle a été bâtie en l'an 1012 par les Ibadites dans un coude de l'oued, d'où, elle tire son nom « le détour ou le tournant ». Sa situation sur la rive droite de l'Oued M'zab à l'extrémité aval de la Pentapole, fait qu'elle est détachée des quatre autres K'sours. Elle s'étend sur une superficie de 15503 ha.

1.3. Géographie

La palmeraie d'El Atteuf qui est notre zone d'étude, est située en aval de la vallée du M'zab dans la wilaya de Ghardaïa. Cette dernière se trouve au centre du Sahara septentrional Algérien, à 600km de la capitale Alger. Elle est limitée au nord par la wilaya de Laghouat (200Km), au nord-est par la wilaya de Djelfa (300Km), à l'est par la wilaya d'Ouargla (200Km), au sud par la wilaya de Tamanrasset (1470Km), au sud-ouest par la wilaya d'Adrar (400Km) et à l'ouest par la wilaya d'El-Bayad (350Km). (fig.1.1)



1.4. Cadre administratif

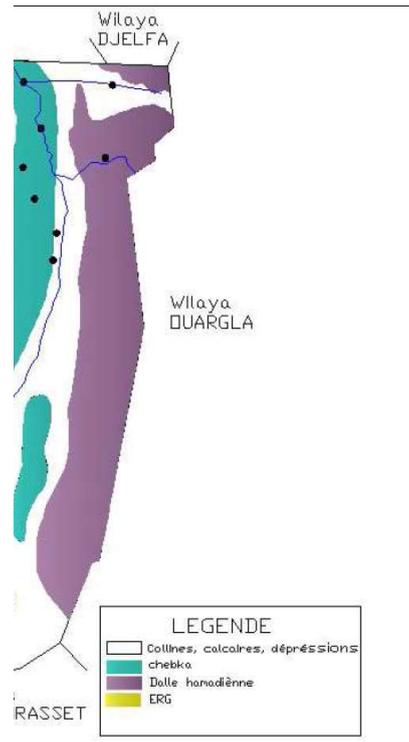
Administrativement la wilaya de Ghardaïa; comprend 9 daïras subdivisées en 13 communes ; comme suit (APW *ghardaia* 2013)

- Ghardaïa qui comprend la commune de Ghardaïa ;
- El Meniaa comprend la commune el Meniaa et Hassi el Gara ;
- Metlili comprend la commune de Berriane ;
- Dhaya Ben Dahoua comprend la commune Ben Dahoua ;

- Mansoura comprend Mansoura et Hassi Fhal ;
- Zelfana comprend la commune Zelfana;
- Guerrara comprend la commune Guerrara ;
- Bounoura comprend la commune Bounoura et El Atteuf.
- Berriane comprend la commune de Berriane

1.5. Géomorphologie de la vallée du M'Zab

La vallée du m'Zab se trouve dans le plateau de la Hamada, dans le Sahara septentrional, où figure la Chebka (filet) du M'Zab. C'est un ensemble orographique globalement homogène. Elle est composée d'un plateau épais carbonaté qui peut s'élever à plusieurs mètres d'altitude (600 mètres) et se situe entre 31° et 33° de l'altitude boréale et 3° et 4° de longitude orientale (*Fig.1.2*). La chabka est limitée au Nord par la région des Daya, à l'Est par la région des Guêntras qui se prolonge jusqu'à oued Mya, à l'Ouest par le grand Erg occidental, au Sud par les plateaux du Tademaït, il est aride et dénudé de toute végétation. Ce plateau calcaire est disséqué en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les un sur les autres sculptant des mailles qui à leurs tour forment un filet ouvert (la Chabka) du Nord-ouest vers le Sud-est pour laisser passer l'Oued M'Zab. (*BENZAYET B., 2010*)



1.6. Géologie

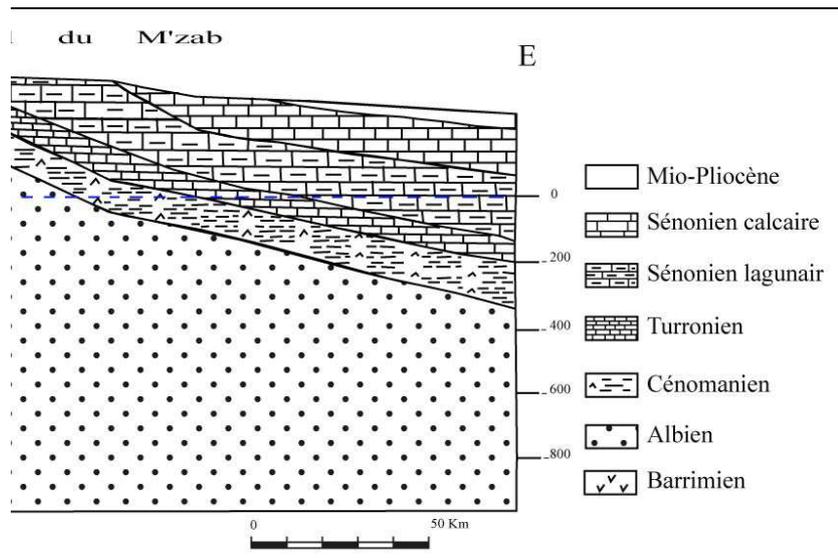
La géologie d'un bassin versant est un facteur très important du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. En période de crue, les volumes écoulés seront d'autant plus grands que le bassin sera plus imperméable.

La willaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin secondaire du bas Sahara, sur un grand plateau sub- horizontal de massif calcaire d'âge turonien connu par la dorsale du M'zab. [BABKER ; NASRI.2010]

La dorsale du M'zab est un plateau rocheux de direction Nord - Sud, qui sépare l'Erg oriental et l'Erg Occidental. Ce plateau se présente comme étant une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre marquée par la forte érosion fluviale du début du Quaternaire qui a découpé dans sa partie sud des buttes à sommet plat et a façonné des vallées. A l'Est la dorsale est caractérisée par d'immenses dépôts continentaux du Quaternaire

La stratigraphie de la région de Ghardaïa se présente comme suit [MELLAK ; 2009, BOUKRAA T., 2003] (Fig.1.3)

- ✓ **Le Barrémien :** Cet étage est caractérisé par des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers, et d'argiles avec intercalations carbonatées peu nombreuses.
- ✓ **L'Aptien :** C'est une formation d'une épaisseur moyenne de 30 mètres, renfermant des couches de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite et d'argiles.
- ✓ **L'Albien :** Cet étage renferme des grès argileux, grès rouges et sables moyens à fins argileux. Son épaisseur varie de 200 à 300 mètres.
- ✓ **Le Cénomaniens :** Le Cénomaniens est formé par une alternance de bancs d'argile de dolomie, de calcaire dolomitique, et d'évaporites. Son épaisseur est de l'ordre de 200 mètres.
- ✓ **Le Turonien :** Les formations carbonatées du Turonien affleurent la dorsale du M'zab au centre. Il est constitué de calcaire dolomitique massif et de marnes jaunes à la base et de calcaire grisâtre à blanc au sommet. Au niveau de la vallée du M'zab son épaisseur varie de 40 à 50 mètres. Dans les premiers mètres de ces assises calcaires, on note la présence des fissures pouvant renfermer de l'eau. Ces eaux proviennent de l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'zab.
- ✓ **Cénomaniens :** Sous la formation Turonienne, on rencontre une épaisse couche imperméable d'argile bariolée et de marnes gypseuses d'une épaisseur d'environ 300 à 350 mètres qui est le Cénomaniens
- ✓ **Le Sénonien :** Couche de calcaire marneux est argiles gypseuses située à l'est Moï-Pliocène, allant de l'est au nord est. Cette formation renferme des sables rougeâtres consolidés.
- ✓ **Le Quaternaire :** Le Quaternaire apparaît sous forme de dépôts alluvionnaires et sableux ; tapissant le fond des vallées des oueds. Son épaisseur peut atteindre les 45 mètres.



1.7. Climatologie

Le climat de la wilaya de Ghardaïa est typiquement saharien aride. Les moyennes annuelles des températures enregistrent une valeur pouvant atteindre les 25°, et une évaporation frôlant la valeur de 2000mm par an. Le taux des précipitations est faible, il atteint une moyenne de 60mm par an.

L'écart des températures entre l'été et l'hiver est très important. Le mois de janvier est le mois le plus froid (10.7C°) et le mois de juillet est le mois le plus chaud 47C°.

Le climat se présente en deux saisons, une saison chaude et sèche, allant d'avril à septembre, et une autre tempérée allant d'octobre à mars. (ANRH Ghardaïa, 2013)

1.7.1. Les vents

La vitesse des vents varie de 0 [m/s] à une moyenne estimée à 4.8 [m/s] selon les saisons (tableau 1.1 ; Fig.1.4)

Tableau.1. 1.Variation de la vitesse des vents dans la Wilaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

**CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Temps	Janvier	février	Mars	avril	mai	Juin	juillet	août	septembre	octobre	Novembre	Décembre
vitesse moyenne des vents en [m/s]	3,6	3,7	4,4	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,6	3,2	3,3	3,5

Fig.1. 1.variation de la vitesse des vents dans la Willaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

1.7.2. Température

On distingue deux périodes, la première se caractérise par des températures chaudes pouvant atteindre les 46 C° le mois d'août et des températures faibles atteignant les (-1) C° le mois de janvier. (*Tableau.1.2 ; Fig.1.5*)

Tableau.1. 2.Températures mensuelles dans la willaya de Ghardaïa

moi	janvier	février	Mars	avril	Mai	juin	juillet	août	septembre	Octobre	Novembre	décembre
Minima [C°]	- 0,4	1,6	2,2	5,7	11	14,9	21	19	13,6	9,8	3,6	2
moyenne [C°]	10,8	13,1	16,8	20,6	25,9	31,1	33,7	33,7	28,9	23,2	16,1	11,8
Maxima [C°]	24,4	30,7	33,6	39	42,5	45	47	46,2	43,6	39,8	33,4	25,3

1.7.3. Pluviométrie

Vu la situation géographique de la région de Ghardaïa la pluviométrie est assez faible de l'ordre de 60 mm/an.

