



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences agronomiques

Spécialité: Agriculture et environnement en régions arides

THEME

*Impact du barrage de Foum El Gherza sur le
développement de l'agriculture en irrigué dans
le périmètre de Sidi Okba (Biskra)*

Présentée par : *M^{lle}. LABDI Narimane.*

Devant le jury composé de :

Président:	<i>M. MASMOUDI A.</i>	M.C.A	Université Mohamed Khider - Biskra
Promoteur:	<i>M. BENKHALED A.</i>	Professeur	Université Mohamed Khider - Biskra
Examineurs:	<i>M. BENZIOUCHE S E.</i>	M.C.A	Université Mohamed Khider - Biskra
	<i>M. BEDJAOUI A.</i>	M.C.A	Université Mohamed Khider - Biskra

Année universitaire: 2015 - 2016

Remerciements

Je remercie en premier lieu **mon Dieu** qui m'a donné le courage et la volonté afin de poursuivre des études en Post-graduation.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements et mon grand respect à mon encadreur Monsieur le Professeur **BENKHALED Abdelkader**. Sa disponibilité, son savoir, ses conseils judicieux, ses commentaires et ses corrections ont rendu possible la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier vivement Monsieur **MASMOUDI Ali**, Maitre de Conférences "A" qui a bien voulu présider le jury de soutenance. Mes vifs remerciements s'adressent aussi à Messieurs **BENZIOUCHE Salah Eddine** et **BEDJAOUI Ali** Maitres de Conférences "A", enseignants à l'Université de Biskra, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de faire partie du jury pour l'examiner.

Je remercie profondément Monsieur **GUIMEUR Kamel** Chef du département des Sciences Agronomiques, pour son soutien.

Je tiens à remercier également le Professeur **BELHAMRA Mohamed**, le Docteur **MEHAOUA Med Seghir** et le Docteur **FERHI Kamilia** de l'Université Mohamed Kheider – Biskra.

Je ne saurais oublier de remercier **Mr HADJEB Ayoub**, pour ses conseils, son aide et sa disponibilité en tout temps.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants et tout le personnel du département des Sciences Agronomiques de l'université de Biskra.

Je tiens à remercier infiniment les personnes suivantes :

- **Mr CHAOUI Said** et **Mr SAKHRAOUI Fateh** de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (**ANBT**) de Biskra pour la collecte des données, la documentation qu'ils m'ont fournie et pour les visites au barrage.

- **Mr. BENSALAH T**, chef du service des statistiques agricoles à la Direction des Services Agricoles (**DSA**) de Biskra. Et **Mr BENZINE M.S** subdivisionnaire des services agricoles de Sidi Okba pour l'enrichissement statistique.

- **Mr BENRRAMDANE Sadek** Subdivisionnaire de l'Hydraulique de Sidi Okba our la documentation et l'historique de la région qu'il a bien voulu de mettre à ma disposition. .

- **Mr CHAIBOUB Saleh** délégué d'Association des Irrigants de Sidi Okba pour sa disponibilité, sa collaboration et son accompagnement sur le périmètre d'irrigation.

- L'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (**ITDAS**) Biskra pour la mise à disposition de la bibliothèque, en particulier **Mr SUISSI** pour ses conseils précieux, sa contribution, son aide et ses orientations.

Je remercie tous mes collègues et amies qui m'ont soutenue et m'ont encouragée pour accomplir ce travail.

Résumé

Impact du barrage de Foug El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué dans le périmètre de Sidi Okba (Biskra)

Les régions arides à semi-arides en Algérie se caractérisent par la rareté des ressources en eau et par une variabilité accentuée du climat dans l'espace et dans le temps. La retenue du barrage de Foug El Gherza, près de Biskra, pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité de l'ouvrage pour l'irrigation.

En effet, à partir des années 1990, l'offre du barrage Foug el Gherza sur oued Abiod pour irriguer ce périmètre a fortement diminué sous l'effet conjugué de l'envasement, des sécheresses répétées et d'un accroissement des besoins en eau liés à l'agriculture.

L'étude basée sur l'analyse des données d'exploitation du barrage de plus de 50 ans a permis de connaître l'évolution des volumes d'irrigations destinés à développer la phoeniciculture dans la région de Sidi Okba. Confronté aux aléas climatiques et aux fortes traditions sociales ancrées dans le milieu paysan, les oasis de Sidi Okba n'ont pas changé et ont conservé leur aspect traditionnel, probablement à cause de la salinité qui est restée une contrainte majeure jusqu'à nos jours, à l'exception de quelques palmeraies qui ont connu une légère extension.

L'étude a montré des dysfonctionnements dans l'exploitation des eaux du barrage pour l'irrigation. On a pu relever le caractère indiscutable de l'augmentation des superficies en particulier durant les deux dernières décennies. La confrontation entre l'évolution du nombre de palmiers avec les volumes d'irrigation, montre les difficultés de mise en valeur et d'extension du périmètre de Sidi Okba ainsi que la gestion des eaux du barrage.

Mots clés : Impact - Barrage de Foug El Gherza - Irrigation - Développement agricole - palmeraies de Sidi Okba - Biskra

Abstract

*Impact of Foug El Gherza dam on the développement of irrigated agriculture in
Sidi Okba (Biskra)*

Arid to semi-arid areas in Algeria are characterized by the scarcity of water resources and an accentuated climate variability in space and in time. The Foug El Gherza dam close to Biskra, often raises questions about the available quantity of water and its seasonal variability, over the lifespan of the dam and the effectiveness of irrigation.

Indeed, from the 1990s, the supply of the dam Foug el Gherza on Abiod wadi to irrigate Sidi Okba area strongly decreased under the combined effect of siltation, repeated drought and increased water requirements related to agriculture.

The study based on the analysis of available dam data of more than 50 years has allowed to know the evolution of volumes of irrigations aimed at develop the phœniciculture in the area of Sidi Okba. Confronted with climatic risks and the strong social traditions anchored in the country with the strong social traditions anchored in the rooted in the peasant environment, the oasis of Sidi Okba did not change and preserved their traditional aspect, probably because of the salinity which remained a major constraint until our days, except for some palm plantations which knew a light extension.

The study showed dysfunctions in the irrigation water use from the dam. One could raise the indisputable nature of the increase in the surfaces in particular during the two last decades. Confrontation between the evolutions of the number of palm trees with volumes of irrigation, shows the difficulties of development and expansion of the Sidi Okba area as well as the reservoir water management.

Keywords : Impact - Foug El Gherza Dam - Irrigation - Agricultural development - Sidi Okba palm plantations - Biskra

ملخص

تأثير سد فم الغرزة على تطور الزراعة المسقية في واحات سيدي عقبة (بسكرة)

تتميز المناطق الجافة و المناطق شبه الجافة في الجزائر بندرة الموارد المائية والتقلبات المناخية في المكان والزمان. سد فم الغرزة قرب مدينة بسكرة، غالبا ما يطرح تساؤلات عن مقدار الكمية المتاحة و التغير الموسمي للموارد المائية وكذاك على حياة السد وفعالية الري.

في الواقع، منذ التسعينات، مياه سد فم الغرزة لري محيط سيدي عقبة انخفضت بشدة تحت التأثير المشترك للإطماء والجفاف المتكررة وزيادة الاحتياجات المتعلقة بالزراعة.

وقد سمحت هذه الدراسة بناء على تحليل بيانات السد لأكثر من 50 عاما لمعرفة تطور كميات الري التي تهدف إلى تطوير زراعة النخيل في منطقة سيدي عقبة. في مواجهة التقلبات المناخية والتقاليد الاجتماعية المتجذرة في البيئة الريفية، واحة سيدي عقبة لم تتغير واحتفظت بمظهرها التقليدي، ربما بسبب الملوحة، التي ظلت عائقا رئيسيا حتى الوقت الحاضر، باستثناء عدد قليل من بساتين النخيل.

وأظهرت الدراسة الأعتال في تشغيل مياه السد لأغراض الري. الدراسة بينت أن هناك زيادة في المساحة خلال العقدين الماضيين. المواجهة بين تطور عدد النخيل مع حجم الري، يبين الصعوبات التي تواجه تطوير وتوسيع محيط سقي سيدي عقبة وإدارة استغلال مياه السد.

الكلمات المفتاحية: تأثير - سد فم الغرزة - الري - التنمية الزراعية - مزارع النخيل سيدي عقبة - بسكرة

Table des matières

Remerciements

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1- L'irrigation et le développement agricole 6

CHAPITRE II : LA REGION D'ETUDE

II-1- Contexte géographique 16

II-2- Contexte géologique 17

II-3- Contexte morphologique..... 17

II-4- Le réseau hydrographique 18

II-5- Pédologie 20

II-6- Végétation 20

II-7- Contexte climatique 20

II-7-1- Les stations météorologiques 21

II-7-2- Etude des paramètres climatiques 21

II-7-2-1- Les précipitations 21

II-7-2-2- Les températures 23

II-7-2-3- Les vents 24

II-7-2-4- Humidité relative 26

II-7-2-5- L'évaporation 27

II-7-3- Le bilan hydrique 28

II-7-4- Indices climatiques 29

II-7-4-1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen..... 29

II-7-4-2- Indice d'aridité de De Martonne..... 30

II-7-4-2-1- Définition de l'aridité 30

II-7-4-2-2- Indice d'aridité annuelle de De Martonne 30

II-7-4-2-3- Indice d'aridité mensuel de De Martonne 32

II-8- Les ressources en eau 33

II-8-1- Les ressources souterraines..... 34

II-8-1-1- La nappe phréatique	34
II-8-1-2- La nappe profonde du continental intercalaire	34
II-8-1-3- La nappe calcaire	34
II-8-1-4- La nappe du Miopliocène	34
II-8-2- Ressources hydriques superficielles	35

CHAPITRE III : L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

III-1- Situation	38
III-2- But de la construction du barrage	39
III-3- Caractéristiques du barrage	39
III-3-1- Caractéristiques hydrologiques	39
III-3-2- Caractéristiques techniques	40
III-4- Problèmes auxquels est confronté le barrage :	40

CHAPITRE IV : LE PERIMETRE D'IRRIGATION DE SIDI OKBA

IV-1- Situation de la zone d'étude	46
IV-2- La répartition spatiale des oasis	46
IV-3- Les palmeraies de la région de Sidi Okba	47
IV-3-1- Le système de plantation	47
IV-3-1- La densité de plantation	49
IV-4- Géologie du périmètre	49
IV-5- Les sols de la région de Sidi Okba	50
IV-5-1- Nature des sols de la zone d'étude	50
IV-5-2- Caractéristique des sols de la zone d'étude	51
IV-5-2-1- La texture des sols	51
IV-5-2-2- La perméabilité des sols	51
IV-5-2-3- La salinité des sols	53
IV-5-3- Classification des sols	53
IV-6- Le réseau de distribution	57
IV-6-1- Le réseau principal	58
IV-6-2- Le réseau de séguias	60
IV-6-3- Distribution au niveau de parcelle	63
IV-7- Le système d'irrigation	64
IV-7-1- Le tour d'eau	65
IV-7-2- Droits d'usage de l'eau :	67

CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT

V-1- Analyse des volumes d'irrigation	70
V-1-1- Constitution de la base de données	70
V-1-2- Analyse de l'évolution des volumes d'irrigation à différentes échelles	71
V-1-2-1- Echelle journalière :	71
V-1-2-2- Echelle mensuelle :	76
V-1-2-3- Echelle interannuelle :	80
V-2- Analyse des campagnes d'irrigation.....	81
V-3- Les paramètres étudiés.....	83
V-3-1- Données générales pour les palmeraies de la Wilaya de Biskra	83
V-3-2- Données générales pour les palmeraies de la région de Sidi Okba	86
V-3-2-1- Nombre de palmiers totaux	89
V-3-2-2- Palmiers productifs	90
V-3-2-3- Production.....	90
V-4- Impact des volumes d'irrigation sur les paramètres étudiés des palmeraies	92
V-4-1- Impact sur l'accroissement du nombre de palmiers	92
V-4-2- Impact sur la production	94
V-4-3- Impact sur le rendement.....	95
V-5- Estimation des besoins en eau des palmiers	97
V-6- L'efficacité de l'eau	105
V-6-1- L'efficacité du stockage	105
V-6-2- L'efficacité du transport	106
V-6-3- L'efficacité de système d'irrigation	107
V-6-4- L'efficacité de l'utilisation de l'eau par le palmier	107
V-6-5- Valorisation de l'eau d'irrigation	108
CONCLUSION GENERALE	109
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	113
ANNEXES	

Liste des abréviations

ANAT :	Agence National d'Aménagement du Territoire
ANBT :	Agence Nationale des Barrages et Transferts
ANRH :	Agence National de Ressources Hydriques
AOAD :	Arab Organization for Agricultural Development
CIHEAM :	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
Da :	Déficit agricole
DPAT :	Direction de la Planification et d'Aménagement du Territoire
DSA :	Direction des Services Agricole
ET₀ :	Evapotranspiration de références
ET_c :	Evaporation de la culture
ETP :	Evapotranspiration Potentielle
ETR :	Evapotranspiration Réelle
Exc :	Excédent
FAO :	Food and Agriculture Organization
GPI :	Grands Périmètres Irrigués
ITDAS :	Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne
K_c :	Coefficient Cultural
MADR :	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
Mha :	Million hectares
ONM :	Office National de la Météorologie
OPI :	Offices de Périmètres Irrigués
P.H.E :	Plus Hautes Eaux
PMH :	Petite et Moyenne Hydraulique
PNDAR :	Programme National de Développement Agricole et Rural
R.N :	Retenue Normale
RFU :	Reserve Facilement Utilisable
SAU :	Surface Agricole Utile
ST :	Superficie Totale
T° max :	Température maximale
T° min :	Température minimale
T° moy :	Température moyenne
UNESCO :	United Nation Educational Scientific and Cultural Organization
W.W.A.P :	World Water Assessment Programme

Liste des figures

Figure 1 : Usages concurrentiels de l'eau	6
Figure 2 : Pourcentages de terres équipées pour l'irrigation dans le monde	7
Figure 3 : Pourcentage de superficies irriguées	8
Figure 4 : Prélèvements en eau	9
Figure 5 : Typologie des périmètres irrigués	10
Figure 6 : Production de dattes (en tonnes) dans les pays arabes	12
Figure 07 : Carte de situation de Biskra	16
Figure 08 : Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra	18
Figure 09 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra	19
Figure 10 : Précipitations moyennes mensuelles dans la région de Biskra.....	22
Figure 11 : Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord	23
Figure 12 : Températures moyennes mensuelles	24
Figure 13 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent	25
Figure 14 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative	26
Figure 15 : Evaporation moyennes mensuelles dans la région de Biskra	27
Figure 16 : Diagramme Ombrothermique de la région de Biskra.....	30
Figure 17 : Répartition des points d'eau dans la région de Biskra.....	33
Figure 18 : Oueds de l'Atlas saharien	35
Figure 19 : Plan d'ensemble et situation du barrage de Foum El Gherza	38
Figure 20 : Image Google Earth de la retenue du barrage de Foum El Gherza	39
Figure 21 : Etat critique du barrage de Foum El Gherza	41
Figure 22 : Fuites d'eau du barrage de Foum El Gherza	41
Figure 23 : Fuites d'eau au droit du barrage de Foum El Gherza	42
Figure 24 : Evaporations de la retenue du barrage de Foum El Gherza.....	42
Figure 25 : Evacuateur de crue du barrage de Foum El Gherza	41

Figure 26 : Déversement d'une crue accompagné d'une opération de vidange.....	43
Figure 27 : Evolution de l'irrigation du périmètre de Sidi Okba.....	44
Figure 28 : Limite administrative de Sidi Okba.....	46
Figure 29 : Image google earth montrant la répartition spatiale des oasis irriguées.....	47
Figure 30 : Image Google Map montrant les parcelles irrégulières.....	48
Figure 31 : Image Google Map montrant les parcelles rectangulaires.....	48
Figure 32 : Image Google Earth montrant la densité de plantation	49
Figure 33 : Esquisse géologique de la chaîne de Rhéless	50
Figure 34 : Triangles Duchaufour de textures.....	51
Figure 35 : Répartition des terrains selon les valeurs de vitesse d'infiltration	52
Figure 36 : Répartition des terrains selon les groupes pédologique de sols.....	55
Figure 37 : Carte d'Ifagraria des vocations culturelles	56
Figure 38 : Ouvrage de prise d'eau pour l'irrigation	57
Figure 39 : Conduite forcée pour l'irrigation	57
Figure 40 : réseau de distribution des palmeraies de Sidi Okba	58
Figure 41 : Canal d'irrigation principal à ciel ouvert.....	59
Figure 42 : Bifurcation du canal principal vers Garta et Sidi Okba - Sérïana.....	59
Figure 43 : Canal d'irrigation de la palmeraie de Garta	60
Figure 44 : Plan des seguias de Sidi Okba	61
Figure 45 : Seguia principale à l'entrée de Sidi Okba (Msidia).....	62
Figure 46 : Répartiteurs des eaux d'irrigation.....	62
Figure 47 : Répartition de nombre de palmiers par seguia	63
Figure 48 : Plan schématique d'un secteur d'irrigation	64
Figure 49 : Irrigation par cuvette dans une palmeraie de Sidi Okba.....	65
Figure 50 : Relation entre le nombre de palmiers et la durée du tour d'eau	67
Figure 51 : Evolution des volumes d'irrigation (période 1950-2014)	71
Figure 52 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 1950-1960.....	72

Figure 53 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 1960-1970.....	73
Figure 54 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 1970-1980.....	73
Figure 55 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 1980-1990.....	74
Figure 56 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 1990-2000.....	74
Figure 57 : Evolution des volumes d'irrigation pour la décade 2000-2010.....	75
Figure 58 : Evolution des volumes d'irrigation période (2010-2014)	76
Figure 59 : Evolution des volumes d'eau mensuels d'irrigation (période 1950-2014).....	77
Figure 60 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison d'automne	78
Figure 61 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison d'hiver	78
Figure 62 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison de printemps	79
Figure 63 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison d'été	79
Figure 64 : Tendence des volumes d'irrigation interannuels (période 1950-2014)	80
Figure 65 : Evolution des volumes de la retenue de Foum El Gherza	80
Figure 66 : Evolution des campagnes d'irrigation	82
Figure 67 : Evolution des paramètres superficies, nombre de palmier et production.....	85
Figure 68 : Evolution des superficies dans les palmeraies de Sidi Okba.....	87
Figure 69 : Evolution du rapport des paramètres de palmeraies	88
Figure 70 : Evolution de nombre de palmiers	89
Figure 71 : Evolution du taux d'accroissement des palmiers	90
Figure 72 : Evolution de la production dans quelques régions et la Wilaya de Biskra.....	91
Figure 73 : Evolution de la production dans la région de Sidi Okba	91
Figure 74 : Evolution des rendements dans la Wilaya de Biskra.....	92
Figure 75 : Effet des volumes d'irrigation sur le nombre de palmiers.....	93
Figure 76 : Courbes de tendance des volumes d'irrigation et du nombre de palmiers	94
Figure 77 : Effet des volumes d'irrigation sur la production	95
Figure 78 : Effet des volumes d'irrigation sur le rendement.....	95
Figure 79 : Historique et contexte de l'intégration des ressources en eau	96

Figure 80 : Besoins mensuels en eau des palmiers dattiers	103
Figure 81 : Comparaison entre les volumes d'irrigation et les besoins en eau	104
Figure 82 : Courbes consignes en fonction de l'envasement du réservoir	105
Figure 83 : Photo: canal mal entretenu. Photo: Répartiteur en terre	106

Liste des tableaux

Tableau 01 : Potentialités en superficies totales, agricoles et irriguées dans le monde	7
Tableau 02 : Superficie équipée des grands périmètres d'irrigation.....	11
Tableau 03 : Evolution des superficies irriguées en Algérie	11
Tableau 04 : Coordonnées de la station météorologique de Biskra.....	21
Tableau 05 : Précipitations moyennes mensuelles.....	22
Tableau 06 : Températures moyennes mensuelles.....	23
Tableau 07 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent.....	25
Tableau 08 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air	26
Tableau 09 : Moyennes mensuelles de l'évaporation potentielle	27
Tableau 10 : Bilan hydrique pour la période (1967-2010)	29
Tableau 11 : Classification des climats selon l'indice d'aridité de De Martonne.	31
Tableau 12 : Indice de De Martonne annuel (période 1967-2010).....	31
Tableau 13 : Indice d'aridité mensuel de De Martonne (période 1967-2010)	32
Tableau 14 : Potentialités hydrauliques existantes	36
Tableau 15 : Part de l'eau utilisée par les différents secteurs.....	36
Tableau 16 : Exemple de tour d'eau à partir de la seguia d'Ouled larbi	66
Tableau 17 : Temps attribué par seguia	66
Tableau 18 : Données d'irrigation journalière pour l'année 2011-2012.....	70
Tableau 19 : Test de tendance de Mann-Kendall sur les volumes d'irrigation	77
Tableau 20 : Test de tendance de Mann-Kendall	81
Tableau 21 : Données d'ensemble pour la Wilaya de Biskra	84
Tableau 22 : Nombre de palmiers pour la région de Sidi Okba.....	86
Tableau 23 : Paramètres étudiés des palmeraies de la région de Sidi Okba	88
Tableau 24 : Valeurs de l'ETP mensuelle Thornthwaite	98
Tableau 25 : valeurs de l'ETP mensuelle selon Blaney & Criddle	99

Tableau 26 : Valeurs de l'ETP mensuelle dans la région de Sidi Okba selon Turc	100
Tableau 27 : Valeurs des déficits hydriques	101
Tableau 28 : Besoins en eau des palmiers dattiers pour la région de Sidi Okba	102

INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

Contexte et problématique

Les régions arides à semi-arides en Algérie se caractérisent par la rareté des ressources en eau et par une variabilité accentuée du climat dans l'espace et dans le temps. Les objectifs d'une politique saine de gestion des retenues de barrages demandent que l'on étudie avec soin l'impact de tels réservoirs.

L'utilisation des ressources en eau de la retenue du barrage de Fom El Gherza pour l'irrigation pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement. Cette retenue d'eau, d'une capacité initiale de 47 hm³ et située à 15 km au nord-est de Biskra, devait en principe, réguler et satisfaire les besoins en eau d'irrigation d'un périmètre de 1 200 ha correspondant à la plantation de plus de 375 000 palmiers dans les villages de Sérïana, Thouda, Garta et la ville de Sidi Okba. Ce barrage, vieux de plus d'un demi-siècle et qui, malgré tout, défie encore les ans, est envasé aux 2/3 de son volume. Sa capacité ne dépasse guère les 14 millions de mètres cubes d'eau au mois d'octobre 2015. En effet à partir des années 1990, l'offre du barrage Fom el Gherza pour irriguer ce périmètre a fortement diminué sous l'effet conjugué de l'envasement, des sécheresses répétées et d'un accroissement des besoins en eau liés à l'agriculture.

L'irrigation de l'Oasis de Sidi Okba, a été depuis les premières années de la colonisation la question primordiale. Dans ce périmètre où l'irrigation gravitaire traditionnelle est pratiquée sur plus de 80 % des superficies, le développement agricole, a été souvent confronté aux aléas climatiques et aux fortes traditions sociales ancrées dans le milieu paysan.

Objectif de l'étude

A travers l'analyse des données d'exploitation du barrage de plus de 50 ans, ainsi que les données agricoles relative aux palmeraies, l'étude permettra de connaître l'évolution des volumes d'irrigations destinés à développer la région de Sidi Okba. On tentera dans cette étude de connaître, en particulier les aspects relatifs à l'extension des superficies des palmeraies et à la production. La confrontation entre les demandes en eau d'irrigation et les disponibilités en eau mettra en évidence l'impact du barrage sur le développement actuel et futur de la région.

Principes Méthodologiques

Les études d'impact sont souvent difficiles à mener de par leurs conceptions, leurs contraintes et les différents enjeux auxquels l'étude est assujettie à déterminer. S'agissant d'un mémoire de Magistère, celui-ci a été élaboré conformément au profil d'un agronome et d'une exigence définie par la nature du sujet qui traite aussi de l'aspect hydraulique.

L'espace étudié a été approché graduellement. Dans une première échelle d'espace nous avons décrit globalement la région de Biskra et montré sa place en phœniciculture par rapport au pays. Sur une échelle plus petite nous avons choisi le périmètre ou l'aire d'irrigation de Sidi Okba où différentes programmes ont été initiés en vue de mettre en valeur les palmeraies et autres cultures.

Basé essentiellement sur des documents de l'époque coloniale et postcoloniale et des données statistiques collectées à partir d'un certain nombre d'organismes, nous avons utilisé les approches classiques : graphique, analytique et statistique, afin de montrer la portée et les limites de la politique de développement agricole, engagée depuis 1950 dans la région de Sidi Okba en particulier. La démarche adoptée dans le mémoire repose sur l'utilisation de l'historique du barrage de Foug El Gherza et des données d'exploitation, à savoir les apports et les irrigations. Nous avons par ailleurs utilisé les images satellitaires pour montrer cet impact avec réalité et éviter de donner une image statique sur les changements opérés dans les systèmes de plantation. Cette diversité des outils permettra, nous le pensons, d'intégrer les changements dans le temps et dans l'espace survenues dans les palmeraies de la région de Sidi Okba.

L'aspect économique qu'induit le barrage de Foug El Gherza sur le développement agricole dans la wilaya de Biskra a été traité en évitant une analyse économique pure et aussi en raison d'un manque de données sur les indicateurs économiques. Nous l'avons approchée par l'analyse des paramètres de production. Quant à l'efficacité des eaux du barrage et du système d'irrigation en général, l'objectif et la nature du sujet nous a contraints à rapporter seulement quelques éléments de connaissance. Aussi et malheureusement pour notre cas, le sujet s'est déroulé durant une période où le barrage était à son plus bas niveau.

Plan du mémoire

Ce travail est divisé en trois parties essentielles, la première réservée à une synthèse bibliographique sur l'irrigation et le développement agricole. La deuxième partie concernera les données générales sur la région d'étude, l'aménagement hydraulique du barrage Foum El Gherza et le périmètre d'irrigation. La troisième partie traitera de l'impact du barrage de Foum El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué des palmeraies de la région de Sidi Okba. Une conclusion générale clôturera ce travail qui sera donnée en fin du mémoire.

CHAPITRE I
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE



I-1- L'irrigation et le développement agricole

Le développement agricole dans le monde a été toujours tributaire de la disponibilité des ressources en eau, qu'elles soient superficielles ou souterraines. Scientifiques et décideurs se sont attelés durant des décennies à étudier ce facteur limitant, qu'est l'eau.

En égard de l'importance du rôle de l'eau dans le développement socio-économique, toute pénurie ou rareté dans la ressource aura un impact important capable d'affecter d'une manière durable l'effort de développement du pays et en particulier l'économie liée à l'agriculture. On considère ainsi que la part des disponibilités en eau devient un facteur critique lorsque 40 % ou plus des ressources renouvelables sont utilisées par l'irrigation.

L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau avec plus de 80 % des eaux mobilisées. La **figure 01** montre l'utilisation agricole de l'eau, comparée à d'autres utilisations principales.

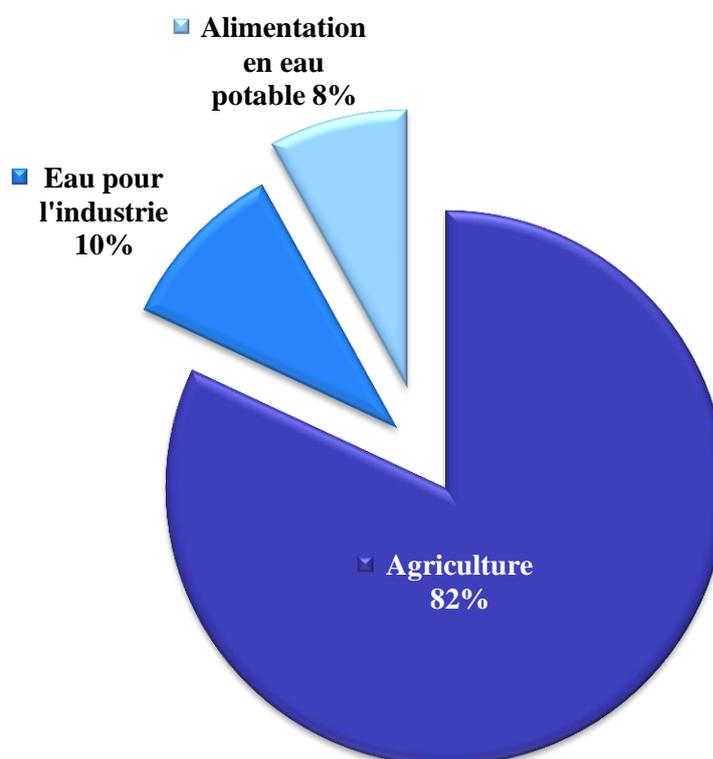


Figure 01 : Usages concurrentiels de l'eau

Pendant la deuxième moitié, du vingtième siècle, le développement de l'irrigation est devenu stratégique pour nourrir une population doublant du monde, avec une augmentation conséquente de la quantité de l'eau utilisée à cette fin. La **figure 02** montre le pourcentage de terres équipées pour l'irrigation.

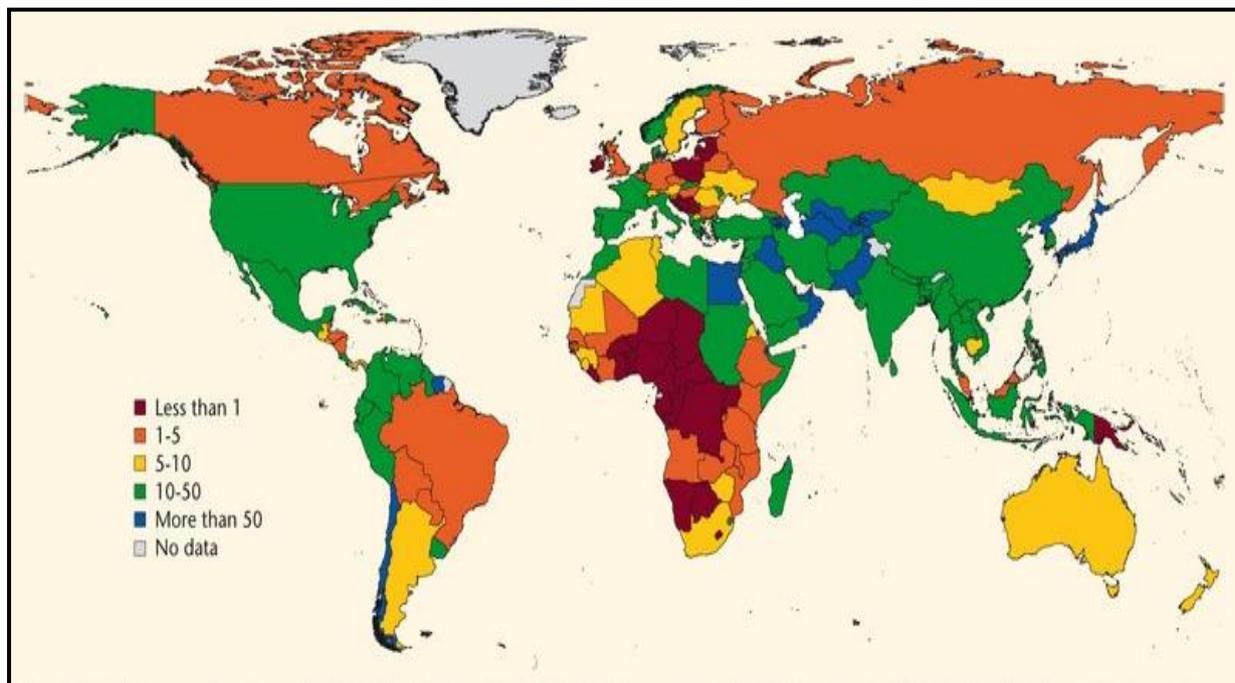


Figure 02 : Pourcentages de terres équipées pour l'irrigation dans le monde

(D'après W.W.A.P, Unesco, 2009)

A l'échelle mondiale, Les superficies cultivables sont estimées par la FAO à 4,2 milliards d'hectares. Le détail par continent est illustré dans le [tableau 01](#).

Tableau 01 : Potentialités en superficies totales, agricoles et irriguées dans le monde

(D'après Zella et Smadhi, 2007)

Continent	Superficie totale (Mha)	SAU (Mha)	% SAU/ST	Surface irriguée (Mha)	% Surface irriguée/SAU
Amérique	3798.6	370.5	09.75	40.75	10.99
Asie	3001.9	527.3	17.56	183.51	34.80
Europe	2172.7	290.9	13.40	23.46	08.06
Afrique	2199.4	172.6	07.84	11.93	06.91
Océanie	801.1	53.9	06.72	02.66	04.93
Monde	13425.4	1497.4	11.15	271.68	18.14
Algérie	238.2	8.2	3.44	0.56	06.83

Zella et Smadhi (2007) rapportent que l'Asie est le continent le plus irrigué, bien qu'il englobe assez de terres drainées. L'Amérique, la plus drainée n'est irriguée qu'à 11%. Ces deux continents (asiatique et américain) sont les plus bénéficiaires du réseau hydrographique mondial. Les trois premiers continents drainent plus qu'ils n'irriguent, semblant souffrir plus d'un excès d'eau que d'un manque. En Océanie et en Afrique, les surfaces irriguées aussi bien que drainées sont les plus faibles.

Les terres irriguées représentent environ 1/5 de la superficie totale agricole dans les pays en voie de développement, fournissant les deux cinquièmes de la totalité de la production végétale. Environ 15 % de l'eau agricole est utilisée via l'irrigation, soit de 2 000 à 2 500 km³ environ par an.

À l'heure actuelle, l'irrigation représente 70 % des prélèvements. Les quantités augmenteront de 14 % dans les trente prochaines années car la superficie des terres irriguées augmentera de 20 %. En 2030, 60 % des terres potentiellement irrigables seront utilisées (figure 03). Sur les 93 pays en développement étudiés par la FAO dans le cadre du programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, 10 pays utilisent déjà 40 % de leur eau douce renouvelable pour l'irrigation (UNESCO–WWAP, 2009).

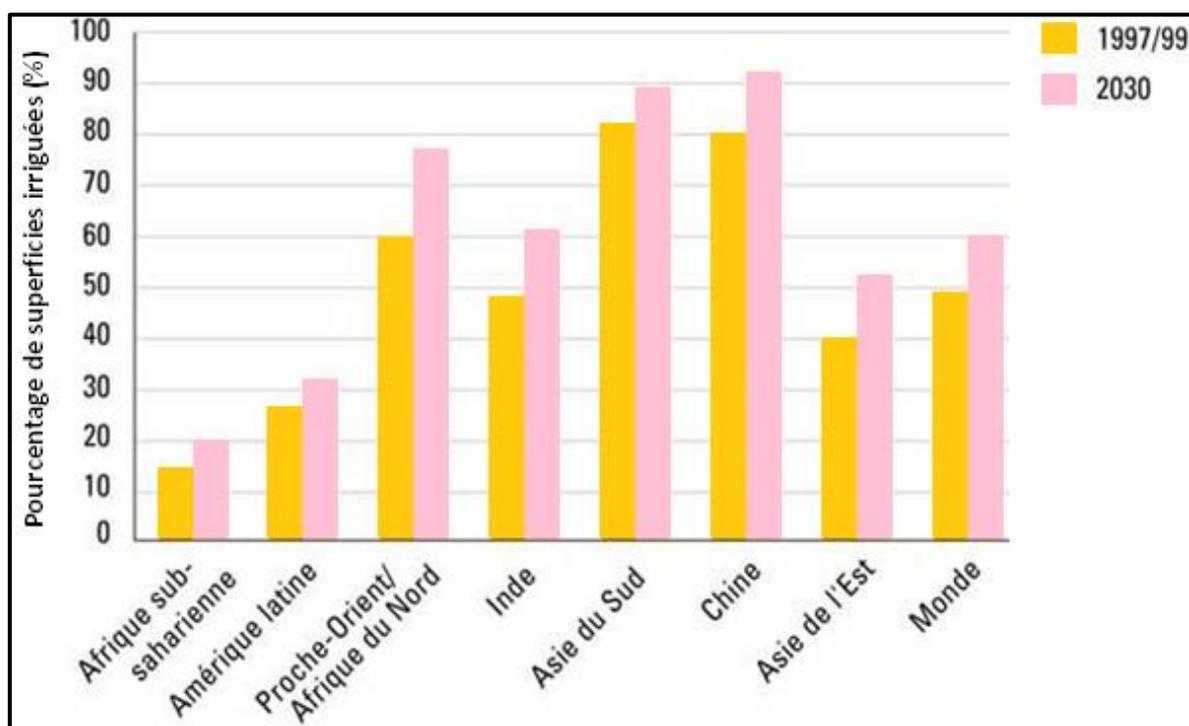


Figure 03 : Pourcentage de superficies irriguées par rapport au potentiel d'irrigation dans les pays en développement (FAO, 2002)

En Algérie, comme partout dans le monde, l'eau est un facteur essentiel du développement agricole. L'étude de celui-ci dans les régions sahariennes, caractérisées par la rareté des ressources en eau, est délicate, car il faut mettre en évidence les différentes actions et interventions des pouvoirs publics et analyser dans une seconde étape les difficultés et contraintes qui entravent ces actions.

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale à 1 000 m³ par habitant et par an (Mutin, 2000; Seiad, 2003). Estimé en 1962 à 1500 m³, le seuil était environ 500 m³ en 1999 (Touati, 2010). Le territoire algérien couvre une superficie de près de 2,4 millions de Km², mais 90% de cette étendue correspondent à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie du territoire, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'atlas. Les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional). Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la méditerranée et les bassins fermés des hauts plateaux (Seiad, 2003; Khadraoui, 2005).

Il est à remarquer, que d'autres ressources en eau situées dans la périphérie du bassin du Sahara septentrional (Biskra, Laghouat, Bechar, Hoggar et Tassili) sont également importantes et se caractérisent surtout par des nappes renouvelables (nappes phréatiques) et ce, contrairement aux eaux fossiles ou faiblement renouvelables du bas Sahara.

Les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m³, dont 3.938 milliards destinés à l'irrigation (65%), 1.335 milliard aux usages domestiques (22%) et 801 millions à l'industrie (13%) (figure 04).

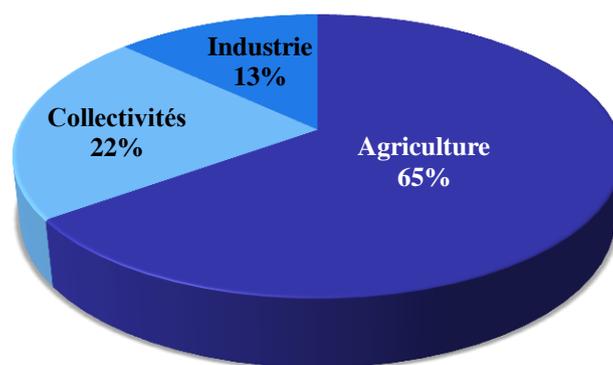


Figure 04 : Prélèvements en eau

Le potentiel en terres irrigables s'établirait entre un million environ et plus de 2.3 millions d'ha. Ces estimations élevées ne semblent cependant pas tenir compte des faibles ressources en eau. Si l'on considère les ressources en eau renouvelables, ce potentiel est estimé à environ 0.5 million d'ha.

La surface équipée pour l'irrigation représente près de 67079 ha, sur un total de 569 418 ha, soit 11.78 %. Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH) (**figure 05**).

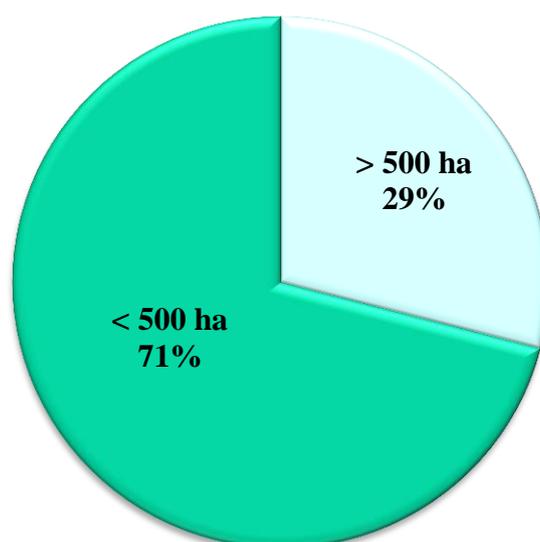


Figure 05 : Typologie des périmètres irrigués

Les GPI ont une superficie équipée de 149 860 ha environ. Ils peuvent être classés en deux catégories: les anciens périmètres hérités de la colonisation, où se pratique l'irrigation traditionnelle gravitaire (112 910 ha), et les périmètres récents réalisés après l'indépendance (36 950 ha). Sur ces 149 860 ha, seule une superficie de 100 300 ha est estimée irrigable, l'écart de 49 560 ha correspondant en grande partie aux zones abandonnées suite à la dégradation avancée des réseaux d'irrigation et/ou des sols (salinisation). Sur ces 100 300 ha irrigables, 33 763 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2001, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations.

Des sources plus récentes ([Ministère des Ressources en eau, 2012](#)) indiquent d'autres chiffres et montrent une évolution progressive des indicateurs de l'hydraulique agricole entre 1962 et 2011 (**tableau 02**).

Tableau 02 : Superficie équipée des grands périmètres d'irrigation

Années	1962	1999	2004	2009	2011
Nombre de périmètre	07	15	17	24	28
Superficie équipée (ha)	105 500	156 250	195 400	219 052	228 787

Les GPI utilisent principalement les eaux de surface régularisées par des barrages. La conjugaison de la faiblesse des volumes d'eau vendus, de la limitation du tarif de l'eau d'irrigation et de l'exiguïté des taux de recouvrement des factures d'eau a abouti à une situation financière catastrophique pour les Offices de Périmètres Irrigués (OPI) qui ne peuvent plus assurer normalement l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation. Cette situation entraîne la dégradation continue des équipements (Fao-Aquastat, 2005).

La nécessité de développer une agriculture irriguée en Algérie a de tous les temps constitué une préoccupation majeure des responsables de l'agriculture algérienne et ce malgré les réalités climatique et technique auxquelles se sont heurtés l'ensemble des ouvrages hydrotechniques.

Les superficies des cultures irriguées en Algérie ont sensiblement augmenté (tableau 03) de 165000 ha en 1962 à 512700 ha en 2002. Ceci représente une proportion de 6.8 % de la superficie agricole utile globale (SAU).

Tableau 03 : Evolution des superficies irriguées en Algérie (MADR, 2003)

Année	1962	1989	1995	1998	2003
Superficies irriguées (ha)	165000	378000	454000	489000	512700

Par ailleurs sur un total de 512700 ha irrigués, le Sud s'accapare 30 % de la superficie agricole utile irriguée dont la wilaya de Biskra occupe la première place avec 13.24 %.

Les superficies irriguées se concentrent essentiellement dans le Nord du pays avec 69 %, le reste qui est de 31 % dans le Sud. Pour tout le Sahara algérien, l'agriculture irriguée aurait dépassé en 1998 les 150.000 ha, dont 60.000 ha de palmiers.

La phœniciculture par la place qu'elle occupe dans l'agriculture saharienne, constitue la principale ressource des 2,2 millions d'habitants des régions sahariennes de l'Algérie. L'Algérie occupe le cinquième rang dans la liste des pays producteurs avec 0,52 millions de tonnes en 2005 pour d'environ 10,4 millions d'arbres (Bachir et al., 2008).

Selon le rapport de la FAO près de 75% de la production mondiale de dattes en 2008, est dans les pays arabes dont la moitié est en Afrique du Nord (Soudan y compris) (figure 06). En 2008, l'Algérie a produit 500000 tonnes de dattes représentant 7.09 % du total mondial de la production (FAOSTAT, 2009).

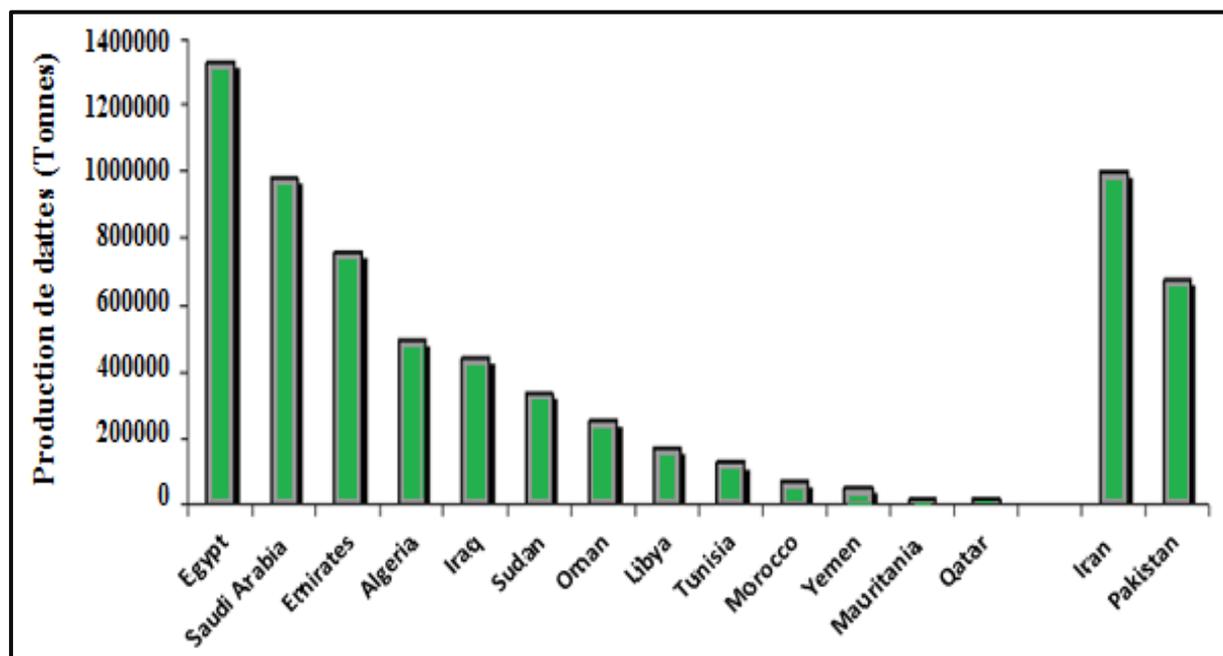


Figure 06 : Production de dattes (en tonnes) dans les pays arabes pour l'année 2008.

L'Iran et le Pakistan sont ajoutés à titre comparatif (FAOSTAT, 2009)

Le patrimoine phœnicicole en Algérie est passé de 8 024 430 de palmiers en 1988 à 12 035 650 en 2001 (Chaouch, 2006). Hannachi et al (1998) rapportent que la palmeraie algérienne compte plus de 13 millions de palmiers et 940 cultivars recensés. D'autres sources avancent qu'en 2006, l'Algérie possédait 10475150 de palmiers dattiers produisant 492190 tonnes de dattes (AOAD, 2008).

Les plantations de palmiers sont constituées de 45% de cultivar Deglet Nour (Bouguedoura et al., 2008) et classe l'Algérie comme étant le second plus grand producteur au monde de cette variété (1 million d'arbres). De plus, l'augmentation de la production entre 1990-2003 est

essentiellement due à l'effort de la plantation plutôt qu'à l'amélioration des rendements (FAO, 2003).

La palmeraie est essentiellement concentrée dans le Sud-Est, son importance décroissant en allant vers l'Ouest et Sud. C'est dans les régions de Biskra, El Oued et Ouargla où les conditions du milieu sont les plus favorables que la conduite du palmier est la mieux maîtrisée

L'évolution de la palmeraie a été significative pendant la décennie 1985-1994 du fait des vastes programmes initiés pour son extension. Près de 1.5 millions de palmiers ont été plantés dans le cadre de la loi portant accès à la propriété foncière de 1983 (Messar, 1993).

Pour la wilaya de Biskra, le nombre de palmiers est passé de 2,7 millions en 1990 à 3,9 millions en 2008, une extension qui a touché surtout le Zab Ouest (Tolga, Foughala, Ouled Djellal), alors que le Zab Est (Chetma, Sidi Okba, Zeribet el oued) autrefois destiné aux parcours, s'est vu transformé rapidement en grands jardins maraîchers (cultures sous serres) et arboricoles grâce aux nouvelles techniques d'irrigation. La phœniciculture occupait les trois quart du finage, le reste était consacré au maraîchage et à l'arboriculture. Une grande densité de palmiers, avec un espacement entre pieds variable caractérisait les anciennes palmeraies.

L'aménagement hydraulique du périmètre de Sidi Okba a débuté dans les années 1950 et a proposé l'équipement en trois phases successives de 1950 ha, 4800 ha et 8900 ha respectivement selon 3 variantes d'aménagement (Neyrpic, 1952). Arrus (1985) dans son ouvrage " L'eau en Algérie" rapporte qu'en 1960, la superficie irriguée ne dépassait guère les 3000 ha, et avance des doutes sur la superficie équipée de 20000 ha. Ainsi la superficie irriguée serait dérisoire devant celle équipée et catastrophique pour la politique hydraulique coloniale. Ces superficies étaient censées être irriguées à partir des ressources de surface du barrage de Foug el Gherza. La production de dattes, tient une place importante dans la production agricole nationale, et cet aménagement a permis de sédentariser des populations rurales.

Ce périmètre irrigué est caractéristique des systèmes irrigués dont les ressources en eau de surface n'assurent plus qu'une fraction des besoins en eau des palmiers et qui recourent de manière significative, voire systématique aux eaux souterraines. En effet, à partir des années

1990, l'offre du barrage Foug el Gherza sur oued Abiod pour irriguer ce périmètre a fortement diminué sous l'effet conjugué de l'envasement, des sécheresses répétées et d'un accroissement des besoins en eau liés à l'agriculture. Encouragés par l'Etat qui y voyait une manière efficace de remédier au déficit, les sondages dans la nappe se sont alors multipliés et ont, par ailleurs, permis le maintien voire l'accroissement des niveaux de production.

Dans ce périmètre où l'irrigation gravitaire traditionnelle est pratiquée sur plus de 80 % des superficies, le développement agricole, a été souvent confronté aux aléas climatiques et aux fortes traditions sociales ancrées dans le milieu paysan.

En raison de l'envasement du barrage de Foug El Gherza qui a atteint 70 % de sa capacité en 2006 selon [Remini et al., \(2009\)](#) et l'encouragement des forages profonds, les oasis de Chetma, Biskra et Sidi Okba n'ont pas changé et ont conservé leur aspect de 1973, probablement à cause de la salinité qui est restée une contrainte majeure jusqu'à nos jours, à l'exception de quelques palmeraies qui ont connu une légère extension ([Tatar, 2013](#)).

CHAPITRE II
LA REGION
D'ETUDE

II-1- Contexte géographique

La synthèse géographique est basée sur les études de [Amri \(2006\)](#) et [Sedrati \(2011\)](#) et l'[ANRH \(2012\)](#), la région de Biskra située au Centre-Est de l'Algérie, précisément au Sud des Aurès. Elle s'étend jusqu'à la zone du Chott Melghir au Sud-Est et jusqu'à l'Erg oriental au Sud-Ouest avec (latitude $34^{\circ} 52' N$, longitude $5^{\circ} 38' E$) et son altitude est de 125 mètre au-dessus de niveau de la mer.

La wilaya de Biskra est distante de 425 km au Sud-Est de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 21 671.2 Km², Elle est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Nord-Est par la wilaya de Khenchela, au Nord-Ouest par la wilaya de M'sila, au Sud par les Wilayas d'El Oued et d'Ouargla, au Sud-Ouest par la wilaya de Djelfa ([figure 07](#)).

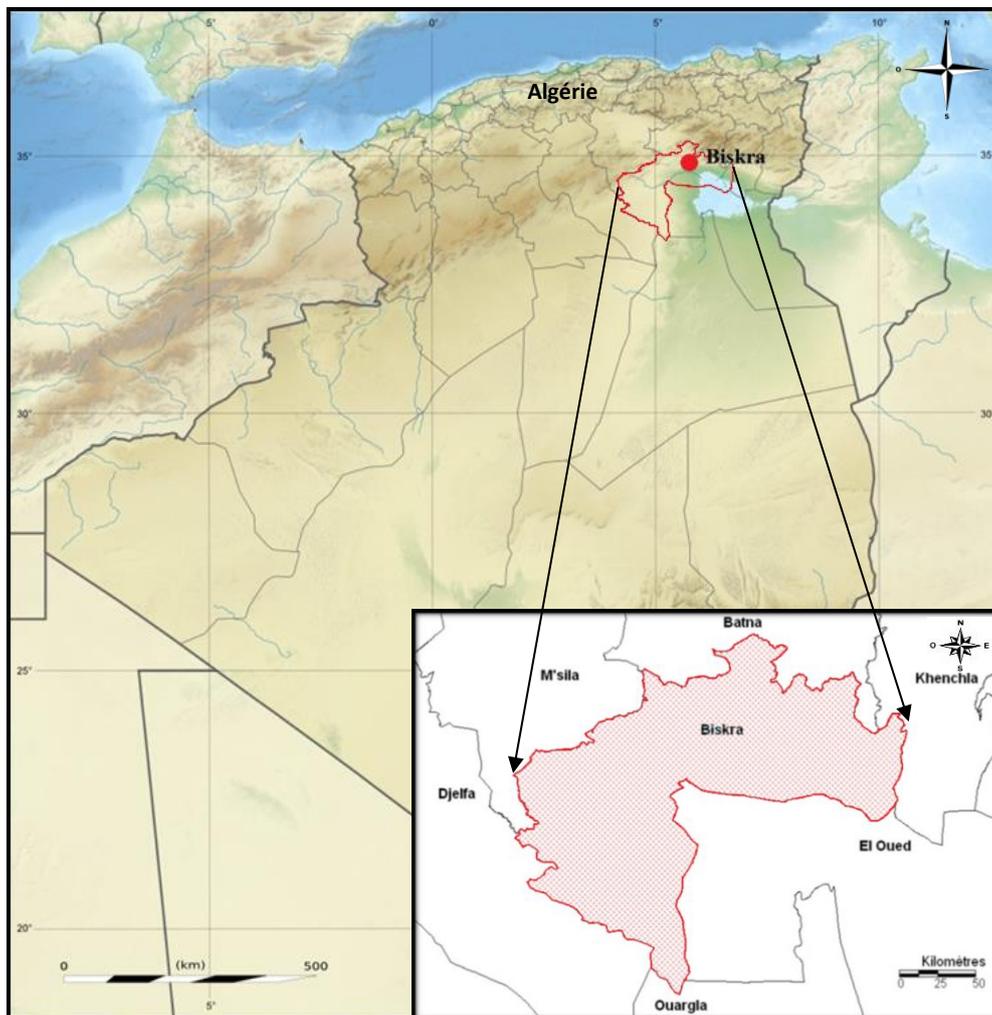


Figure 07 : Carte de situation de Biskra (Inspiré de [Wikipedia.org, 2015](#))

II-2- Contexte géologique

Plusieurs études géologiques ont été réalisées dans la région de Biskra. Les travaux de [R.Laffitte \(1939\)](#) ; [N.Gousskov \(1964\)](#) ; [G.Busson et A.Cornée \(1989\)](#) sont des références de base dans la synthèse géologique du Sahara Algérien.

A partir de ces études, la région de Biskra représente un pays de transition du point de vue morphologique, bioclimatique, structurale et sédimentaire entre deux zones. Au Nord c'est un pays montagneux (Atlasique), tandis qu'au Sud (Saharien), c'est un pays effondré, qui fait partie du Sahara Septentrional.

Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles d'orientation Est Ouest appelé "accident sud atlasique". Cette région caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire ([Sedrati, 2011](#)).

II-3- Contexte morphologique

A l'échelle morphologique cette région passe par une topographie de plateau légèrement inclinée vers le sud à un relief assez élevé et accidenté au nord ([Bensaâda et al., 2008 in Abssi 2013](#)). En surface, les dépôts grossiers que l'on trouve au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud ([Sedrati, 2011](#)).

Selon [Aïdaoui \(1994\)](#) le relief de la région de Biskra est constitué par quatre unités morphologiques qui sont : les montagnes, les piémonts, les plaines et les dépressions.

- Dans la partie Nord de la région de Biskra (El-Kantara, Djemourah et M'Chounech) se découpent les montagnes ou les chaînons atlasiques avec une altitude maximale peut aller de 1500 à 1700 m .alors que la moyenne est de l'ordre de 300m.
- A l'Ouest de la région de Biskra se trouve les plateaux, ils s'étendent du nord au sud et englobant les daïras d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga.
- L'Est est caractérisé par une vaste plaine développée et découpée par les lits d'oueds, la plaine occupe approximativement les deux tiers de la superficie et couvrent les daïras d'el Outaya, Doucen, Sidi Okba et Zeribet el Oued. Elle se présente en général par une pente douce de la chaîne atlasique aux étendues sahariennes du Sud.

- La partie Sud-Est de la wilaya de Biskra est caractérisée par les lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du Chott Melghir (figure 08).

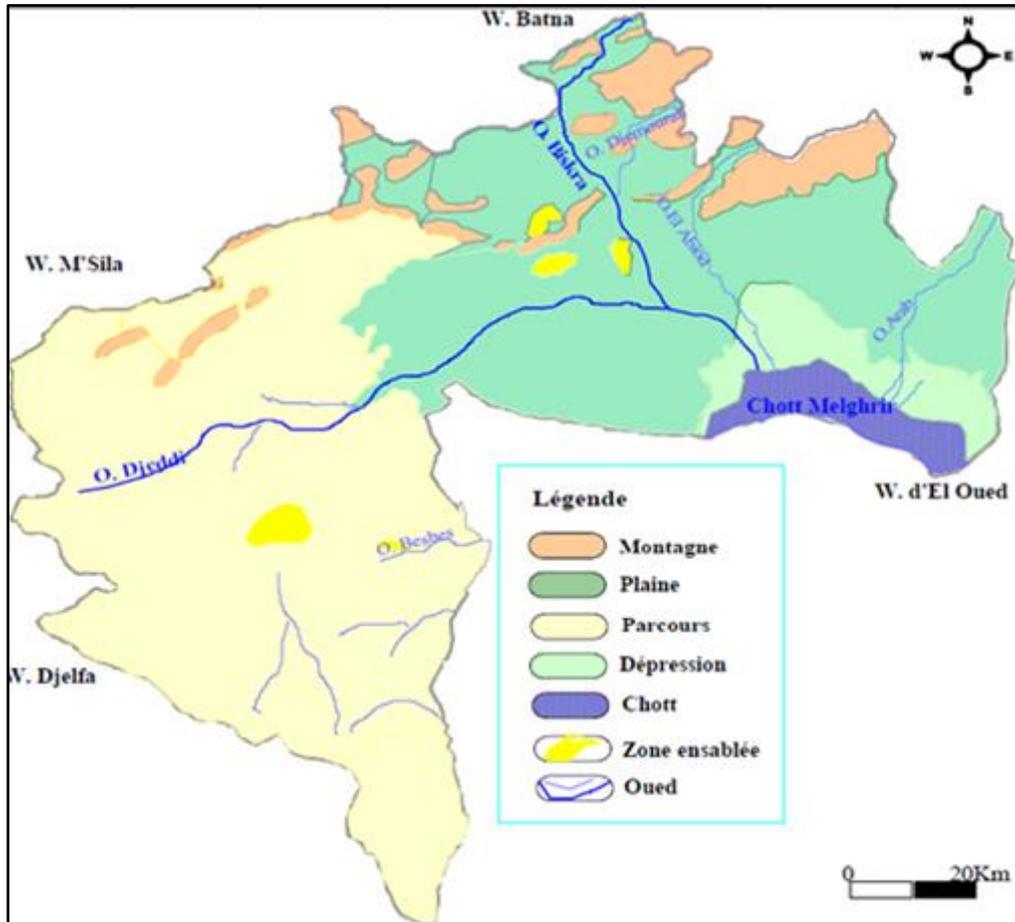


Figure 08 : Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011)

II-4- Le réseau hydrographique

L'ensemble des oueds (figure 09) de la région fait partie du grand bassin versant Saharien du chott Melghir est principalement alimenté par les oueds suivant:

- Oued Djeddi

C'est l'oued le plus important dépasse légèrement 500 km de longueur, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 9130 Km². Oued Djeddi reçoit une quinzaine d'affluents sur sa rive nord entre Laghouat (altitude 752 m) et Ouled Djellal (156 km) (Demnati F, 2013). Il est collecter les eaux de ruissellement du flanc Sud de l'Atlas Saharien et termine sa course dans le chott Melghir.

▪ Oued Biskra

Ce réseau hydrographique est formé par les deux grands oueds, Oued El Hai et Abdi sont très importants, Leurs eaux s'écoulent sur le versant sud du massif des Aurès (Ould Baba Sy, 2005). Cet Oued a formé une vallée alluviale qui recèle une importante nappe d'inféro-flux actuellement exploitée (Sedrati, 2011).

▪ Oued El Arab

Cet Oued couvre la partie orientale des Aurès, avec une longueur d'environ 150 km de son origine jusqu'à son exutoire dans la zone dépressionnaire du chott Melghir. Il prend son origine des monts « Djebel Aidel » vers 2100 m d'altitude (Ould Baba Sy, 2005).

▪ Oued Abiod

Il est caractérisé par une courte longueur d'environ 156 km, forte pente et un profil irrégulier. Prenant son origine vers 1900 m d'altitude (Ballais, 2010). Son cours d'eau est dompté car celui-ci termine sa source dans un barrage appelé « Foum El Gherza » et à partir de là sont irriguées les Oasis des Ziban : Sidi Okba et Sériana.

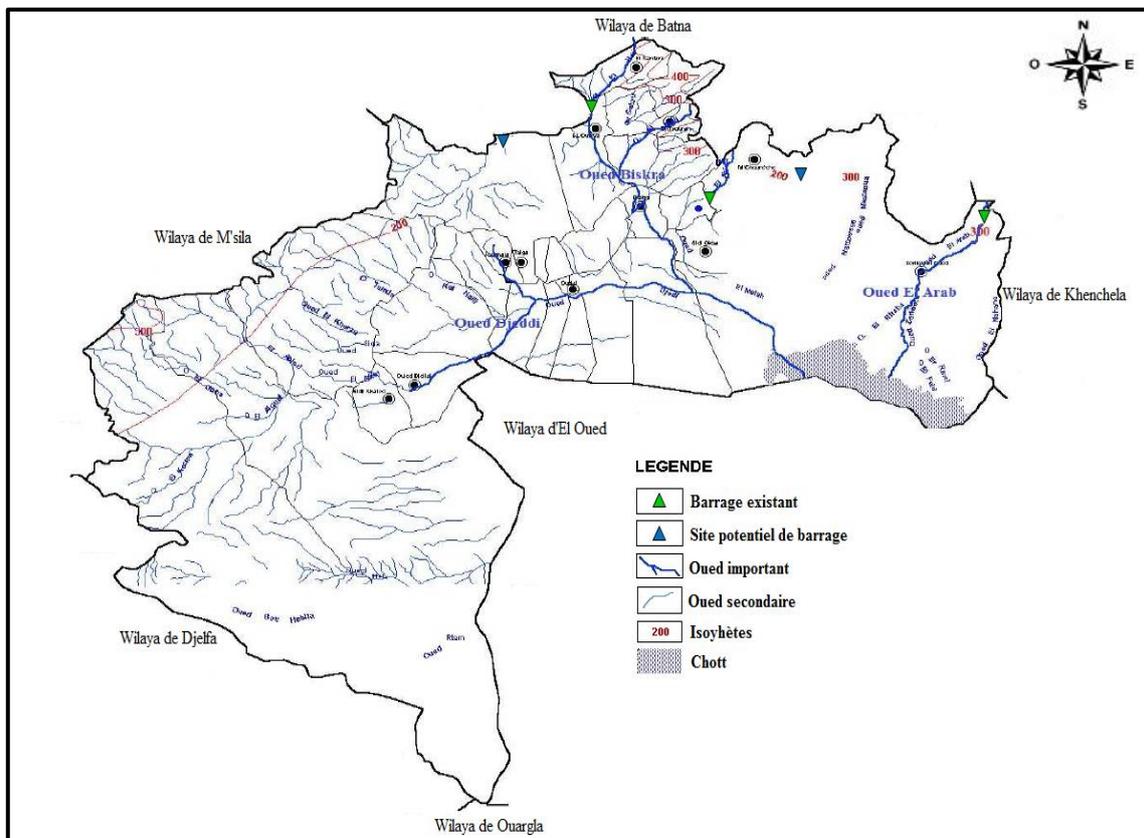


Figure 09 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (D'après ANAT, 2014)

II-5- Pédologie

Les sols de la Wilaya de Biskra sont en général hétérogènes mais ils sont constitués des mêmes catégories rencontrées dans l'ensemble des régions arides de l'Algérie (Halilat, 1998).

D'après Masmoudi (2012), les principales classes des sols de la région de Biskra sont les classes des sols peu évolués, halomorphes et calci-magnésiques, à l'Est les sols sont généralement riches en argile et en calcaire par contre à l'Ouest les sols sont gypseux et/ou calcaires.

II-6- Végétation

La végétation naturelle est fortement influencée en grande partie par les conditions hydrologiques, les conditions physiques des sols, la géomorphologie, la topographie et l'existence des ressources en eau qui favorisent le développement de la végétation.

Dans les milieux cultivés, les plus grandes superficies sont occupées par les céréales avec 47 058 ha, la phœniciculture avec 41 336 ha et le maraîchage avec une superficie de 12 754 ha. Les autres cultures occupent des superficies plus ou moins importantes comme les fourrages, l'olivier et les arbres fruitiers (Mehaoua, 2014).

II-7- Contexte climatique

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (Ozenda, 1991).

Les paramètres climatiques jouent un rôle considérable pour la disponibilité de la ressource d'eau dans les zones arides. Le renouvellement de cette ressource soit superficielle ou bien souterraine dépend des précipitations qui sont influencées par d'autres facteurs climatiques.

Pour illustrer ce rôle et connaître les caractéristiques climatiques de notre région d'étude, nous avons collecté les données relatives à la pluviométrie, température, humidité de l'air ainsi que d'autres, de la station météorologique de Biskra, située au niveau de l'aéroport.

II-7-1- Les stations météorologiques

La station météorologique de Biskra (ONM) est la seule station existante qui fonctionne depuis 1913 et est donc représentative du contexte d'étude. Toutefois les enregistrements ne sont disponibles qu'à partir de 1967.

Il est à noter l'existence dans la région de Biskra, de stations pluviométriques relevant de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), antenne de Biskra. Ces stations ne fournissent que les données de pluviométrie et par conséquent n'ont pas été utilisées dans cette section.

La localisation de cette station est montrée dans le [tableau 04](#).

Tableau 04 : Coordonnées de la station météorologique de Biskra

Station	Période d'observation	Coordonnée		Altitudes Z	Code de la station
		Longitude X	Latitude Y		
Biskra	1967 à 2010	778.27 Km	171.54 Km	87 m	605250

Source ([ONM Biskra, 2015](#))

II-7-2- Etude des paramètres climatiques

II-7-2-1- Les précipitations

Pour la réalisation d'une étude climatique, la précipitation demeure un facteur primordial, et caractérisées par de fortes irrégularités dans les régions arides et semi-arides ([Chabour, 2006](#)).

Les précipitations agissent directement sur l'écoulement des cours d'eau. Elles influencent aussi sur l'infiltration, l'érosion des sols et le transport solide. Pour mieux comprendre ce paramètre, nous allons, étudier les variations de la moyenne mensuelle des précipitations.

Sur la base des données enregistrées à la station de l'ONM Biskra. Les précipitations moyennes mensuelles sont données dans le [tableau 05](#) suivant.

Tableau 05 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1967-2010)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Précipitations (mm)	16,4	9,4	13,9	12,9	11,6	4,8	1,5	4,7	20,8	15,4	17,8	9,5	138,7

Source (ONM Biskra, 2015)

La lecture de ce tableau indique que le climat de la région étudiée est caractérisé par l'irrégularité des pluies entre les mois. Les valeurs du tableau 5 ont été mises en graphe dans la [figure 10](#).

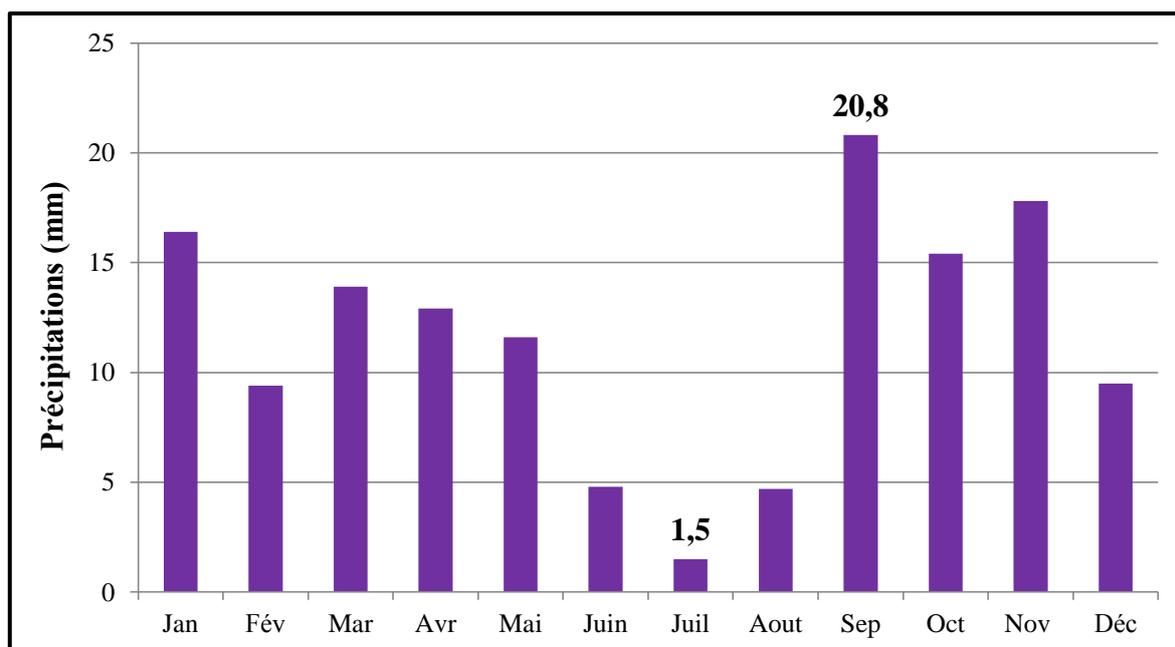


Figure 10 : Précipitations moyennes mensuelles dans la région de Biskra (période 1967-2010)

L'examen de [la figure 10](#), montre un régime pluviométrique caractérisé par un seul max dans l'année. La faiblesse des précipitations est bien montrée durant cette période, caractérisée par une moyenne interannuelle de 138,7mm. En effet, la pluviosité moyenne la plus élevée est enregistrée durant le mois de septembre avec 20,8 mm. Les mois de juin, juillet et août reçoivent des précipitations faibles qui sont respectivement 4,8 mm, 1,5 mm et 4,7 mm.

Selon la carte des précipitations d'Algérie établie par l'ANRH (1993) ([figure 11](#)), la zone qui englobe Biskra, Branis, Sidi Okba, Ain Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et sidi Khaled, est caractérisée par des précipitations comprise entre 100 et 200 mm.

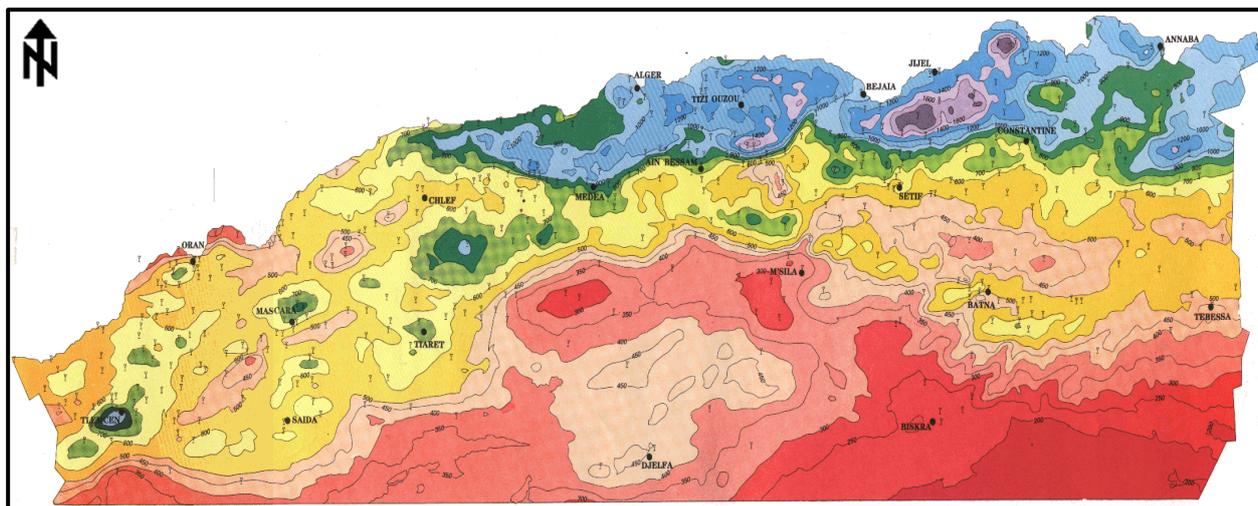


Figure 11 : Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord (source : ANRH, 1993)

II-7-2-2- Les températures

Le régime thermique moyennes annuelles et mensuelles par leurs variations influencent les phénomènes biologiques, tel que l'évaporation et la transpiration. Elles conditionnent le déficit ou l'excédent, qu'il soit annuel ou saisonnier (Sedrati, 2011).

Les valeurs des températures mensuelles (maximales, minimales et moyennes) de la région étudiée pour la période (1967-2010), sont résumées dans le **tableau 06**.

Tableau 06 : Températures moyennes mensuelles, (maximales, moyennes et minimales) pour la station étudiée (période 1967-2010)

Valeurs moyennes	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
T° max °C	16.8	18.9	22.2	26.1	31.0	36.7	40.1	39.2	34.0	28.2	21.5	17.3	27,67
T° moy °C	11.6	13.5	16.7	20.3	25.5	30.8	33.9	33.4	28.5	22.5	16.2	14.9	22,32
T° min °C	6.9	8.3	11.1	14.5	19.3	24.1	27.2	27.2	22.9	17.5	11.7	7.9	16,55

Source (ONM Biskra, 2015)

La lecture du **tableau 06** permet de constater que la saison chaude s'étend de mai à octobre (T° moy °C en gras). Au cours de cette période, les températures moyennes mensuelles sont

supérieures à la moyenne annuelle **22,32 °C**, et pour la saison froide du mois de novembre jusqu'au mois avril, elles sont inférieures à la température moyenne annuelle. Ce qui permet de diviser l'année en deux périodes: une période froide et une période chaude, et met en évidence la succession des deux périodes.

Les valeurs des températures du **tableau 06** ont été traduites en **figure 12**

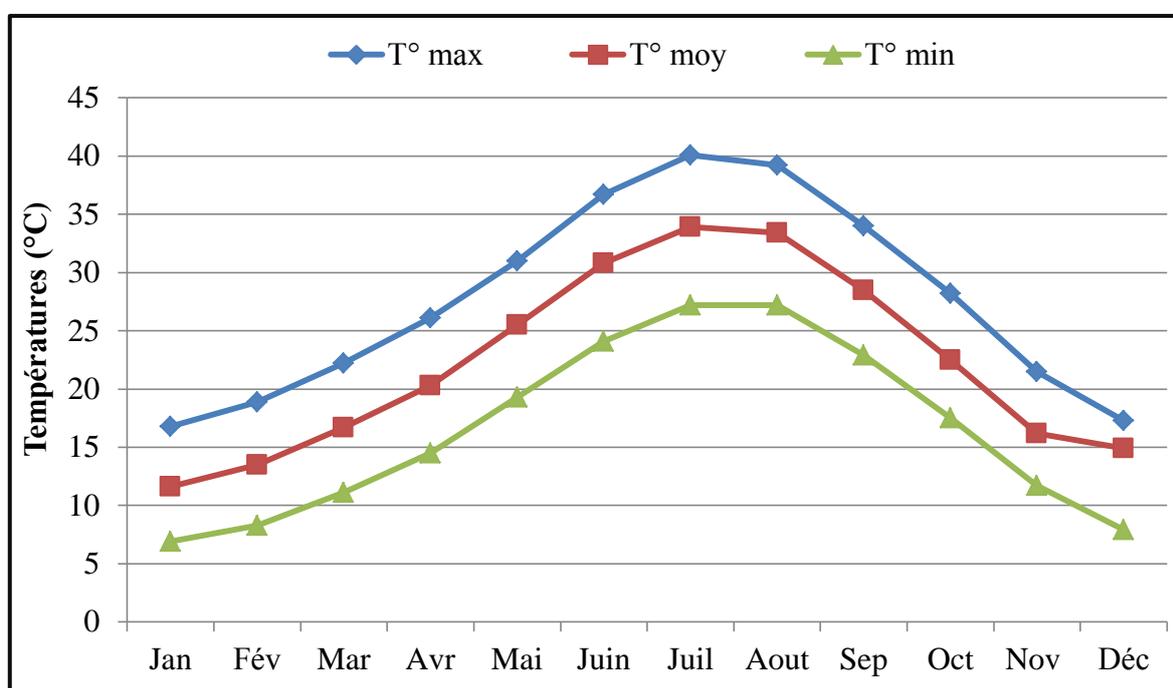


Figure 12 : Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales) enregistrées à la station étudiée pour la période 1967-2010

La **figure 12** montre que la plus faible valeur des températures minimales moyennes mensuelles à la station de Biskra est de **6,9 °C** enregistrée au mois de janvier (mois le plus froid), quant à la plus importante, elle est de **40,1 °C** enregistrée au mois de juillet (mois le plus chaud).

II-7-2-3- Les vents

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, Il est le plus caractéristique du climat. Il est caractérisé par sa vitesse et sa direction ([Chabour, 2006](#)). Les moyennes mensuelles de vitesse de vent sont reportées dans le **tableau 07**.

Tableau 07 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Biskra pour la période 1967-2010

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Vitesse du vent (m/s)	5,7	5	4,4	3,9	3,4	3,1	2,7	3	4	4,8	5,5	5,9	4,28

Source (ONM Biskra, 2015)

La vitesse moyenne mensuelle des vents la plus forte, soit **5,9 m/s** est enregistrée durant le mois de décembre et la plus faible soit **2,7 m/s** est enregistrée durant le mois de juillet.

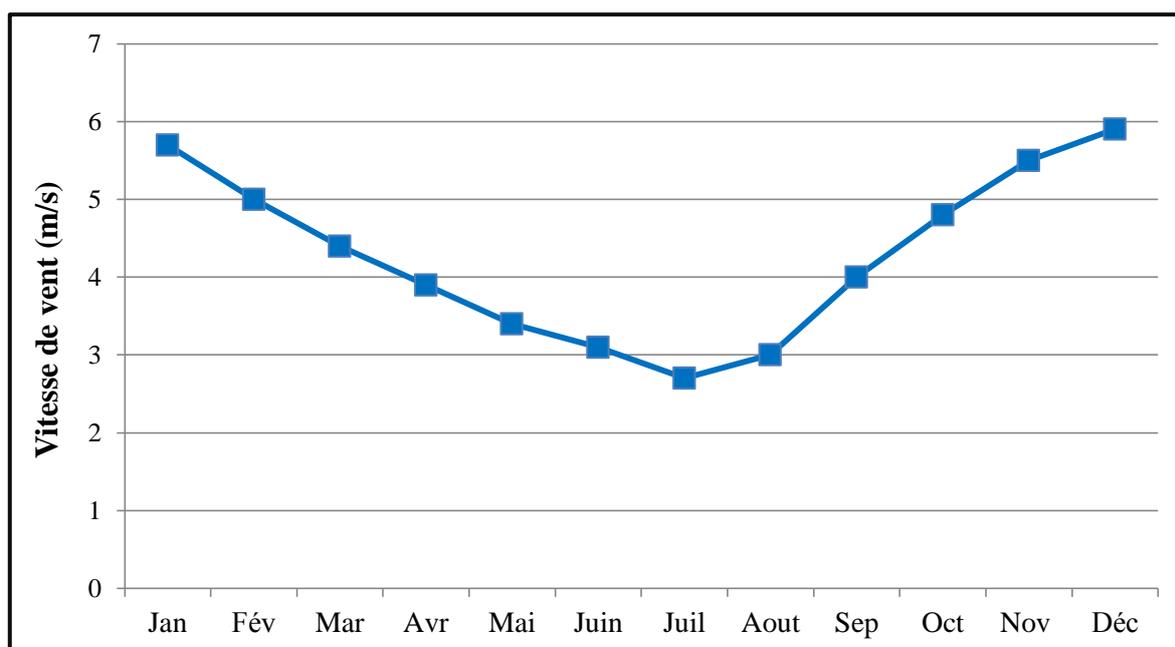


Figure 13 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station pour la période 1967-2010

L'analyse de la **figure 13** montre que la vitesse de vent la plus élevée est enregistrée pendant la saison d'hiver. Cette vitesse diminue durant l'été et augmente progressivement jusqu'à la plus grande valeur durant le mois de décembre (5,9 m/s).