*Fig.1. 2.Variation annuelles des précipitations ns la Willaya de Ghardaïa
(DHW Ghardaïa)*

1.7.4. Evaporation

L'évaporation au niveau de la région de Ghardaïa est très importante vu la température, elle peu atteindre les 450 mm le moi de juillet. Le taux élevé de l'évaporation par rapport aux précipitations est traduit par un stress hydrique remarquable au niveau de la région (*Tableau .1.3. Fig.1.7.*)

Tableau .1. 3. Variation de l'évaporation dans la wilaya de Ghardaïa

Temps	janv ier	févr ier	mar s	Avri l	mai	Juin	juill et	aou t	sept emb re	Oct obr e	Nov emb re	déc emb re
Evaporatio n (mm)	110,4	138	201,3	266,1	329,8	397,9	452,4	413,4	305	215,6	138	142

Fig.1. 3.variation de l'évaporation dans la willaya de Ghardaïa (ANRH Ghardaïa)

1.8. Hydrogéologie

Deux sources d'eaux souterraines sont distinguées dans la wilaya de Ghardaïa ; la première nappe superficielle dite nappe phréatique, et la nappe profonde captive située dans les formations de l'albien à de grandes profondeurs, dites nappes du continental intercalaire. (*SIOUSSIOU, DEDJEL2011*).

1.8.1. Nappe phréatique

Les alluvions des vallées des oueds de la région constituent les poches des nappes phréatiques de la région du M' Zab, qui se situent à des profondeurs allant de 10 à 50 mètres. (*DHW Ghardaïa ; 2012*)

Les eaux de cette nappe sont principalement utilisées pour l'irrigation, et sont captées via des puits artésiens appelés HASSI.

A présent, l'eau de la nappe phréatique est soutirée par pompage. N'étant pas potable, elle n'est destinée qu'à usage agricole au niveau des palmeraies et à usage domestique au niveau des ksour, où même certains puits traditionnel se sont transformés en bouches d'incendies.

Dans la région du M'zab on distingue deux aquifères superficiels et superposés, l'un alluviale dont la recharge se fait par les eaux pluviales, et par les apports en irrigation par le continental intercalaire, et l'autre étant carbonaté fissuré. (*DHW Ghardaïa*)

a. L' aquifère alluvionnaire Quaternaire

Cette formation aquifère est constituée d'alluvions et de sables fin et grossier, qui lui donne ainsi une porosité et une perméabilité d'interstice. Celles-ci permettant l'infiltration des eaux superficielles et l'écoulement souterrain. la couche alluvionnaire constitue le fond des lits des oueds, son épaisseur est comprise entre 25 et 45 mètres.

Elle repose sur la barre carbonatée Céno-mano-Turonienne, qui est suivie de la couche des argiles.

b. L'aquifère Céno-mano-Turonien

Grâce a sa nature lithologique de calcaire dolomitique massif cet aquifère est caractérisé par une perméabilité de fissure. Il est alimenté par les eaux provenant directement de la surface ou par l'intermédiaire de l'aquifère alluvionnaire. Son épaisseur varie entre 40 à 100 mètres. [ANRH Ghardaïa ; 2013]

La plupart des puits en amont de la vallée (Dayet ben dahoua) ont été creusés plus profondément que les alluvions quaternaires. Ils atteignent les calcaires du Turonien (substratum) de 2 à 4 mètres; expliquant ainsi la baisse du niveau de la nappe qui est provoquée par son exploitation intensive d'une part et les faibles apports d'eaux d'alimentation par les crues des oueds d'autre part. (SIOUSSIOU, DEDJEL2011)

1.8.2. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du continental intercalaire se trouve à une profondeur allant de 250 à 1000 mètres. Elle est jaillissante par moment dans les régions suivantes : Zelfana, Guerara , Ménéa , ceci étant due à un drainage gréseuse et Grésos-argileuse du Baramien et de l'Albien. Elle est exploitée par pompage dans les régions de Ghardaïa, Berriane Metlili et dans certaines régions de Ménéa (centre).

L'écoulement des eaux de la nappe albienne se fait de l'ouest à l'est. Son alimentation est minime. Elle est principalement due l'accident sub-atlasique, via les eaux de précipitation. (Fig.1.8)

Les eaux de cette nappe sont la principale ressource de la région. Elles sont utilisées pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation ainsi que pour l'industrie

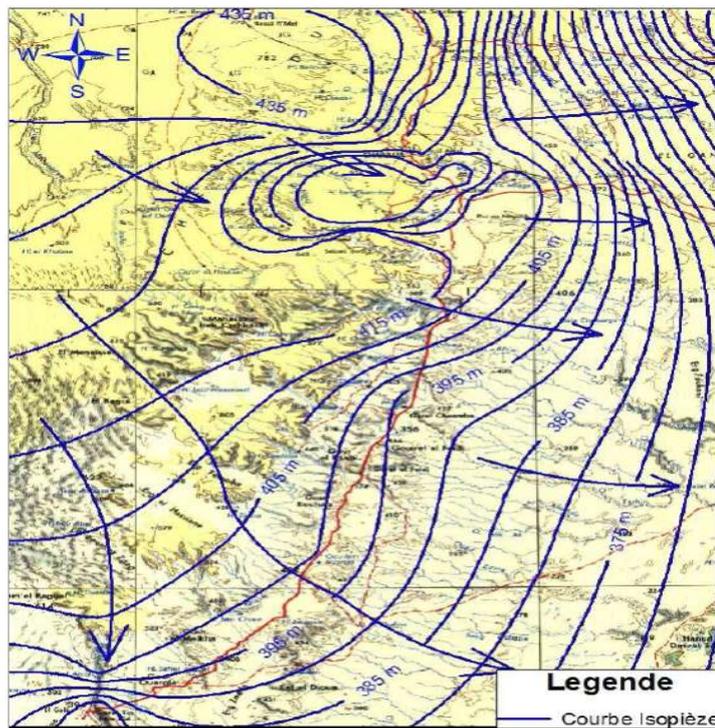


Fig.1. 4. Carte piézométrique de la nappe albiense dans la vallée du M'Zab (ANRH 2005)

Ses eaux sont favorables à la consommation grâce à l'épaisseur de l'aquifère ainsi qu'à la nature lithologique de ce dernier formé de grès et de sable fin argileux

**Tableau .1. 4. Formations hydrogéologique dans la willaya de Ghardaïa
(DHW Ghardaïa)**

Nom de l'aquifère	Formation géologique	Intérêt hydrogéologie
Nappe phréatique	Quaternaire alluvionnaire	Aquifère (perméabilité d'interstice)

	Cénomano-Turonien	aquifère (Perméabilité fissurée)
Cénomaniens		Substratum
Nappe continentale intercalaire	Albien	Aquifère (perméabilité d'interstice)
	Aptien	
	Barrémien	

1.9. Historique des crues de la vallée du M'Zab

La région de *Ghardaïa* est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued *Sebseb* ; Oued *Metlili* ; Oued *M'zab* ; Oued *N'sa* ; Oued *Zegrir*. (Fig.1.9)

Le climat aride et la sporadicité des précipitations dans la région de *Ghardaïa* se traduisent au niveau des oueds par un régime de crue très irrégulier à caractère accidentel et discontinu. En effet quand les pluies s'abattent sur cette région, l'écoulement des oueds ne dure que quelques jours. Cet écoulement peut être torrentiel et drainer d'énormes quantités d'eau qui provoquent le débordement des oueds si les précipitations sont importantes.

Ces crues qui peuvent se produire à toutes les saisons de l'année sont souvent à l'origine d'énormes dégâts humains et matériels notamment au niveau de l'oued *M'zab*

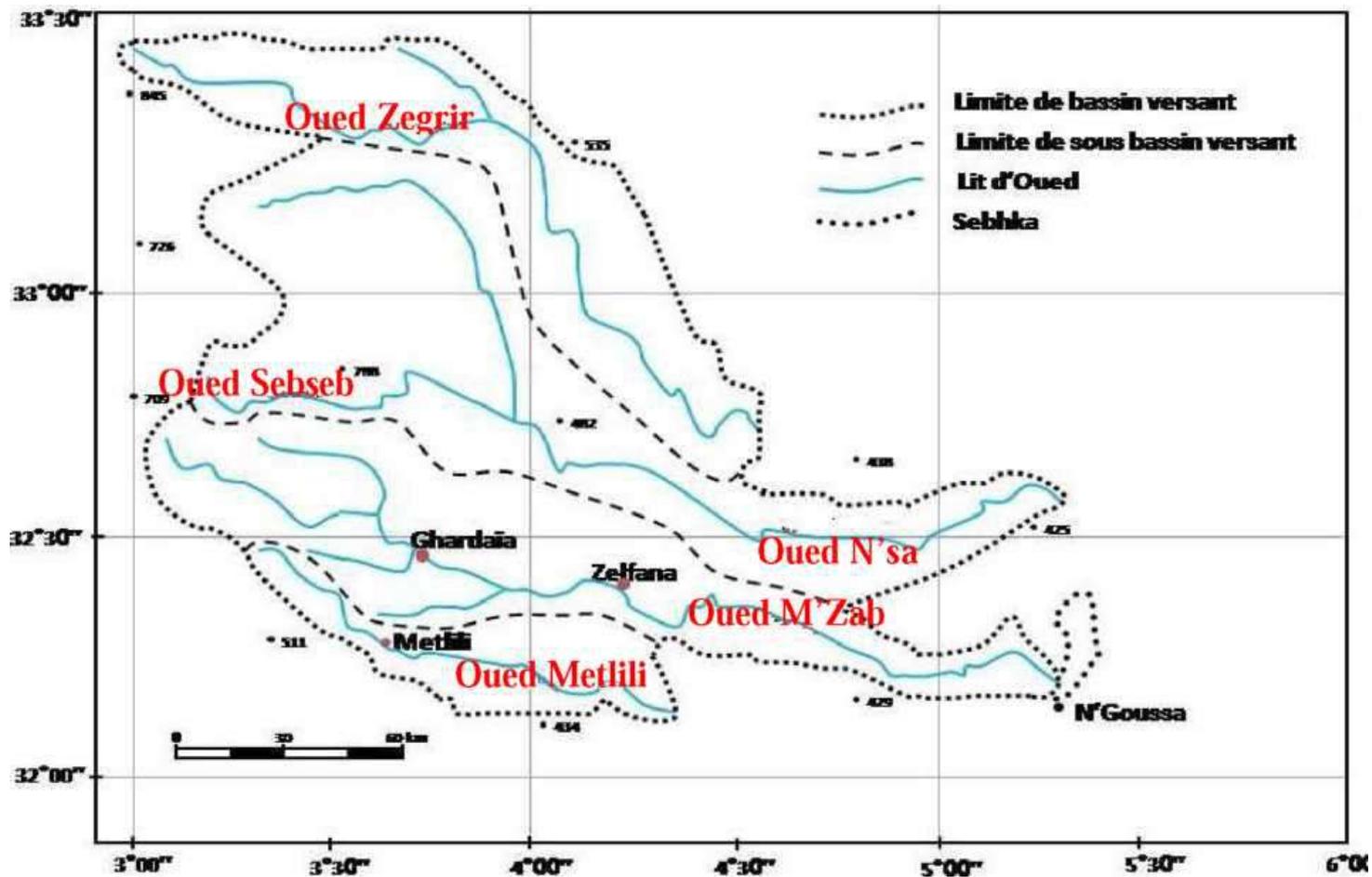
Le tableau suivant résume l'historique des crues les plus importants qu'a connus la région du *M'zab*. (Tableau 1.5)