Dans la région de Biskra, le Sirocco et les vents de sable sont ceux les plus fréquents. Selon **Benbouz (1994)**, le vent est fréquent durant toute l'année. En hiver, on enregistre la prédominance des vents froids et humides venant des hauts plateaux et du nord-ouest, les vents issus du sud sont les plus secs et froids. Par contre, en été les vents sud et du sud-est sont chauds et secs.

II-7-2-4- Humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est la mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

Selon la station météorologique de l'ONM Biskra, l'humidité relative moyenne de l'air est rapportée au **tableau 08** suivant

Tableau 08 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air enregistrées à la station de Biskra pour la période 1967-2010

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Humidité relative(%)	57	50	44	39	34	31	27	30	40	47	57	59	42,92

Source (ONM Biskra, 2015)

L'examen de **tableau 08** montre que l'humidité relative moyenne mensuelle pour la période 1967-2010, fluctue entre **59%** au mois de décembre et **27%** au mois de Juillet. Les mois les plus humides sont Novembre, Décembre, Janvier et Février, avec respectivement un taux de 57 %, 59%, 57% et 50%. L'humidité relative traduit dans la **figure 14**.

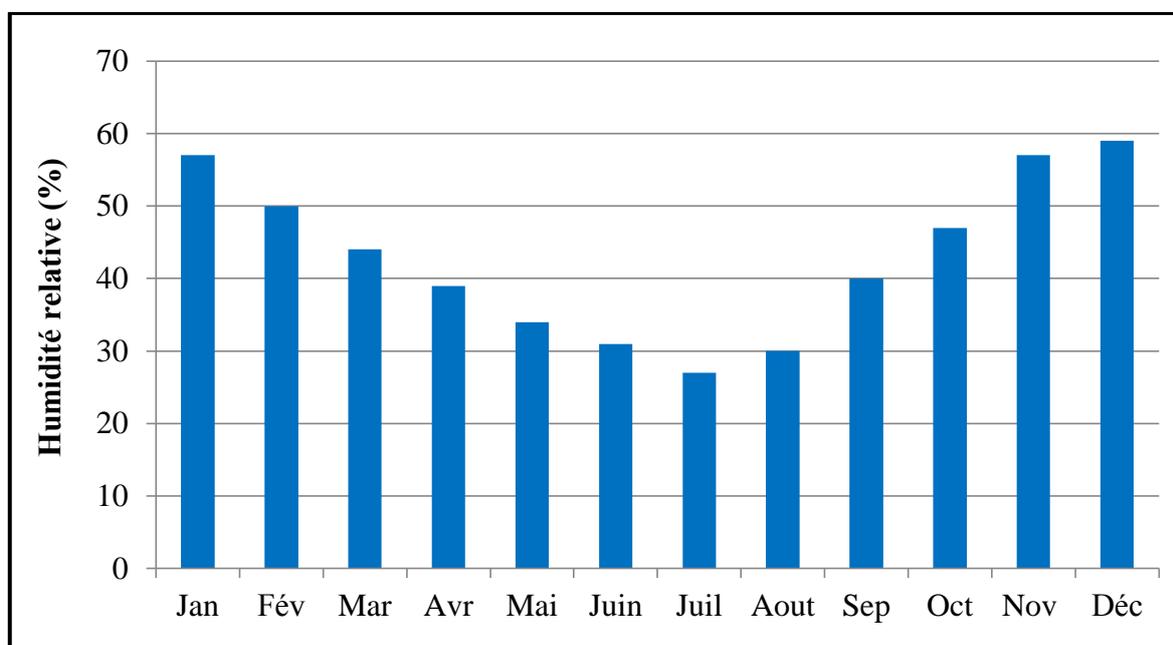


Figure 14 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période 1967-2010

II-7-2-5- L'évaporation

L'évaporation est le paramètre le plus important après les précipitations dans le bilan hydrologique. Elle constitue le transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et des sols. Elle est influencée par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'eau et de l'air, le rayonnement solaire, la pression atmosphérique et la nature du sol.

L'évaporation pour chaque mois de l'année de la période d'observation est donnée au **tableau 09**.

Tableau 09 : Moyennes mensuelles de l'évaporation potentielle enregistrées à la station pour la période (1967-2010)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Evaporation (mm)	129	154	219	278	345	401	449	421	300	218	154	124	3192

Source (ONM Biskra, 2015)

L'évaporation dans la région d'étude est très importante. Comme il est indiqué dans le **tableau 09**, une forte évaporation pendant le mois de Juillet avec **449** mm. Par contre elle est très faible au mois de Décembre avec **124** mm.

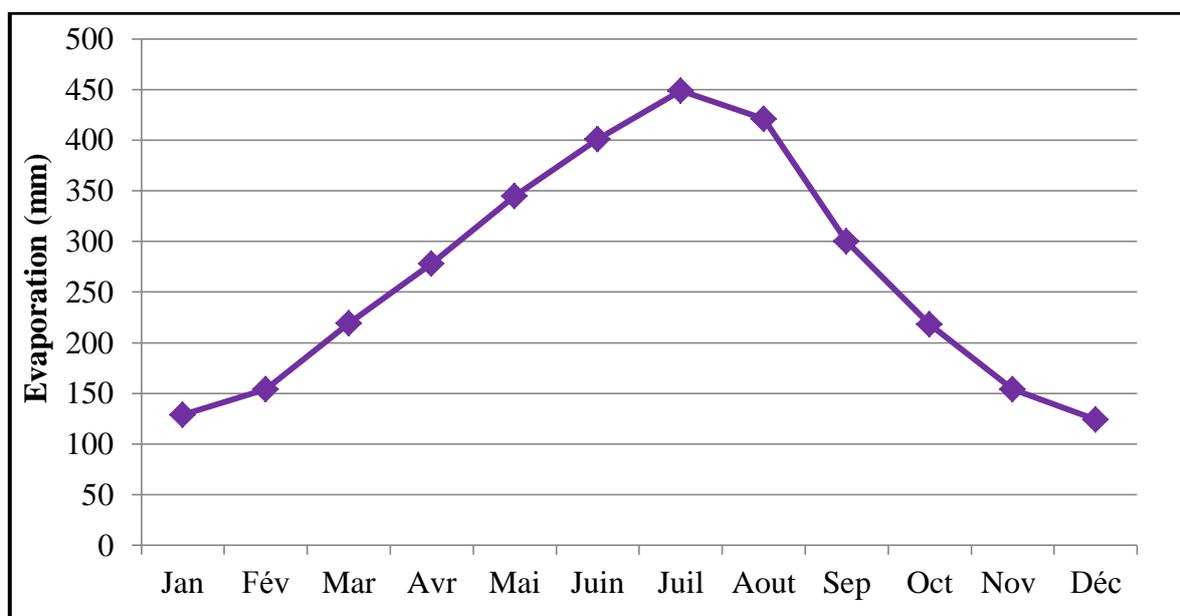


Figure 15 : Evaporation moyennes mensuelles dans la région de Biskra (période 1967-2010)

II-7-3- Le bilan hydrique

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau. Pour déterminer le bilan hydrique, nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite (1948) largement recommandée dans la littérature spécifique. Elle dépend des données disponibles températures (T), précipitations (P) et de la nature du climat de la région. Les principaux paramètres recherchés sont l'évapotranspiration réelle (ETR), l'excédent (Exc) ou infiltration efficace et le déficit agricole.

Concernant l'ETP, celle-ci étant considérée comme donnée d'entrée, est calculée selon la formule de Thornthwaite.

Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR) et du bilan hydrique

Le bilan hydrique a été établi en suivant la méthode classique de Thornthwaite. Le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) et de l'excédent (Exc), est effectué de la façon suivante:

Premier cas : si la pluie mensuelle **P** est supérieure à l'évapotranspiration potentielle **ETP** ($P > ETP$), alors **ETR = ETP** et la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la **RFU** jusqu'à son maximum (100 mm). Si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (**Exc**) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme d'un ruissellement.

Deuxième cas : si la pluie mensuelle **P** est inférieure à l'évapotranspiration potentielle **ETP** ($P < ETP$), alors **ETR = P + RFU**, jusqu'à égalisation avec **ETP**. Si la **RFU** est nulle, il va se produire un déficit agricole (**Da = ETP - ETR**). Ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Selon [Remenieras \(1976\)](#), l'un des points les plus délicats dans l'application de la méthode de Thornthwaite réside dans le choix de la hauteur maximale d'eau qui peut être accumulée en relation avec l'humidité du sol. Dans notre cas, la valeur de 100 mm recommandée par Thornthwaite pour les régions méditerranéennes ([Tanina et al, 2011](#)), peut être considérée comme étant le cas le plus favorable pour la région de Biskra, c'est-à-dire en cas de fortes pluies ininterrompues sur plusieurs jours (situation assez rare pour Biskra).

Comme on peut le constater à partir de [tableau 10](#) qui résume les résultats de calcul de l'ETR et de l'excédent hydrique, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration durant toute l'année ($P < ETP$). Pour une RFU supposée maximale pour la région de Biskra (conditions

climatiques très favorables) le bilan est négatif à partir du mois de mai. Un déficit agricole est observé sur 8 mois de l'année, soit les 2/3 de l'année. On peut en déduire des résultats plus dramatiques si la RFU était plus faible ou nulle.

Tableau 10 : Bilan hydrique à la station de l'ONM Biskra pour la période (1967-2010)

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	16,4	9,4	13,9	12,9	11,6	4,8	1,5	4,7	20,8	15,4	17,8	9,5
ETP (mm)	12,7	17,9	36,4	61,9	119,5	189,1	242,7	220,8	133,3	70,7	28,2	22,8
P-ETP	3,7	-8,5	-22,5	-49,0	-107,9	-184,3	-241,2	-216,1	-112,5	-55,3	-10,4	-13,3
RFU	100,0	91,5	69,0	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ETR (mm)	12,7	17,9	36,4	61,9	31,7	4,8	1,5	4,7	20,8	15,4	17,8	9,5
Δ Reserve	0,0	-8,5	-22,5	-49,0	-20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Exc	3,7	0,0	0,0	0,0								
Da					87,9	184,3	241,2	216,1	112,5	55,3	10,4	13,3

II-7-4- Indices climatiques

II-7-4-1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Ce diagramme ombrothermique tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gaussen et Bagnouls, 1952). Un mois donné est considéré comme sec quand $P < 2T$, c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations). Par contre quand $P > 2T$, le mois est considéré comme humide.

Ce diagramme superpose les deux courbes de températures et de précipitations pour les 12 mois de l'année et selon l'équation $P = 2T$, ce qui permet de définir une aire Ombrothermique. Plus l'aire est importante et plus la saison est sèche (valeur de l'intégrale). Pour repérer les mois "secs" et "humides" et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une région, on trace le diagramme Ombrothermique (figure 16).

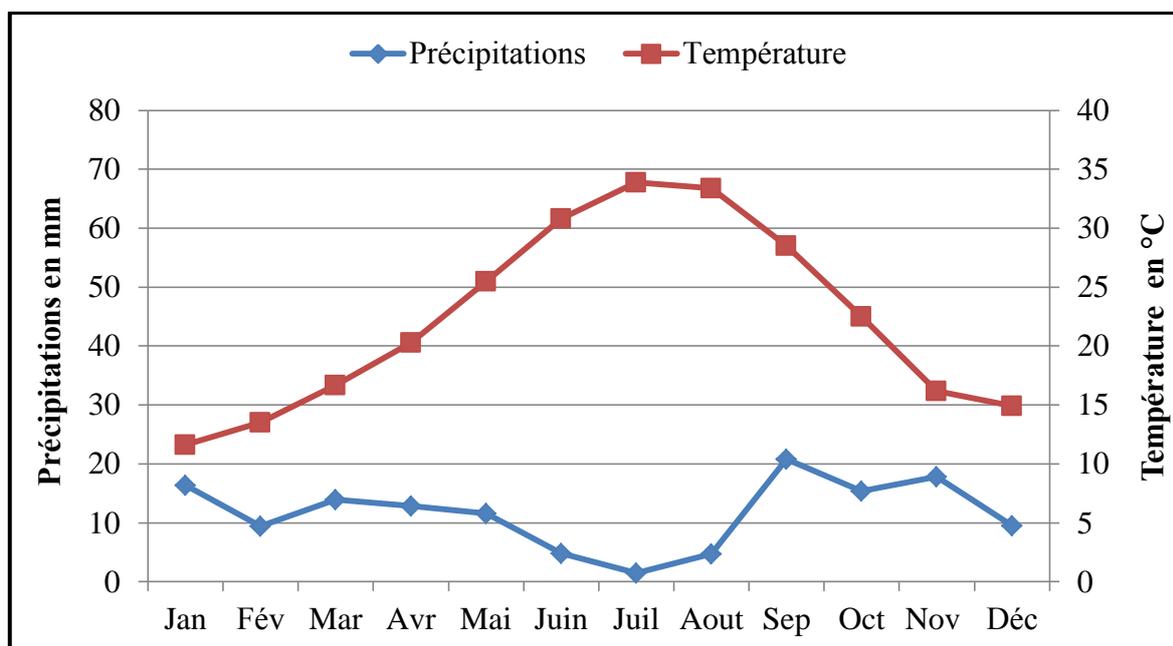


Figure 16 : Diagramme ombrothermique de la région de Biskra pour la période 1967-2010

D'après le diagramme Ombrothermique donné dans la [figure 16](#), on peut dire que la région d'étude est soumise à une période sèche qui s'étale sur toute l'année, avec un maximum en juin, juillet et août.

II-7-4-2- Indice d'aridité de De Martonne

II-7-4-2-1- Définition de l'aridité

L'aridité est une caractéristique climatique d'une zone donnée. C'est la situation permanente de faibles précipitations annuelles ou saisonnières et le déficit très important de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle ([Lain, 2005](#)).

La détermination d'un milieu aride est difficile car une telle définition tient compte des notions diverses relevant de la climatologie, de la morphologie et de la biologie (surtout végétale) ([Le Houérou, 1995](#)).

II-7-4-2-2- Indice d'aridité annuelle de De Martonne

Le calcul d'un indice d'aridité, au même titre que la classification des climats, a toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une multitude d'indices et de formules, certaines basées sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques.

Le facteur de pluie de Lang (1915) définie par $I = P/T$, a été modifié par De Martonne en 1923, de manière à éviter d'avoir des valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 °C (De Martonne, 1926 in Gerard, 1999).

Noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Il est calculé par la formule (1) suivante:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

Où

I : Indice d'aridité de De Martonne

P: Précipitation moyenne annuelle (mm)

T: Température moyenne annuelle (°C)

Il a des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et des valeurs d'autant plus faibles que le climat est plus sec. De Martonne a ainsi proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice qui sont donnés dans le **tableau 11**.

Tableau 11 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice d'aridité de De Martonne

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	hyperaride
$5 < I < 10$	aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 55$	humide

Source (Gerard, 1999)

Les valeurs de l'indice calculées par la formule de De Martonne pour la station étudiée sont données dans le **tableau 12** suivant.

Tableau 12 : Indice de De Martonne annuel pour la station étudiée (période 1967-2010)

Station	Précipitation annuelle (mm)	Température moyenne (°C)	Indice
ONM Biskra	138,7	22,32	4,29

Comme le montre le **tableau 12**, la valeur de I calculée pour la station est 4,29 comprise entre 0 et 5, ce qui caractérise un climat hyperaride et cela en se référant à la classification donnée par De Martonne (**tableau 11**).

II-7-4-2-3- Indice d'aridité mensuel de De Martonne

En plus de l'indice d'aridité annuel, De Martonne a également proposé une variante de l'indice d'aridité pour caractériser le climat à l'échelle mensuelle. Dans ce cas, les précipitations prises en compte sont celles de mois considéré, multipliées par 12 (en référence à la formule 1), afin d'aboutir à une valeur d'indice comparable à celle de l'indice annuel.

$$i = \frac{12 p}{(t+10)} \quad (2)$$

Avec

i : l'indice d'aridité mensuel

p : précipitation du mois considérée (mm).

t : température du mois considérée (°C).

Pour déterminer les conditions de l'aridité de chaque mois dans la zone d'étude, on utilise l'indice d'aridité mensuel de De Martonne, calculé à l'aide de la formule (2), les valeurs trouvées sont consignées dans le **tableau 13**.

Tableau 13 : Indice d'aridité mensuel de De Martonne pour la station étudiée (période 1967-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
p (mm)	16,4	9,4	13,9	12,9	11,6	4,8	1,5	4,7	20,8	15,4	17,8	9,5
t moy (°C)	11,6	13,5	16,7	20,3	25,5	30,8	33,9	33,4	28,5	22,5	16,2	14,9
i	9,11	4,8	6,25	5,11	3,92	1,41	0,41	1,30	6,48	5,69	8,15	4,58

Selon les valeurs de l'indice d'aridité mensuel (**tableau 13**), et la classification de De Martonne donnée dans le **tableau 11**, on peut répartir les mois de l'année dans les classes climatiques suivantes :

- Les mois de janvier, mars, avril, septembre, octobre et novembre sont considérés comme Arides,
- tandis que le mois de février, mai, juin, juillet, août et décembre sont classés comme Hyperaride.

II-8- Les ressources en eau

Les palmeraies des Zibans, se trouvent au-dessus d'un immense bassin hydrogéologique, particulièrement bien doté en formations perméables autorisant la circulation souterraine des eaux, les unes surmontées de terrains imperméables permettent l'existence des nappes captives, tandis que les autres, situées au sommet des dépôts sous couvertures étanches, peuvent recéler des nappes phréatiques.

Le bassin hydrogéologique de Biskra englobe :

- La vallée de l'oued Djeddi
- La région de Biskra
- La cuvette d'El Outaya

La lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent d'individualiser 4 unités aquifères principales :

- La nappe phréatique du Quaternaire
- La nappe des sables du Mio-Pliocène et Pontien
- La nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et Senonien
- La nappe des grés du Continental Intercalaire

La **figure 17** donne la répartition des points d'eau (forages et puits) sur l'ensemble du territoire de la région de Biskra (ANRH, 2003)

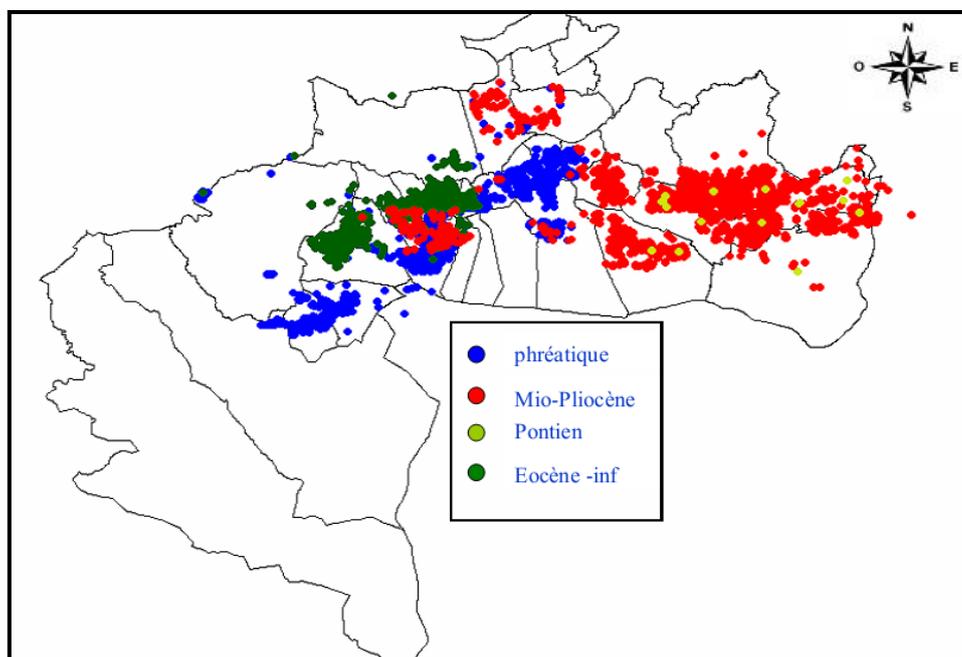


Figure 17 : Répartition des points d'eau dans la région de Biskra

II-8-1- Les ressources souterraines

Les ressources hydriques souterraines dans la wilaya sont constituées principalement par quatre nappes ([Aouidane, 2008](#)).

II-8-1-1- La nappe phréatique

Elle est connue au niveau des palmeraies de Tolga et se localise souvent sur des accumulations alluvionnaires. On classe dans cette catégorie, la nappe de l'Oued de Biskra et celle de l'Oued Djedi. Elles doivent leur alimentation normalement à partir des précipitations et des eaux d'irrigation. La plupart des eaux de cette nappe sont salées ou très salées ([Bouammar, 2010](#)).

II-8-1-2- La nappe profonde du continental intercalaire

Cette nappe souvent appelée albienne, elle est caractérisée par une température très élevée. Elle est rarement exploitée, sauf à Ouled Djellal ou Sidi Khaled où les formations gréseuses de l'albien ou de barrémien sont touchées à une profondeur de 1500 à 2500 mètres. L'utilisation de cette eau nécessite un refroidissement ([Bouammar, 2010](#)).

II-8-1-3- La nappe calcaire

Cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Elle est plus exploitée à l'Ouest qu'à l'Est de Biskra, à cause des faibles profondeurs relatives de captage. A l'Ouest, la profondeur de 150 à plus de 200 m alors qu'à l'Est, la profondeur dépasse les 400 m. L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurement, la première à l'Ouest de Doucen et Ouled Djellal, la seconde au Nord de Tolga, entre Foughala et Bouchegroune et les versants de la plaine d'el Outaya. Cette nappe subit une baisse de niveau piézométrique suite à la surexploitation ([Bouammar, 2010](#)).

II-8-1-4- La nappe du Miopliocène

Cette nappe a une extension considérable. Elle est capturée par de nombreux forages dans les plaines. Son épaisseur reste faible sur les piémonts et augmente au milieu de la plaine. Son alimentation est assurée par les pluies exceptionnelles dans les zones d'affleurements. Les exutoires sont constitués par les sources (telle la source de Sebaa Mgataa) et par les vastes zones d'évaporation. Finalement, l'écoulement de cette nappe se fait du nord-ouest vers le sud-est pour déboucher au chott Melghir.

II-8-2- Ressources hydriques superficielles

La région de Biskra est drainée par une série d'Oueds dont les plus importants sont Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El-Arab et Oued El-Abiod. L'ensemble de ces oueds fait partie du grand bassin versant saharien du Chott Melghir (figure 18).

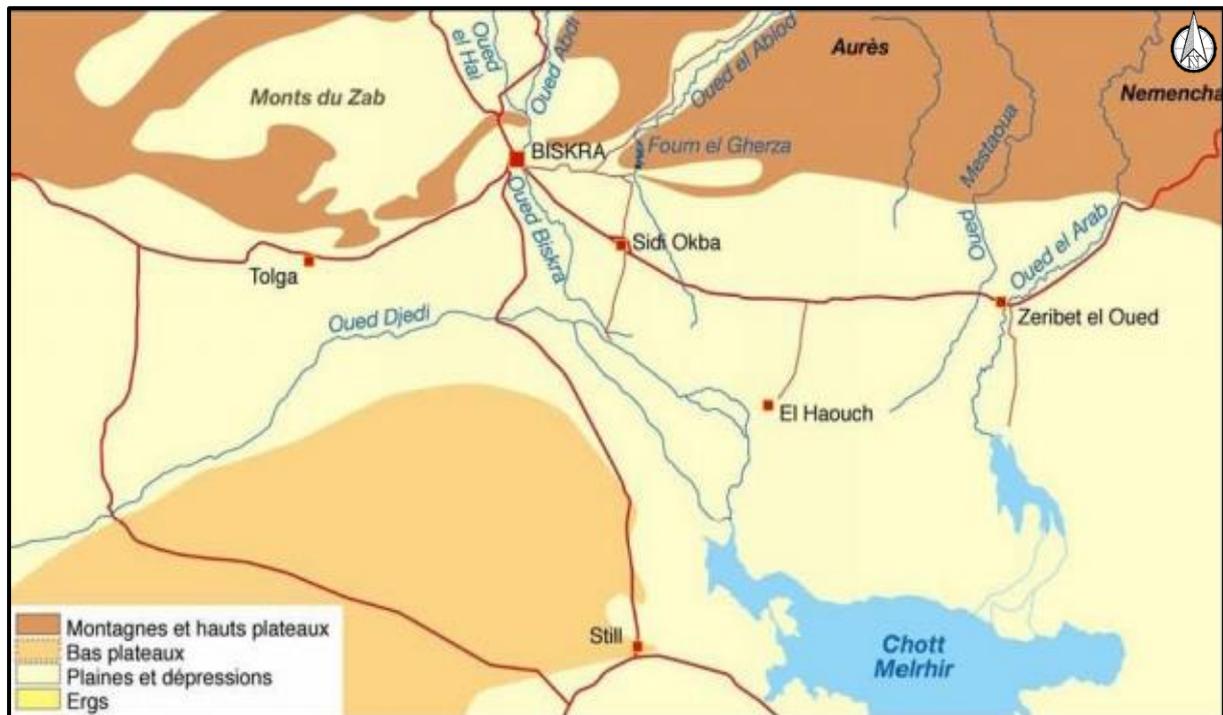


Figure 18 : Oueds de l'Atlas saharien (D'après Ballais, 2010)

Les apports seraient nettement plus importants puisque ceux des trois oueds les plus abondants dépassent les 55 millions de mètres cubes (Nadji et al., 1992):

- oued el Abiod à Fom el Gherza : 20,7 millions de m³ (moyenne sur 42 ans) ;
- oued el Haï à El Kantara : 18,4 millions de m³ (moyenne sur 16 ans) ;
- oued Abdi à Djemorah, au nord de Biskra : 16,5 millions de m³ (moyenne sur 21 ans)

Les ressources hydriques superficielles sont relativement peu importantes et peu exploitées (tableau 14). Elles sont irrégulières et par conséquent, leur utilisation se limite à la pratique de l'agriculture de crue qui reste marginale. Mais le taux d'exploitation des eaux souterraines est tellement important que le niveau des nappes se rabaisse et les agriculteurs sont contraints de creuser davantage à chaque fois.

Tableau 14 : Potentialités hydrauliques existantes en Hm³ (D'après DPAT, 2010)

Ressources hydriques	Souterraines	Superficielles	Total
Potentielles	798	22	820
Exploitées	763,74	12	775,74
Taux d'exploitation (%)	95,70	54,54	94,60

La région de Biskra jouit des réalisations hydriques suivantes

- Nombre de barrages : 02 (volume mobilisé : 58,625 Hm³)
- Nombres de nappes : 04
- Nombre d'oueds : 04
- Nombre de forages : 7861
- Nombre de puits : 3573

Le **tableau 15** suivant résume la part de l'eau utilisée par les différents secteurs :

Tableau 15 : Part de l'eau utilisée par les différents secteurs

Distribution	Volume Hm ³	%
AEP	77,54	10
Irrigation	679,20	89
Industrie	7,00	1
Total	763,74	100

Environ 89% des ressources hydriques sont utilisées par le secteur agricole et les industries existantes sont faiblement consommatrices d'eau. Ce qui ne crée pas pour l'instant une concurrence entre les différents utilisateurs de l'eau.

CHAPITRE III
L'AMENAGEMENT
T HYDRAULIQUE



III- L'aménagement hydraulique

Le barrage de Foug El Gherza, haut de 65 mètres, est le premier grand ouvrage établi en zone saharienne en Algérie (Gouskov, 1952). Il est inscrit au registre mondial des grands barrages. Il a été réalisé durant la période 1948 -1950 à l'exutoire de oued Abiod qui draine un bassin versant d'environ 1300 Km². Déjà en projet depuis 1920, le barrage Foug El Gherza est mis en eau en 1950, vidé en 1951 suite à une avarie du système de prise d'eau. Remis en eau, il s'avère non étanche.

Cet ouvrage d'art de deuxième génération (période 1945-1963) a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui a sévit dans la région durant plusieurs années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies. Il est d'un très grand intérêt économique dans la région puisqu' il permet d'irriguer plus de 300 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda, soit près de 1200 hectares.

III-1- Situation

Le barrage Foug-El-Gherza est situé à 18 km à l'est de Biskra au versant sud des Aurès dans la wilaya de Biskra, à 11 km de la ville de Sidi Okba (figure 19).

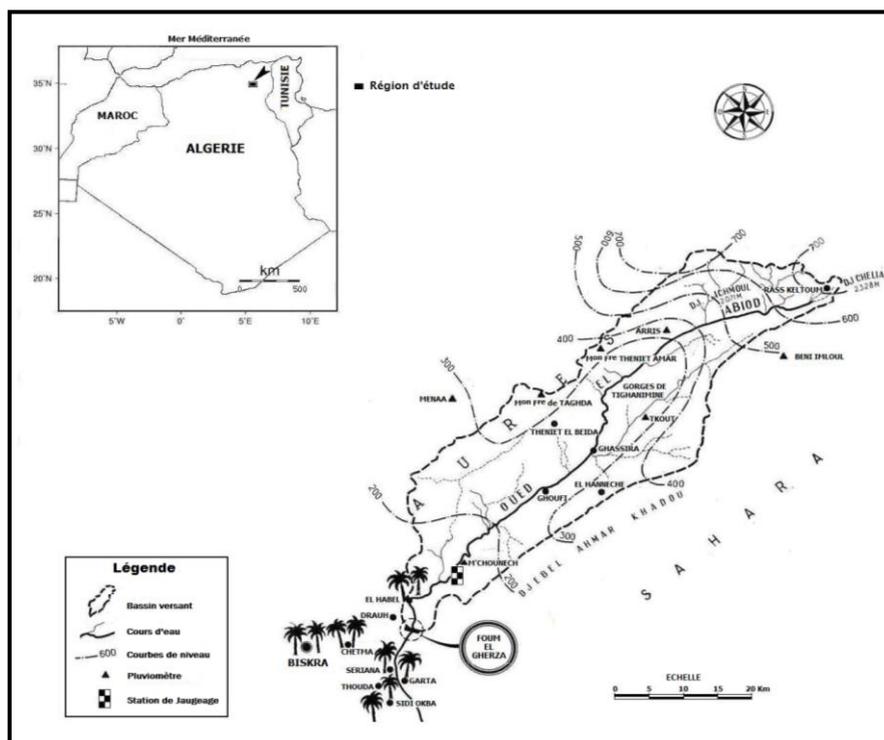


Figure 19 : Plan d'ensemble et situation du barrage de Foug El Gherza
(Adapté de Gouskov, 1952)

L'image Google Earth **ci-dessous** montre la forme canal du lac de la retenue de Foum El Gherza.

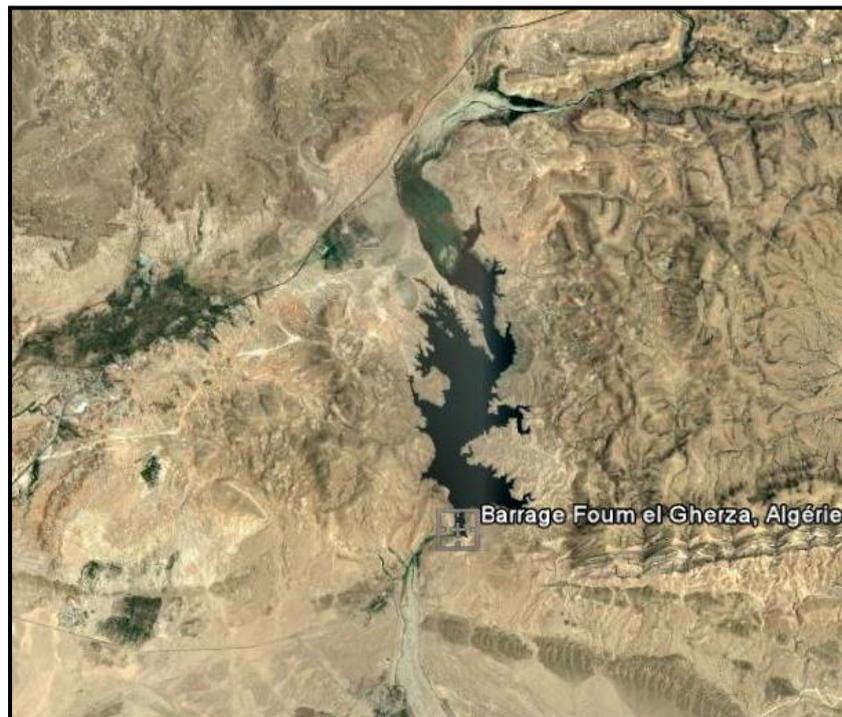


Figure 20 : Image Google Earth de la retenue du barrage de Foum El Gherza (Biskra)

III-2- But de la construction du barrage

Cet aménagement a pour principaux buts, la régularisation du régime de l'Oued Abiod durant les crues et l'irrigation des palmeraies de Sidi Okba, Seriana, Thouda, et Garta. D'autres cultures sont aussi concernées mais en second lieu : les céréales, le maraichage et les arbres fruitiers. Le barrage devait accessoirement fournir de l'électricité à Biskra.

III-3- Caractéristiques du barrage

Les principales caractéristique sont les suivantes :

III-3-1- Caractéristiques hydrologiques

- Oued : EL-ABIOD
- Crues Historiques : 10 Octobre 1966 - 29 Mars 2004 - 29-31 Octobre 2011
- Capacité initiale : 47,00 hm³
- Capacité d'après dernier levé (Juillet 2007) : 12,904 hm³
- Apport moyen annuel : 25,60 hm³/an (1950-2014)
- Envasement : 0,80 hm³/an
- Surface du bassin versant : 1 300 km²

III-3-2- Caractéristiques techniques

- Type : voute avec culée rive gauche
- Altitude de la retenue maximale : 198.1 m
- Surface de la retenue au maximum : 3.09 km²
- Capacité totale du réservoir: 43.00 hm³
- Hauteur maximale de barrage au-dessus du thalweg : 73 m
- Hauteur de la crête de barrage au dessus de crête du déversoir : 4.35 m
- Côte retenue normale (R.N) : 198,90 m
- Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E) : 203,25 m
- Longueur : 188 m
- Rayon de courbure : 80.00 m
- Capacité de la retenue initiale : 47.00h m³
- Évacuateur de crue : 2 déversoirs superficiels sur la crête des barrages : 2 × 18 m (seuil déversant à 198.9 m). Il permet d'évacuer un débit de 730 m³/s sous une charge de 4,35 m
- Vidange implantée à la cote 145.25 m qui permet d'évacuer un débit de 110 m³/s sous la retenue maximum
- Prise d'eau : 3 prises superposées situées dans une tour accolée à l'amont du plot central de la voute. Elles permettent de dériver un débit de 4 m³/s.
- Conduite forcée qui relie la tour de prise d'eau à l'usine hydro-électrique à 165 m de longueur et un diamètre intérieur de 0,95 m.
- La culée : la voute s'appuie à la rive gauche sur une culée du type barrage poids, la culée est rectiligne, sa longueur totale et de : 60,3 m

III-4- Problèmes auxquels est confronté le barrage :

L'utilisation des ressources en eau de la retenue du barrage de Foug El Gherza pour l'irrigation pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues. Construit durant la période coloniale (1947) pour l'irrigation des palmeraies et la production d'énergie électrique, le barrage de Foug El Gherza est confronté à divers problèmes entre autres :

- une réduction de la capacité du fait de l'envasement. Cette perte de capacité a été estimée à près de 45 % en 1986 (Kassoul et al., 1997). Sa capacité a été estimée en

1998 à $17.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, soit une perte en volume utile de près de 63 % (Bessenasse et al., 2003). Le comblement du barrage atteignait en 2006, 70 % de la capacité (Remini et al., 2009). En Novembre 2014 (figure 21), lors d'une visite au barrage, la capacité du barrage était à son plus bas niveau et ne dépassait guère les 100.000 m^3



Figure 21 : Etat critique du barrage de Fom El Gherza en Novembre 2014

- des fuites très importantes (figure 22) peuvent dépasser $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (Remini, 2005).



Figure 22 : Fuites d'eau du barrage de Fom El Gherza

Selon Arrus (1985) en 1960, les fuites sont de l'ordre de 7 à 12 Hm³. Les données de l'ANBT pour la période 1950-2014 mises en graphes sur la figure 23 le montre assez clairement.

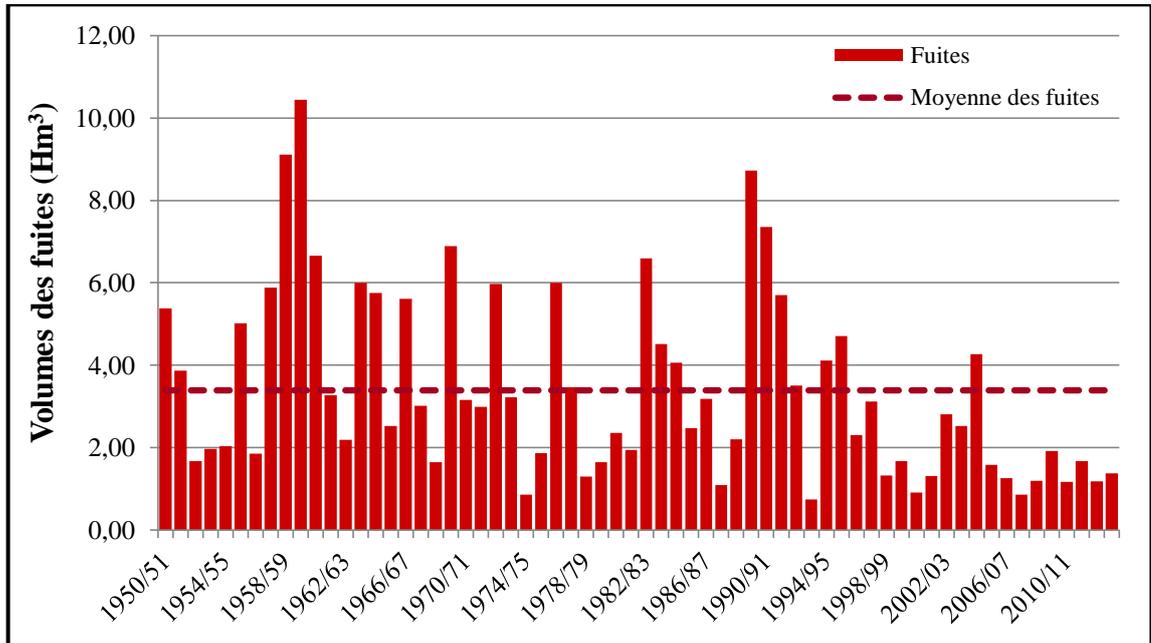


Figure 23 : Fuites d'eau au droit du barrage de Foug El Gherza

- une évaporation élevée dont la moyenne interannuelle dépasse largement l'ordre de 3 10⁶ m³/an pour un bon nombre d'années hydrologiques, comme l'illustre la figure 24 (Badsî, 2005)

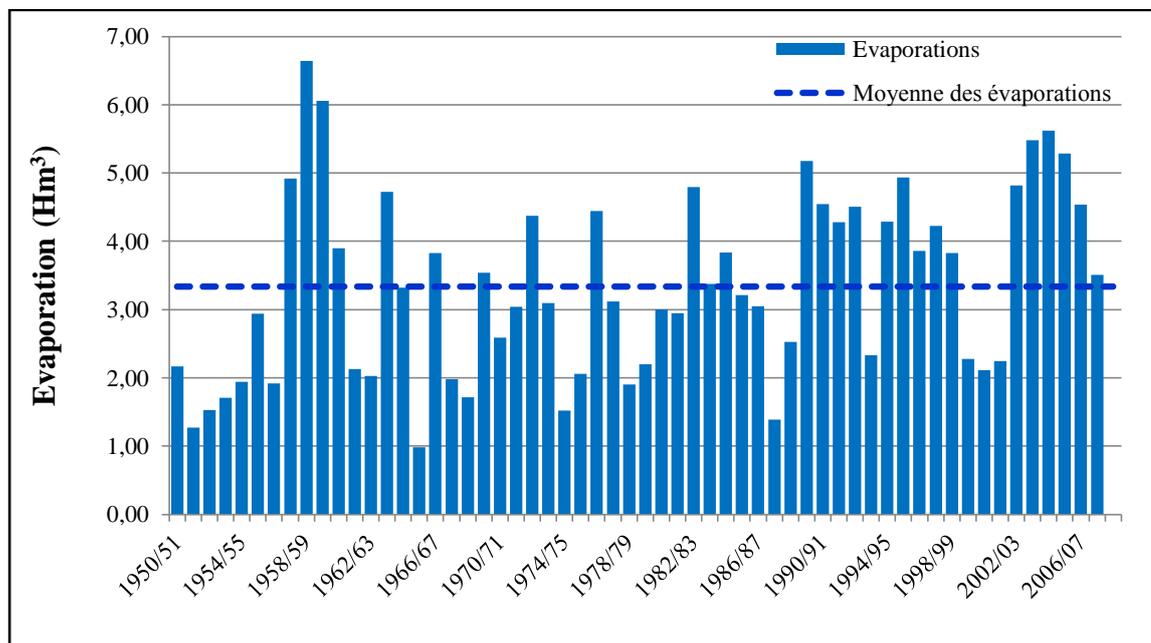


Figure 24 : Evaporations de la retenue du barrage de Foug El Gherza

Pour certaines années, les fuites au niveau des drains étaient récupérées pour le but d'irrigation.

En période de crue, le barrage déverse comme le montre la **figure 25**. Pour des crues plus importantes, en plus du fonctionnement de l'évacuateur de crues, l'opération de vidange s'effectue par manœuvre de la vanne de fond (**figure 26**).



Figure 25 : Evacuateur de crue du barrage de Fom El Gherza en plein déversement



Figure 26 : Déversement d'une crue accompagné d'une opération de vidange de fond

Les deux opérations déversement et vidange sont nécessaires pour la sécurité du barrage, le dévasement de la retenue, le soutien du débit d'étiage à l'aval du barrage, mais aussi pour entretenir de petites irrigations au fil de l'eau.

Face à ces problèmes, le barrage de Foum El Gherza n'a cessé de jouer un rôle non négligeable dans le développement de la région de Sdi Okba. Ceci est constaté à travers les graphiques secteurs de la **figure 27**. La faible part des volumes destinés à l'irrigation a été conséquente à une perte de capacité importante à partir des années 90.

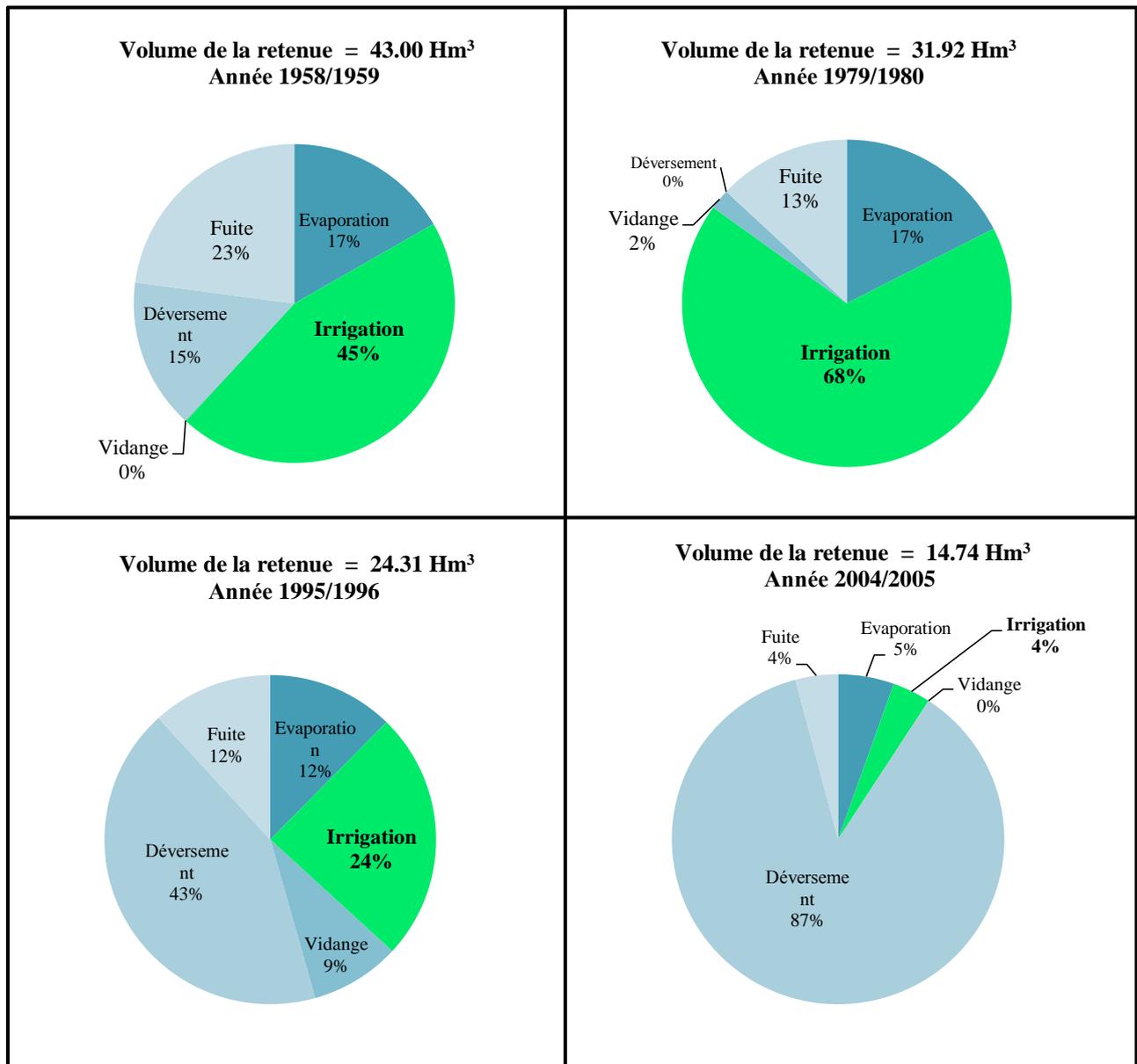


Figure 27 : Evolution de l'irrigation du périmètre de Sidi Okba par le barrage de Foum El Gherza

CHAPITRE IV
LE PERIMETRE
D'IRRIGATION
DE SIDI OKBA

IV-1- Situation de la zone d'étude

La commune de Sidi Okba située à l'Est de la wilaya de Biskra, sur la route nationale RN83 reliant Biskra et Zéribet El Oued, et distante de 18 Km du chef-lieu de la wilaya. Elle est limitée au Nord par M'chouneche et Chetma Au Sud par El Houche et Oumache A l'est par Ain naga et à l'ouest par Biskra et Chetma (figure 28).

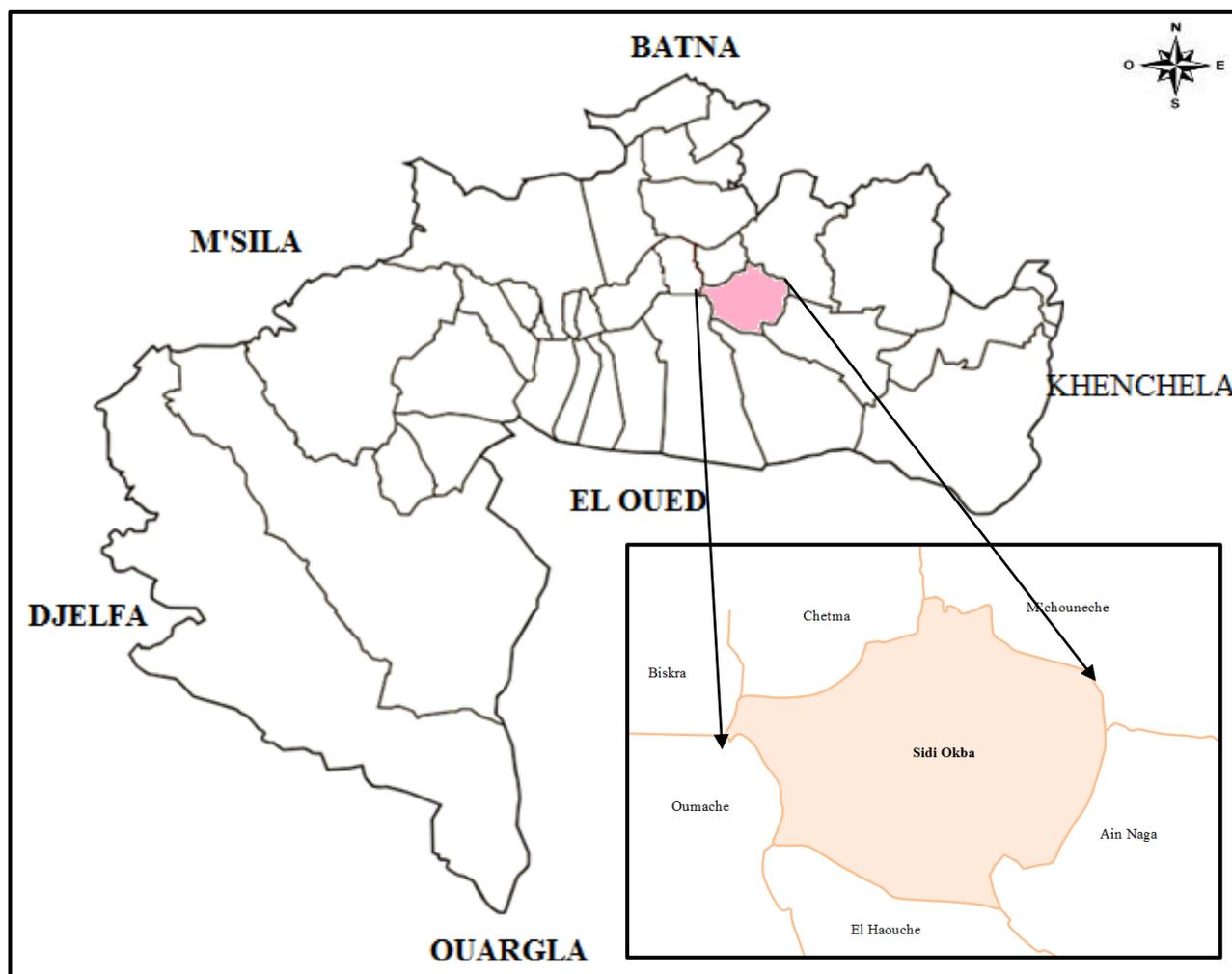


Figure 28 : Limite administrative de Sidi Okba

IV-2- La répartition spatiale des oasis

L'aire d'irrigation de Foug El Gherza, comprend les palmeraies de Sidi Okba à 55 mètres d'altitude, Seriana à 110 mètres d'altitude, Garta à 75 mètres d'altitude et Tehouda à 85 mètres d'altitude. La première est située à environ 10 km au sud du barrage de Foug El Gherza, les autres à des distances variant de 2 à 6 km (figure 29).

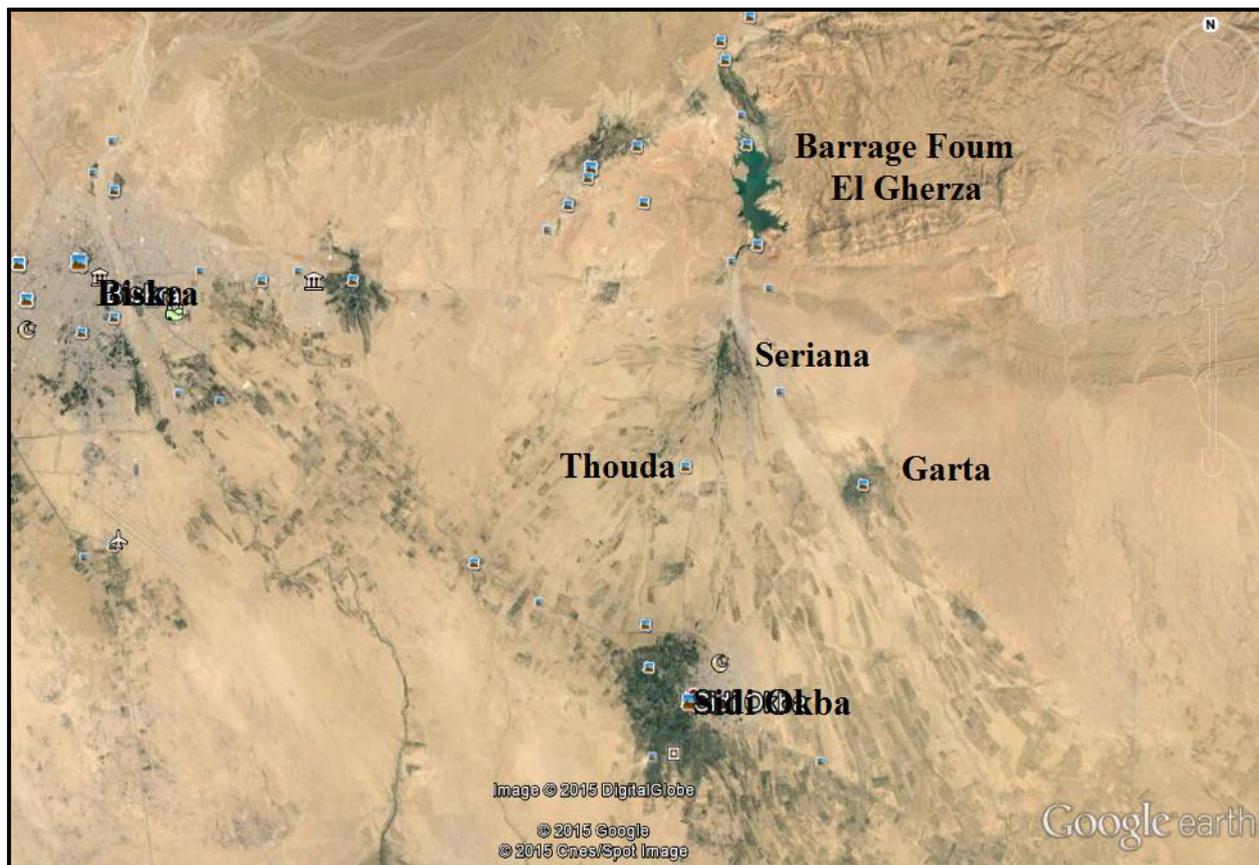


Figure 29 : Image google earth montrant la répartition spatiale des oasis irriguées par le barrage Foum El Gherza

IV-3- Les palmeraies de la région de Sidi Okba

La majorité des terrains du périmètre appartient au secteur privé représentant plus de 90 % du total des palmeraies de périmètre (Sethyco, 1978). Les terrains du périmètre sont de trois types :

- Les terrains melk, appartenant à des particuliers,
- Les terrains arch, appartenant à des collectivités,
- Les terrains domaniaux.

IV-3-1- Le système de plantation

La palmeraie de Sidi Okba est formée de parcelles, très irrégulières dans les parties centrales, proches du village et elles sont les plus anciennes. Sur la périphérie, les formations en rectangle beaucoup plus régulières, allongées suivant la pente (figure 30 et 31).



Figure 30 : Image Google Map montrant les parcelles irrégulières proche de la ville de Sidi Okba



Figure 31 : Image Google Map montrant les parcelles rectangulaires à la périphérie de la ville de Sidi Okba

IV-3-2- La densité de plantation

La densité de plantation dans cette région est liée au système de plantation. Elle est très irrégulière surtout dans les parties centrales, qui sont les plus anciennes. Cette densité est très élevée et atteint parfois jusqu'à 300 palmiers/hectare (Sethyco, 1978). Par contre sur la périphérie de la ville la répartition des palmiers est très régulière avec une densité de 100 à 120 palmiers/hectare (figure 32).

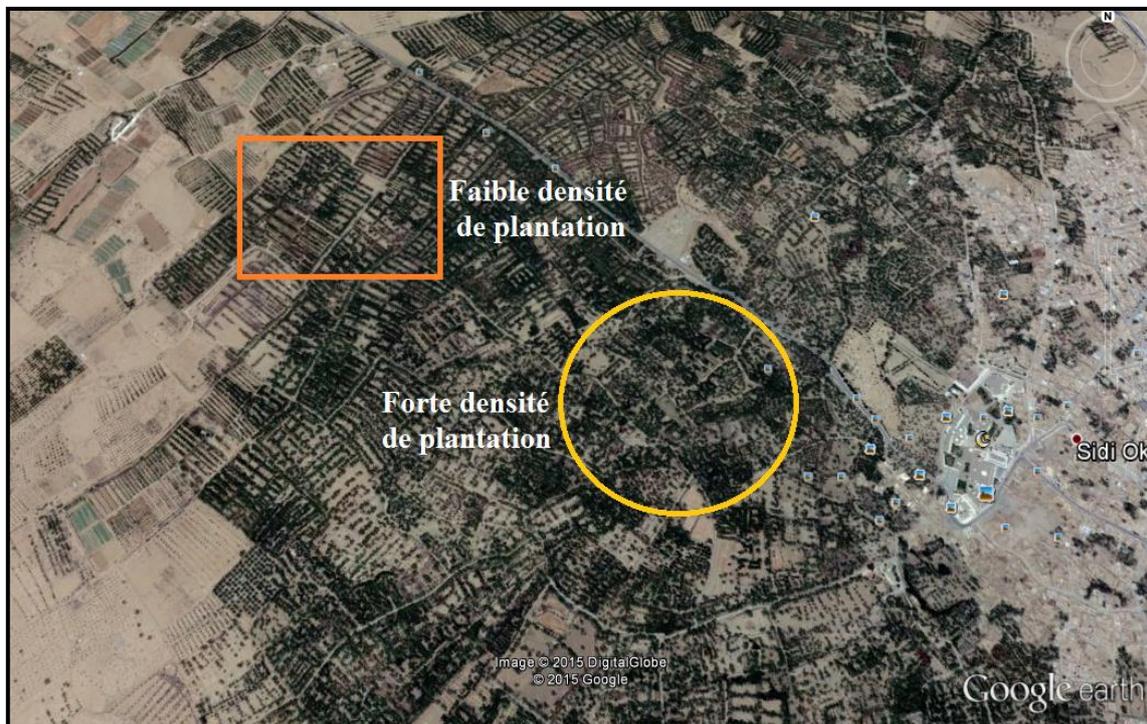


Figure 32: Image Google Earth montrant la densité de plantation dans l'oasis de Sidi Okba

IV-4- Géologie du périmètre

D'après l'étude de Neyrpic (1952) portant étude d'aménagement du périmètre d'irrigation de Foum El Gherza et Chebbah (2007), le périmètre de Sidi Okba est établi sur le cône très aplati de l'oued el Biraz, continuité de l'Oued El Abiod après le barrage de Foum El Gherza, on y trouve donc essentiellement des cailloutis et des alluvions quaternaires (figure 33).

Les roches mères des alluvions de l'oued el Biraz sont constituées en gros de 45% de marnes diverses, 45% de calcaire et 10% de grès ou sables. Le miocène supérieur est formé d'argiles rouges intercalées de bancs gypseux. L'étude effectuée par Neyrpic (1952) estime que les alluvions de l'oued el Biraz sont riches en éléments fins et contiennent du gypse.

La région de Sidi Okba se présente par une pente générale Nord-Sud de 5 à 9 m/km.

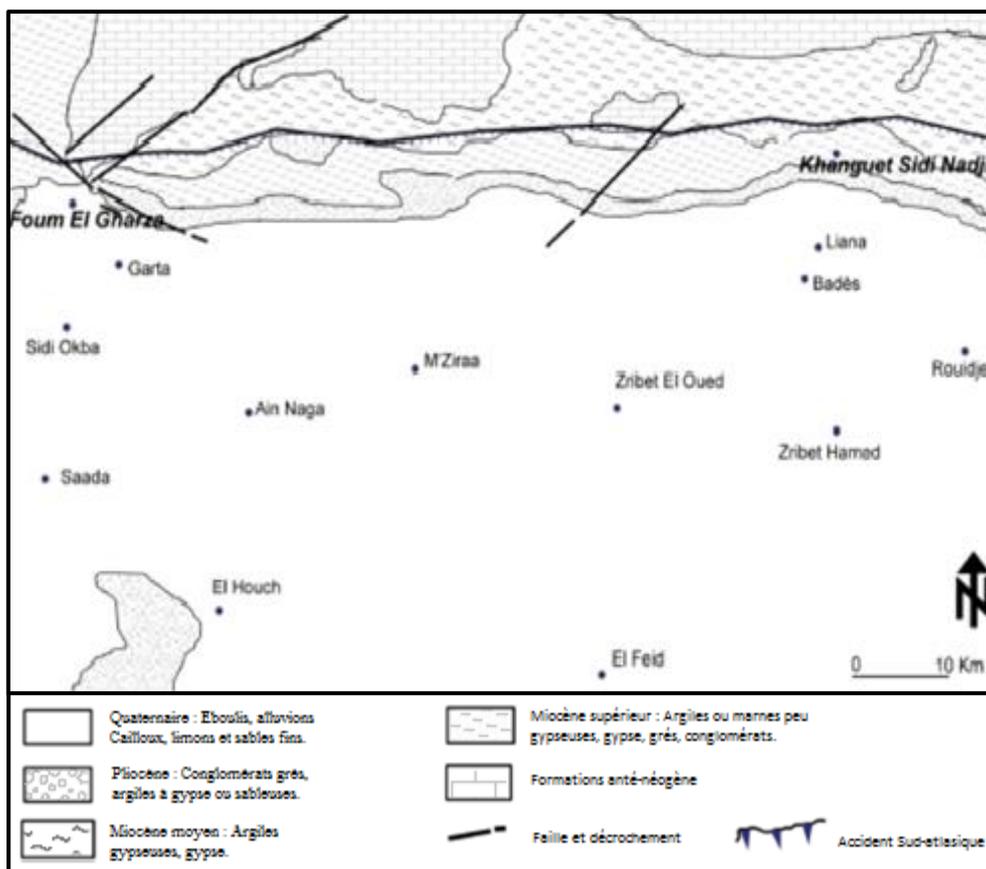


Figure 33 : Esquisse géologique de la chaîne de Rhélliss d'après les travaux inédits de [Gousskov in Chebbah \(2007\)](#)

IV-5- Les sols de la région de Sidi Okba

La description des sols de la région de Sidi Okba a fait l'objet de plusieurs études. On peut citer [Neyerpic \(1952\)](#), [Durand \(1954\)](#), [Ifagraria \(1966\)](#) et [Aidaoui \(1994\)](#). La description qui sera donnée dans cette partie est une synthèse des éléments de description rapportée dans ces travaux, dont principalement l'étude d'[Ifagraria \(1966\)](#) qui est la plus complète à notre avis.

IV-5-1- Nature des sols de la zone d'étude

La région étudiée est composée de 4 reliefs géographiques suivants :

- Les montagnes : caractérisées par un sol jeune formé de cailloux autochtones et de poussières éoliennes,
- Le pied des montagnes : occupé par le sol caillouteux
- Cours d'oueds
- Le périmètre de Sidi Okba est caractérisé par des sols argileux ou bien limons finement sableux.

IV-5-2-Caractéristique des sols de la zone d'étude

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques des sols du périmètre de Sidi Okba montre pour la plupart des sols une texture lourde, de type limoneux ou argileux. Une partie limitée de sols présente, au contraire, les caractéristiques des sols à texture équilibrée.

IV-5-2-1- La texture des sols

La plupart des sols du périmètre de Sidi Okba sont des argiles bordant à l'ouest, au sud et au sud-est. Ces sols lourds sont riches en calcaire (30 à 40%) et aussi en matière organique. Le chlorure de sodium dépasse rarement 1%.

Les sols limoneux finement sableux constituent une auréole autour du cône de l'oued el Biraz. Ces sols bien pourvus en matière organique, moins compacts que l'argile de Sidi Okba et dépourvus de chlorures ont une bonne aptitude culturale.

Dans le premier horizon on a prédominance de texture limoneuse- argileuse on limon-argileuse – sableuse, tandis que dans le deuxième horizon s'accroît la texture argileuse, encore plus marquée dans le troisième horizon (figure 34).

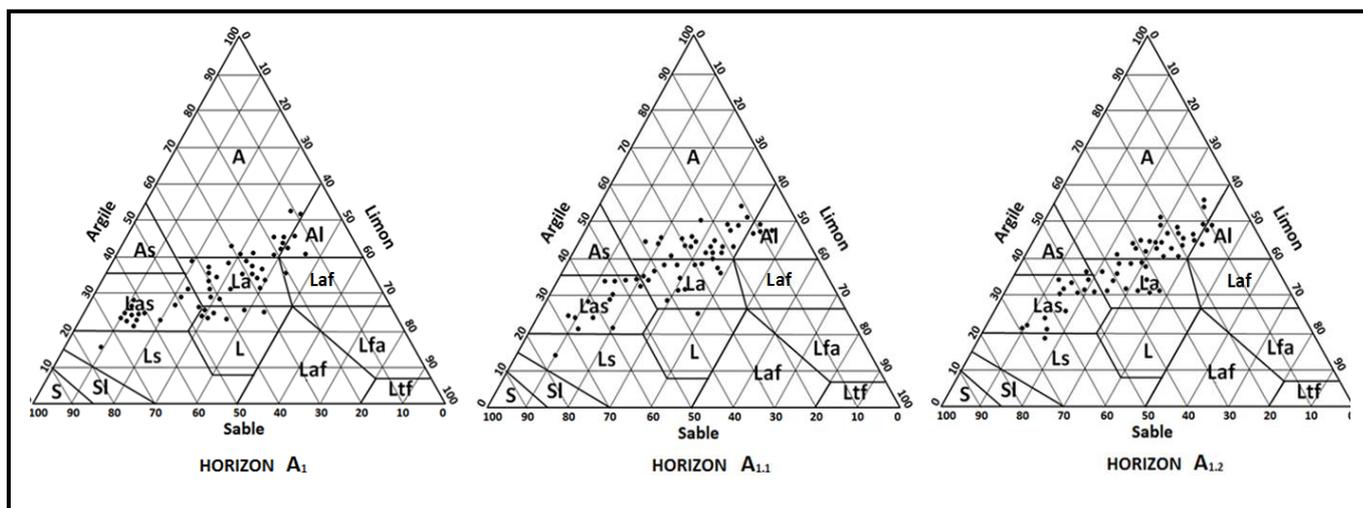


Figure 34 : Triangles Duchaufour de textures (D'après Ifagraria, 1966)

IV-5-2-2- La perméabilité des sols

La perméabilité est une caractéristique hydrologique du terrain dont la connaissance est fondamentale pour pouvoir bien irriguer et bien mesurer le réseau hydraulique de ruissellement qui permet la détermination des tours d'arrosage.

Selon l'étude faite par Ifagraria (1966) les valeurs de perméabilité sont toujours fonction selon le type de texture des sols qui peuvent être résumées en 2 catégories (figure 35) :

- Sols à texture semi-lourde et lourde avec une vitesse d'infiltration entre 60 à 70 mm/h c'est la vitesse moyenne.
- Sol à texture équilibrée avec une vitesse d'infiltration s'élevant autour de 105 mm/h c'est la vitesse moyenne élevée.

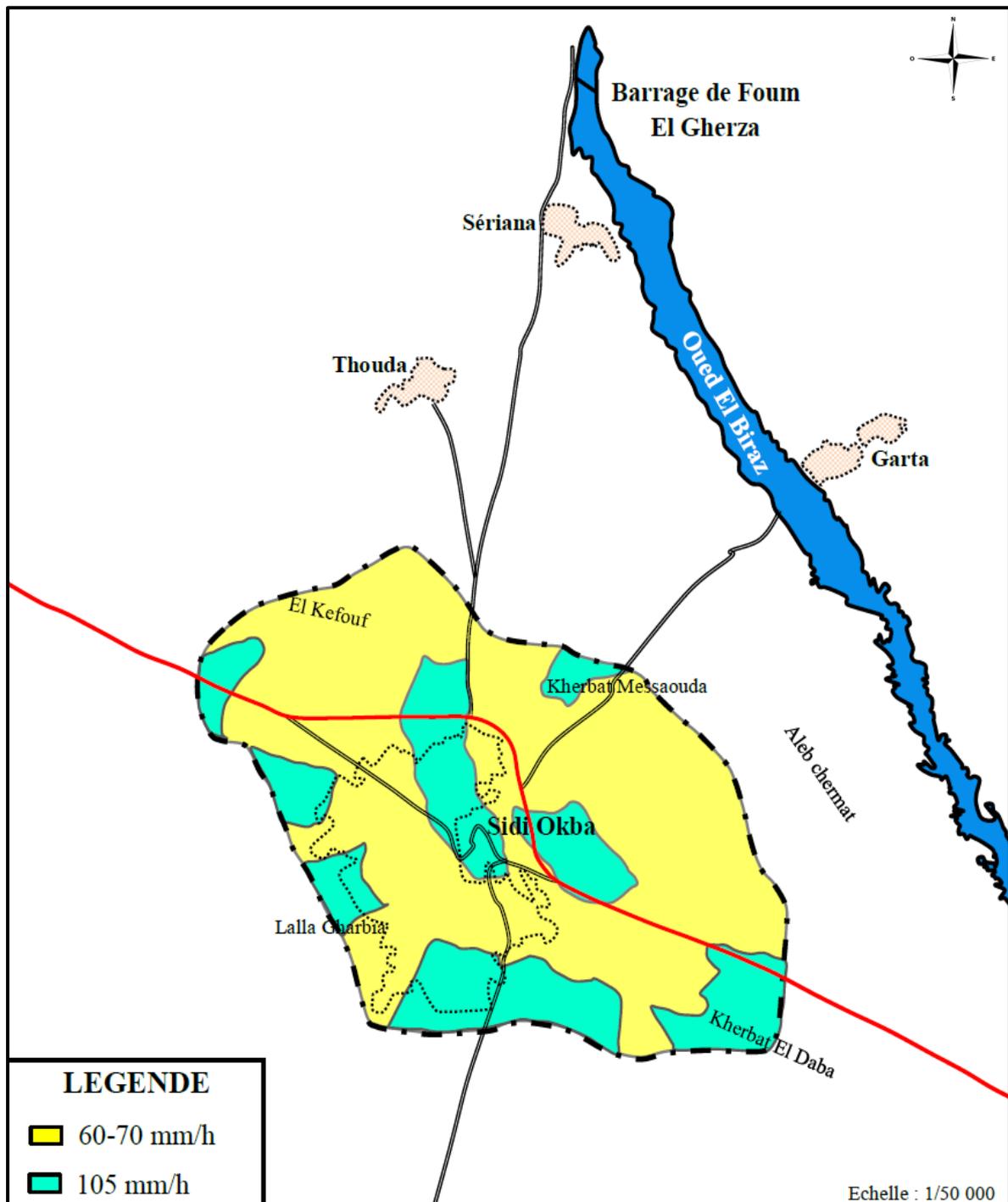


Figure 35 : Répartition des terrains selon les valeurs de vitesse d'infiltration (D'après Ifagraria, 1966)

IV-5-2-3-La salinité des sols

La salinité rencontrée dans les terrains a été le premier facteur de limitation de l'aptitude des sols aux cultures. Les analyses de conductivité de laboratoire effectuées par Ifigraria ont démontré en général une bande centrale caractérisée par de faibles valeurs de salinité entre deux bandes de sol à salinité plus élevée :

- La bande Ouest présente des sols à salinité jusqu'à plus de 30 mmhos/cm et très accentuée sur tout le profil, les plus élevées de tout le périmètre, avec une intensité croissante, en général, du bas vers le haut
- La bande Centrale à une salinité modérée inférieure en général à 2 mmhos /cm et distribuée le long du profil, croissant du haut vers le bas
- La bande Est présente les valeurs de salinité suivantes : inférieures à 2 mmhos/cm à l'horizon superficiel 0/30 cm, à 4 mmhos/cm à l'horizon 30/80 cm, avec des pointes sensiblement supérieures à l'horizon 80/120 cm.

On peut dire que la salinité observée dans le périmètre a une origine géologique, cependant il est certain que d'autres facteurs influencent sur l'origine de salinité notamment le climat, les cultures, l'irrigation, les mouvements de l'eau dans le sous-sol.

[Kebaili \(2006\)](#) rapporte que la salinisation des sols fait son apparition dès les années 80/85, mais sur des surfaces localisées à Mekhadma, Lioua, Sehira et Oued el Maleh (Sidi Okba) à l'Est de la wilaya. L'étude d'[Ifagraria \(1966\)](#) avait attiré l'attention d'une éventuelle remontée de la salinité à partir d'Oued el Maleh vers le reste du périmètre, et la nécessité d'installation d'un système de drainage.

IV-5-3- Classification des sols

Selon l'étude détaillée « Aménagement du périmètre d'irrigation de Sidi Okba » réalisée par la société [Ifagraria \(1966\)](#) ainsi que celle d'[Aïdaoui \(1994\)](#) et [Khadraoui \(2005\)](#), les sols des périmètres de Seriana, Thouda, Garta et Sidi Okba, ont été regroupés en 2 types essentiels :

- 1- Classe de sols peu évolués, sous-classe de sols d'origine climatique, groupe de sols gris subdésertique.

Cette classe des sols présente les caractéristiques suivantes :

- Sol profonds.
- Faible teneur en matière organique
- Structure polyédrique
- Texture moyenne « sablo-limoneuse à limono- sablo-argileuse »
- Bonne perméabilité et bonne aération du sol
- Conductibilité inférieure à 4 mmhos/cm dans les deux premiers horizons

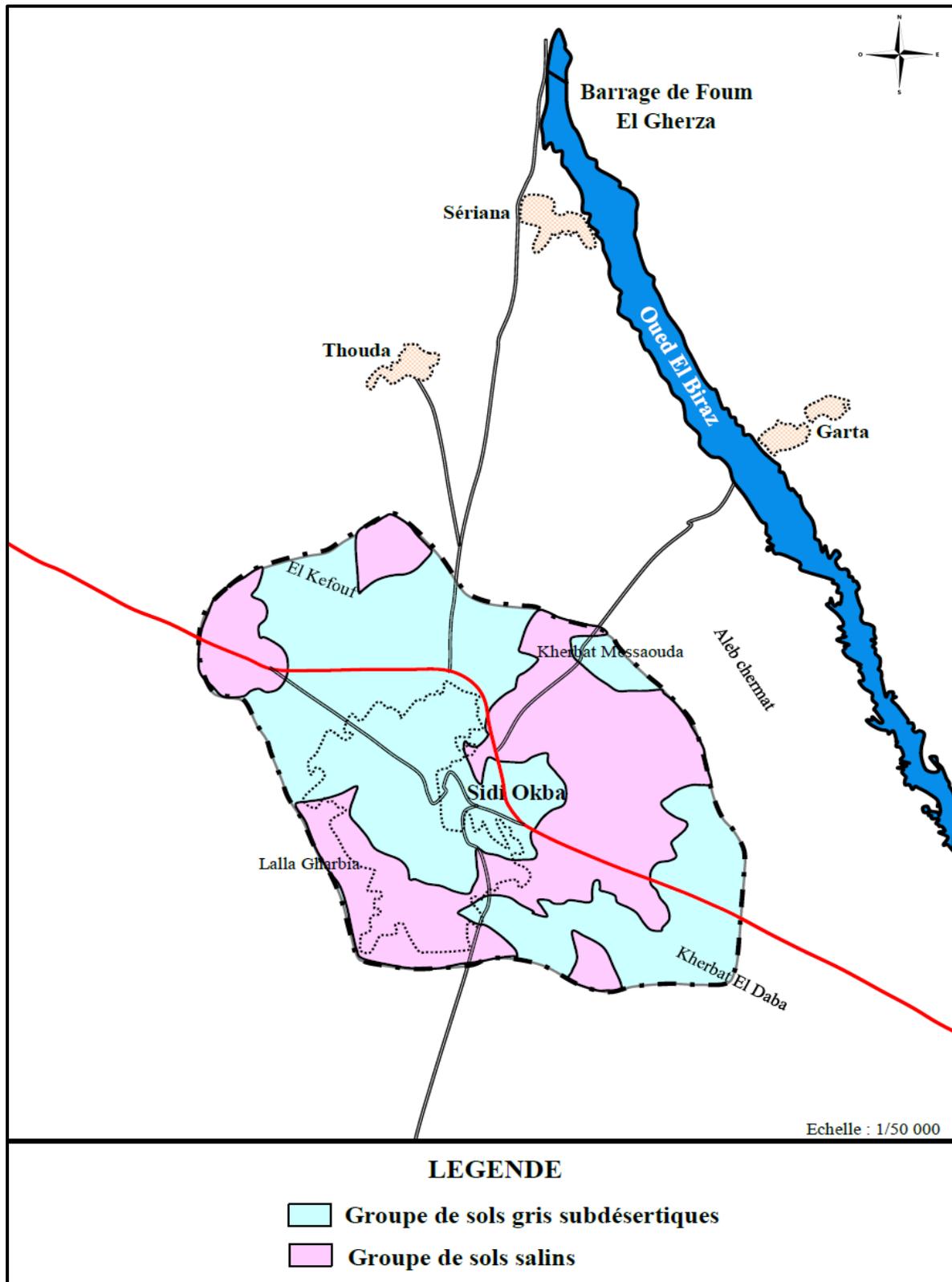
La surface occupée par ce groupe est de 1882 ha, équivalent à 58 % de la surface totale. Selon les auteurs de cette étude, ces sols sont favorables à une mise en valeur.

- 2- Classe des sols halomorphes, sous-classe de sols à structure non dégradée, groupe de sols salins, sous-groupe de sols à surface friable.

Cette classe est caractérisée par :

- Texture fine à très fine
- Structure polyédrique en surface avec des caractères secondaires de vertisolisation.
- Conductibilité supérieure à 4 mmhos/cm. Efflorescences blanchâtres de sels en surface après l'irrigation.
- pH compris entre 7 et 8,5

La surface concernée par ce groupe est de 1393 ha, équivalent à 42% de la surface totale. Contrairement aux sols peu évolués (1^{ère} classe) ces sols sont considérés comme médiocres pour la mise en valeur, en raison de leur forte conductibilité. Toutefois et malgré des conductibilités fortes, la culture du palmier dattier semble convenir pour ces sols (figure 36).



**Figure 36 : Répartition des terrains selon les groupes pédologique de sols
(D'après Ifagraria, 1966)**

En conclusion a cette description des sols de la région de Sidi Okba, l'étude d'Ifagraria établi une carte des vocations culturales (figure 37).