Tableau 1. 5. Historique des crues dans la willaya de *Ghardaïa* (DHW *Ghardaïa*)

Dates de la crue	Importance	Remarques
1921	Importante	La crue arrive au 3 ^{ème} barrage, la palmeraie est inondée

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

28 mai		
1923 23 mai	Importante	Inondation des oasis de Ghardaïa, Melika, Bou Noura, 1 Atteuf. Atteint Zelfana à 64 km en aval de Ghardaïa, à 150 km de la source.
1925 5-17 mars	Importante	La crue Dépasse l'oasis de Bou Noura après avoir rempli tous les barrages situés en amont.
1929 7 septembre	Importante	Remplit tous les barrages
1931 29 mai	Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa.
1932 8 novembre	Importante	Coule jusqu'au barrage; oasis arrosée.
1933 -décembre	Importante	Remplit les barrages de Ghardaïa et s'arrête à celui de Melika.
1938 18 avril	Importante	Coule jusqu'à la ville de Ghardaïa
1938 25 novembre	Importante	Inondation totale des oasis de Ghardaïa, Beni Isguen, innondation partielle de celle de Bou Noura (oued Zouil).
1939 - février	Importante	Arrive jusqu'à El Atteuf, remplissant à moitié le barrage. Tous les barrages situés sur le parcours aval de l'oued ont été remplis.
1946 21 janvier	Très importante	Inondation de toutes les oasis. L'oued M'zab est arrivé à El Atteuf, tous les barrages ont été remplis
1952 24 avril	Très forte	La chute de pluie a été considérable à partir d'un point situé à 15 km en amont de Ghardaïa et jusqu'au-delà de Zelfana. Les oueds du bassin supérieur du M'Zab n'ont pas ou peu coulé (oueds El Kekakh, El Abiod, Djaref). elle est de courte durée, mais violente par suite d'un ruissellement intense. La crue emportant plus de 1200 têtes de bétail
1991 2 juin	Très importante	Nombreux dégâts.
1994 29 et 30/09/	Très importante (151mm. 873m ³ /s)	Dégâts importants
2008-octobre	1100m ³ /s	Dégâts importants



Conclusion

De part la configuration géologique et la situation géographique de la vallée du M'Zab, une forte aridité carectérise le climat. Celui ci implique

qui implique une faible pluviométrie ne dépassant pas les 100mm/an et une forte évaporation dépassant aisément les 2000 mm/ an.

La zone d'étude est dotée de deux ressources hydriques souterraines à savoir la nappe phréatique superficielle exploitées à des profondeurs de moyenne de 30 mètres et la nappe du continental intercalaire exploitée à de grande profondeur à travers des forrages atteignant parfois les 500 mètres de profondeurs.

La vallée du M'Zab est sujette à des crues sporadiques , parfois dévastatrices vu l'intensité des précipitations et la configuration géologique de la vallée qui est propice au ruissellement.

2.1. Introduction

Le potentiel agraire au niveau de l'oasis d'El Atteuf est important et diversifié cela malgré l'hyper aridité du climat ; et le stress hydrique que connaît la région.

Afin de tirer profit de cette potentialité, la disponibilité de la ressource hydrique en quantité et en qualité joue un rôle primordial. Pour cela la gestion des crues s'avère être l'une des alternatives les plus apte à accomplir cette tâche.

Cependant la crue à elle seule ne peut subvenir aux besoins de l'irrigation, elle nécessite une gestion partielle et totale de ses flux afin d'optimiser son exploitation.

Ce chapitre se propose de évoquer le volet de l'agriculture dans l'oasis d'el Atteuf, suivie d'une présentation des différents ouvrages de gestion des crues dans le M'zab et tout particulièrement dans l'oasis d'El Atteuf

2.2. Agriculture

2.2.1. Présentation générale de l'agriculture dans la vallée du M'zab

Si l'on considère la surface occupée par le désert, celle occupée par la végétation apparaît comme minime .En effet le nombre d'espèce qui habitent ce désert est assez réduite. Les conditions climatiques et géographiques du M'Zab font de lui une région désertique, à la limite nord du désert absolu. Ceci explique la rareté de la végétation qui pousse uniquement en bordure des oueds et au niveau des palmeraies. [BENZAYET B., 2010].

Le secteur agricole au niveau de la wilaya de Ghardaïa est limité, il est à vocation phoénicicole. Sur les 8.466.012 Ha couverts par la superficie de la

Wilaya 1.370.0911 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile (SAU) est évaluée à 32.745 hectares. [DSA Ghardaïa ;2013]. (Tableau 2.1)

Tableau 2. 1. surface agricole utile par commune dans la willaya de Ghardaïa
(DSA Ghardaïa ;2013)

Commune	Surface agricole utile (Ha)	Superficie de la commune (Ha)	Pourcentage %
Ghardaïa	1316	30647	4.29
El-Ménéa	4516	2392068	0.18
Daya	1379	223494	0.61
Berriane	1082	260980	0.41
Metlili	2133	501012	0.4
Guerrara	3972	338227	1.17
El-Atteuf	896	71701	0.12
Zelfana	1182	194623	0.6
Sebseb	4051	436682	0.92
Bounoura	761	77892	0.97
Hassi-El-F'hel	5420	687539	0.78
Hassi-El-Gara	3961	2769892	0.14
Mansoura	2076	481255	0.43
Total	32745	8466012	0.38

2.2.2. L'agriculture dans l'oasis d'El Atteuf

A première vue, la palmeraie d'El Atteuf est une zone agricole très riche. Elle englobe une très large gamme de variétés agricoles : culture maraîchère ; arbres fruitiers, (tableau 2.2 ; fig.1.2) et palmiers dattiers. Selon la DSA de la wilaya, la superficie utile est de 1216 ha.

Tableau 2. 2.variétés agricoles dans l'Oasis d'El Atteuf [DSA Ghardaïa ;2013]

Culture Fourrages (Q_s)	Agrumes(Q_s)	Culture maraichère(Q_s)	Phonéciculture(Q_s)
310813	13231	18682	17599

En effet, la terre de la palmeraie d'El Atteuf est fertile. Cette fertilité est due à deux facteurs principaux :

- ✓ La palmeraie se situe à l'aval de l'oued M'zab, par conséquent les particules du sol arable érodé de l'amont, sont transportés par les crues et se déposent au niveau de la palmeraie.
- ✓ Les terres de la palmeraie ont été revalorisées par les agriculteurs au fil du temps, tout spécialement en utilisant les vases déposées au niveau du barrage d'El Atteuf

La surface agricole irriguée par les forages s'étend jusqu'à 656 ha. Celle irriguée par les hassi est estimée à 108ha. [DSA Ghardaïa]

Les systèmes d'irrigation varient selon le type de culture. (Goutte à goutte, aspersion, immersion, gravitaire). Néanmoins, par économie d'eau, il est préférable d'utiliser le système goutte à goutte. (Fig 2.2.)

Les engrais naturels sont les plus utilisés dans la région en parallèle avec les engrais industriels.

L'élevage bovin est répandu dans la région. Son but primaire était de procurer des engrais naturels (fumier) pour l'utilisation agricole. Cette activité s'est développée au cours des années pour la production de lait et de viande. (Tableau 2. 3)

Tableau 2. 3.L'élevage dans l'oasis d'El Atteuf [DSA Ghardaïa ;2013]

<i>Bovins (Tête)</i>	<i>Ovins (Tête)</i>	<i>Caprins (Tête)</i>	<i>Camelins (Tête)</i>
360	4000	2200	150

Le secteur de l'agriculture dans l'agglomération d'El Atteuf tout comme des la willaya de Ghardaïa, est caractérisé par deux systèmes d'exploitation. [BAHI , BENSALÉM . ; 2012]

a) ***Le système de l'ancienne palmeraie***

Ce système ancestral appelé système oasien a été développé au fil des siècles par les habitants de la région. Les palmeraies étaient la source de vie des ksour, elles sont caractérisées par une forte densité des plantations, des cultures étagées notamment en palmiers dattiers âgés.

Le système d'irrigation utilisé dans l'ancienne palmeraie est traditionnel. L'arrosage s'effectue à travers les seguias qui sont des réseaux de rigoles qui permettent l'écoulement gravitaire surfacique des eaux dans les jardins vers les plantations. (Fig.2.3)

Quant à l'élevage, cette activité reste réduite à de petits élevages de cheptel dans le but d'utiliser le fumier en guise d'angrès pour fertiliser les sols.



b) *Le système de la mise en valeur*

La mise en valeurs est une initiative qui a pour but l'extension de la surface agricole utile en bonifiant des surfaces à priori non agricoles (*Fig.2.4*); et le développement de l'élevage bovin et caprin en apportant des techniques modernes de labourage, de fertilisation et d'irrigation.

Selon la taille des exploitations, le système de mise en valeur dans l'oasis d'El Atteuf se partage en :

- *Mise en valeur péri-oasienne*

Cette mise en valeur comprend l'extension des anciennes palmeraies selon un système oasien amélioré. C'est une petite mise en valeur dont les exploitations sont structurées et s'étendent sur des surfaces allant de 2 à 10

hectares. Elle est caractérisée par un alignement régulier et une densité optimale des plantations ainsi qu'une irrigation localisée visant l'économie de l'eau.