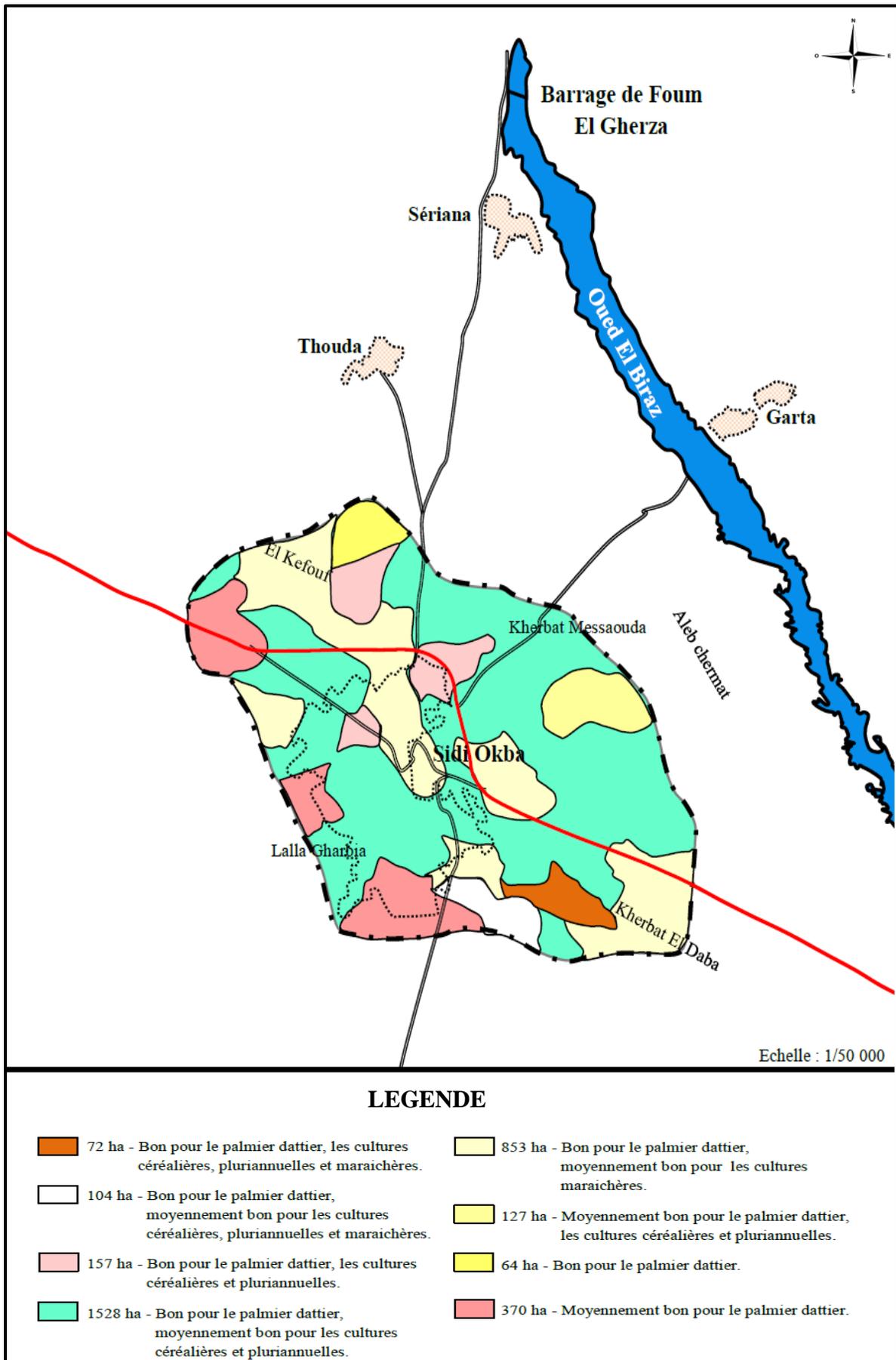


Figure 37 : Carte d'Ifagraria des vocations culturelles

IV-6- Le réseau de distribution

Il a été réalisé lors de la construction du barrage de Fom El Gherza qui sert à l'irrigation de la palmeraie de Sidi Okba et des communes Garta, Thouda et Seriana (Ifagraria, 1966). Dans son ensemble, le réseau est constitué, d'ouvrages de prise comprennent trois vannes-guillotines, échelonnées à des cotes différentes, dans une tour de prise (figure 38). L'eau passe à travers une usine électrique avant d'être destinée à une utilisation agricole (figure 39).



Figure 38 : Ouvrage de prise d'eau pour l'irrigation



Figure 39 : Conduite forcée pour l'irrigation

A la sortie de l'usine les eaux sont conduites, moyennant un canal bétonné de 9 Km de long, jusqu'en aval de la route pour la digue, et ensuite par des séguias en terre. Le long de ce canal bétonné se trouve un déversoir pour le jaugeage des débits.

IV-6-1- Le réseau principal

Par ailleurs, le réseau de distribution (figure 40) est composé par :

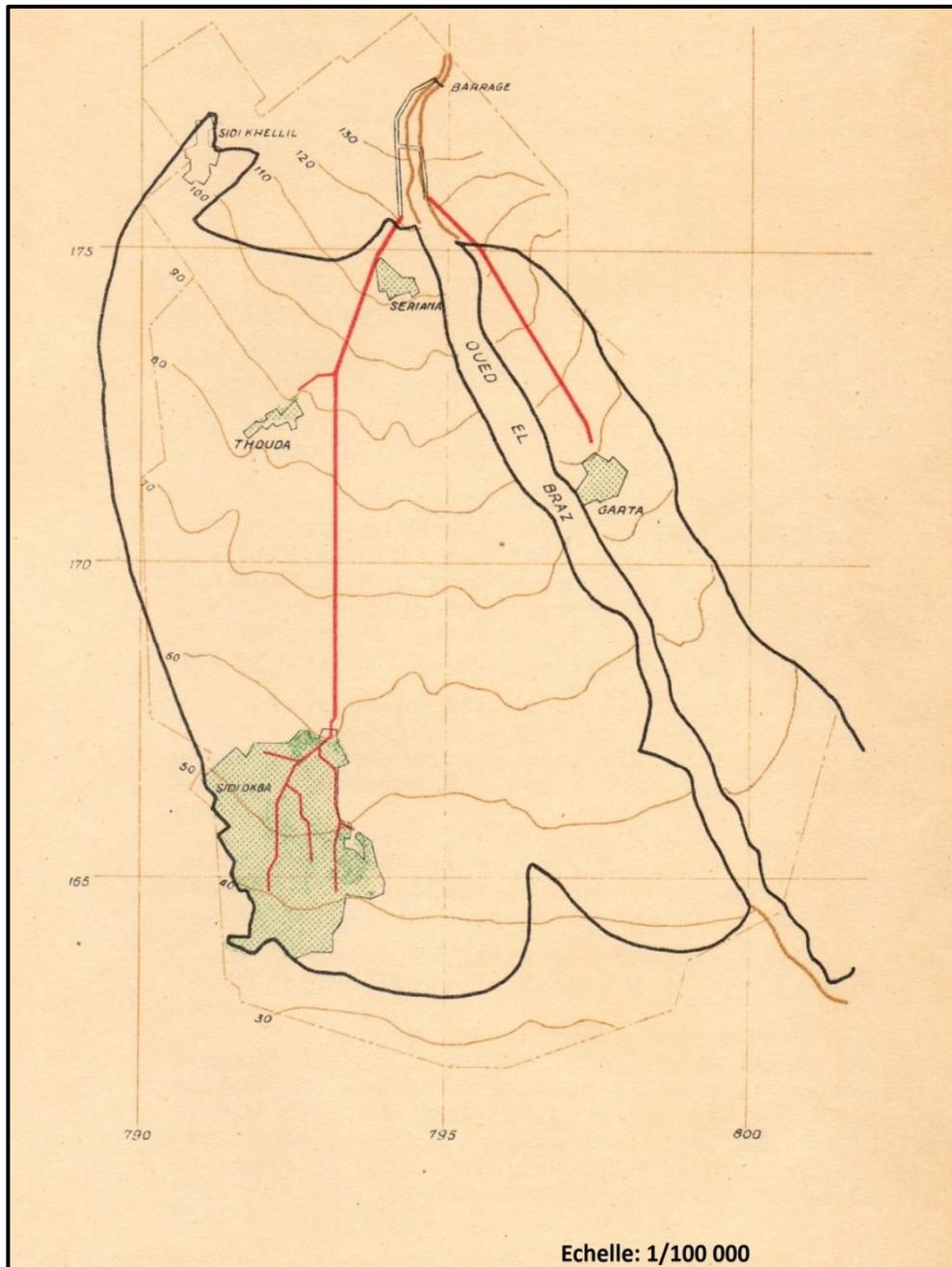


Figure 40 : réseau de distribution des palmeraies de Sidi Okba Seriana Thoda et Garta (D'après Neyrpic, 1952)

- Un canal principal à ciel ouvert alimentant ce qui suit (**figure 41**)
- Un canal allant du point d'alimentation de la région Ouest à la palmeraie de Sidi Okba de 9 Km de long à ciel fermé. Ce canal alimente au passage la palmeraie de Seriana (**figure 42**).
- Un canal branché sur le précédent, environ 1600 m. en aval de Seriana, et desservant Thouda.
- Un canal indépendant des deux précédents, issu du point d'alimentation de la région Est et dirigé sur Garta. (**figure 43**)



Figure 41 : Canal d'irrigation principal à ciel ouvert



Figure 42 : Bifurcation du canal principal vers Garta et Sidi Okba - Sériana



Figure 43: canal d'irrigation de la palmeraie de Garta

IV-6-2- Le réseau de séguias

Les seguias longent les parcelles et permettent leur irrigation en alimentant des rigoles transversales qui suivent les rangs de palmiers. Ces seguias sont inclinées le long de plus grandes pentes, depuis les zones les plus hautes. Des dérivations suivent les lignes de niveau et forment, dans l'ensemble, un quadrillage caractéristique.

Le réseau d'irrigation de la palmeraie de Sidi Okba (figure 44) est composé par une segouia principale « M'sidia » (figure 45). Elle naît du canal à ciel fermé de Sidi Okba. Cette segouia comprend 5 répartiteurs (figure 46) qui alimentent treize (13) seguias. L'Association des irrigants de Sidi Okba donne un chiffre de treize (13) seguias et les services agricoles de Sidi Okba donnent un chiffre de seize (16) seguias, en incluant les seguias des palmeraies de Garta, Seriana et Thouda.

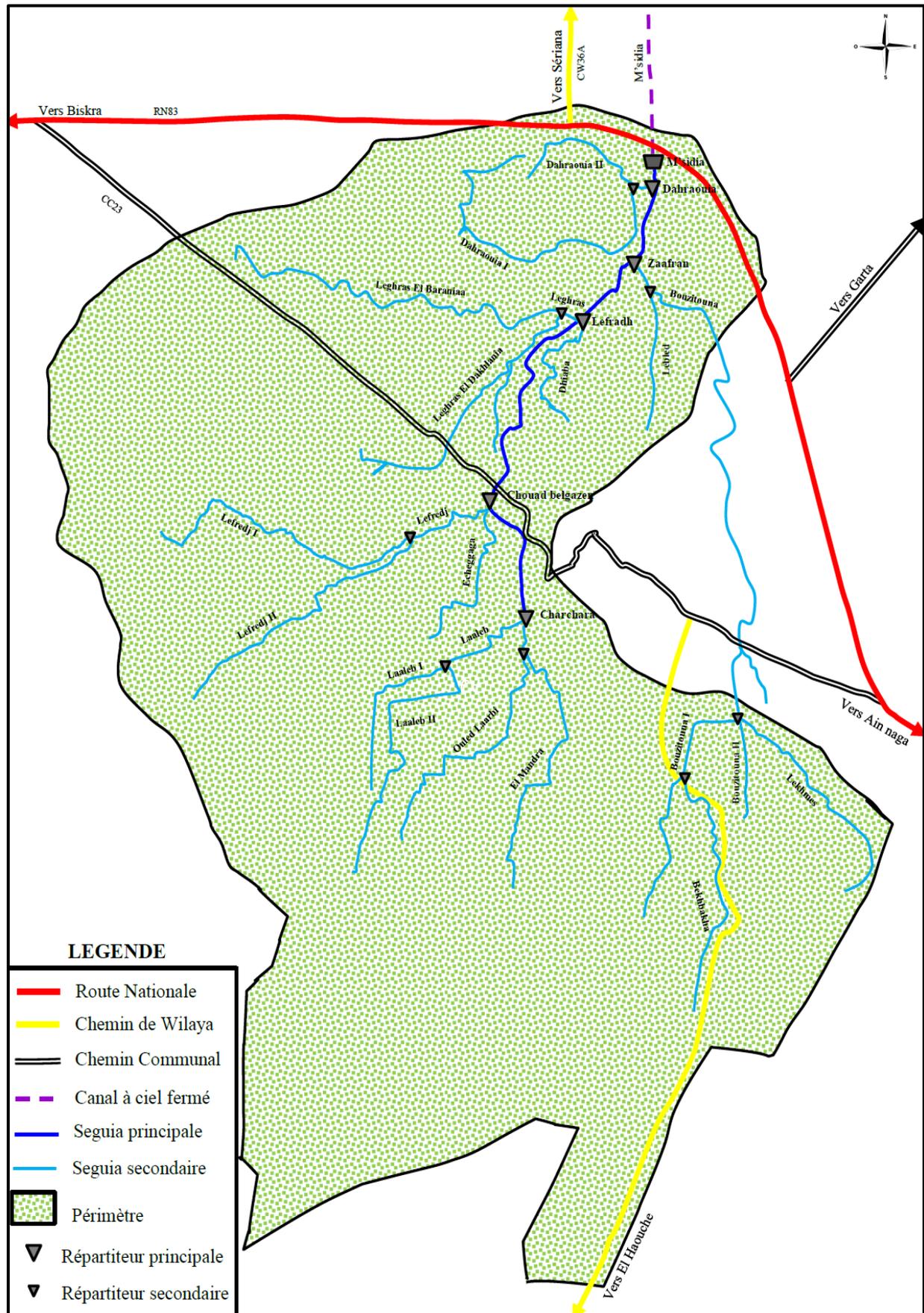
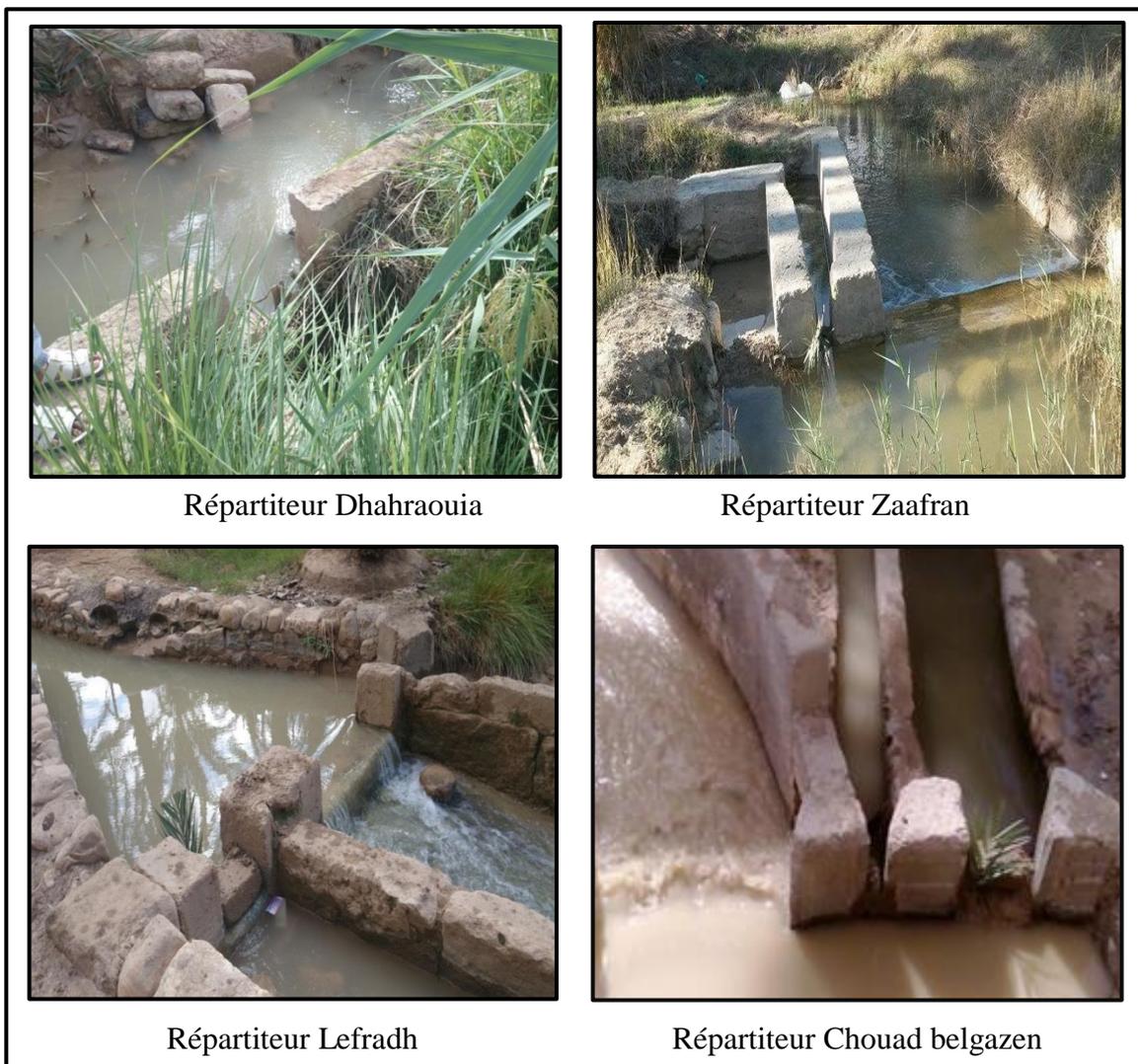


Figure 44 : Plan des seguias de Sidi Okba (D'après Bouraoui, 2013)



Figure 45 : Seguia principale à l'entrée de Sidi Okba (Msidia)



Répartiteur Dhahraouia



Répartiteur Zaafran



Répartiteur Lefradh



Répartiteur Chouad belgazen

Figure 46 : Répartiteurs des eaux d'irrigation

Ces seguias irriguent des superficies inégales, avec des densités de plantation différentes, les seguias les plus importantes en nombre de palmiers sont : Bouzitouna, Ouled larbi, El Mandra, Leghras et Laaleb II, et. Elles sont représentées à la [figure 47](#).

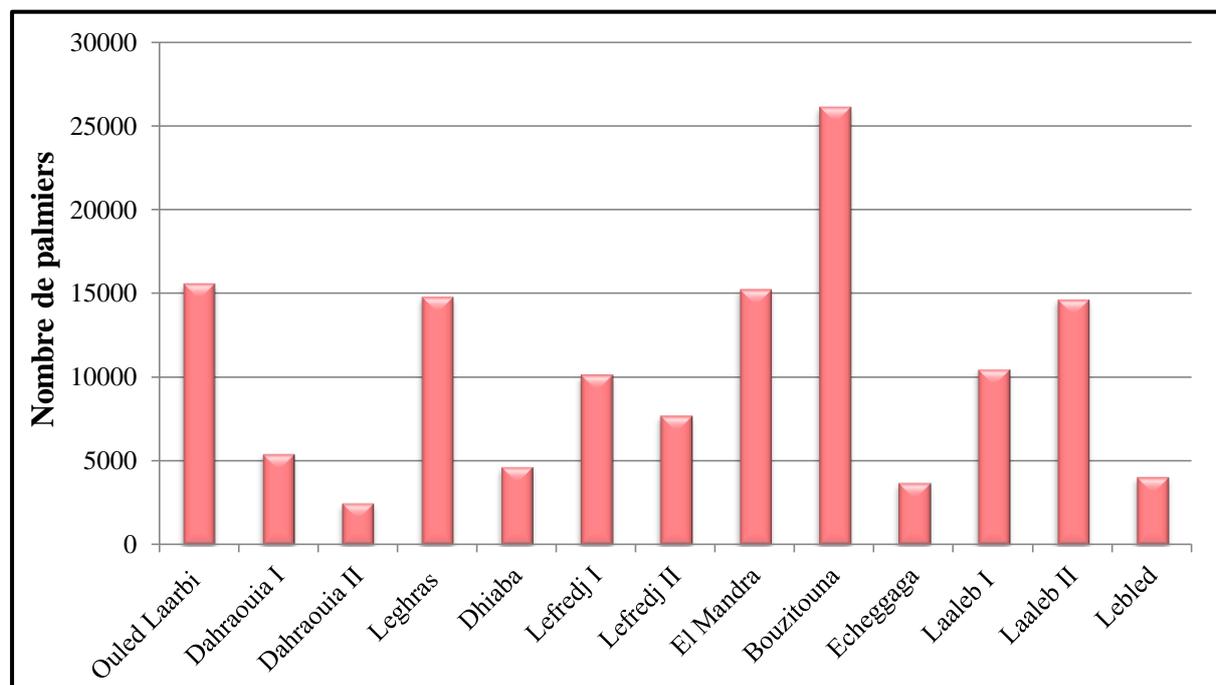


Figure 47: Répartition du nombre de palmiers par seguia

Il existe deux seguias dans la zone urbaine de la ville de Sidi Okba où l'irrigation est très difficile. Il s'agit des seguias Bouzitouna irriguant 1/6 de la palmeraie avec 24692 palmiers, et Lebled avec 5398 palmiers.

IV-6-3- Distribution au niveau de parcelle

Au niveau de la parcelle l'eau est acheminée aux palmiers par rigoles. Les rigoles apportent et remplissent les cuvettes où l'eau est emmagasinée à chaque irrigation.

Cette distribution donne une meilleure utilisation de l'eau d'irrigation dans le temps et dans l'espace. Ce point a fait l'objet de plusieurs variantes selon les études consultées ([Sethyco](#), [Neyrpic](#), [Ifagraria](#)).

Le schéma de distribution des eaux d'irrigation au niveau des parcelles est montré à la [figure 48](#).

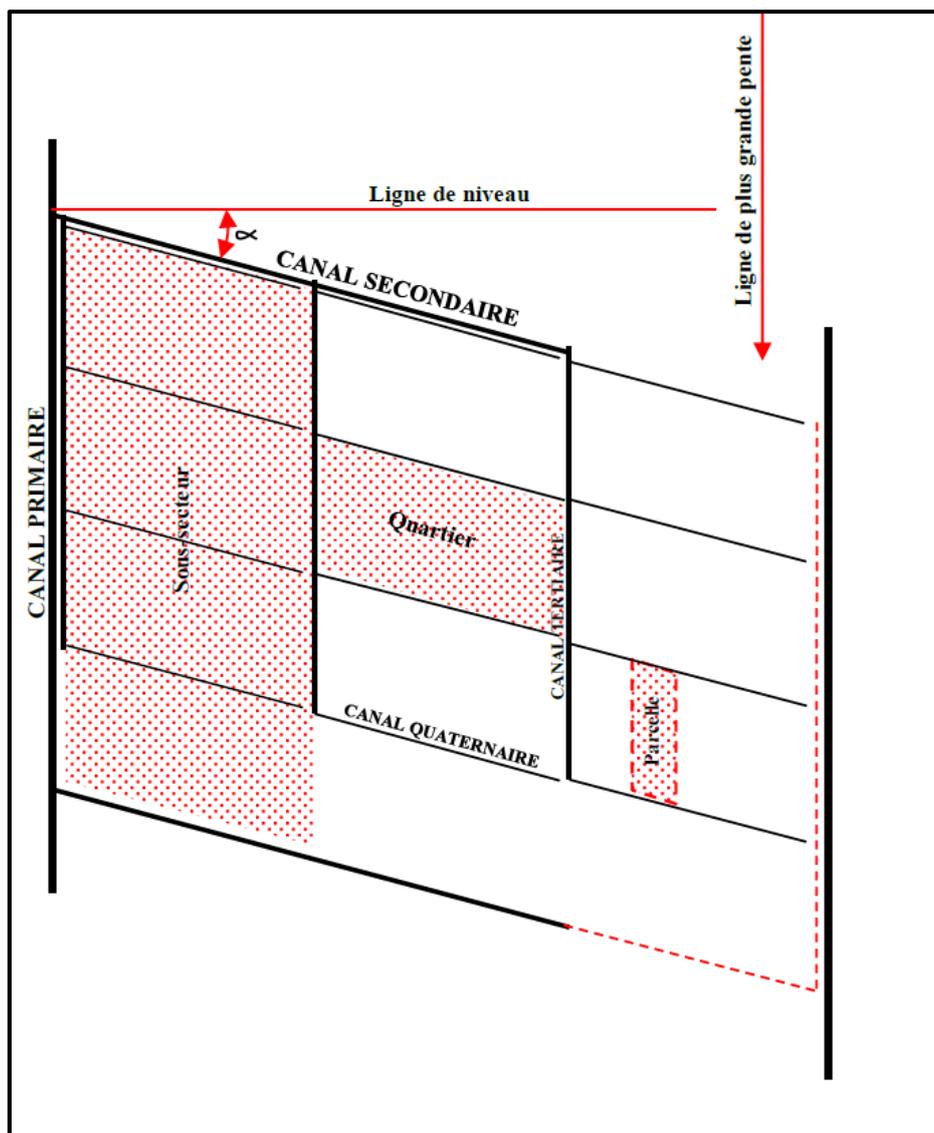


Figure 48 : Plan schématique d'un secteur d'irrigation

IV-7- Le système d'irrigation

Depuis sa mise en exploitation, le périmètre de Sidi Okba a été principalement irrigué selon le mode gravitaire traditionnel. Les autres systèmes d'irrigation, l'aspersion et le goutte à goutte, sont timidement utilisés, en raison de nombreuses difficultés d'ordre technique et économique.

Dans ces parcelles, chaque palmier est situé au centre d'une vaste excavation destinée à emmagasiner l'eau d'irrigation. Ce système d'irrigation par cuvette profonde, creusée tout autour du palmier, a une capacité de 5 m^3 (figure 49). Son utilisation permet de stocker l'eau plus ou moins longtemps en raison du manque d'eau.



Figure 49 : Irrigation par cuvette d'un palmier à Sidi Okba

Un même trou alimente souvent plusieurs pieds d'âge parfois très différent et formant une touffe de végétation. Plusieurs trous peuvent rester en communication ou même former une cuvette unique.

L'irrigation se pratique avec le système par cuvettes et rarement par planches. Leur profondeur, souvent très réduite, contient la dose d'eau pour un seul arrosage. Ce dernier présente des avantages indiscutables par rapport au précédent et apparaît toutefois peu rationnel, étant limité principalement au lieu de réalisation des cultures associées (Ifagraria, 1966).

IV-7-1- Le tour d'eau

L'ensemble du périmètre de la palmeraie est irrigué par les seguias selon des tours d'eau. L'irrigation ne se fait pas en même temps dans toutes les seguias. Elle se réalise seguia par seguia. L'irrigation dure en général deux à trois mois pour couvrir toutes les palmeraies. Le tour d'eau est variable selon la superficie à irriguer (tableau 16). Une analyse plus détaillée est donnée dans la section analyse de l'évolution des irrigations.

Tableau 16 : Exemple de tour d'eau à partir de la seguia d'Ouled larbi

Nombre de palmiers	Durée (min)
25	45
24	43
19	34
79	143
18	32
23	41
40	72
80	158
141	256
33	60
38	69
60	109
44	80
22	40
10	18

Chaque agriculteur possède le droit absolu à l'irrigation, comme, il connaît le temps qui lui est attribué et même le jour et l'heure de son tour d'irrigation et cela depuis la création du barrage en 1950. La durée d'irrigation d'un palmier est 1 minute 37 secondes. Le périmètre a connu plusieurs recensements (1952-1969-1976-1982).

Tableau 17 : Temps attribué par seguia

Nom Seguia	Temps attribué (heures)
Ouled el arbi	472
Barania	478
Mondra	456
Eleb 2	480

L'effet de proportionnalité entre le nombre de palmiers et le tour d'eau est respecté pour les seguias les plus important, particulièrement pour les seguias Barania et Eleb2 (figure 50). Ceci a aussi un impact social dans l'opération d'irrigation d'une manière générale.

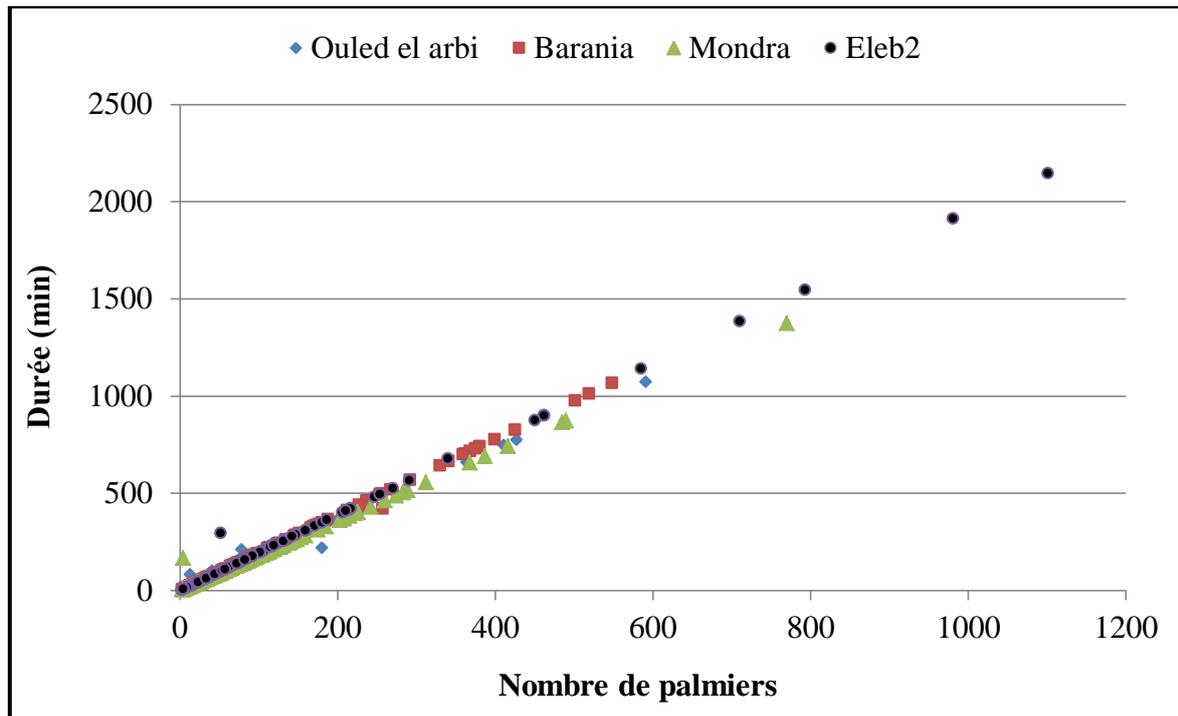


Figure 50 : Relation entre le nombre de palmiers et la durée du tour d'eau de quelques seguias

Benziouche et al. (2013) se sont penchés sur les pratiques et les contraintes liées à l'irrigation dans les oasis des Ziban (Tolga). Concernant la contrainte majeure, à savoir les faibles quantités d'eau distribuées, les tours d'eau sont inférieurs aux normes théoriques pour l'irrigation du palmier. Les mêmes auteurs estiment que la durée du tour d'eau confirme la situation délicate et celle-ci ne dépasse pas, en moyenne, 9,33h/exploitation/tour. Ils concluent entre autres que l'irrigation dans les oasis de la région reste inefficace, due à la mauvaise gestion de l'eau dans les palmeraies.

IV-7-2- Droits d'usage de l'eau :

Avant la construction du réservoir de Fom El Gherza existaient des droits d'usage découlant de certains privilèges accordés par les Autorités Beylicales (Ifagraria, 1966). Ceci a créé une situation particulière et complexe, du fait que le droit d'usage de l'eau pouvait être lié ou non à la propriété foncière. De cet état de choses était né un véritable commerce, qui se traitait à

travers les ventes aux enchères, alors les possesseurs des droits d'usage de l'eau vendaient au meilleur acquéreur.

De ce fait, les autorités administratives avaient envisagé de supprimer tous les droits d'usage existants pour affirmer le caractère domanial des eaux. Par la suite, ces autorités avaient créé des règlements qui fixaient la distribution des eaux du barrage. Ainsi les eaux de barrage sont considérées du droit public.

CHAPITRE V

ETUDE D'IMPACT

V-1- Analyse des volumes d'irrigation

V-1-1- Constitution de la base de données

L'ensemble des données d'irrigation a été fourni par les services du barrage de Foug El Gherza (ANBT de Biskra). Ces données représentent les volumes d'eau d'irrigation, en Hm³, affectés à l'irrigation des palmeraies du périmètre de Sidi Okba et qui s'étalent sur la période 1950-2014. Un exemple de données pour l'année 2011-2012 est présenté au [tableau 18](#). L'analyse qui s'en suivra sera basée sur le calendrier hydrologique.

Tableau 18 : Données d'irrigation journalière pour l'année 2011-2012
(D'après ANBT, 2014)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
1	0	0	0	0,108	0	0	0,108	0	0	0	0	0	0,216
2	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,054	0	0,468
3	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
4	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
5	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
6	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
7	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
8	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
9	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
10	0	0,108	0	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
11	0	0,108	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,630
12	0	0,108	0,108	0	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
13	0	0,108	0,108	0	0	0	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,522
14	0	0,108	0,108	0	0	0	0	0	0,090	0	0,108	0	0,414
15	0	0,108	0,108	0	0	0	0	0	0,090	0	0,108	0	0,414
16	0	0,108	0,108	0	0	0	0	0	0,090	0	0,108	0	0,414
17	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
18	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
19	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
20	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
21	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
22	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
23	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
24	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
25	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,108	0	0,522
26	0	0,108	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0,060	0	0,474
27	0	0	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0	0	0,306
28	0	0	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0	0	0,306
29	0	0	0,108	0	0	0,108	0	0	0,090	0	0	0	0,306
30	0	0	0,108	0	0	.	0	0	0,090	0	0	0	0,198
31	.	0	.	0	0	.	0	.	0,090	.	0	0	0,090
Max	0	0,108	0,108	0,108	0	0,108	0,108	0	0,090	0	0,108	0	0,630
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,090
Total	0	2,700	2,160	1,188	0	1,404	1,404	0	2,700	0	2,598	0	14,154

0 : absence d'irrigation

V-1-2- Analyse de l'évolution des volumes d'irrigation à différentes échelles: journalière, mensuelle et interannuelle

Selon l'objectif assigné à l'étude, la démarche adoptée dans cette partie repose sur l'utilisation de l'historique du barrage de Foug El Gherza et des données d'exploitation, à savoir essentiellement les apports et les irrigations. Dans une première partie, nous allons étudier l'évolution des irrigations sur la période 1950-2014. En second lieu nous allons déterminer leurs tendances. Ces analyses ont été faites après consultation d'un grand nombre de documents datant de la période coloniale ainsi que des documents après l'Indépendance.

V-1-2-1- Echelle journalière

A cette échelle, une première lecture du graphique (figure 51) montre qu'il n'y a pas de grandes variations des volumes d'eau d'irrigation affectés aux palmeraies de Sidi Okba à l'exception de l'année 1951-1952 où l'on enregistre le plus grand volume. L'exception est aussi faite pour l'année 1965-1966.

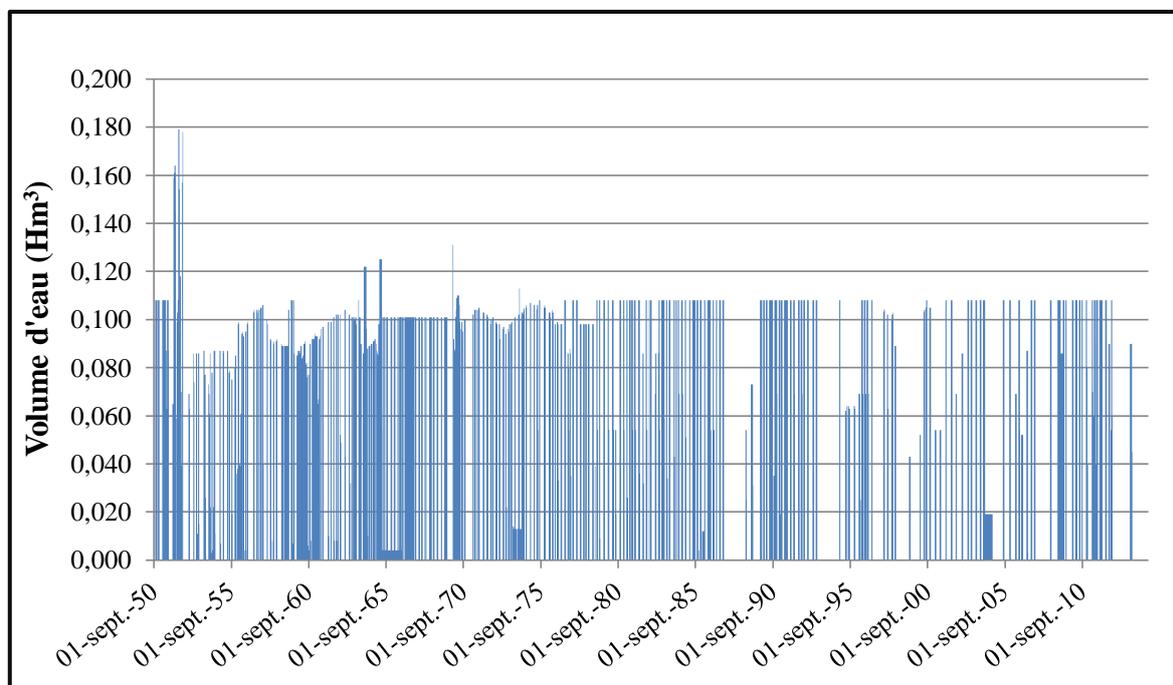


Figure 51 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation (période 1950-2014)

On remarque que le volume d'eau d'irrigation se situe autour de $0,100 \text{ Hm}^3$. Après l'année exceptionnelle 1951-1952 et durant les 12 années qui suivent, le volume il est légèrement plus faible que celui cité précédemment.

On constate un fait très important, celui de relâchement des irrigations à partir de 1987, c'est-à-dire que le nombre des campagnes d'irrigation n'est plus le même que celui avant et après cette date. Le graphique montre aussi des périodes d'irrigation très serrées entre 1959 et 1961 et entre 1963 Jusqu'à 1968.

En regroupant les données journalières en décades, on constate des différences dans l'évolution des irrigations. Ainsi la décade 1950-1960 (figure 52) montre une augmentation du volume d'irrigation très sensible entre décembre 1951 et juin 1952 et qui est d'ailleurs le volume d'irrigation le plus élevé durant la période d'étude 1950-2014. Ceci en raison des apports importants enregistrés au barrage. On remarque aussi un relâchement des irrigations entre juin 1952 et novembre 1958.

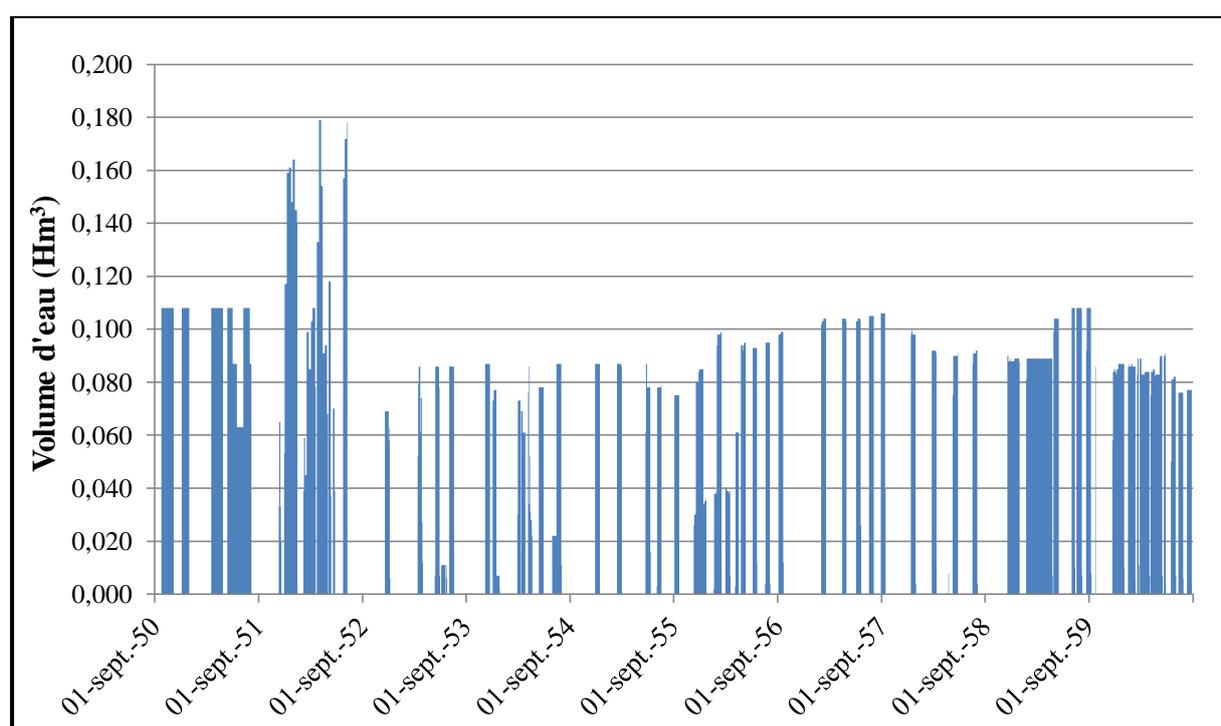


Figure 52 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décade 1950-1960

La décade 1960-1970 (figure 53) est caractérisée par deux pics des volumes d'irrigation en mars-avril 1964 et en mars-avril 1965. On constate aussi un niveau très bas des irrigations entre mai 1965 et août 1966.

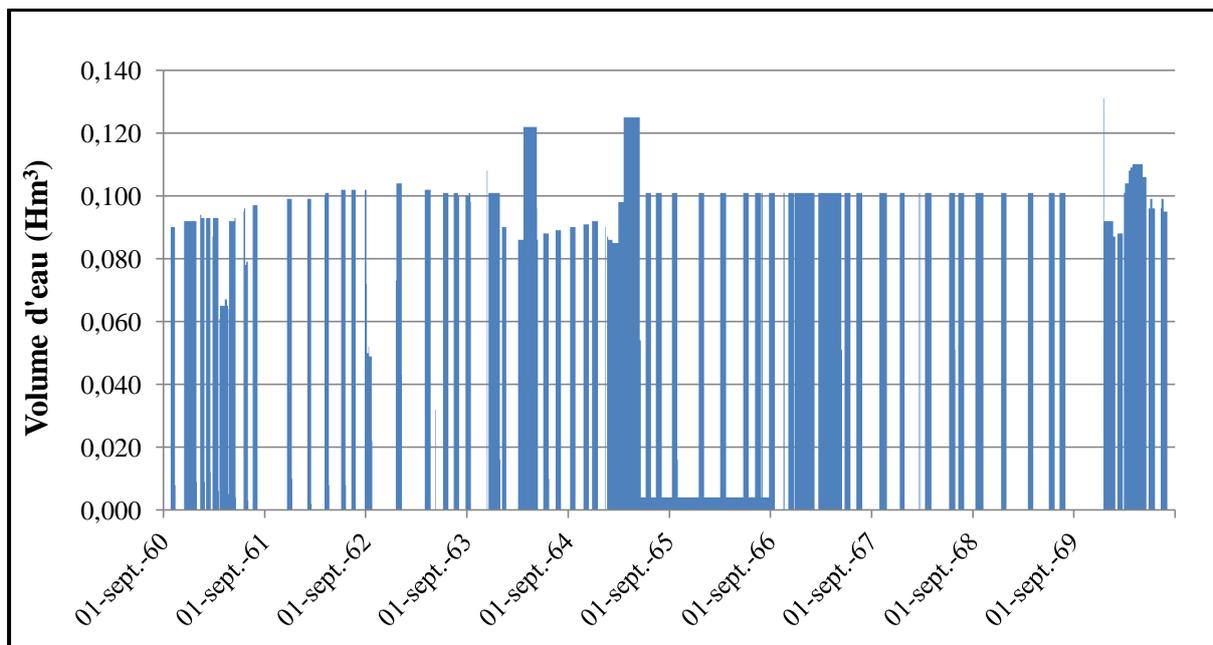


Figure 53 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décade 1960-1970

La décade 1970-1980 (figure 54) montre un caractère constant relativement aux précédentes où l'on observe une certaine régularité temporelle des irrigations. On retient aussi une faiblesse des volumes d'irrigation entre novembre 1973 et mai 1974.

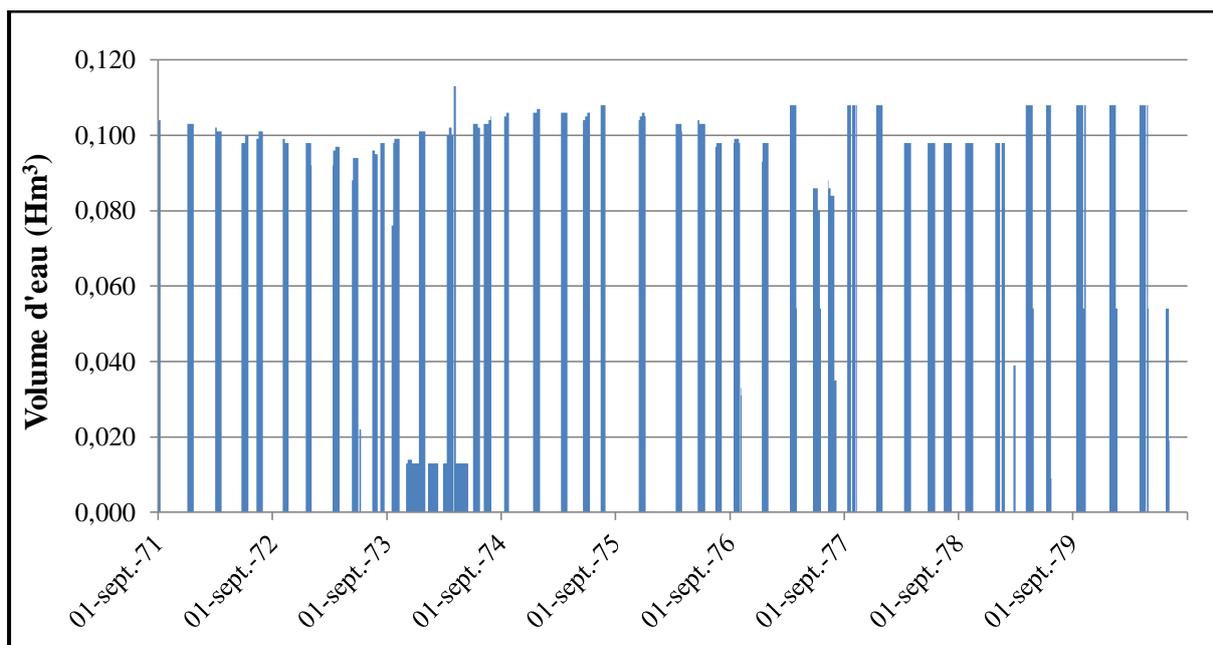


Figure 54 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décade 1970-1980

La décade 1980-1990 (figure 55) est marquée essentiellement par l'absence d'irrigation durant l'année 1987-1988 en raison du faible volume de la retenue de barrage Foug El Gherza.

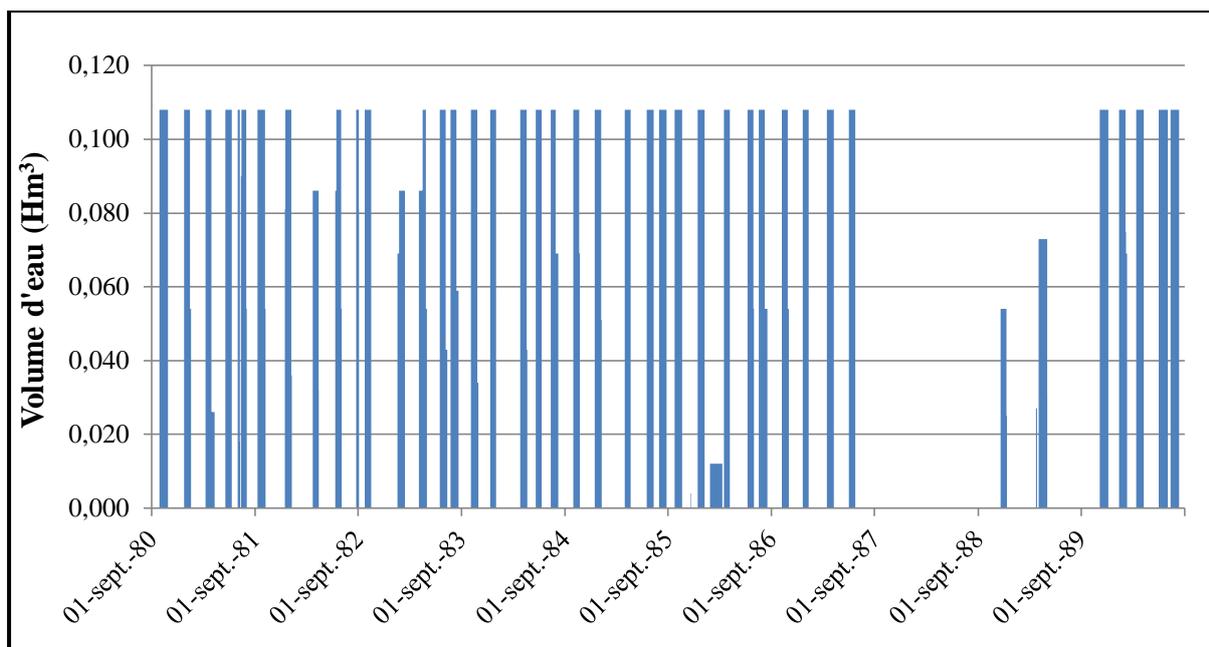


Figure 55 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décennie 1980-1990

Le même constat est fait pour la décennie 1990-2000 (figure 56), où l'on observe l'absence d'irrigation pour l'année 1993-1994, qui est une année sèche par excellence, mais aussi vers la fin de la décennie.

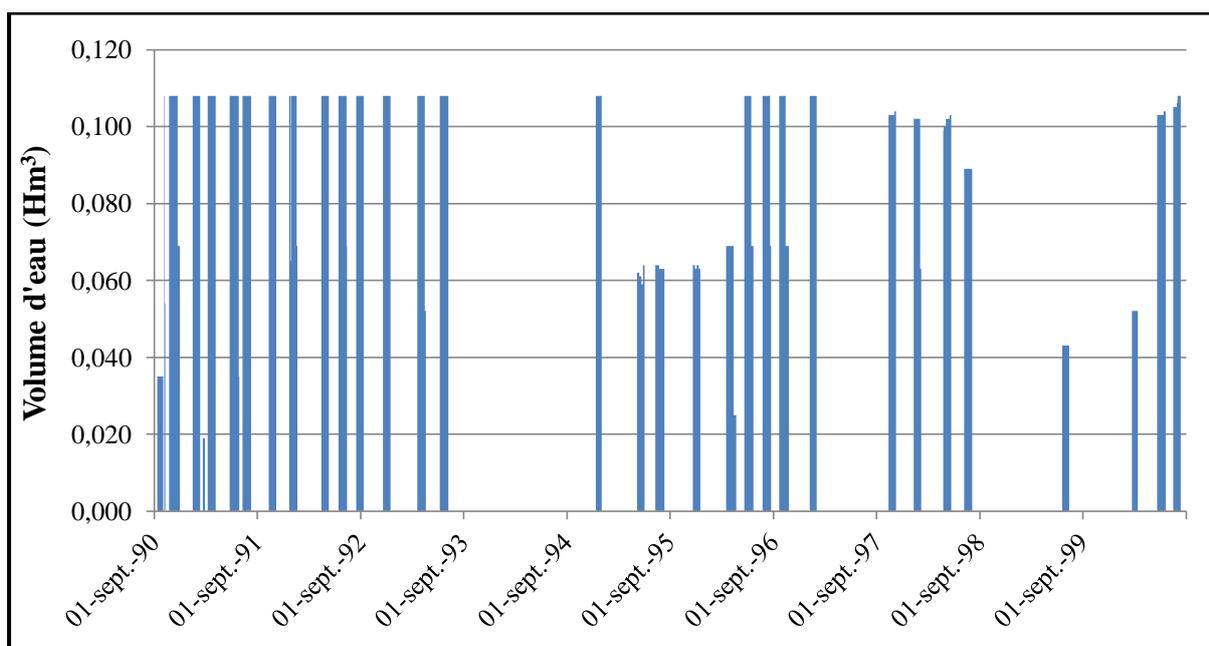


Figure 56 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décennie 1990-2000

Un relâchement effectif des irrigations est observé à partir de cette décade et qui continue pour la décade 2000-2010.

La dernière décade 2000-2010 (figure 57), montre des dysfonctionnements dans l'exploitation des eaux du barrage pour l'irrigation. Le premier est que le volume d'irrigation est maigre, soit 3,859 Hm³ durant l'année 2004-2005 malgré un apport très important de 40,536 Hm³. Le deuxième est l'absence d'irrigation de juillet 2007 à janvier 2009.

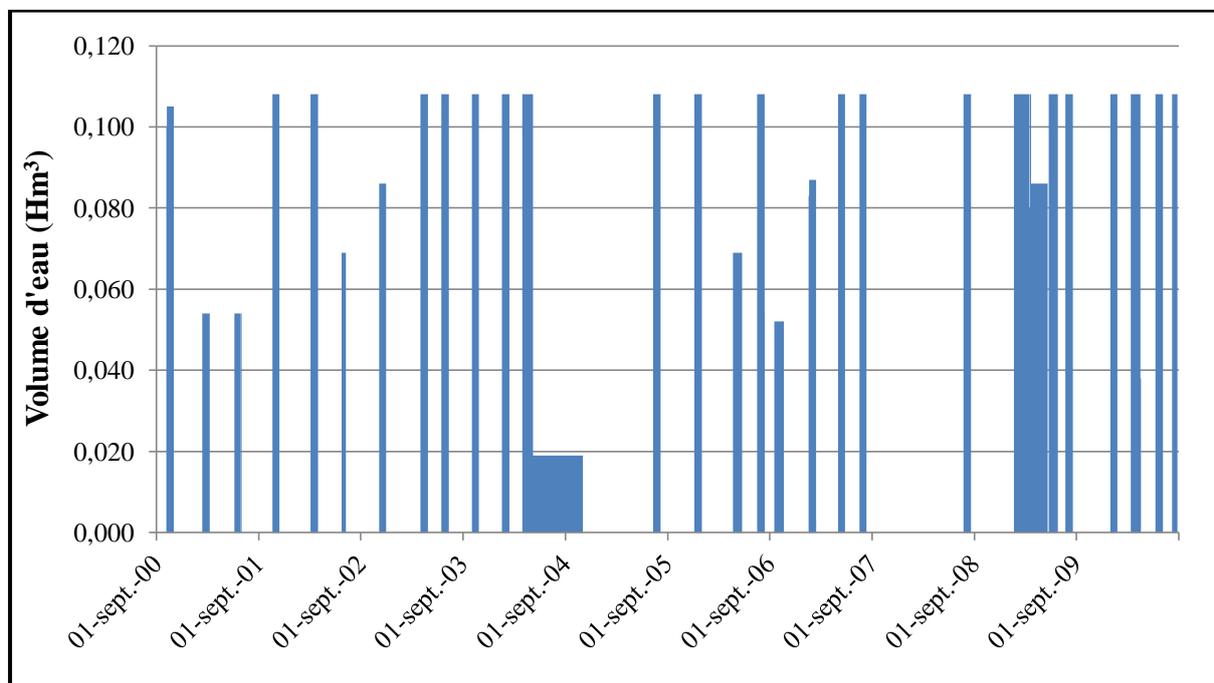


Figure 57 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation pour la décade 2000-2010

Pour la période 2010-2014 (figure 58) la faiblesse des apports au barrage a influé considérablement sur l'irrigation des palmeraies de Sidi Okba. A partir de 2012 il y a absence quasi-totale des irrigations. Il est important de noter qu'en Novembre 2014 le volume du barrage est approximativement égal à celui de volume journalier affecté à l'irrigation en période normale, soit 100 000 m³.

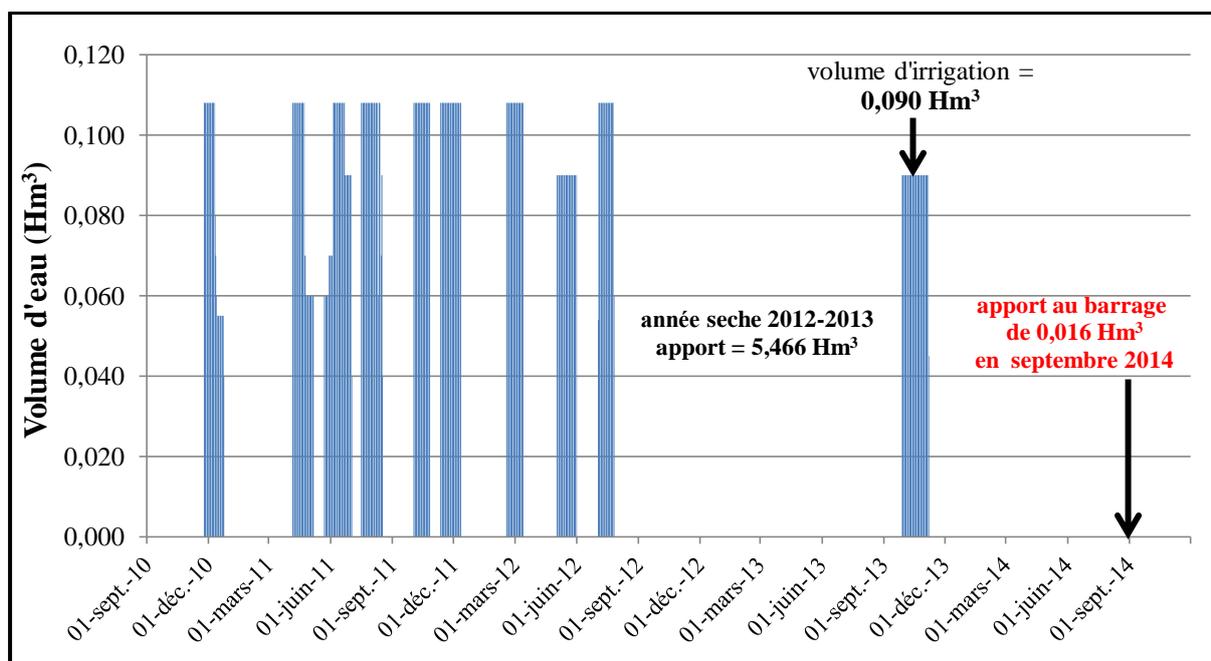


Figure 58 : Evolution des volumes d'eau journaliers d'irrigation période (2010-2014)

En conclusion à ces interprétations, la comparaison des graphiques d'irrigation de l'ensemble des décades montre trois différentes périodes de fonctionnement du barrage:

- La décade 1950-1960 est la période de mise en eau du barrage
- Les 3 décades 1960-1970 ; 1970-1980 ; 1980-1990 est la période optimale de fonctionnement du barrage
- Les décades 1990-2000 et 2000-2010 et les années 2010 à 2014 sont caractérisées par la réduction de la capacité du barrage.

V-1-2-2- Echelle mensuelle

Le même constat concernant les relâchements des irrigations est retrouvé à cette échelle. A partir de l'année 1987-1988 la durée entre les campagnes d'irrigation est moins serrée par rapport aux premières décades (figure 59).

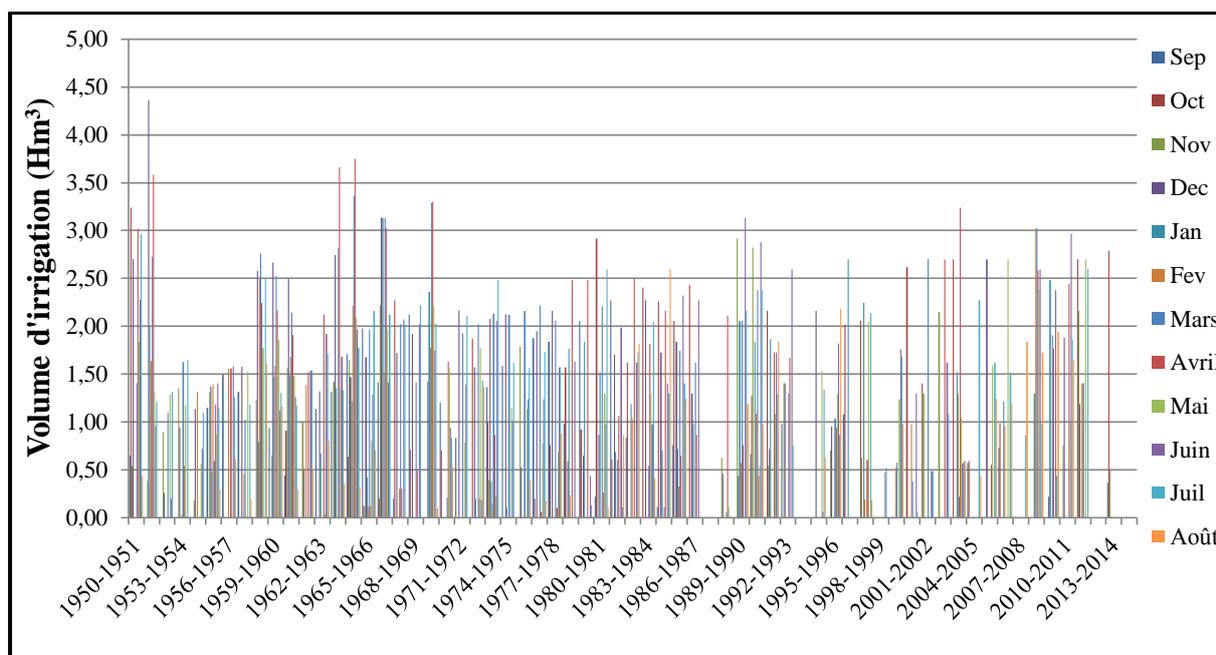


Figure 59 : Evolution des volumes d'eau mensuels d'irrigation (période 1950-2014)

Cette échelle nous permet d'introduire l'analyse des tendances des irrigations. Bien que ce paramètre, c'est-à-dire le volume d'irrigation, est fixé par les gestionnaires du barrage en accord avec les responsables du périmètre, nous avons jugé utile d'utiliser le test de tendance de Mann-Kendall (tableau 19). L'analyse des tendances a été regroupée sur les figures à l'échelle des saisons.

Tableau 19 : Test de tendance de Mann-Kendall sur les volumes d'irrigation

Statistiques	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Tau de Kendall	-0,280	0,189	-0,124	-0,359	-0,068	-0,235	-0,283	-0,193	-0,168	-0,054	-0,145	0,117
p-value	0,003	0,043	0,190	< 0,0001	0,468	0,013	0,002	0,031	0,065	0,547	0,096	0,200
Décision du test	H0 Rejetée	H0 Rejetée	H0 Acceptée	H0 Rejetée	H0 Acceptée	H0 Rejetée	H0 Rejetée	H0 Rejetée	H0 Acceptée	H0 Acceptée	H0 Acceptée	H0 Acceptée

Les hypothèses du test sont les suivantes :

H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

Ha : Il existe une tendance dans la série

Le seuil de signification alpha est fixé à 0.05

L'analyse par régression montre une tendance positive pour le mois d'octobre contrairement aux mois de septembre et novembre (figure 60).

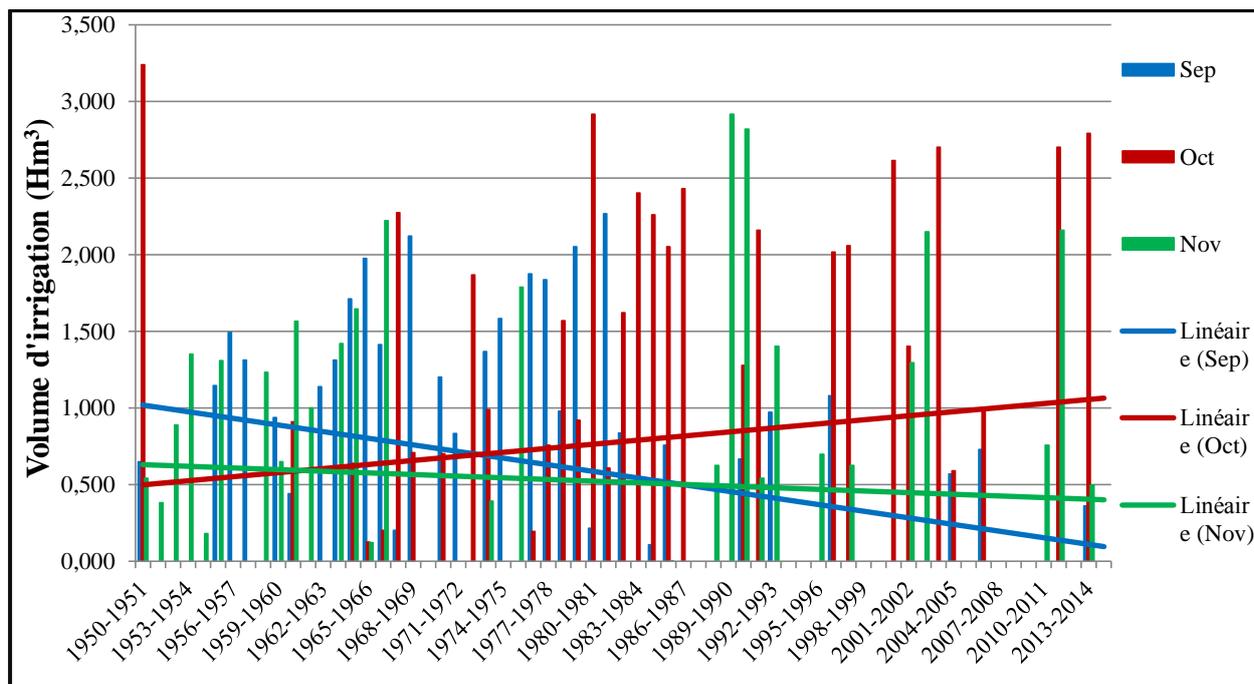


Figure 60 : Tendance des volumes d'irrigation pour la saison d'automne

Pour la saison d'hiver (figure 61), la tendance à la baisse est plus prononcée pour le mois de décembre que le mois de février. Pour le mois de janvier, il n'y a pas de tendance.

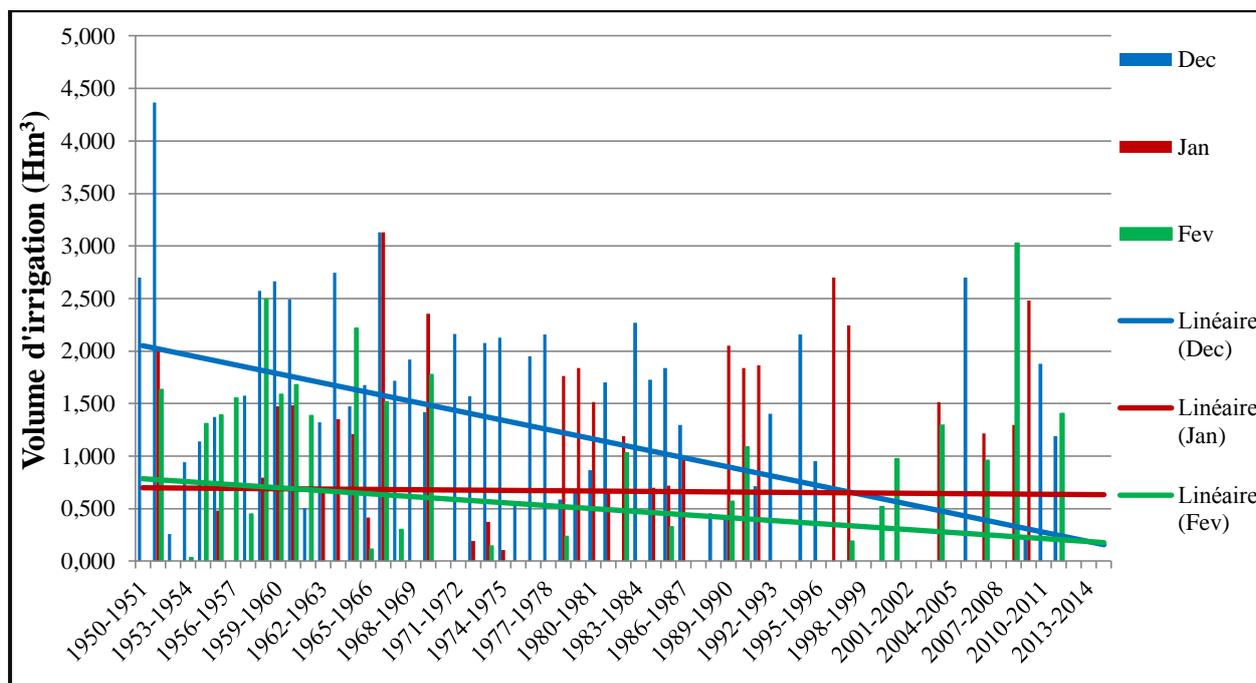


Figure 61 : Tendance des volumes d'irrigation pour la saison d'hiver

La saison de printemps (figure 62) est marquée par une tendance à la baisse plus forte pour le mois de mars et avril, comparativement avec le mois de mai.

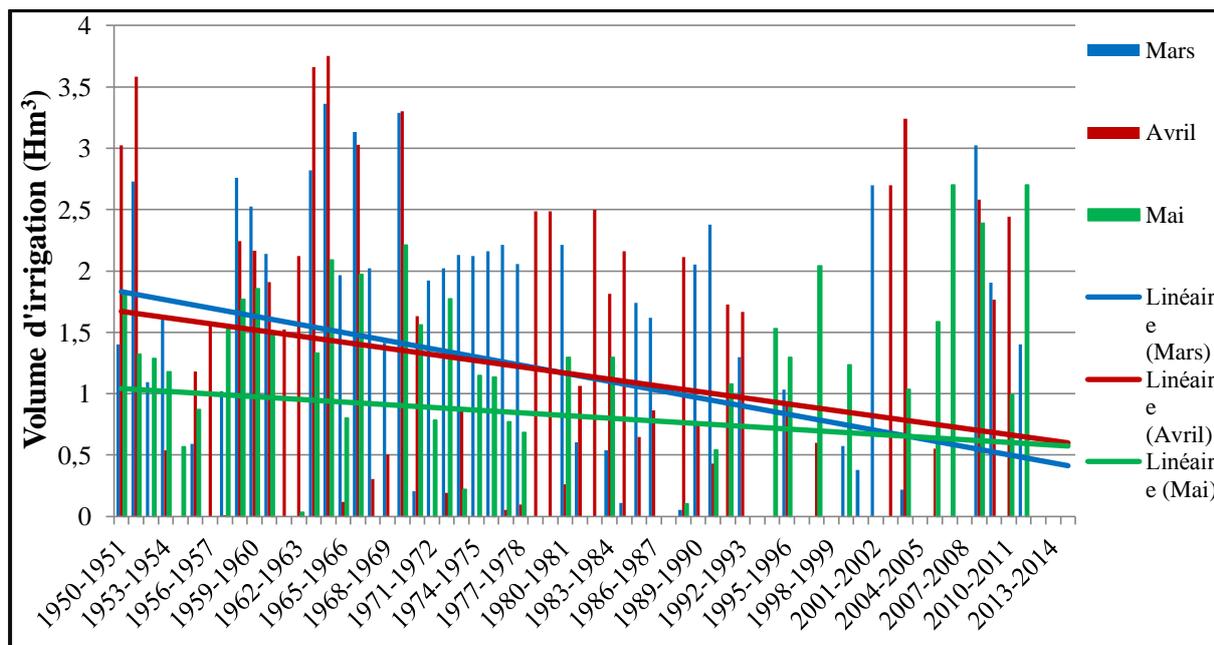


Figure 62 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison de printemps

La saison d'été (figure 63) est caractérisée par une tendance à la hausse pour le mois d'août et contrairement pour les mois de juin et juillet une tendance à la baisse. Il faut rappeler que c'est la saison où les besoins en eau des palmiers sont les plus importants.

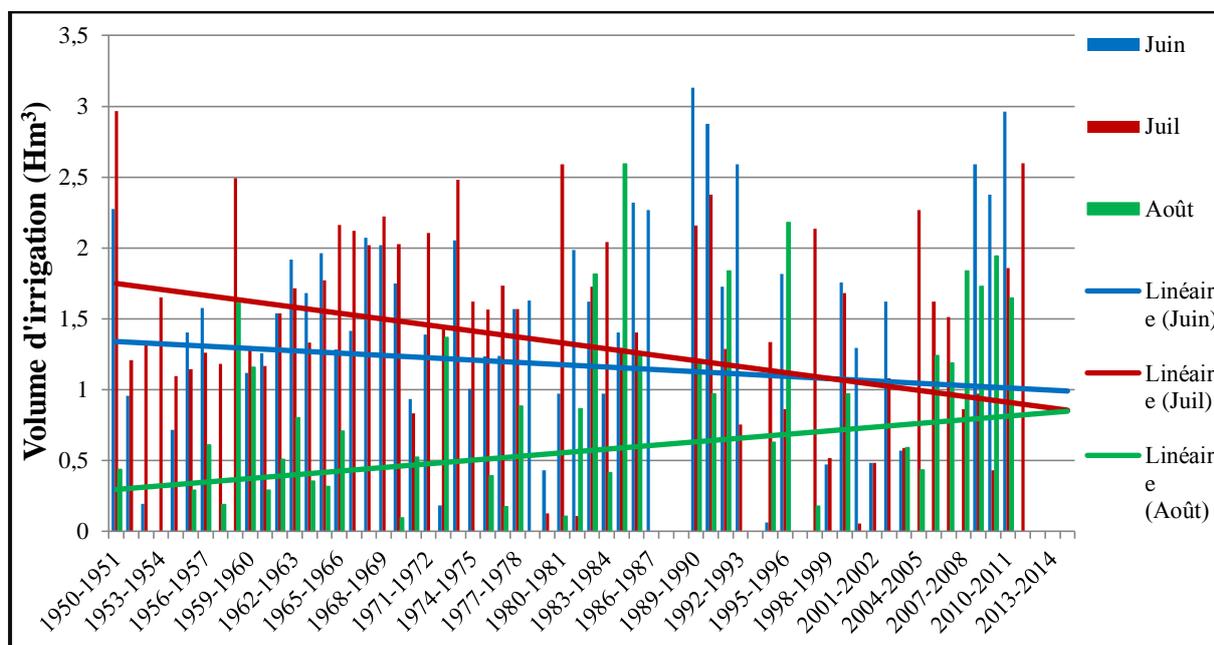


Figure 63 : Tendence des volumes d'irrigation pour la saison d'été

V-1-2-3- Echelle interannuelle :

Le résultat graphique (figure 64) montre une tendance à la baisse des volumes d'irrigation (droite de régression et courbe de la moyenne mobile). Le relâchement et l'absence d'irrigation de 1987-1988 à 2014 favorise aussi cette tendance. La tendance à la baisse des volumes d'irrigation est expliquée essentiellement par la diminution des volumes du barrage comme le montre la (figure 65).

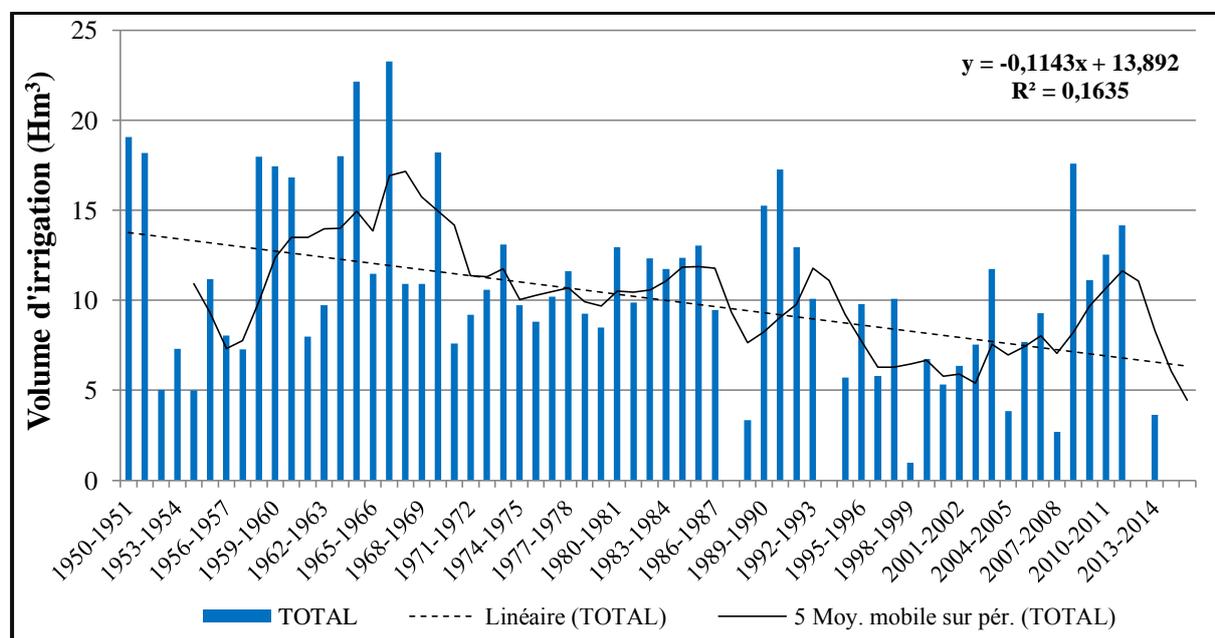


Figure 64 : Tendence des volumes d'irrigation interannuels (période 1950-2014)

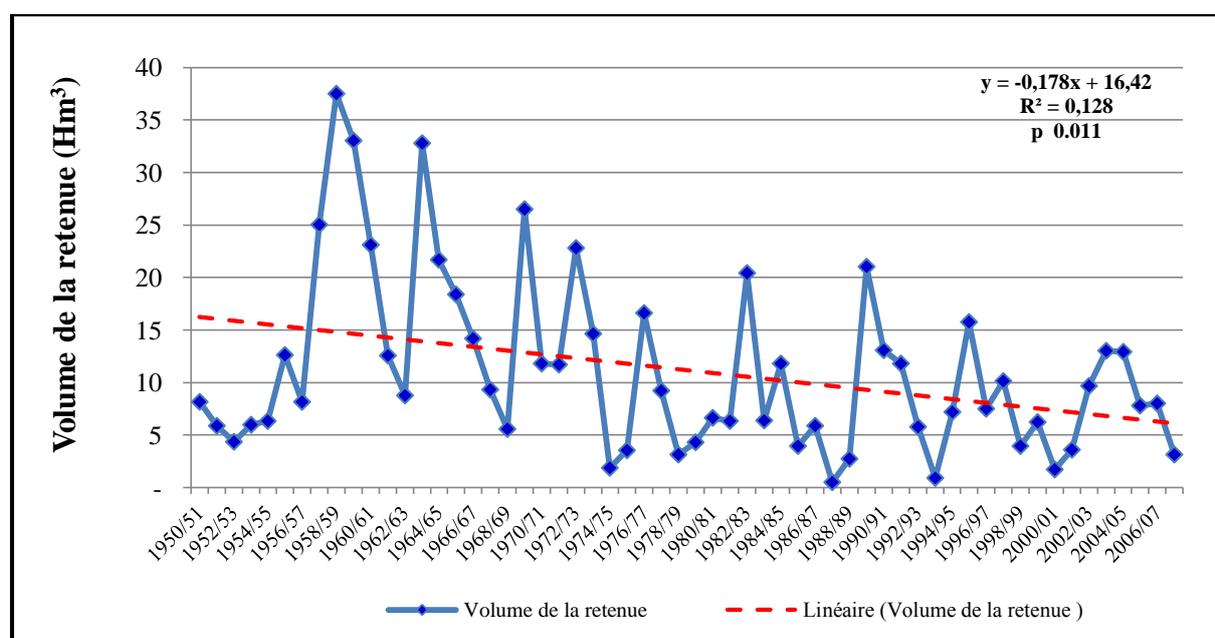


Figure 65 : Evolution des volumes de la retenue interannuels de Fom El Gherza (période 1950-2014)

Le test statistique de tendance effectué sur les volumes montre une baisse significative sur la période d'étude (tableau 20).