✓ ***Mise en valeur d'entreprise***

C'est la mise en œuvre d'importants moyens d'exploitations, basée sur une exploitation exclusive des eaux de la nappe profonde. Elle est caractérisée par : des domaines agricoles importants allant jusqu'à



500ha, une mécanisation plus importante notamment concernant les moyens de labourage, soutirage et de pompage des eaux, une modernisation des systèmes d'irrigation, en occurrence l'irrigation localisée et par aspersion. les moyens importants mobilisée dans cette mise en valeur favorise la diversité des produit agricole : vergers phoénicoles et arboricoles, culture maraicher...etc. Parallèlement les activités d'élevage de cheptel associés aux productions végétales sont importants notamment ovin et bovin. (Fig. 2.5.)

2.2.3. Potentialité de la région dans le domaine de l'agriculture

Le soleil et la température sont deux paramètres propices à la prolifération de grandes variété de cultures à maturation précoce, notamment les cultures maraichères et d'arboricultures. (Fig.2.6)



Par ailleurs les plateaux bas et les Dhayates (grandes dépressions) sont favorables pour booster la mise en valeur agricole et pastorale grâce aux alluvions très fertiles qui s'y déposent, et s'accumulent.

La densité du réseau hydrographique et la diversité des espèces jouent un rôle essentiel dans l'acheminement de la matière hydrique.

Les parcours du Nord de la Wilaya disposent des possibilités de régénération grâce à l'élevage par l'importance de ses effectifs qui constitue une richesse capable de générer une production conséquente par une conduite rationnelle.

2.2.4. Les contraintes de la région dans le domaine de l'agriculture

- La rareté des précipitations, la fréquence récurrente des vents et les températures ardentes qui caractérisent la région, jouent en défaveur du développement agricole. L'évaporation et l'évapotranspiration sont des facteurs catalyseurs de ce phénomène en contribuant au dessèchement des cultures. Il va

donc de soit que la mise en place de dispositifs d'irrigation adéquat et plus que nécessaire.

- L'Erg occidental qui couvre environ 21 % de la superficie de la Wilaya limite l'espace à développer, et constitue une source d'ensablement pour les zones environnantes. *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*

- La roche calcaire couvre 55% de la surface de la wilaya de Ghardaïa, ce qui représente une entrave à l'action de mise en valeur des terres agricoles

- Les caractéristiques morphologiques de la région du M'zab font que les surfaces cultivables se limitent aux zones d'accumulation des eaux et de dépôts alluvionnaires. *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*

- Pour ce qui est des ressources hydriques, les nappes phréatiques ne peuvent constituer un support suffisant pour le développement agricole.

- La nappe du Complexe Terminal est mal connue et nécessite une étude. par ailleurs elle présente les contraintes telles que : Profondeur importante ; Température élevée de l'eau au niveau de Guerrara et Zelfana ; Durée de vie limitée des forages ; Baisse progressive du niveau de l'eau dans la nappe, et retrait progressif de l'artésianisme ; réalisation de forages, énergie pour le pompage, et le refroidissement de l'eau et entretien des équipements.

- La faiblesse de la taille des exploitations agricoles, le mode d'exploitation essentiellement traditionnel, la configuration de la structure foncière, la mauvaise qualité des parcours, l'insuffisante production fourragère débouchent sur une production agricole faible orientée vers l'autoconsommation.

- Compte tenu des conditions climatiques de la Wilaya, les plantations forestières reviennent excessivement chères du fait qu'elles nécessitent impérativement une clôture, une amenée d'eau et une irrigation

permanente. La population est fortement concentrée dans les agglomérations urbaines importantes (Ghardaïa, Berriane, Guerrara, Metlili, El Ménéa) ; une telle structure de population ne favorise guère le développement agricole.

- Les agglomérations situées au Nord de la wilaya sont confrontées aux contraintes du relief qui pose le problème de leur extension. C'est le cas des cités de la vallée du M'Zab (Ghardaïa, Bounoura, Mélika, Beni Izguen). *[DSA Ghardaïa. ; 2013]*
- L'une des conséquences les plus graves relevée est la destruction de la palmeraie environnante par l'urbanisation ; de ce fait les extensions ne peuvent être envisagées qu'en dehors de la vallée.
- Le relief constitue un obstacle de taille par rapport à l'extension de la palmeraie, car rien n'est envisageable pour la mise en valeur au niveau des terrains accidentés. D'autant plus que l'intrusion de l'urbanisme joue en défaveur de la palmeraie.

2.3. Hydraulique

2.3.1. Aperçu sur l'hydraulique des oasis du M'zab

En étudiant l'organisation hydraulique des oasis du M'zab, il est remarquable que la population locale s'est parfaitement adaptée aux conditions arides et à la rareté de la matière hydrique que connaît la région. Cette organisation est caractérisée par une ingéniosité et une rationalité qui permet de capter la moindre goutte de pluie, de la canaliser et de la partager de manière tout à fait équitable sur l'ensemble des habitants et des palmeraies de la région. D'autre part, l'excédent est conservé et sert pour la réalimentation artificielle de la nappe par le biais de petites diguettes qui permettent à l'eau ruisselante de stagner et de s'infiltrer dans le sous sol.

En effet les mozabites ont, de génération en génération, mis en place un système rationnel et ingénieux de gestion et de protection contre des eaux de crues.

Selon les fonctions du système hydraulique de la région du M'Zab ; nous pouvons distinguer deux parties :

La première partie a comme rôle de collecter et de canaliser l'eau des pluies orageuse vers les ouvrages de distribution et de partage, La deuxième partie est conçue de la sorte à partager les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

a. Les barrages

Les barrages se présentent sous deux formes :

- ✓ Les barrages situés en amont : ceux sont des ouvrages de dérivation, qui servent à partager en plusieurs bras le flot de crue et de le diriger vers les séguias qui le conduisent vers les jardins à irriguer (*Mellak, 2009*).
- ✓ Les barrages construits en aval appelée 'Ahbas', sont des ouvrages dont le rôle est de retenir les eaux. Ils barrent les lits de l'oued; et incites l'eau à se répandre sur l'ensemble de la surface des jardins adjacents d'une part, et à percoler dans le sous sol pour alimenter la nappe phréatique qui à son tour alimente les puits utilisés principalement pour l'irrigation en période de sécheresse.

b. Les ouvrages de régulation

Les crues dans la région du M'zab s'avèrent être d'intensités très importantes, pouvant causer d'innombrables dégâts, et sans être bénéfique ni pour les jardins ni pour l'alimentation de la nappe phréatique. En connaissance de causes les habitants locaux ont développé un système comportant des ouvrages de régulation et de partage des eaux avant d'arriver aux jardins. Ce système comprend un ensemble de digues, de déversoirs et de canaux.

Nous distinguons les Tissembades (canalisations), déversoir, canaux souterrains et les canaux à ciel ouvert

Avant l'arrivée de l'eau de crue à la palmeraie, un système de canaux, de digues, de déversoirs et de "tissembades" servent à réguler et à distribuer l'eau avant d'arriver aux jardins. (DJOUDI., RAFA.; 2009)

✓ **Tissembades**

Les tissembades sont des ouvrages formés par une série de plusieurs orifices appelés "tissembades". (Fig.2. 1.) Ces dernières sont faites de grandes pierres plates appelées « madun », leurs fonction est de casser la vitesse de l'eau et de réguler son débit. En cas de nécessité, cet ouvrage est doté de vannes (portières métalliques) qui permettent de dévier complètement le cours de l'eau en les fermant ; contrôlant ainsi l'eau et l'envoi aux autres endroits de la palmeraie. (HASSANI., 2009)

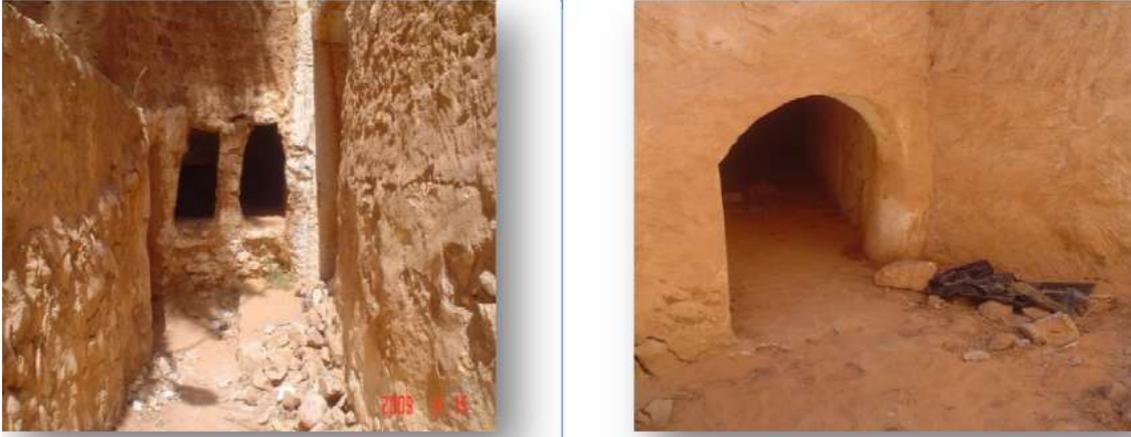


✓ **Déversoir « tachrif »**

Le déversoir se présente comme un ouvrage complémentaire aux « tissembades ». Il est construit sur la paroi du canal juste avant tissembades. son rôle est de déverser le surplus d'eau en cas de fortes crues vers les canaux, permettant ainsi aux eaux en excès de ne pas être perdues.

✓ **Canaux souterrains**

L'eau qui traverse tissembades est canalisée dans des galeries souterraines qui conduisent et partagent les eaux équitablement vers des groupes de jardins selon leurs grandeurs et le nombre de palmier qui s'y trouvent. (Fig. 2)



a. Les canaux à ciel ouvert "Tardja"

Les Tradja (*fig 2.11*) sont des canalisations à ciel ouvert se situant à l'intérieur des oasis. Ce sont des ruelles pavées et clôturées par les murs des jardins, qui en temps sec servent de chemin pour la circulation à l'intérieur de l'oasis. En temps de crues, ces ruelles se transforment en canaux à ciel ouvert qui représentent les artères principales du système d'irrigation et de partage des eaux dans l'oasis



c. Les ouvrages de distribution d'eau au niveau des jardins

✓ **Koua**

Les murs des jardins contiennent des ouvertures ou des orifices appelées « koua ou et el khana » à travers les lesquels l'eau est déversée à l'intérieur des jardins. Au niveau de chaque ouverture est prévu un ralentisseur qui permet de diminuer la vitesse et le débit de l'écoulement pour laisser l'eau submerger la surface des jardins. Le dimensionnement des koua est fonction de la surface à irriguer ainsi que du nombre de palmier qui s'y trouvent.

✓ **Le trop plein**

Le trop plein (Fig.2.12) comme son nom l'indique permet d'évacuer l'eau excédentaire issues de l'irrigation vers d'autres jardins dans le cas des jardins étagés, ou directement dans le cours de l'oued.



2.3.2. Hydraulique de l'oasis d'El Atteuf

L'oasis d'El Atteuf se particularise d'une part par le fait qu'elle ne reçoit que le surplus des eaux des crues qui traversent la vallée vu sa position en aval de l'Oued M'zab. d'autre part par son système hydraulique ancestral, principalement axé sur l'exploitation des eaux de la nappe phréatiques uniquement, contrairement aux autres oasis du M'zab, Bounoura et Ghardaïa à titre d'exemple, dont les ouvrages hydrauliques permettent l'exploitation directes des eaux des crues notamment en agriculture.

Les principaux ouvrages hydrauliques de l'oasis d'El Atteuf permettent la réalimentation de la nappe phréatique exploitée à travers les puits traditionnels

a. La digue Kaf Doukhane d'El Atteuf

La digue de Kaf Eddoukhane (*Fig.2.13*) est la digue principale de la palmeraie d'El Atteuf. Elle a été construite en aval par les ancêtres en

matériaux locaux dans le but de protéger la palmeraie des crues et pour la rétention de l'eau afin d'assurer l'alimentation de la nappe phréatique.

Le barrage d'El Atteuf est doté d'un déversoir (*Fig2.14*) qui est un ouvrage qui permet d'éviter la surverse au dessus des ouvrages de régulation. Ce dernier



risque une rupture en cas de fortes crues.

b. Les puits traditionnel

Le puits traditionnel (*Fig.2.15*) est l'ouvrage hydraulique principal dans l'oasis d'El Atteuf. Il permet l'exploitation des eaux de la nappe phréatiques dont la recharge s'effectue principalement au niveau de la digue de Kaf Eddoukhane.

Autrefois, les Hassi étaient creusés à l'aide d'outils rudimentaires telles les cornes de chèvres. L'eau était soutirée grâce à un système de poulie et de cordage tiré par des animaux en l'occurrence les ânes. Les eaux puisées des hassi servaient pour la consommation des habitants au niveau des k'sour et pour l'irrigation au niveau des palmeraies.



c. Les forages

La principale ressource hydrique de l'oasis d'El Atteuf se limitait aux eaux de la nappe phréatique jusqu'au jour où le développement démographique et les différentes activités anthropiques en l'occurrence l'agriculture ont pris de l'ampleur. Les eaux des Hassi ne parvenaient alors plus à subvenir aux besoins de la région en matière hydrique. Il y a donc eu recours aux eaux de la nappe albienne.

Les eaux de cette nappe sont exploitées par de nombreux forages depuis 1948 à ce jour.

L'agglomération d'El Atteuf comprend 23 forages (*Tableau 2.5 ; Fig. 2.16*), dont deux situés dans la palmeraie. Le volume annuel extrait dépasse les 8,26 hm³/an. [*DHW Ghardaïa 2013*]

Tableau 2. 4. Etat des forages dans l'agglomération d'El Atteuf (DHW Ghardaia 2013)

Nom Du Forage	date mise en service	Utilisation des eaux (AEP, AEI, IRR)	Etat actuelle du forage
EL-ATTEUF 02 Aoulaoul	1948	AEP	EN ARRET
Aérodrome 01	1956	AEP	EXPLOITE
El-Atteuf 01	1963	AEP	ABANDONNE
Ammi-Hamou	1986	AEP	EXPLOITE
Aoulaoual	1986	AEP	EXPLOITE

CHAPITRE II

AGRICULTURE ET HYDRAULIQUE DANS L'OASIS D'EL ATTEUF

Coupe Sud	1987	IRR	EN ARRET
El-Djauoua1	1987	IRR	EXPLOITE
Zonne Economique	1989	AEI	EXPLOITE
Garadi	1990	IRR	EXPLOITE
Kef Doukhane	1992	IRR	EXPLOITE
100 Logements	1993	AEP	EXPLOITE
El-Hamraya	1993	AEP	EXPLOITE
Timssassine 1concessions	1996	IRR	EXPLOITE
El-Djauoue2	1997	IRR	EXPLOITE
Hay Rezzeg	1997	AEP	EXPLOITE
Aérodrome o2	1997	AEP	EXPLOITE
Complex Sportif	1998	AEP	EXPLOITE
Timssassine 2concessions	2000	IRR	EXPLOITE
Universite	2003	AEP	EXPLOITE
Zizratou	2010	AEP	EN ARRET
Tete Aoulaoual	2010	IRR	EN ARRET
Ahbas Encien	2010	IRR	EN ARRET
Zone Des Siences	2012	AEP	EN ARRET



2.3.3. Conclusion

La zone d'El Atteuf compte une diversité de produits agricoles grâce aux conditions qui sont favorables à leur développement à savoir : le sol fertile, le taux d'ensoleillement assez élevée et à l'exploitation de la nappe albienne. Ces facteurs ont contribué booster l'activité agricole dans l'oasis d'El Attuef notamment ces dernières années.

Le système ancestral repose sur le fait de ralentir les eaux de la crue qui passe à travers la diguette lui permettant ainsi d'avoir un temps nécessaire de s'infiltrer et d'alimenter la nappe phréatique.

Aujourd'hui, l'oasis est principalement alimentée en eau à travers les forages albiens, dont le nombre se voit en hausse permanente. En effet ce développement contribue à la prospérité de l'oasis , tout particulièrement dans le domaine de l'agriculture, mais il contribue tout aussi bien à la dégradation de l'artésianisme , et des systèmes hydrauliques ancestraux uniques au monde au niveau de cette oasis.

3.1. Introduction

La vallée du M'zab connaît un développement démographique considérable qui multiplie l'ampleur de l'impact de l'action anthropique sur l'environnement, tout particulièrement avec l'exploitation intensive des eaux de la nappe albiennaise. Ce facteur conjugué avec les caractéristiques naturelles de la région, (un climat aride, des crues irrégulières, une géologie favorable au ruissellement), font de ce milieu naturel une zone fragilisée, sujette à la détérioration et la dégradation.

Cette dégradation de l'environnement est particulièrement ressentie et accentuée au niveau de l'exutoire de la vallée, l'oasis d'El Atteuf.

En premier lieu, il est question dans ce chapitre de mettre l'accent sur les différentes problématiques environnementales que connaît l'oasis d'El Atteuf, notamment celles liées à la denrée hydrique. En second lieu, de présenter des solutions qui s'adaptent au contexte naturel et aux activités agricoles répandues dans cette oasis.

3.2. Problématique environnementales dans l'oasis d'El Atteuf

Cette partie du chapitre se propose de mettre le point sur la situation environnementale de l'oasis d'El Atteuf, en évoquant différents volets en l'occurrence la ressource hydrique.

3.2.1. Pollution de l'oasis par les eaux usées

L'oasis d'El Atteuf est située à l'exutoire du bassin versant de la vallée du M'zab. De ce fait elle a connu maintes complications d'ordre environnementales, sanitaires et esthétiques. En effet pendant plusieurs années des étendues d'eaux usées ont été remarquées au sein de la palmeraie dues à la remontée des eaux usées. Ce phénomène est non seulement responsable des

odeurs nauséabondes et de la dégradation du paysage, mais aussi il est à l'origine des maladies et des épidémies qui se sont manifestées au niveau de la population et du bétail.

Ce problème s'avère d'autant plus important et persistant au niveau des jardins de la palmeraie (*Fig.3.1*) qui ne sont ni raccordées au réseau d'assainissement ni dotées de fosses septiques. Les eaux usées des activités d'élevage et d'agriculture et celles des résidences secondaires sont donc déversées directement dans la nature.

3.2.2. Contamination de la nappe phréatique par les eaux usées



Pour ce qui concerne la nappe phréatique, une sérieuse contamination d'ordre bactériologique s'est propagée sur un rayon important au fil des années (SIOUSSIOU, DEDJEL 2011). Ceci a engendré la pollution des eaux des puits traditionnels (hassi) largement utilisés dans l'irrigation des parcelles agricoles (TALEB; 2008) et dans l'abreuvement du bétail. Cette anomalie a particulièrement affecté les cultures maraichères irriguées par ces eaux contaminées ainsi que les cheptels qui ont développé de sérieuses pathologies selon les éleveurs de la région (**Tableau .3.1**)

Tableau.3. 1.Pollution biologique de la nappe phréatique au niveau de l'oasis d'El Atteuf SIOUSSIOU, DEDJEL 2011) (

Coliformes totaux	>1100	>1100
Coliformes fécaux par 100 mll	500	1100
Escherichia-cloli Par 100mll	200	150
Streptocoques fécaux par 100mll	>110	>1100

Cette contamination s'est accentuée vers les années 1970 au fur et à mesure que la nappe albienne fut exploitée.

3.2.3. Destruction partielle de la digue d'El Atteuf

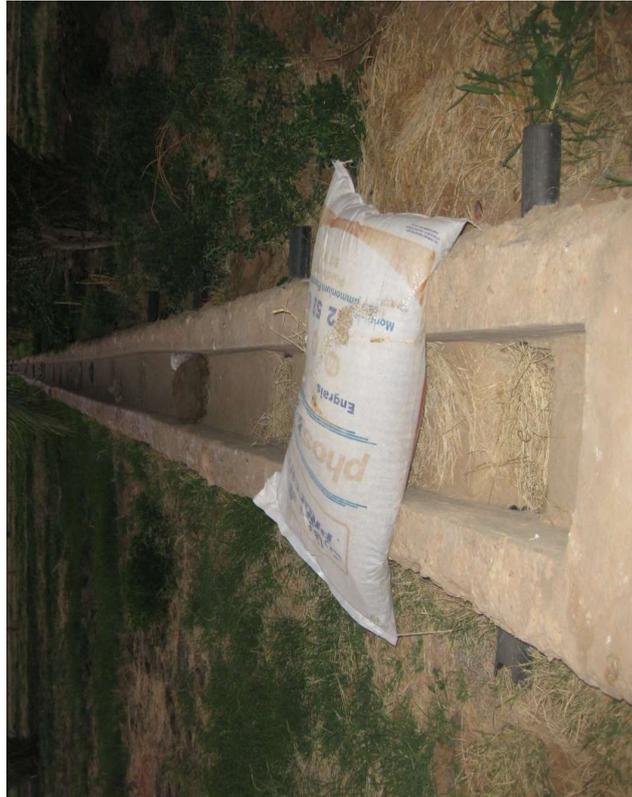
L'oasis d'El Atteuf est tributaire d'une zone de recharge qui est appuyée par une diguette (**Fig.3.2**) construite par la population Ksourienne autre fois pour augmenter le taux de recharge de la nappe et élever son niveau piézométrique.