Tableau 20 : Test de tendance de Mann-Kendall

Tau de Kendall	-0,250
S	-348,000
Var(S)	18540,667
p-value (bilatérale)	0,011
alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

Ha : Il existe une tendance dans la série

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 1,08%.

V-2- Analyse des campagnes d'irrigation

L'analyse des campagnes d'irrigation montre une difficulté du respect des consignes d'une campagne d'irrigation à savoir, le nombre de campagne d'irrigation, le nombre de jours de la campagne et l'espacement entre les campagnes. Ce constat est assez clair pour les années 1951-1952, 1966-1967, 1973-1974 et l'année 2005-2006. Pour les autres années 1977-1978, 1984-1985, 1995-1996 et 2011-2012, on remarque que les paramètres sont relativement constants (figure 66). Il est à noter que la campagne d'irrigation est fixée, en conditions normales à 25 jours ou 600 heures d'irrigation jour et nuit.

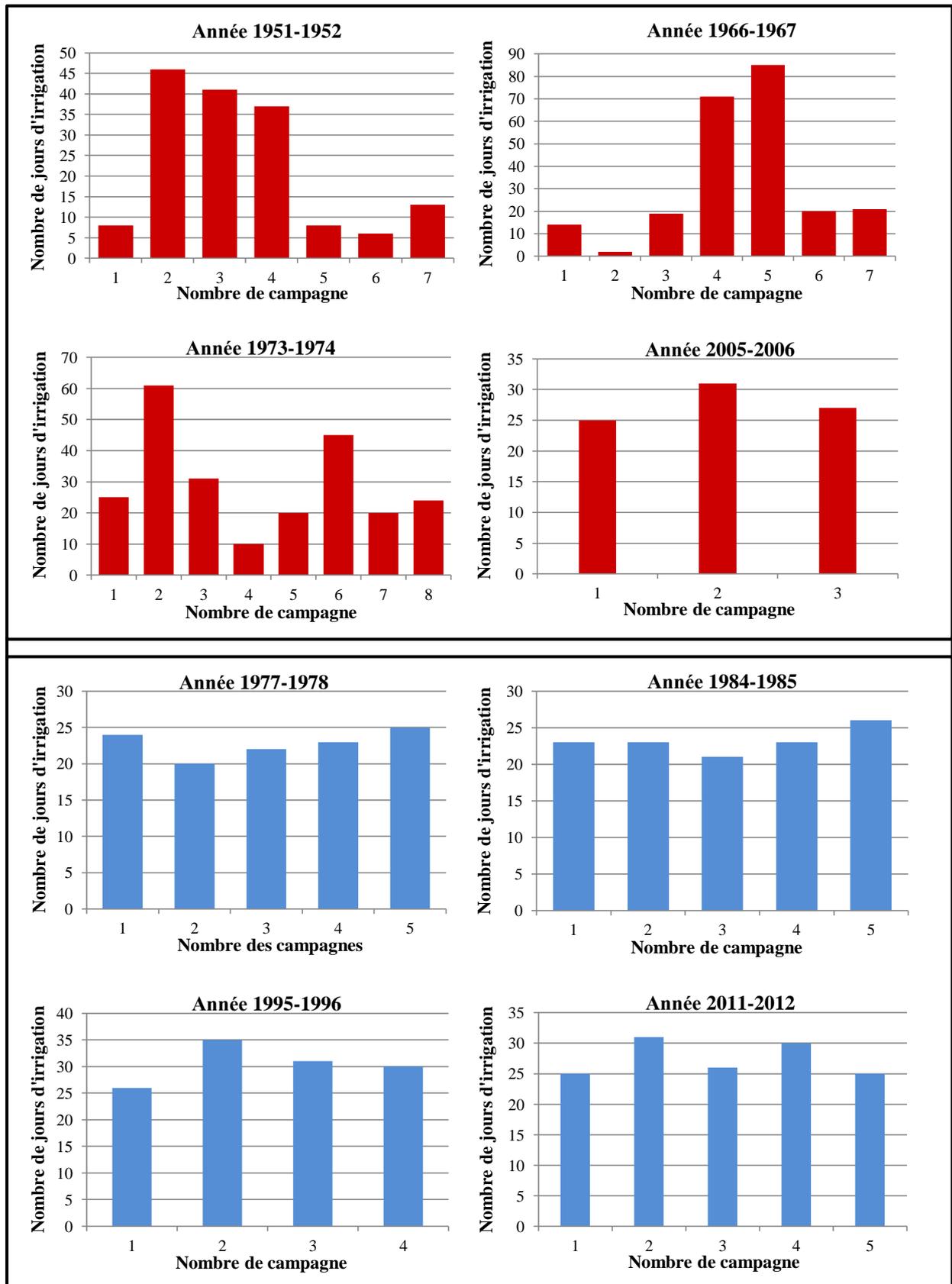


Figure 66 : Evolution des campagnes d'irrigation (en rouge, les années à forte irrégularité, en bleu, les années dont les campagnes sont régulières)

V-3- Les paramètres étudiés

Dans cette partie, nous donnerons en premier lieu un aperçu de l'évolution des palmeraies sur la Wilaya de Biskra. Il s'en suivra une analyse plus détaillée sur la région de Sidi Okba.

Les données concernant les paramètres superficies, palmiers totaux et ceux en production, productions et rendements ont été collecté auprès des services agricoles de la Wilaya de Biskra, l'ITDAS, et le Ministère de l'agriculture.

L'ensemble des sources d'information donne une connaissance très partielle de la réalité foncière, évoquant par-là la crédibilité du dispositif statistique des différents services agricoles de la wilaya. De nombreuses difficultés ont été rencontrées dans la connaissance exacte du patrimoine du palmier dattier à cause des divergences des données fournies par les divers services locaux.

L'écart entre une source et une autre peut atteindre parfois 25%. Mis à part cela la dimension des chiffres avancés dans les analyses qui suivent montre le caractère indiscutable de l'augmentation des plantations et de production en particulier durant de deux dernières décennies (1990-2010). ([Bouammar et Bekhti, 2008](#); [Bouammar 2010](#); [Messar, 2010](#)).

V-3-1- Données générales pour les palmeraies de la Wilaya de Biskra

Les données d'intérêt dans cette étude sont reportées dans le **tableau 21** suivant :

Tableau 21 : Données d'ensemble pour la Wilaya de Biskra (DSA Biskra, Ministère)

Années	Superficie en ha	Nombre de palmiers totaux	Nombre de palmiers en rapport	Production en Qx
1973	29170	2162950	1712410	451040
1974	29060	2145040	1718710	551590
1975	36990	3407130	2867030	949480
1977	36110	3329090	2591490	451360
1980	36110	3257610	2829220	932150
1981	36210	3309860	2866640	987030
1986	18530	1861060	1404250	414660
1990	19670	2000950	1468410	370880
1993	20600	2095425	1547183	656055
1994	/	2137599	1571197	792697
1995	21660	2215164	1615465	794407
1996	22980	2380674	1680829	973173
1997	/	2421239	1853871	805734
1998	/	2450751	1877546	1032719
1999	/	2459521	1890671	1101239
2000	24 244	2523430	1 894 760	934 310
2001	24894	2533360	1998580	1263240
2002	31 837	3149190	2012580	1196660
2003	35 270	3774460	2198910	1485960
2004	37 464	3746440	2195120	1461550
2005	39 311	3907960	2260200	1556700
2006	40 210	4047180	2360580	1643390
2007	40 836	4110160	2586230	1746510
2008	41 287	4179610	2758970	1845000
2009	41 336	4133617	2889417	1867600
2010	41 336	4133417	2930077	2205000
2011	41714	4171447	3037722	2614085
2012	42040	4213332	3537605	2917184
2013	42 493	4249300	3818863	3214402
2014	42 666	4286350	3894898	3770396

/ : Donnée manquante

Dans un premier temps, nous avons mis en graphe les paramètres superficies, nombre de palmiers totaux et en production (figure 67) afin de mieux analyser l'évolution de ces paramètres.

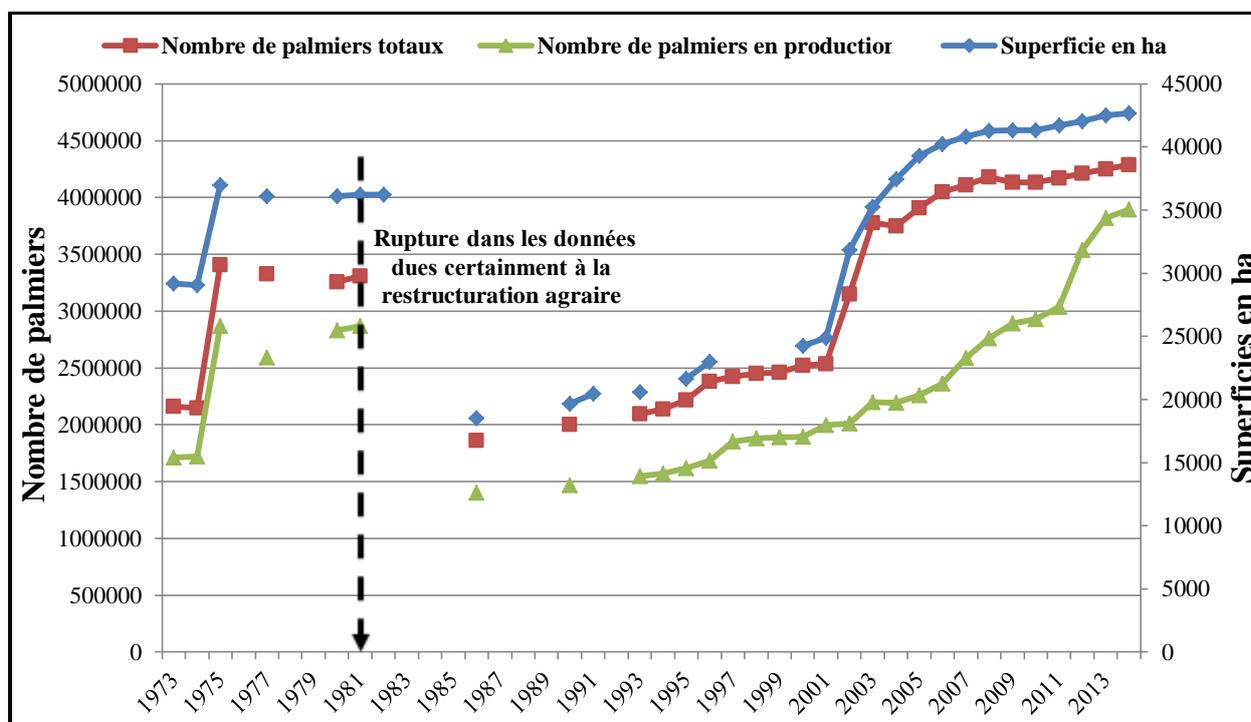


Figure 67 : Evolution des paramètres superficies, nombre de palmier et production

Le graphique de l'évolution des paramètres : superficie, nombre de palmiers et production montre en général une discontinuité dans les données. La première remarque concerne le manque de données sur plusieurs années, à l'exception de la période 2000-2014 où les données sont complètes. Il s'ensuit une difficulté majeure à pouvoir analyser l'évolution de paramètres. En effet il a été enregistré durant l'année 1973 (première année de la période d'observation) une superficie de 29170 ha et 2162950 palmiers, alors que la même source (fichier du ministère) mentionne en 1986 près de 18530 ha et 1861060 palmiers. Cela donne une chute de superficie et donc de production contradictoire. Cette chute s'arrête au début des années 1990 et à partir de 1991 les paramètres commencent à augmenter. Cette situation peut être expliquée par le statut administratif de Biskra avant qu'elle ne devienne Wilaya à part entière. Ainsi, l'analyse de l'évolution des paramètres sur la période 2000-2014 fait ressortir une phase particulière, marquée par une augmentation très forte en superficie et en nombre de palmiers. Cela est vraisemblablement dû au programme PNDA, initié par le Ministère de l'agriculture en 1999 (Halilat 2005). Bouammar (2010) rapporte qu'une progression d'environ 1,5 millions de palmiers a été enregistrée en l'espace de 7 années. Comparativement, les palmiers en production n'ont pas connu le même rythme. Mais pour ce dernier paramètre ce constat ne peut être affirmé que si l'on tient compte des années précédentes.

V-3-2- Données générales pour les palmeraies de la région de Sidi Okba

Les données concernant la région de Sidi Okba n'ont pas été disponibles de la même manière que pour l'ensemble de la wilaya de Biskra. Un tableau synthétique a pu être établi par nos soins en effectuant une recherche de données concernant essentiellement le nombre de palmiers à partir des documents et archives mis à notre disposition. Cette collecte de l'information a été une rude tâche, qui a pris beaucoup de temps, en raison de la crédibilité de la source d'information, comme cité plus haut. La seule donnée disponible a été le nombre de palmiers. Le **tableau 22** rapporte le nombre de palmiers dans la région de Sidi Okba depuis 1878 jusqu'à nos jours.

Tableau 22 : Nombre de palmiers pour la région de Sidi Okba

Années	Nombre de palmiers	Référence
1878	90 000	Rapport de la Commission des eaux de l'Aurès (1918)
1904	70 000	Commission de répartition des eaux du versant méridional de l'Aurès (1924)
1924	113000	Commission de répartition des eaux du versant méridional de l'Aurès (1924)
1950	129836	Etudes préliminaires périmètre d'irrigation de Foug El Gherza (1950)
1966	134728	IFAGRARIA
1986	257049	Thèse AIDAOUI
1990	207245	DSA Biskra
2000	216500	DSA Biskra
2001	276 463	DSA Biskra
2003	319 526	DSA Biskra
2004	343815	DSA Biskra
2005	344001	DSA Biskra
2006	370942	DSA Biskra
2007	375142	DSA Biskra
2008	375750	DSA Biskra
2009	375750	DSA Biskra
2010	375822	DSA Biskra
2011	379322	DSA Biskra
2012	379322	DSA Biskra
2013	379322	DSA Biskra
2014	379322	DSA Biskra

En outre, nous avons reconstitué, à partir des données de l'ANBT, l'évolution des superficies des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda, pour les années 1954 et 1968, seules années disponibles. Les superficies correspondantes respectivement à ces années sont 850 ha et 1250 ha. A l'opposé des oasis de Garta, Seriana et Thouda qui ont doublé en superficie, celle de Sidi Okba a faiblement évolué (figure 68).

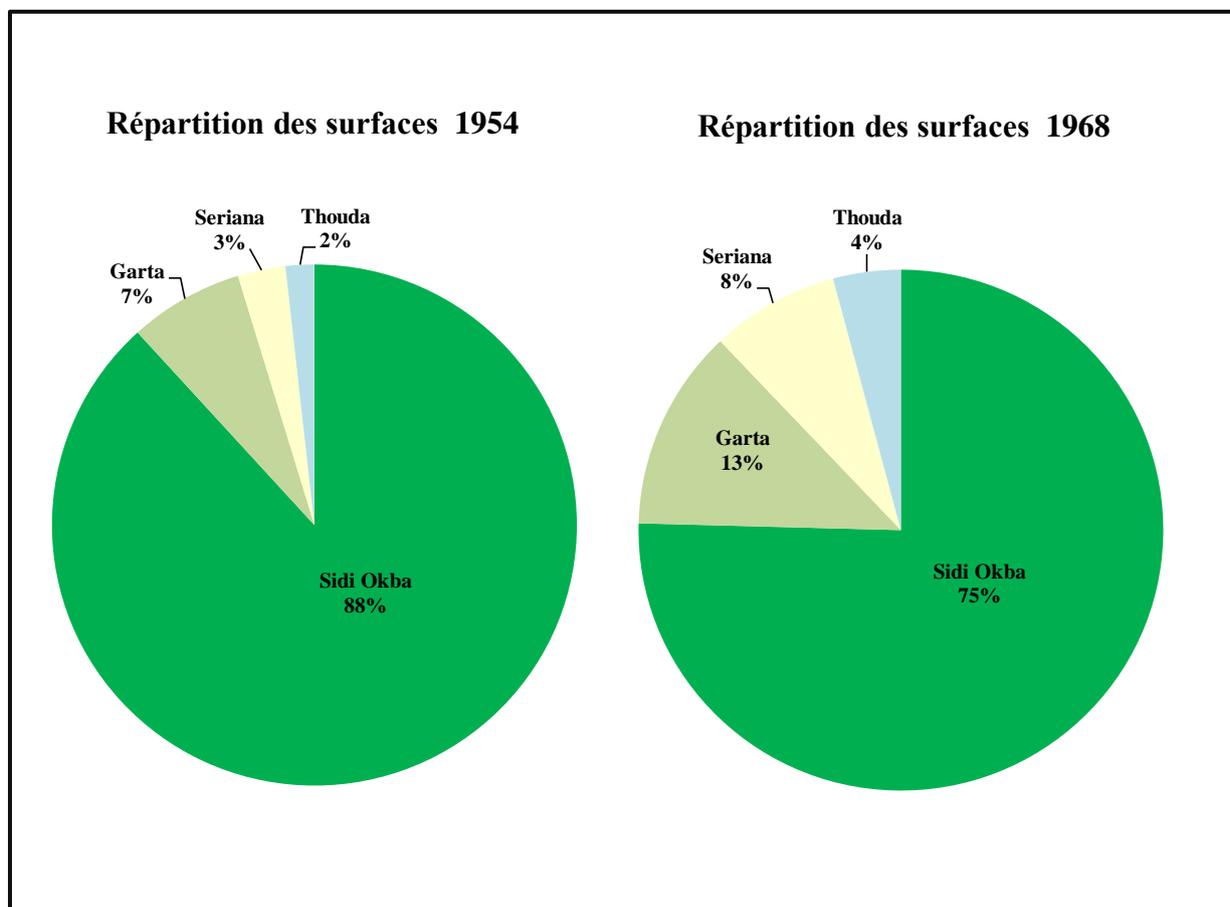


Figure 68 : Evolution des superficies dans les palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda

Le problème de données a été résolu pour la période 1999-2014 où l'on a pu obtenir les paramètres suivants: nombre de palmiers, palmiers productifs, production et rendements. Le paramètre superficie n'a pas été disponible mais celui-ci peut être contourné par le nombre de palmiers et la densité de plantation. Le [tableau 23](#) donne le détail des paramètres cités.

Tableau 23 : Paramètres étudiés des palmeraies de la région de Sidi Okba

Année	Nombre de palmiers	Nombre de palmiers productifs	Production (qx)	Rendement (Kg/palmier)
1999-2000	216500	193000	92100	47,72
2000-2001	276 463	205 500	92 475	45,00
2001-2002	297995	206220	99172	48,08
2002-2003	319 526	206 940	105 869	51,16
2003-2004	343815	210410	110718	52,62
2004-2005	344001	210529	120643	57,30
2005-2006	370942	228610	171385	74,97
2006-2007	375142	230210	145576	63,24
2007-2008	375750	232500	140700	60,52
2008-2009	375750	232500	162750	70,00
2009-2010	375822	235100	167716	71,34
2010-2011	379322	325875	246032	75,50
2011-2012	379322	327492	290342	88,66
2012-2013	379322	331492	321600	97,02
2013-2014	379322	331492	321600	97,02

Durant la période 1999-2014 la région de Sidi Okba a connu un taux d'accroissement de 75%, 72% et 249% respectivement pour le nombre total de palmiers, le nombre de palmiers productifs et la production.

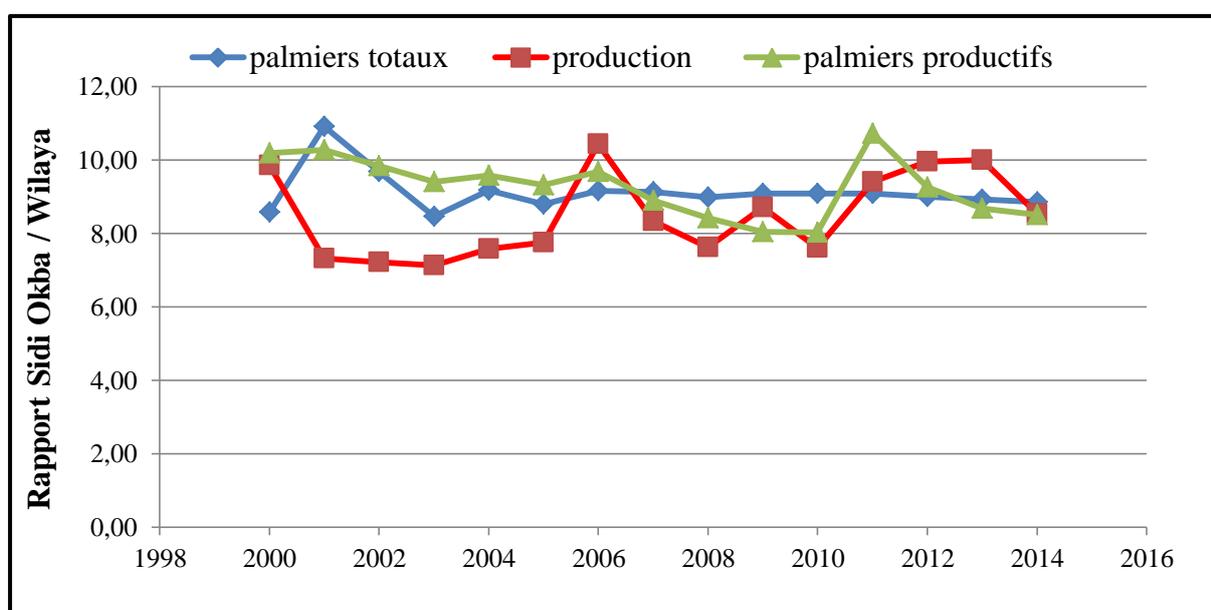


Figure 69 : Evolution du rapport des différents paramètres de palmeraies entre Sidi Okba et la Wilaya de Biskra

Le graphique de la **figure 69** est fait dans un but de montrer le rapport des paramètres palmiers totaux, palmiers en production et production entre Sidi Okba et la wilaya de Biskra. Il est à signaler que les données pour l'année 2002 en été reconstituées en faisant la moyenne des paramètres des deux années 2001 et 2003, en suivant la logique de l'évolution de ces paramètres.

Pour plus de détails, nous nous sommes intéressés à analyser ces paramètres séparément.

V-3-2-1- Nombre de palmiers totaux

On constate à la **figure 70** que le rythme d'accroissement des palmiers totaux ainsi que des plantations au niveau de Sidi Okba par rapport à la wilaya de Biskra est pratiquement le même durant la période 2000-2014.

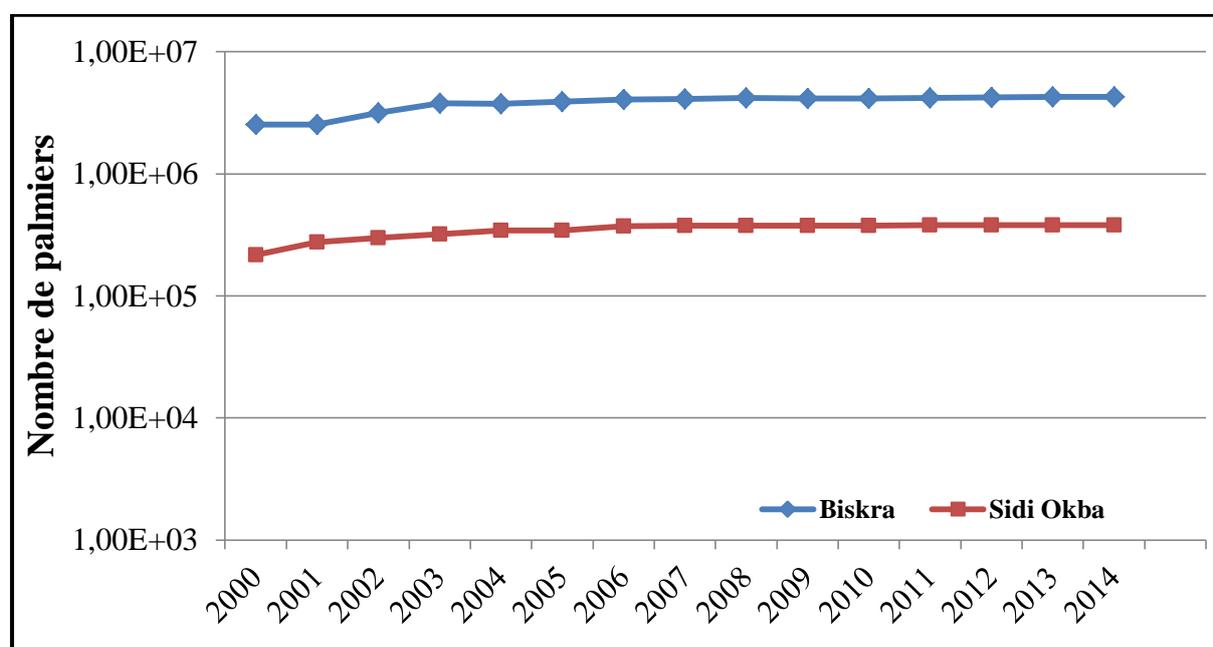


Figure 70 : Evolution de nombre de palmiers

Le graphique de la **figure 71** représente les variations du taux d'accroissement des palmiers à Sidi Okba, Tolga et Ouled Djelal sur la période 2000-2014. A l'exception de la période 2001-2003 caractérisée par une diminution de 2 à 3% du taux d'accroissement des palmiers, les trois régions ont connu sur le reste des années une stabilité. La région de Sidi Okba occupe la première place en nombre de palmiers.

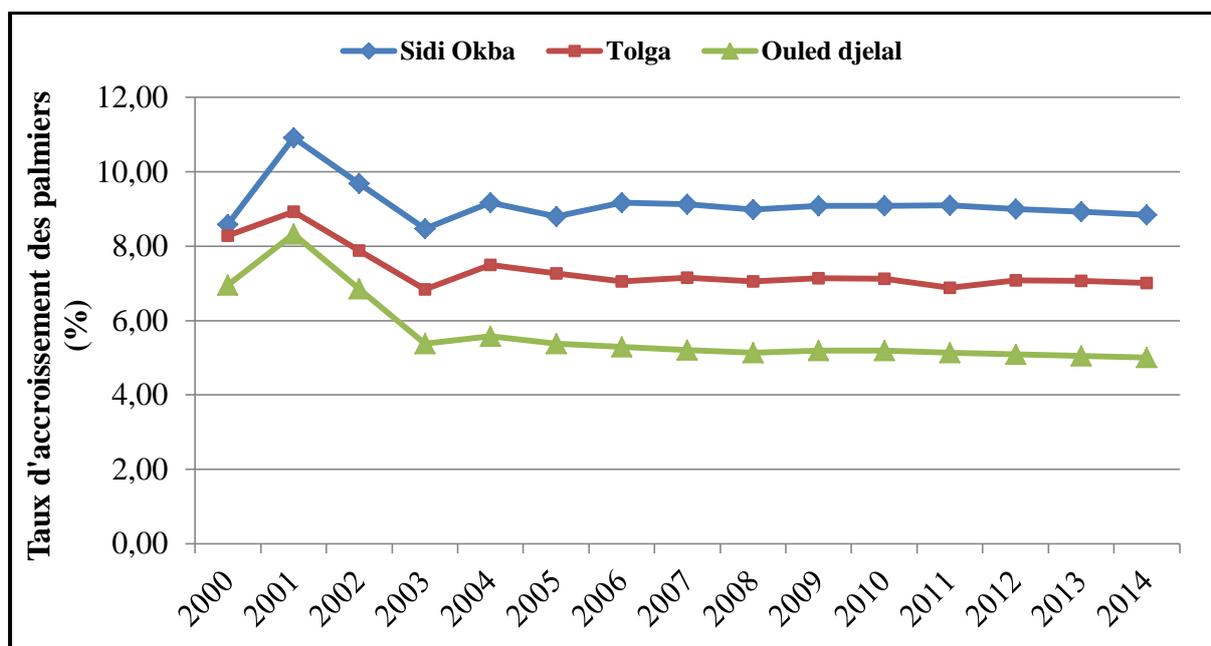


Figure 71 : Evolution du taux d'accroissement des palmiers

V-3-2-2- Palmiers productifs

L'évolution des palmiers productifs est différente à celle des palmiers totaux en raison du processus de mise en production spécifique aux palmiers. Il est à remarquer une diminution du taux d'accroissement des palmiers productifs entre les années 2007 et 2010 qui est expliquée par la stagnation de nombre de palmiers productifs. L'année 2011 a connu un rebond exceptionnel où près de 90700 palmiers sont entrés en productions contre seulement 3500 des plantations nouvelles. Mais en contrepartie, une diminution importante est enregistrée durant l'année 2012 où seulement près de 1600 palmiers sont entrés en production.

V-3-2-3-Production

Le paramètre production a connu une variation contrastée par rapport aux précédents (figure 69). Les rapports de production suivent ceux des palmiers productifs à l'exception de l'année 2009 qui n'a pas connu d'accroissement dans la superficie et le nombre de plantations. Pour l'année 2001, bien que les plantations aient augmenté par rapport à 2000, la production à Sidi Okba n'a pas suivi le résultat sur l'ensemble de la wilaya, ceci en raison de l'aspect concurrentiel des autres régions de la wilaya de Biskra. Cet aspect concurrentiel est montré en figure 72.

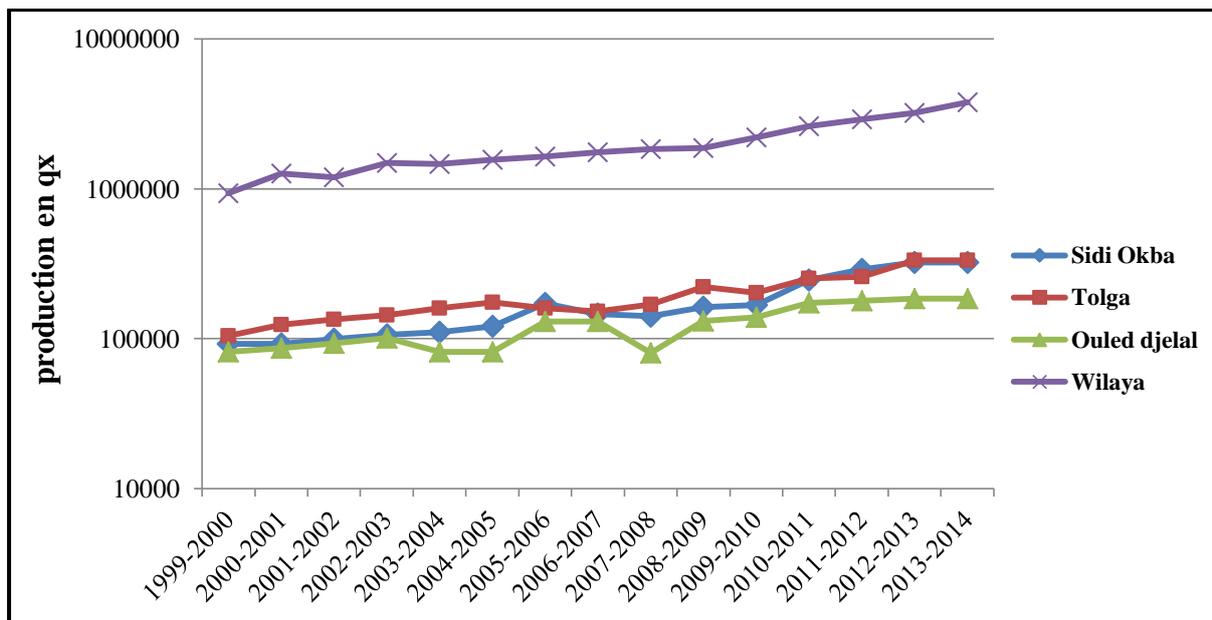


Figure 72 : Evolution de la production dans quelques régions et la Wilaya de Biskra

Comparativement au paramètre nombre de palmiers (figure 72), la région de Tolga s'approprie le premier rang en matière de production, à l'exception de deux années particulières 2005-2006 et 2011-2012. La région d'Ouled Djellal n'a pas connu le même essor que Sidi Okba et Tolga en particulier pour les quatre dernières années.

D'un autre côté, nous avons noté un caractère exponentiel de l'évolution de la production à Sidi Okba (figure 73).

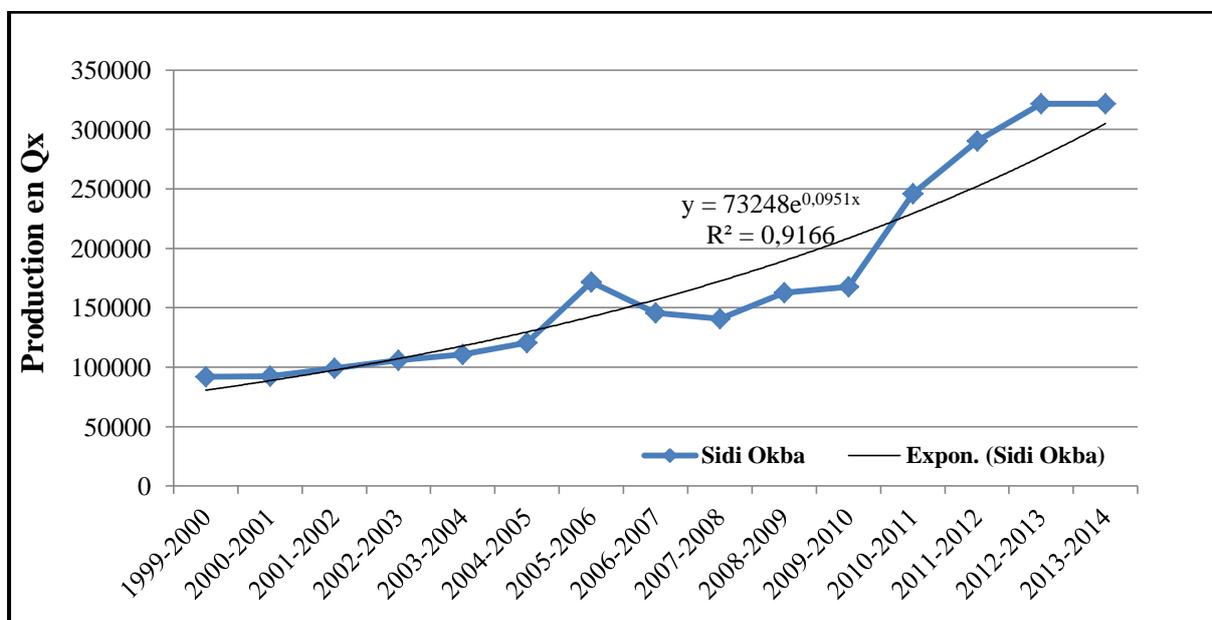


Figure 73 : Evolution de la production dans la région de Sidi Okba pour la période 2000-2014

Les rendements à Sidi Okba sont marqués par une augmentation notable sur la période 2000-2014. Ils sont concurrencés par ceux de la région de Tolga. Ces deux régions ont un rendement supérieur à la moyenne de la Wilaya de Biskra durant les trois dernières années (figure 74).

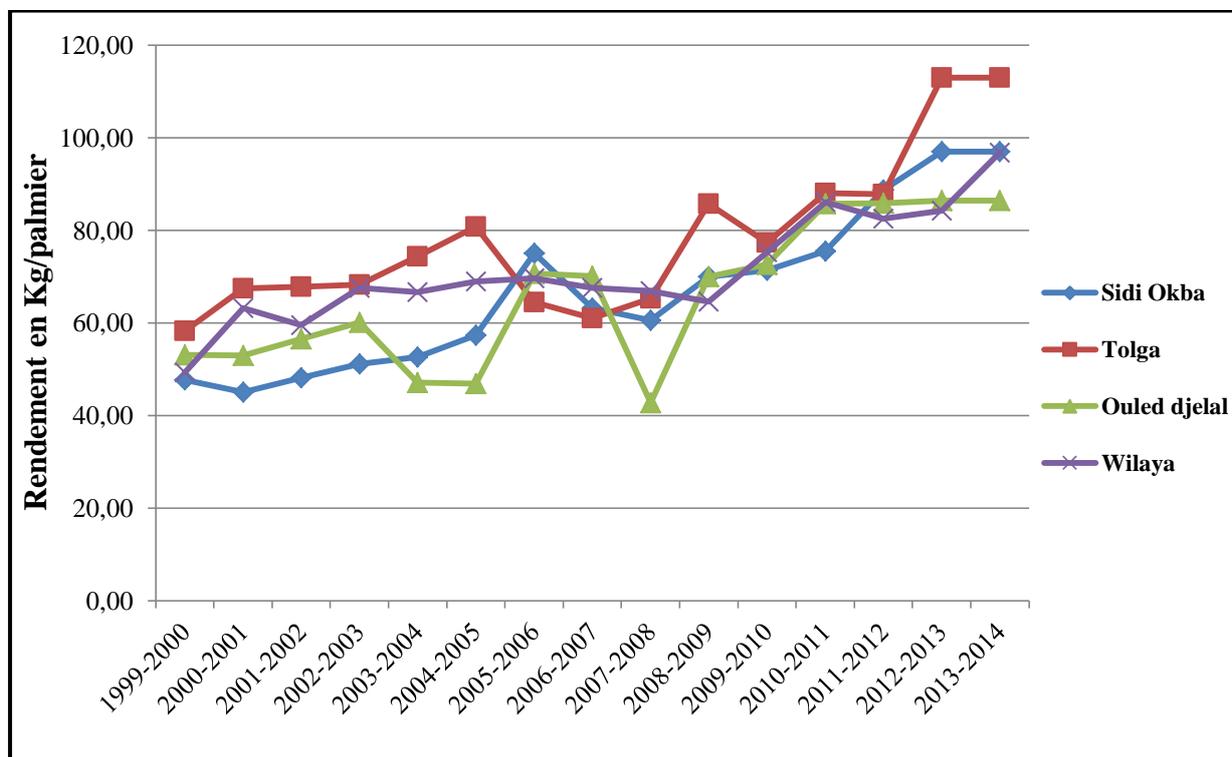


Figure 74 : Evolution des rendements dans les principales régions de la Wilaya de Biskra

V-4- Impact des volumes d'irrigation sur les paramètres étudiés des palmeraies

V-4-1- Impact sur l'accroissement du nombre de palmiers

Le graphique de la figure 75 est réalisé dans le but de connaître l'impact des volumes d'irrigation sur le développement des palmeraies de la région de Sidi Okba. L'indisponibilité des données relatives aux superficies, nombre de palmiers et production a représenté un handicap pour une meilleure analyse. Ces paramètres présentent de fortes discontinuités et ne sont disponibles de manière continue que sur la période 1999-2014.