Au fait cette diguette fait office d'obstacle (**Fig.3. 3**) pour ralentir les flux lors de l'arrivée de la crue et assurer un bon taux de percolation des eaux vers la nappe phréatique. Cette diguette a été partiellement endommagée au fil du temps par les crues, néanmoins celle d'octobre 2008 a été la plus destructive (**Fig.3.2**) par conséquent les infiltrations de l'eau vers la nappe ce sont amoindries par endroit et le niveau piézométriques a sensiblement baissé.



3.2.4. Contribution des produits phytosanitaire dans l'oasis

L'agriculture au sein de la palmeraie d'el Atteuf a pris une tournure vers les méthodes modernes de fertilisation et d'élimination d'insectes nuisibles (Fig. 3.4), or ces nouveaux procédés présentent tant d'inconvénients que d'avantages pour l'aspect hygiénique et sanitaire de la nappe phréatique.



3.2.5. Problèmes des eaux de colature

Les parcelles agricoles dans la palmeraie présentent des pentes qui donnent sur l'oued principal. Étant donné que ces parcelles ne sont pas toujours équipées de système de drainage, le surplus (eaux de colature) des eaux d'irrigation chargées en pesticides, fertilisants et sels sera sujet à l'infiltration et par conséquent une contamination de la nappe phréatique est très probable.

3.2.6. Manque d'investissements et de moyens

Malgré le développement des techniques de fertilisation et d'élimination des insectes nuisibles, les moyens utilisés dans l'irrigation, le labourage des sols et les récoltes des différentes cultures, reste très rudimentaire et même archaïque dans certains jardins, cela met le rendement a contribution, dans le sens ou l'économie du secteur est sérieusement mise en question. Car la plupart des moissons des propriétés privées n'ont pas dépassé le seuil de l'autosuffisance et la notion de rentabilité en dépit des moyens techniques et

financiers mis en œuvre, alors comme conséquences de ces difficultés l'agriculture dans la palmeraie d'El Atteuf reste en majeure partie du loisir

3.2.7. Risque de contamination de la nappe phréatique par les rejets de la station d'épuration d'El Atteuf

Les eaux usées traitées rejoignent directement l'oued M'zab (*Fig.3.5*) et risquent de contaminer la nappe phréatique par leur infiltrations au niveau du lit mineur, vu la perméabilité de fissure qui caractérise le terrain, et le faible pouvoir épuratoire du sol. Des analyses régulières sont indispensables au niveau du rejet final, ainsi qu'au niveau des eaux de la nappe phréatique pour s'assurer que ces eaux traitées ne présentent pas un taux de concentration en matière de polluants.

3.3. Solutions



La deuxième partie de ce chapitre propose des solutions aux problèmes soulevés précédemment à travers notre étude sur le terrain.

Ce premier volet consiste à présenter la station d'épuration d'El Atteuf qui constitue le principal changement que connaît l'Oasis depuis le mois de mars 2013.

Le deuxième volet présente des solutions tout particulièrement en ce qui concerne les répercussions du problème de la remontée de eaux sur l'environnement.

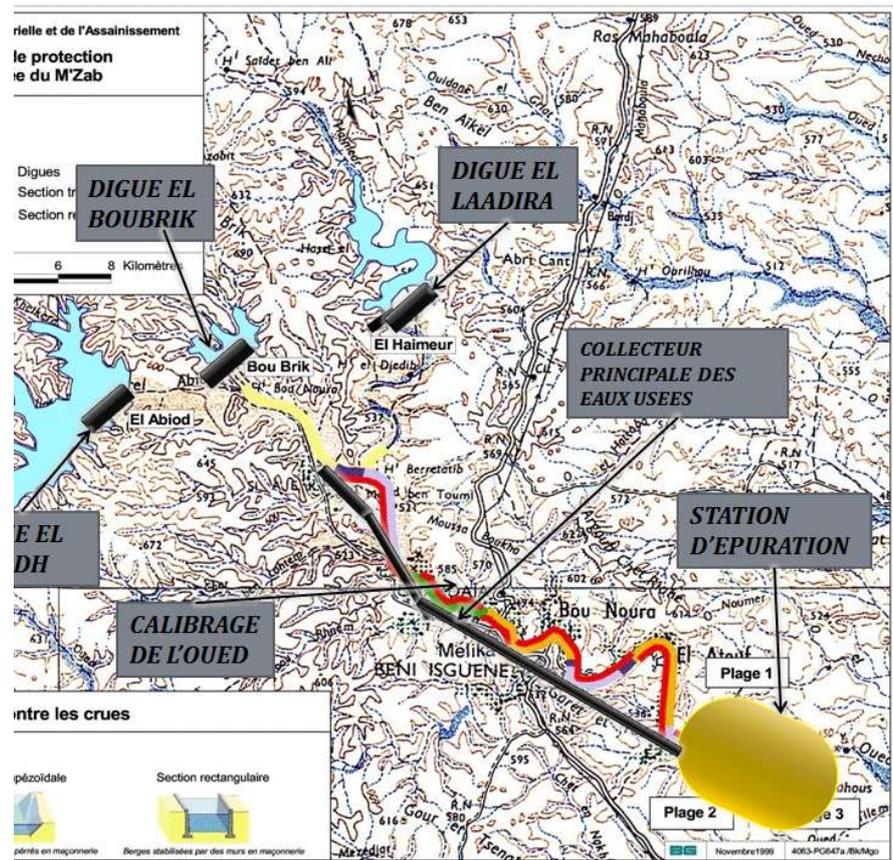
3.3.1. Rôle de la station d'épuration dans la suppression du risque sanitaire et environnemental

La vallée M'zab a toujours été menacé par des facteurs naturels telles que la violence des crues, et des facteurs anthropiques telle que et la pollution de l'environnement et des eaux superficielles et souterraines par les eaux usées.

Dans le cadre de la protection de l'oued du M'Zab, plusieurs travaux d'aménagement (fig3.6.) ont vu le jour à différents niveaux de cet oued.

En amont des digues de protection contre les inondations et ont été bâtie et un réaménagement de l'oued a été effectué.

En aval une station d'épuration des eaux usées urbaines a été bâtie au niveau de l'oasis d'El Atteuf parallèlement à la conception d'un réseau d'assainissement qui achemine les eaux usées vers cette station.



a) Présentation de la station d'épuration

La station d'épuration d'El Atteuf se situe à Kaf Doukhane en aval de l'oasis. Elle reçoit toutes les eaux usées des agglomérations de Daya Ben Dahoua, Ghardaïa, Bounoura et El Atteuf.

C'est une station d'épuration par lagunage naturel ; comprenant huit bassins anaérobies et huit autres aérobies. (Fig3.12)

Cette station s'étend sur une superficie de 50ha et comprend trois filières de traitement. Elle traite un débit de 46400m^3 d'eaux usées par jour, avec une charge polluante de 11600kg/j .

La collecte des eaux usées se fait de manière gravitaire sur une distance de 25 km, dont 4.5km en galerie ovoïde, de l'agglomération de Daya en amont vers El Atteuf en aval (exutoire).

Le projet de l'exploitation de la station s'étend sur une période relativement longue. La population estimée être raccordée à l'horizon 2030 est de 332 000 EH.

b) **Fonctionnement de la station d'épuration d'El Atteuf**

La station d'épuration des eaux usées comprend une filière de prétraitement, une série de bassins primaires et une série de bassins secondaires

- **Le prétraitement** : Le but du prétraitement est la rétention des déchets grossiers et des huiles qui se trouvent dans les eaux résiduaires urbaines. Cette filière comprend un dispositif de dégrillage de dessablage et de déshuilage (fig.3.7).



Fig3. 1.filière de prétraitement -STEP el atteuf

- **Le traitement primaire** : les eaux issues du prétraitement sont réparties à travers 8 bassins de 3.5 mètres de profondeur, où s'effectue le traitement anaérobie des eaux avec un temps de séjours de 3 jours. (Fig3.8)



- **Le traitement secondaire :** Après avoir subi le traitement anaérobie l'eau est acheminée et répartie à travers les 8 lagunes de 1.50 mètre de profondeur pour le traitement aérobie (*Fig3.9*). Le temps de séjour est estimé à 10 jours, avant que l'eau épurée ne rejoigne le milieu naturel (oued) (*Fig.3.10*)



- **Exploitation des boues :** le procédé d'épuration des eaux usées produit une grande quantité de boues issues de la dégradation de la matière organique, qui se décantent tout particulièrement au fond des bassins secondaires où le temps de séjour est plus long



D'une part les boues décantées sont riches en microorganismes décomposeurs de la matière organiques. D'autre part elles constituent une matière fertilisante.

La station d'épuration d'El Atteuf est dotée d'un dispositif qui permet d'extraire lixivia des bassins secondaires et de l'exploiter au niveau des bassins primaires pour y améliorer le rendement épuratoire.

D'autre part la station comprend des étendues de séchages (*fig.3.12*) des boues qui peuvent tout aussi bien être exploitées à des fins agricoles.



c) Analyses des résultats de la qualité de l'eau de la station d'épuration

Les analyses effectuées sur les eaux de la station d'épuration d'El Atteuf dans les différentes étapes du processus d'épuration (rejet brutes, rejets du bassin primaire et rejet final des bassins secondaires), ont donné les résultats suivants :

✓ **Azote total**

L'azote global est la somme de l'azote organique, l'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates.

L'élimination de ce paramètre est bien assurée par la station d'épuration. Le taux prélevé au niveau du rejet final de la STEP est de l'ordre de 26.05 mg/l il est donc inférieur aux normes de rejet de l'OMS fixées à 50 mg/l.

Les résultats montrent une diminution entre les valeurs des eaux brutes et celles des eaux traitées, cette diminution peut être expliquée par la perte d'une partie de l'azote sous forme de diazote gazeux (N_2) par le processus de dénitrification dans les conditions anaérobies.

✓ **Azote ammoniacale (NH_4)**

Selon les résultats obtenus (fig3.14), la valeur moyenne de l'azote ammoniacal pour les eaux brutes est de l'ordre de 19.63mg/l, et pour les eaux traitées est 22.3mg/l. Cette dernière est supérieure aux normes internationales des eaux d'irrigation selon FAO ($NH_4^+ < 0.2$ mg/l).

Fig3. 2. Concentration de l'azote ammoniacal dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 05-06 et 29-08-2013

La variation des teneurs entre les eaux brutes et traitées n'est pas très forte; à cause de la transformation continue de la matière organique azotée en azote ammoniacal par un processus d'ammonification.

✓ **Les nitrites (NO_2^-)**

Afin d'aboutir à une interprétation correcte des résultats de mesure des concentrations en nitrites (Fig.3.15), il est nécessaire de prendre compte des teneurs de nitrates, d'azote ammoniacale et de la matière organique.

nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates.

Fig3. 3. Concentration des nitrites dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

D'après les résultats on remarque par fois une légère augmentation enregistrée dans le cas des eaux traitées. Cela est dû soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Les nitrites ne représentent qu'un stade intermédiaire entre l'ammoniaque et les nitrates dans le cycle de l'azote, et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité.

Les résultats des eaux traitées obtenues en nitrites sont très faibles avec une moyenne de 0.302 mg/l, qui répond aux normes internationales des eaux d'irrigation selon OMS ($\text{NO}_2^- < 0.1 \text{ mg/l}$).

✓ Les nitrates (NO_3^-)

Toutes les formes de l'azote (azote organique, ammoniaque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Fig3. 4. Concentration des nitrates dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 29-09-2013

Les bactéries nitratantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates, cette réaction appelée nitratisation s'accompagne aussi d'une consommation en oxygène.

A partir des résultats obtenus (*Fig.3.16*), nous enregistrons des valeurs qui oscillent entre (0.428 et 1.06mg/l) pour les eaux traitées, et entre (0.200 et 0.660mg/l) pour les eaux brutes, avec une valeur moyenne de 0.500mg/l. Ces valeurs sont compatibles aux normes internationales des eaux d'irrigation selon OMS ($\text{NO}_3^- < 50\text{mg/l}$).

✓ **Demande chimique en oxygène DCO**

Les résultats obtenus montrent une diminution des valeurs de la Demande chimique en oxygène DCO pour les eaux épurées.

Tableau.3. 2.variation de la DCO entre le rejet brute et le rejet initial de la STEP d'El Atteuf

Date de Prélèvement	DCO du rejet brute [mg/l]	DCO du rejet final [mg/l]	rendement épuratoire %
29.05.2013	294	116	60,5
12.06.2013	468	170	63,7
02.07.2013	491	184	62,5
30.07.2013	294	108	63,3
04.08.2013	214	99	53,7
11.08.2013	271	112	58,7
18.08.2013	317	110	65,3
25.08.2013	344	113	67,2
01.09.2013	211	103	51,2
10.09.2013	245	102	58,4

Fig3. 5.variation de la DBO du rejet brute au rejet final de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

La réduction de la demande chimique en oxygène (*Fig.3.17*) peut être expliquée par la diminution de la matière organique complète par oxydation chimique des molécules oxydables continues dans l'eau.

Par comparaison entre les valeurs de DCO des eaux brutes et celle des eaux épurées, nous notons un bon rendement qui avoisine les 60%. (*tableau.3.2.*).

✓ **Demande biologique en oxygène (DBO₅)**

Dû au manque de matériel nécessaire à la mesure de la DBO₅ au niveau du laboratoire de la station d'épuration d'El Atteuf, le nombre de résultats s'avère très réduit et insuffisant pour effectuer une synthèse et une analyse bien détaillée sur ce paramètre.

✓ **Matières en suspension (MES)**

La concentration moyenne en MES dans le rejet final de la station d'épuration dépasse de loin les normes de l'OMS et les normes Algériennes de rejet fixées à 30 mg/l.

En effet le pourcentage la pollution organique éliminée est estimée à 45 %.ce taux est estimé comme étant assez faible car les eaux brutes enregistrent une concentration de 100 mg/l ; et les eaux de rejet n'enregistrent pas moins que 73[mg/l] de MES. (fig3.17)

La charge EN MES élevée dans le rejet final est due à la présence intensive d'algues. Ceci est l'une des limitations du procédé l'épuration des eaux usées par lagunage.

Fig3. 6.Concentration des MES dans les différents rejets de la STEP d'El Atteuf entre le 29-05 et 02-09-2013

✓ **potentiel hydraulique (pH)**

Le pH au niveau du rejet final de la station est alcalin. Il s'adapte aux normes de rejet de l'OMS et aux normes Algériennes fixées à ($\leq 8,5$).

Le pH alcalin conjuguée à la température modérée des bassins constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des bactéries qui établissent un parfait équilibre biologique permettant la dégradation de la matière organique et la décontamination de l'eau.

d) Apport de la station d'épuration à l'oasis d'El Atteuf :

Il est clair que la réalisation de la station d'épuration en aval de la vallée du M'zab présente plusieurs avantages pour l'oasis d'EL ATTEUF. La collecte des eaux usées de la vallée que recevait l'oasis et leur épuration, sont indubitablement un pas de géant pour l'amélioration de la situation environnementale de cette région.

En effet la suppression du phénomène de la remontée des eaux usées, l'atténuation des odeurs nauséabondes et l'amélioration progressive de la qualité des eaux des puits, au niveau de l'oasis sont remarquables.

Les résultats des mesures effectuées au niveau de l'exutoire de la station sont prometteurs. Hors les anomalies relevées concernant les teneurs en azote ammoniacale et en matières en suspension doivent être prises en considération notamment dans le cas de réutilisation de ces eaux.

3.3.2. Décontamination des eaux de la nappe phréatique

Pour ce qui concerne le problème de la contamination de la nappe phréatique par les eaux usées qui persiste malgré l'implantation de la station d'épuration, la solution adéquate qui remédierait à cette situation est de procéder à une décontamination de cette nappe.

Plusieurs procédés peuvent être mis en œuvre selon les moyens disponibles et la sévérité de la pollution qui varie par endroit (d'amont en aval).

a) La phytoremédiation

Sous cette appellation sont regroupées plusieurs processus de traitement sur site ou hors site, qui utilisent les végétaux comme épurateurs du milieu à titre d'exemple les roseaux. Le principe de base est identique pour tous.

Des végétaux supérieurs spécifiques sont plantés sur la zone à traiter, dans une unité spéciale par où va transiter une eau contaminée. [LYON, 2013]



b) **la phytostimulation**

- C'est une technique qui stimule la dégradation microbienne et fongique par les exsudats et les enzymes libérées dans la rhizosphère racinaire, ce qui entraîne la destruction des polluants organiques présents. Cette technique présente plusieurs avantages notamment :
- Elle est sans danger pour l'environnement, économique et esthétique
- Elle peut servir à éliminer une grande quantité de contaminants.

La phytoremédiation présente également des inconvénients:

- C'est un processus lent puisqu'il dépend du cycle naturel des plantes;

- La phytoremédiation a plus de succès lorsque la contamination se situe à proximité des racines des végétaux, en général à une profondeur de 1 à 1,80m pour les plantes herbacées et de 3 à 4,5m pour les arbres
- Certaines plantes qui absorbent une grande quantité de métaux toxiques pourraient mettre en danger la chaîne alimentaire si des animaux s'alimentent à partir de ces plantations.

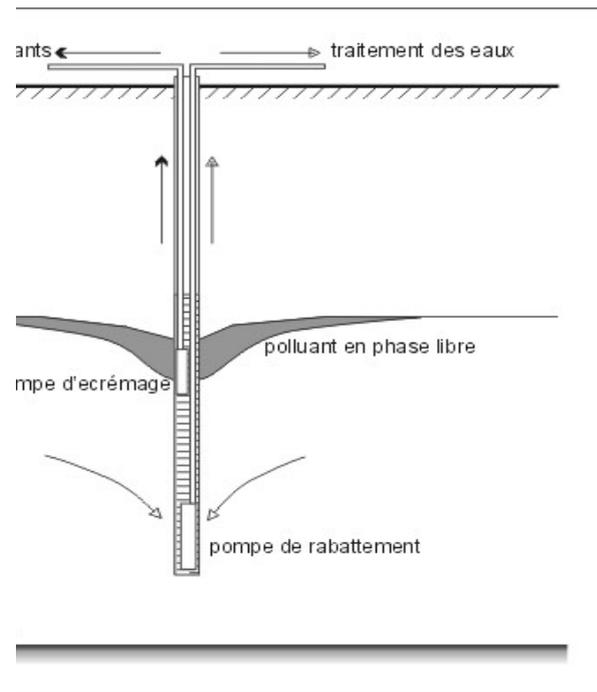
✓ **Procédé physique : “pump and treat”**

Cette technique s'effectue en deux phases. *[Techniques de l'ingénieur ; 2013]*

- la première in situ qui consiste à extraire l'eau de la nappe par pompage,
- et la deuxième ex situ consiste à traiter l'eau en surface. Cette technique a largement été utilisée avant l'existence des techniques in situ en lançant une campagne de pompage massif suivant une étude établie préalablement sur les zones concernées par cette pollution.

✓ **Rabattement écrémage :**

La technique de rabattement écrémage (fig.3.21) consiste à extraire les composés organiques peu solubles flottant à la surface de la nappe phréatique, dont la densité est inférieure à la valeur 1. Elle s'applique d'une manière intéressante sur les phases libres telles que les hydrocarbures légers (essence). *[Techniques de l'ingénieur ; 2013]*



Ce procédé in situ, permet de récupérer les composés organiques par gravité en créant un cône de dépression vers un puits de rabattement. Une fois les composés extraits mécaniquement (écumage) de la nappe, ils sont stockés dans des dispositifs.

Malgré le fait que cette technique concerne les polluants insolubles, une pollution dissoute n'est pas totalement exclue. Elle peut être extraite et traitée si la concentration l'exige.

3.3.3. Recharge artificielle de la nappe phréatique

Par rapport au taux de la recharge artificielle de la nappe phréatique qui a sensiblement baissé depuis l'an 2008, faute de la rareté des crues en partie et en deuxième partie qui est la plus importante, la destruction de la diguette. Cette dernière faisait office de barrage temporaire qui freinait l'eau tout en maintenant dans la zone d'infiltration en lui permettant un temps suffisant pour percoler et élever le niveau piézométrique de la nappe. La solution à ce problème est de rénover la diguette telle qu'elle était autrefois, c'est-à-dire il faut garder les mêmes mesures en hauteur et longueur et aussi la même disposition et le même emplacement.

Il serait même bénéfique de réaliser une série de bassins d'infiltration répartis dans la zone, afin d'augmenter la surface allouée à la réalimentation, est de minimiser le taux d'évaporation ; qui est très élevé à cause des températures ardentés ; et par conséquent d'optimiser le taux de la recharge.

Cette recharge peut être effectuée en utilisant les eaux usées épurées issues de la station d'épuration, pour cela une étude approfondie qui porte sur l'analyse du rejet final de la STEP, et sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone de recharge est indispensable.

3.4.3. Remédiassions à la contamination par les pesticides

L'utilisation des fertilisants et des pesticides n'est pas à condamner dans le cas où la parcelle agricole est dotée de haies et de systèmes de drainage.

Les haies évitent la volatilisation des pesticides sur d'autres terres agricoles, et par conséquent des éventuelles contaminations. Par ailleurs elles favorisent la rétention des produits chimiques dans le sol.

3.4.4. Aménagement touristique au niveau de la station d'épuration

Le traitement des eaux par procédés de lagunage utilise des terrains de grandes superficies ; 50 ha pour la station d'El Atteuf ; avec des bassins interposés.

La création de la station d'épuration des eaux usées d'El Atteuf a coûté une somme faramineuse, de l'ordre de deux milliards de dinars. L'aménagement d'aires de repos est envisageable dans le but de tirer profit de sa structure



Par ailleurs cet aménagement du site et de la structure en un lieu de plaisance ne nécessite pas des moyens colossaux.

3.4.5. Revalorisation des effluents épurés

Les eaux usées épurées présentent un taux de fertilisation qui serait rentable dans le domaine de l'agriculture ; car elles sont riches en éléments nutritifs et présentent des concentrations de phosphore et de nitrate très importantes, ceux-ci étant essentiels à la croissance et au développement des végétaux.

L'utilisation de l'eau épurée de la station à des fins agricoles, joue en faveur de la nappe phréatique, car le taux d'exploitation de cette dernière diminuera et permettra au niveau piézométrique une augmentation considérable et bénéfique pour l'ensemble des palmeraies de la région.

Par ailleurs une telle pratique épouse parfaitement les principes du développement durable.

Cependant il est exigé pour l'exploitation des eaux épurées à des fins agricoles, d'effectuer des analyses régulières et de se référer aux normes qui fixent les valeurs limites des teneurs des différents composés et les variétés de cultures tolérées à être irriguées par ces eaux non conventionnelles.

Il est d'ailleurs impératif de soulever le problème du taux élevé de matières en suspensions présent dans les eaux épurées de cette station (45% de rendement épuratoire). Si les eaux d'irrigation présentent un taux important en MES, le sol

arable risque d'être colmater, et les conduites d'irrigation risquent d'être bouchées au niveau des goutteurs dans le cas de l'irrigation localisées.

Pour y remédier, la mise en place de bassins de décantations des eaux destinées à l'irrigation sont indispensables.

Afin d'acheminer les eaux usées épurées à la sortie de la station aux édifices de stockage (adduction), il est plus intéressant de la canaliser pour éviter toutes éventuelles pertes éventuelles (évaporation).

Les terrains en aval de la station seraient desservis en eaux par gravité.

Pour ce qui concerne les édifices de stockages de l'eau épurés destinée à l'irrigation, ceux enterrés ou semi enterrés sont les plus adéquats, dans la région vu la topographie et la pente du terrain.

3.4.6. Revalorisation des boues

L'épuration des eaux par lagunage permet la formation de boues profitable en matière de rendement agricole, car elles ont un pouvoir de fertilisation par les matières qu'elles contiennent.

La station étant à ses débuts, la production de boue reste minime pour l'instant. Le niveau minimum nécessaire pour une éventuelle extraction des boues des bassins est de 50 centimètres. Cette hauteur ne peut être atteinte qu'après une durée de fonctionnement estimée à deux ans.

3.4.7. Conclusion

L'oasis d'el Atteuf a longtemps été sujette à une pollution par les eaux usées.

La Station d'épuration d'El Atteuf est considérée comme un plan de sauvetage pour la production agricole dans l'oasis. Cette dernière a absorbé les nuisances environnementales et écologiques qui se manifestaient par le phénomène de la remontée des eaux.

La mise en service de cette station d'épuration a enchaîné l'avenue de plusieurs avantages qui se sont avérés aussi importants les uns que les autres.

L'agriculture au niveau de l'oasis d'El Atteuf voit un horizon prospère grâce à cette station d'épuration des eaux usées. Car celle-ci engendre une amélioration la qualité des eaux la nappe phréatique et réduit les risques les risques sanitaires causés par les eaux usées.

Par ailleurs des aménagements au niveau de la station d'épuration, et des techniques d'irrigation et de recharge artificielle de la nappe phréatique qui rendraient cette station d'autant plus profitable à l'oasis peuvent être envisagés à long et à moyen terme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

ANRH (Agence National des Ressources Hydriques) direction régionale sud Ouargla., Mai 2007. Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'Ouargla.27 pages.

ANRH d'Ouargla (Agence national des ressources hydrauliques) 2003. Note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, Mars, 12pages.

BABKER. M. NASRI.M ,2010 ; Contribution à l'étude hydrogéologique des zones arides exemple « la Vallée du M'Zab » Wilaya de Ghardaïa, USTHB.

BAHI K, BENSALÉM D. ; 2012 ; Contribution à l'étude de la flore au long de l'Oued Zegrir (Régions des Hassi Delaa et de Guerrara).

BENDRISSOU., DEDJELL Y., 2011. Approche qualitative des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa -cas de la palmeraie Est de la ville de Ghardaïa. Université des Sciences de la Technologie Houari Boumediene. Mémoire de fin d'études, 45pages.

BENZAYET B., 2010. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod. École national supérieur d'agronomie. Mémoire du projet de fin d'études. 75 pages.

DJOURDI Hakima , RAFA Amina; 2009 ;**Fonctionnement du hydraulique de partage Est de système de la palmeraie Est Ghardaïa, ENSP, 64 pages.**

DSA Ghardaïa, 2012, Atlas agriculture. 113 pages.

HASSANI Thanina ; 2009 ; Contribution à la caractérisation des eaux de puits de la palmeraie Est de la commune de Ghardaïa, ENSP, 48pages

<http://www.lyon.archi.fr> ; 15.09.2013.

<http://www.techniques-ingenieur.fr>; 12.09.2013

MELLAK Dris, 2009, mémoire, Etude de la vulnérabilité de l'aquifère alluvionnaire de la vallée du M'Zab, ENSP, 38 pages.

MESSID.I, 2009, mémoire, Conception du réseau pluvial de la commune de Ghardaïa, ENSP ; 79pages.

MIOURIGH Mohammed;2011, Evaluation de la qualité hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab : Cas de l'Oued N'Tissa, ENSA ; 72 pages.

OPVM 2013 ; histoire du système de gestion et de distribution des eaux de crues, 6pages.

SIOUSSIOU Rostom, DEDJEL Youcef ; 2011 ; mémoire, USTHB, Approche qualitative de la nappe souterraine de la région de Ghardaïa : cas de al palmeraie est de la willaya de Ghardaïa, 44pages.

TALEB BAHMED Messaoud; 2008 ; Évaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'zab : Cas de la région d'El-Atteuf, ENSA. 68pages.

GLOSSAIRE

Hassi: puits traditionnel

Ahbess: barrage

Tardja : canal a ciel ouvert

Koua : ouverture dans les murs des jardins

Tissembad : orifice

Seguia : rigole

Rasfa : ralentisseur

El madjen : bassin primaire

Assefy : bassin secondaire

Toub : argile

ABREVIATIONS

DHW : Direction Hydraulique De La Wilaya

ANRH : Agence National Des Ressources Hydriques

DSA : Direction des services agricoles

STEP : Station d'épuration

APW : Assemblé Populaire de la Wilaya

APC : Assemblé populaire communale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

FAO : Food and Agriculture organization

C.I : Continental Intercalaire

Q_x : Quental

C° : degré Celecius

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de mémoire consiste à étudier le rapport entre la station d'épuration des eaux usées et la palmeraie d'El Atteuf sur le plan environnemental écologique et hydraulique. Cela m'a permis de renforcer mes connaissances dans les domaines de l'épuration des eaux par lagunage et la réutilisation des eaux usées épurées dans le recharge artificielle de la nappe qui est plus que nécessaire dans cette zone à aridité sévère . Cependant cette technique n'est pas encore été utilisée dans la zone d'étude car les analyses de la station sont peu concluantes, d'une part et d'autre par la nappe est déjà contaminée.

Il est donc nécessaire d'abord de procéder à une décontamination de l'aquifère pour pallier à ce problème qui représente un risque potentiel de contamination et de maladies en cas d'abreuvement ou d'irrigation par ces eaux. D'autres problèmes ont été élucidés à travers cette étude et dont on a proposé des solutions préventives et curatives dans le cadre de la protection et le développement de la palmeraie d'El Atteuf. Cette dernière est considérée comme étant un agent catalyseur de forte influence dans l'économie et l'agriculture dans la wilaya de Ghardaïa.

Pour que cette région agricole aille de l'avant, et épouse parfaitement le contexte de la demande agricole actuelle, des investissements et des plans d'actions sont indispensable pour le développement du secteur.

Enfin tirer profit de la station d'épuration reste la meilleure option pour l'oasis d'El Atteuf. Cela se concrétiserait dans l'utilisation des eaux épurées dans l'irrigation et dans la recharge artificielle de la nappe phréatique.