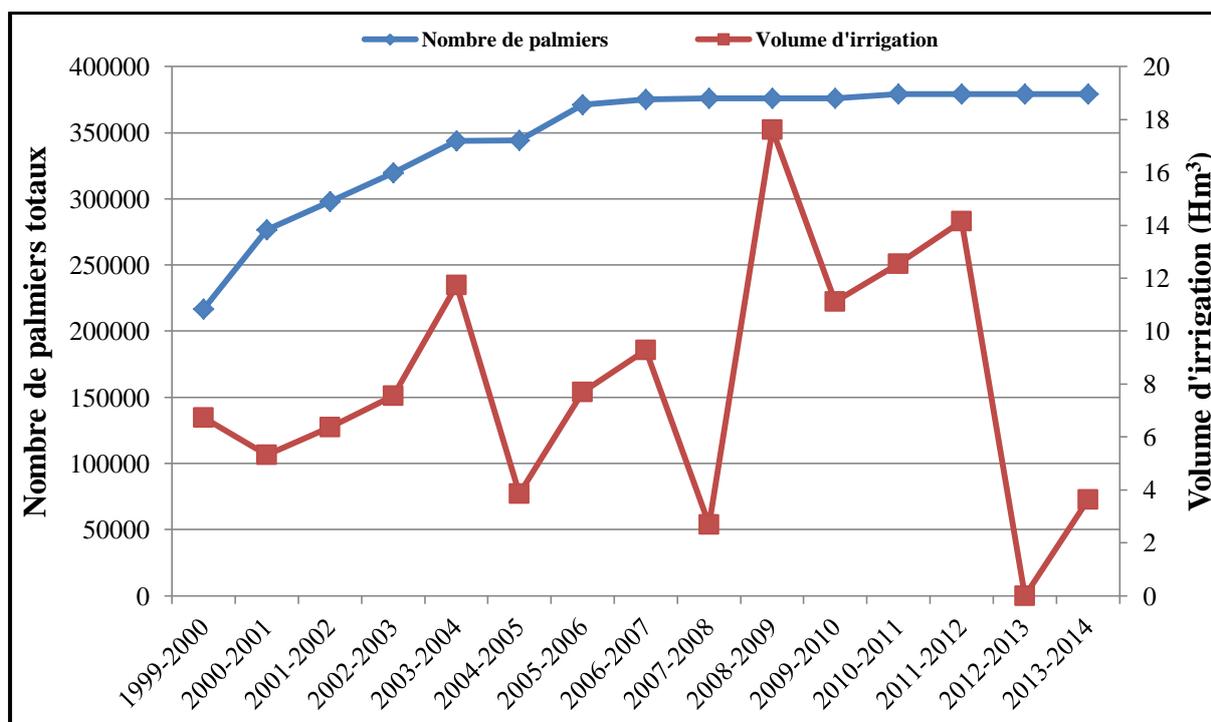


Figure 75 : Effet des volumes d’irrigation sur le nombre de palmiers

Le graphique montre deux phases distinctes d’évolution du nombre de palmiers. La première de 1999 à 2006 où l’on constate une augmentation sensible du nombre de palmiers, suite au programme PNDA, initié par le ministère de l’agriculture au début des années 2000. Une des actions préconisées dans ce programme et la recherche de la rentabilité et l’efficacité dans l’exploitation des ressources naturelles (Hallilat 2005). La deuxième phase de 2006 à 2014 est marquée par une stagnation du nombre de palmiers. Autrement ceci peut être exprimé par une forte amplitude entre les deux phases avec un rapport de 18,43 en faveur de la première phase. Un écart de 8380 palmiers est enregistré entre 2006 et 2014 alors que 154442 sont comptabilisés sur la période 1999-2006.

La confrontation entre l’évolution du nombre de palmiers avec les volumes d’irrigation, fournis sur la période 1999-2014 par le barrage Foug el Gherza, montre les difficultés de mise en valeur et d’extension du périmètre de Sidi Okba ainsi que la gestion des eaux du barrage. Cette dernière obéit à des considérations climatiques entre autres, comme cela est montré sur le graphique de la **figure 75**, précisément durant la période 2006-2014. Durant cette même période on note des dysfonctionnements du mode d’exploitation des eaux du barrage pour l’irrigation, suite à une baisse significative des volumes de la retenue comme cela a été montré dans la section évolution des irrigations du chapitre précédent.

Les graphiques suivants (figure 76) ont été tracés en vue de connaître les courbes de tendance des deux paramètres mis en graphe précédemment.

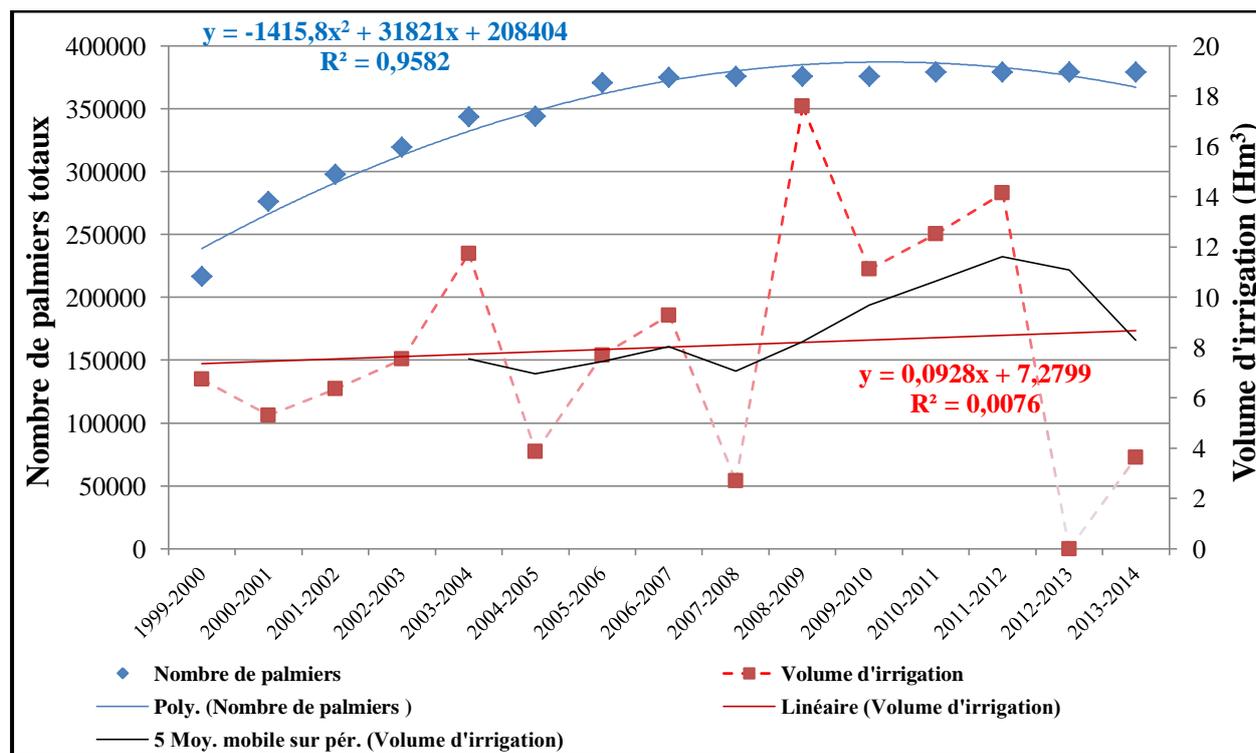


Figure 76 : Courbes de tendance des paramètres volumes d'irrigation et nombre de palmiers

Les modèles obtenus (courbes de tendance) que ce soit pour le nombre de palmiers ou les volumes d'irrigation expliquent bien la réalité physique de l'impact étudié. Le développement du périmètre de Sidi Okba se trouve bien affecté par le manque d'eau comme le montre le résultat de la moyenne mobile vers la fin de la période.

V-4-2- Impact sur la production

Malgré le caractère aléatoire des irrigations, la production a connu un rythme croissant tout au long de la période 1999-2014. L'effet des irrigations est plus ressenti à partir de l'année 2009 où les courbes de production et volume d'irrigation évoluent ensemble et de manière conséquente. L'impact de l'année 2012-2013 a été remarquable sur la production qui est restée la même l'année suivante (2013-2014). Sur la période 1999-2008, l'augmentation des volumes d'irrigation a donné une production relativement moyenne (figure 77).

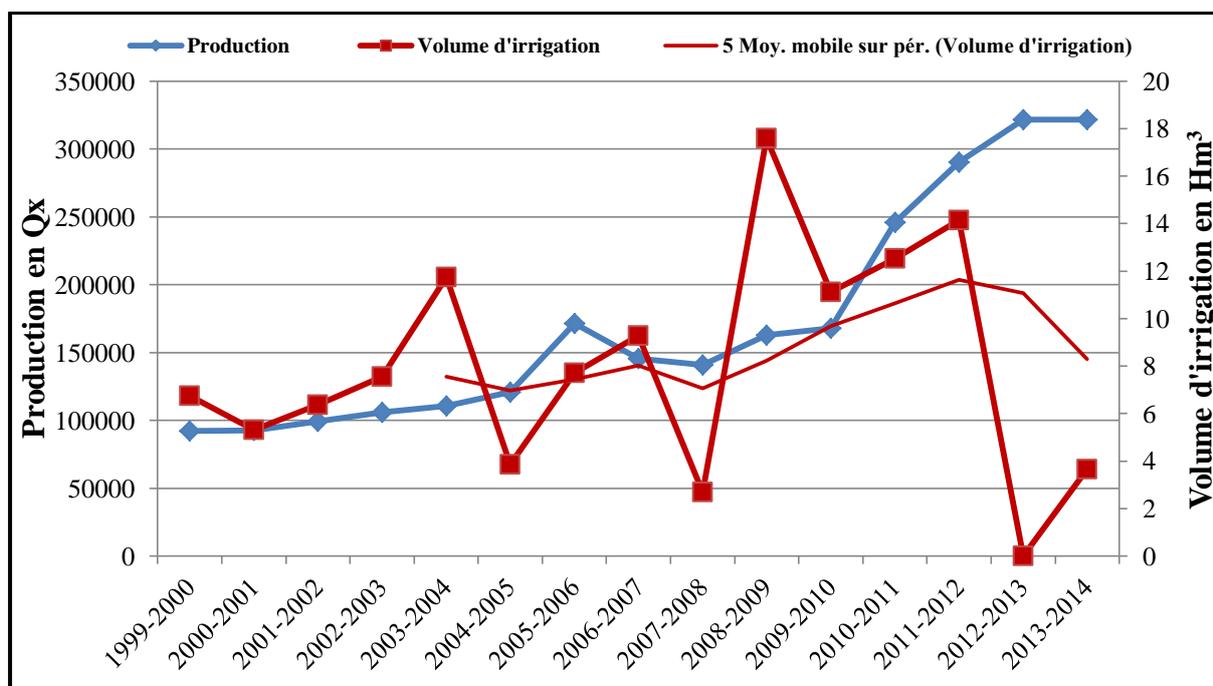


Figure 77 : Effet des volumes d'irrigation sur la production

V-4-3- Impact sur le rendement

Concernant ce paramètre, qui est le rapport de la production sur le nombre de palmiers productifs, le même constat concernant la production est observé pour les rendements (figure 78).

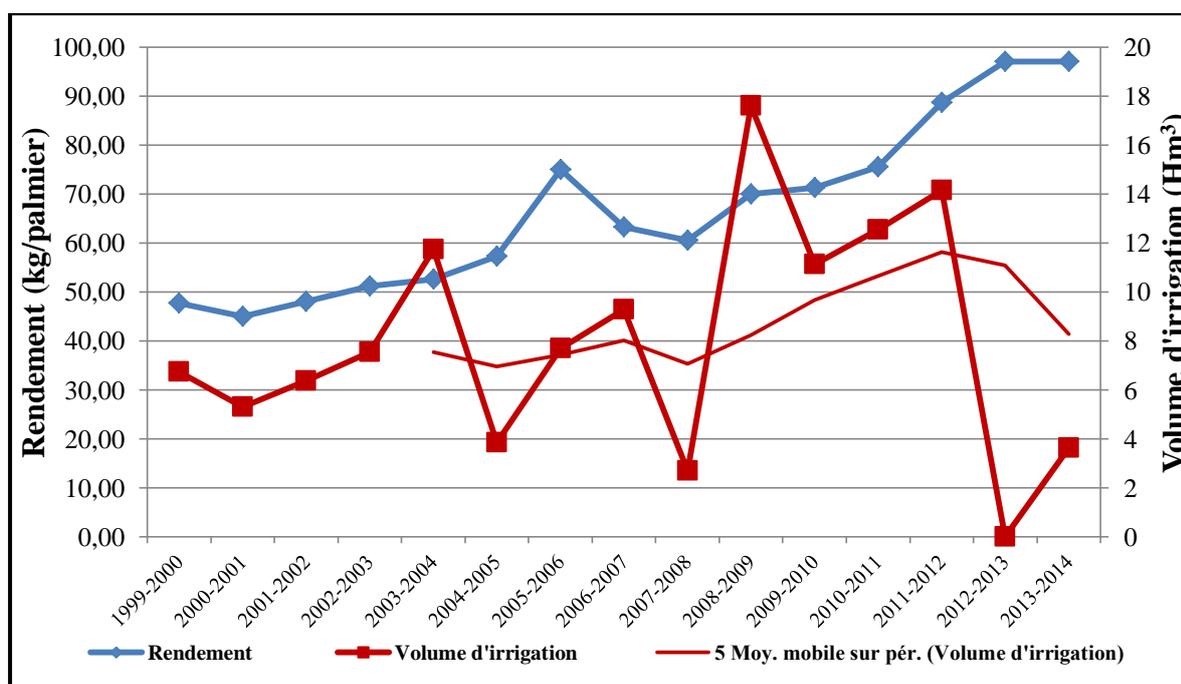


Figure 78 : Effet des volumes d'irrigation sur le rendement

En guise de conclusion à cet impact, il serait important d'évoquer l'influence des forages réalisés dans la région de Sidi Okba pour le renforcement de l'irrigation des palmeraies et des autres cultures. Cependant, des difficultés relatives à la disponibilité des données des forages se sont imposées et comme pour le cas des paramètres agricoles, nous n'avons pu reconstituer un état actualisé de l'évolution du nombre de forages utilisés pour l'irrigation des palmeraies. Des données fragmentées, collectées auprès des subdivisions de l'hydraulique et de l'agriculture de Biskra, indiquent qu'une opération d'implantation de 14 forages à travers la commune de Sidi Okba a été entamée entre 1980 et 1988 pour renforcer l'irrigation par le barrage de Foug el Gherza. Près de la moitié de ces forages ne sont pas fonctionnels aujourd'hui. Les débits varient entre 15 et 45 l/s.

Dans leur étude sur l'intégration des ressources souterraines dans l'irrigation de l'oasis de Sidi Okba, Hamamouche et al (2013) ont montré comment les ressources en eau de surface et souterraine ont été progressivement intégrées à différents moments de l'histoire dans le système irrigué et leurs impacts sur la dynamique de l'oasis de Sidi Okba. Sur le graphique de la figure 79 réalisé par les auteurs et repris par nos soins, nous avons positionné l'année de mise en eau du barrage de Foug el Gherza ainsi que l'année de mise en place du PNDA.

La phase 1950-1980 est caractérisée par la stagnation de la superficie agricole irriguée de l'oasis ou au mieux au maintien du système oasien à 3 strates. Au-delà de 1980, on assiste à la prolifération des forages étatiques, collectifs et individuels pour accéder à la nappe profonde du complexe terminal (Hamamouche et al., 2013).

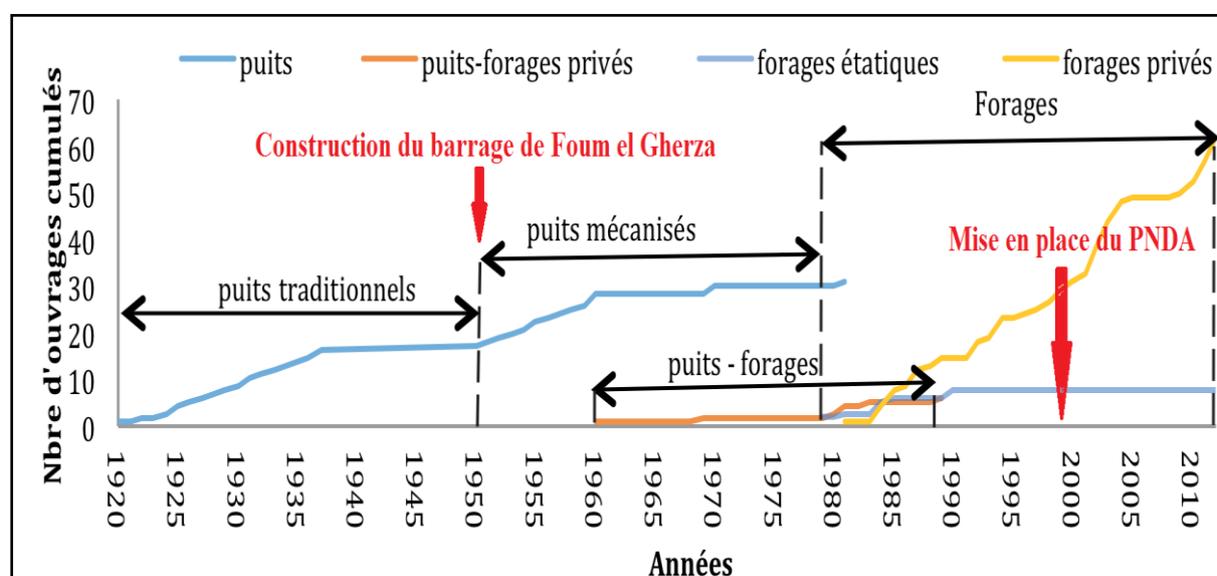


Figure 79 : Historique et contexte de l'intégration de différentes ressources en eau superficielles et souterraines dans l'oasis de Sidi Okba (d'après Hamamouche et al 2013)

V-5- Estimation des besoins en eau des palmiers

L'irrigation est primordiale en phœniciculture. Les apports d'eau doivent être suffisants pour couvrir tous les besoins du palmier-dattier, pour compenser les pertes par infiltration et par évaporation à la surface du sol, pour satisfaire les besoins des cultures intercalaires, s'il y a lieu, et pour lessiver le sol afin d'éliminer les sels accumulés. Pour une production végétale importante, dans un milieu si aride, l'eau doit être fournie par une irrigation abondante, dont le volume nécessaire. L'évaluation des besoins en eau s'appuie sur le calcul de l'évapotranspiration potentielle en palmeraie, qui correspond à la quantité qui s'évapore par le sol et la végétation lorsqu'ils sont convenablement pourvus en eau (Peyron, 2000).

Cette partie est faite dans le but de connaître la compatibilité entre les besoins en eau réels des palmiers dattiers de la région de Sidi Okba et les volumes d'eau d'irrigation affectés par le barrage Foum el Gherza. Bien que les données « volume d'irrigation » soient disponibles sur la période 1950-2014, les besoins en eau des palmiers dattiers ne sont pas connus, malheureusement, sur la même période, ceci en raison du manque de données relatif aux superficies et nombre de palmiers. Par conséquent, nous avons été contraints d'effectuer la confrontation uniquement sur la période 1999-2014, qui représente une phase critique du barrage de Foum el Gherza. Il est à rappeler que celui-ci connaît un taux d'envasement élevé et une capacité assez réduite, comme cela a été montré dans la [figure 66](#) de la partie analyse des volumes d'irrigation.

En fait les volumes d'irrigation sont basés sur la prise en compte des besoins de cette culture. Le calcul des besoins en eau des palmiers dattiers est basé essentiellement sur la détermination de l'évapotranspiration potentielle (ETP). En réalité, différentes approches sont utilisées pour la détermination théorique des besoins en eau du palmier dattier (Tebbi, 2014) parmi elles :

- La mesure directe de l'évaporation affectée du coefficient cultural K_c . Ce dernier est fonction de la culture.

$$E_{tc} = K_c \times E_{t_0}$$

Où

E_{tc} : Evapotranspiration de la culture (mm/jour)

K_c : Coefficient cultural.

E_{t_0} : Evapotranspiration de références (mm/jour)

- L'utilisation de l'équation de Penman-Monteith (Penman 1948) qui est la combinaison du bilan énergétique et du flux de masse. Cette approche a été choisie par la FAO comme méthode privilégiée d'estimation de l'évapotranspiration de références ET_0 , et par suite l'évaporation de la culture ET_c est celle de référence affectée du coefficient cultural K_c .
- Approche basée sur les données liées au sol qui considère que les conditions du sol influencent fortement les besoins en eau du palmier. Ainsi, la connaissance de la teneur en eau réelle (humidité du sol) et la capacité de rétention du sol permettent de mesurer la quantité exacte d'eau d'irrigation à appliquer.

Pour la région de Sidi Okba, la recherche de données expérimentales sur les besoins en eau des palmiers dattiers a été vaine et tous les documents consultés ne rapportent que des calculs théoriques approximatifs avec des ajustements de relations existant dans la littérature spécifique, entre autres les formules de Thornthwaite, Blany & Criddle, Turc ainsi que Penman-Monteith. Ces documents rapportent souvent des comparaisons des résultats trouvés par ces différentes formules.

Pour déterminer l'ETP, on a appliqué les formules couramment utilisées en prenant en considération les caractéristiques climatiques de la région, le détail des formules est donné en annexe. Les résultats sont reportés aux tableaux 24, 25 et 26.

Tableau 24 : Valeurs de l'ETP mensuelle dans la région de Sidi Okba (Thornthwaite)

Mois	Température moyenne en °C	Indice thermique mensuel « i »	Coefficient correctif à 35° L N	ETP en mm
Janvier	11,6	3,34	0,87	12,68
Février	13,5	4,50	0,85	17,90
Mars	16,7	6,21	1,03	36,38
Avril	20,3	8,34	1,09	61,86
Mai	25,5	11,78	1,21	119,53
Juin	30,8	15,68	1,21	189,13
Juillet	33,9	18,13	1,23	242,71
Aout	33,4	17,73	1,16	220,78
Septembre	28,5	13,94	1,03	133,32
Octobre	22,5	9,75	0,97	70,69
Novembre	16,2	5,93	0,86	28,21
Décembre	14,9	5,22	0,85	22,75
Année	Moy = 22,32	$I = \sum i = 120,56$		$\Sigma = 1155,95$

Tableau 25 : valeurs de l'ETP mensuelle dans la région de Sidi Okba selon Blaney & Criddle (coefficient cultural k=0,65)

Mois	Température moyenne en °C	Pourcentage des heures diurnes à 35° latitude Nord	ETP en mm
Janvier	11,6	7,04	61,46
Février	13,5	6,88	63,95
Mars	16,7	8,36	85,66
Avril	20,3	8,82	99,81
Mai	25,5	9,74	125,27
Juin	30,8	9,76	140,90
Juillet	33,9	9,93	152,50
Aout	33,4	9,36	142,36
Septembre	28,5	8,36	114,97
Octobre	22,5	7,88	94,32
Novembre	16,2	6,97	70,38
Décembre	14,9	6,85	66,52
Année	Moy = 22,32	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1218,10$

Tableau 26 : Valeurs de l'ETP mensuelle dans la région de Sidi Okba selon Turc

Mois	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée de l'insolation mensuelle effective (Heures)	Durée mensuelle du jour (Heures)	Valeur théorique de la radiation globale IgA à 35° L.Nord (cal/cm ²)	Radiation globale moyenne (cal/cm ²)	ETP en mm
Janvier	11,6	57	221	312	435	269	55,70
Février	13,5	50	234	336	573	351	70,20
Mars	16,7	44	278	371	730	471	119,09
Avril	20,3	39	293	405	867	545	158,36
Mai	25,5	34	312	435	956	597	200,26
Juin	30,8	31	333	449	986	631	232,86
Juillet	33,9	27	380	442	968	690	272,71
Aout	33,4	30	354	417	887	627	240,10
Septembre	28,5	40	303	384	761	509	167,51
Octobre	22,5	47	254	350	603	380	107,59
Novembre	16,2	57	208	320	466	272	66,81
Décembre	14,9	59	202	304	394	233	56,46
Année	Moy = 22,3	Moy = 42,9					Σ=1747,64

La comparaison des trois tableaux fait ressortir une différence à l'échelle des mois et de l'année. La distribution à l'échelle des mois est plus uniforme en appliquant la formule de Blaney & Criddle (Blaney et al, 1950).

Une fois les valeurs de l'ETP connus, il s'en suivra la détermination des déficits hydriques mensuels (tableaux 27). Ceux-ci sont calculés en soustrayant de l'ETP la pluie utile. La pluie utile est introduite ici car le palmier n'absorbe pas toute la pluie tombée et une partie se perd par ruissèlement ou par percolation.

Tableau 27 : Valeurs des déficits hydriques en mm selon Thornthwaite, Blaney & Criddle et Turc

Mois	ETP Thornthwaite (mm)	ETP Blaney et Criddle (mm)	ETP Turc (mm)	Pluies utiles (mm)	Déficit hydrique selon Thornthwaite (mm)	Déficit hydrique selon Blaney et Criddle (mm)	Déficit hydrique selon Turc (mm)
Janvier	12,68	61,46	55,70	9,84	4,05	73,75	65,52
Février	17,90	63,95	70,20	5,64	17,52	83,30	92,23
Mars	36,38	85,66	119,09	9,73	38,07	108,47	156,24
Avril	61,86	99,81	158,36	10,32	73,64	127,84	211,49
Mai	119,53	125,27	200,26	9,28	157,50	165,70	272,83
Juin	189,13	140,90	232,86	4,32	264,02	195,12	326,49
Juillet	242,71	152,50	272,71	1,35	344,81	215,93	387,66
Aout	220,78	142,36	240,10	4,23	309,36	197,33	336,96
Septembre	133,32	114,97	167,51	16,64	166,69	140,48	215,53
Octobre	70,69	94,32	107,59	12,32	83,39	117,15	136,10
Novembre	28,21	70,38	66,81	12,46	22,50	82,74	77,64
Décembre	22,75	66,52	56,46	5,7	24,36	86,89	72,51
Total année	1 155,95	1 218,10	1 747,64	101,83	1 505,91	1 594,70	2 351,21

Il est à remarquer que les valeurs des déficits hydriques sont pondérées par un coefficient correctif 1,4286 qui fait intervenir le concept de l'eau irriguée, qui n'est autre que le rapport entre le volume d'eau absorbé par le sol et le volume d'eau débité.

L'évaluation des besoins en eau d'irrigation spécifiques aux palmiers a été effectuée en se basant sur les données climatiques disponibles de 1968 à 2010 (ONM Biskra)

Les besoins unitaires en eau des palmiers dattiers pour la région de Sidi Okba sont résumés dans le **tableau 28** suivant

Tableau 28 : Besoins en eau des palmiers dattiers pour la région de Sidi Okba

Mois	Volume en m ³ /ha selon Thornthwaite	Volume en m ³ /ha selon Blaney et Criddle	Volume en m ³ /ha selon Turc
Janvier	40,50	737,48	655,21
Février	175,19	833,02	922,34
Mars	380,69	1 084,70	1562,38
Avril	736,36	1 278,41	2114,90
Mai	1 575,02	1 657,02	2728,29
Juin	2 640,19	1 951,16	3264,94
Juillet	3 448,06	2 159,34	3876,58
Aout	3 093,62	1 973,27	3369,57
Septembre	1 666,94	1 404,79	2155,29
Octobre	833,90	1 171,48	1360,98
Novembre	225,02	827,44	776,44
Décembre	243,63	868,90	725,13
Total année	15 059,12	15 947,02	23512,06

L'analyse du **tableau 28** montre que les besoins en eau des palmiers varient d'un mois à un autre. La demande en eau des palmiers dattiers en période de production (de mai à septembre) est plus élevée selon le modèle de Turc en comparaison avec ceux de Blaney & Criddle et Thornthwaite. L'écart est considérable entre les déficits donnés par Blaney & Criddle et ceux obtenus par Thornthwaite et Turc durant le mois de juillet (**figure 80**).

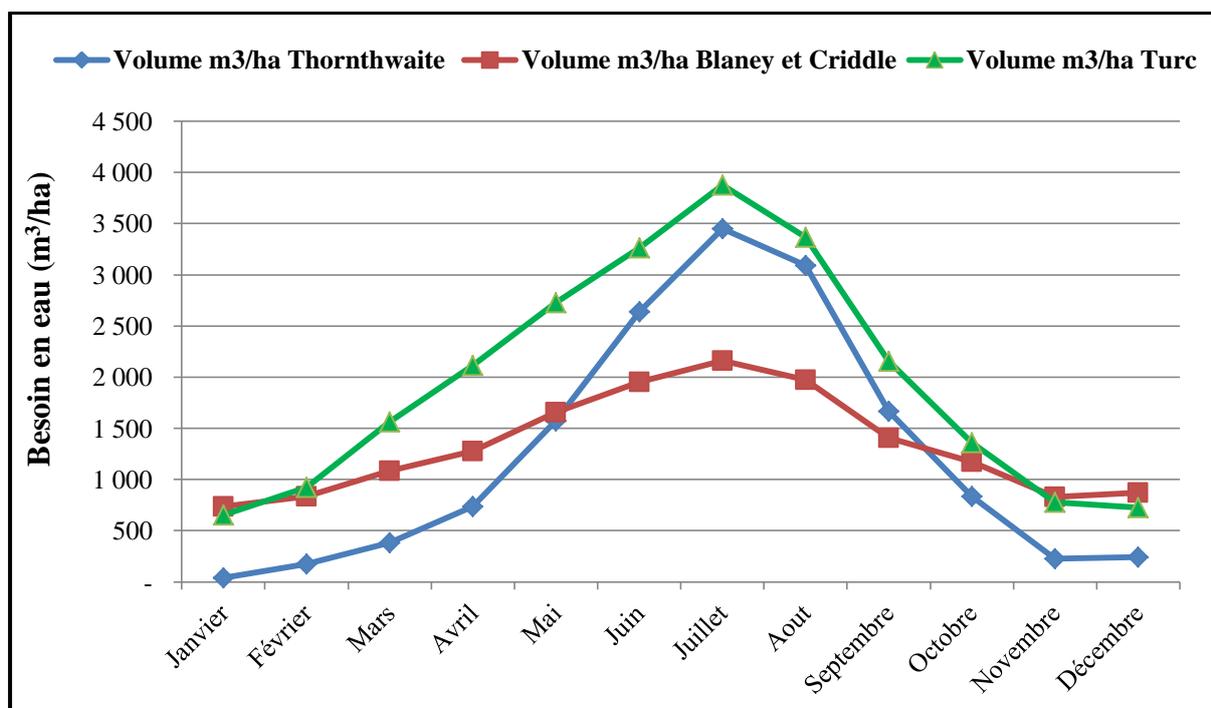


Figure 80 : Besoins mensuels en eau des palmiers dattiers pour la région de Sidi Okba

Les besoins en eau calculés pour le palmier dattier sont de l'ordre de 15 947 m³/an/ha, 15 059 m³/an/ha et 23512 m³/an/ha respectivement selon Blaney & Criddle, Thornthwaite et Turc. Le mois de pointe est celui de juillet avec un besoin brut de 2 159 m³/ha, 3 448 m³/ha et 3876 m³/ha. Par contre, le mois qui présente les besoins les plus faibles est janvier avec 737 m³/ha, 40,50 m³/ha et 655 m³/ha respectivement selon Blaney & Criddle, Thornthwaite et Turc. Les ingénieurs de [Neyrpic \(1952\)](#), lors de leur étude sur l'aménagement de périmètre d'irrigation de Sidi Okba, ont évalué les besoins de palmiers entre 15000 à 20000 m³/ha, annuellement, en considération des conditions climatiques et pédologiques de cette même région.

Selon la localisation, le sol, l'eau et la variété, [Toutain in Peyron \(2000\)](#) indique pour la région des Zibans un volume annuel d'eau d'irrigation de 15 000 m³ pour un hectare de palmiers à un débit de 0,50 l/s.

Dans le même contexte géoclimatique, [Djafour et Aida \(2009\)](#) ont déterminé les besoins mensuels journaliers en eau d'un hectare de palmier adulte à Ouargla, irrigué par surface, en utilisant la formule de Blaney & Criddle modifiée par le FAO. Les besoins approchent ceux de la région de Sidi Okba. [Merabet et Souissi \(2008\)](#) ont calculé les besoins mensuels en eau du palmier dattier, en l/s/ha, dans le bassin d'oued Abiod en amont de Sidi Okba, par la

mesure directe de l'évaporation. Dans une étude comparative sur le même bassin, [Tebbi \(2014\)](#) a trouvé des résultats comparables à l'exception des mois allant de Juillet à Septembre.

Les besoins mensuels étant déterminés ([tableau 28](#)), nous avons ensuite calculé les volumes des besoins annuels d'irrigation par les trois formules, que nous avons comparés aux volumes d'irrigation affectés par le barrage.

Le résultat graphique de la [figure 81](#) illustre parfaitement la problématique de l'irrigation et du développement agricole dans la région de Sidi Okba en particulier, et à Biskra d'une manière générale. Ceci a été aussi problématique pour le cas de notre étude quant au choix de la formule la plus appropriée pour l'estimation des besoins.

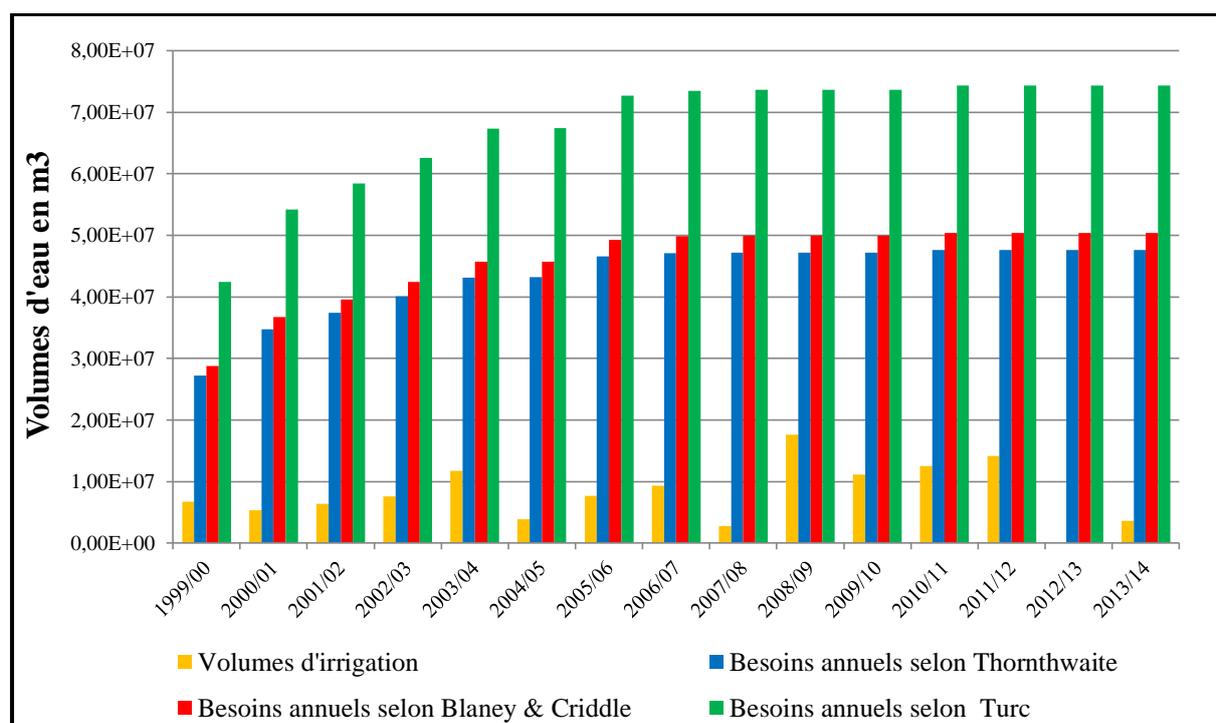


Figure 81 : Comparaison entre les volumes d'irrigation fournis par le barrage Foug el Gherza et les besoins en eau des palmiers dattiers de la région de Sidi Okba pour la période 1999-2014

Selon l'objectif assigné à l'étude, à savoir une étude d'impact, le choix de cette formule ne s'est pas imposé. Bien que différents, les besoins estimés par les trois formules, dépassent largement les volumes d'irrigation fournis par le barrage.

La région d'étude est caractérisée par un volume de précipitations faible et un taux d'évapotranspiration très élevé (notamment du fait des températures très fortes).

V-6- L'efficacité de l'eau

A ce stade de l'analyse et du point de vue méthodologique, il serait plus judicieux de connaître l'efficacité productive de l'eau pour le cas des palmeraies de Sidi Okba.

L'efficacité de l'eau est l'évaluation de l'utilisation de l'eau en agriculture (palmeraies pour notre cas). Cette évaluation concerne plusieurs aspects :

- L'efficacité de stockage (le taux de remplissage et l'envasement de barrage)
- L'efficacité de transport
- L'efficacité de système d'irrigation
- L'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante (variété)

D'une manière générale, l'efficacité est le rapport entre le volume d'eau délivré aux usagers (dans notre cas, les agriculteurs) et le volume fourni à partir du barrage

V-6-1- L'efficacité du stockage

Cet aspect peut être approché par deux facteurs intimement liés : le taux de remplissage de la retenue et le taux d'envasement.

Le barrage de Foum el Gherza a connu une diminution de sa capacité, très inquiétante au cours des dernières années. Pour résumer ce point, nous avons adopté les résultats graphiques des travaux de [Tebbi \(2014\)](#), qui a réalisé une étude d'optimisation de fonctionnement du barrage de Foum el Gherza. La simulation à partir de données réelles a permis que constater que la retenue du barrage est en état de défaillance vis-à-vis de la satisfaction de la demande, qui est l'irrigation des palmeraies de la région de Sidi Okba.

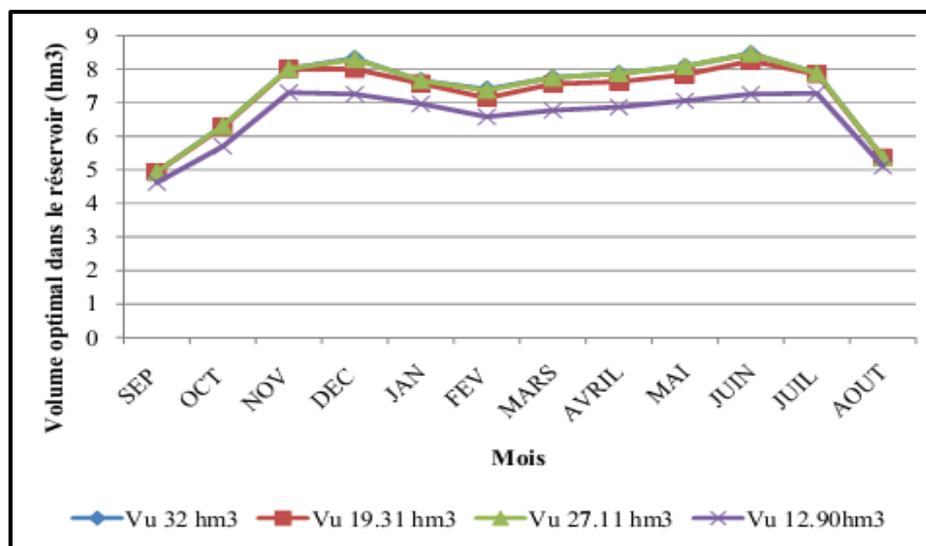


Figure 82 : Courbes consignes en fonction de l'envasement du réservoir ([Tebbi, 2014](#))

La **figure 82** montre le niveau d'eau consigné dans le barrage pour différents horizons. Les courbes indiquent en particulier la difficulté d'une gestion optimale des eaux du barrage pour les mois de Juillet, Aout et Septembre où les besoins sont les plus élevés.

Remini (2005) estime que le barrage de Foum el Gherza est classé parmi les barrages à très fort taux d'envasement.

V-6-2- L'efficience du transport

Il s'agit de l'efficience de transport des canaux (seguias) à partir du lieu de mobilisation de l'eau jusqu'à la prise de l'exploitation (palmeraie).

Pour l'évaluation de cette efficience, la seule et unique donnée disponible est le constat suivant, rapporté dans le document de **Sethyco (1978)** : « le débit attribué à chaque ouverture du barrage est de l'ordre 1250 l/s, arrivé à l'enceinte de cette palmeraie, il ne dépasse guère les 1000 l/s, sans oublier que l'ensemble des déversoirs d'où le partage d'eau des 16 seguias est effectué, est quasi inexistant et les débits d'eau ne sont pas respectés et dans la plus part du temps, ces répartiteurs sont reconstruits en terre ». La **figure 83** illustre ce fait. Cette perte dans le réseau représente près de 20%. Ce chiffre est très approximatif et ne reflète pas la réalité donnée par d'autres sources documentaires qui stipulent que les pertes sont plus élevées. En effet, l'état du réseau est défectueux et les séguias héritées sont très peu entretenues, en raison de leurs dimensions importantes et leurs longueurs très variables depuis l'emplacement de la parcelle par rapport à la borne d'irrigation.



Figure 83 : Photo de gauche : canal mal entretenu. Photo de droite : Répartiteur en terre mal entretenu au niveau de la seguia

Les pertes enregistrées dans le réseau sont de trois types : des pertes par stockage dans les séguias, des pertes par infiltration et des pertes par évaporation qui sont moins importantes. Différentes valeurs sont proposées par la littérature. Par exemple, [Mailhol et al., \(2004\)](#) ont trouvé que les pertes possibles de débit sur une séguia de 100 m seraient donc de l'ordre de 7 l/minute, ou de 0,12 l/s en régime stabilisé, sur un sol argileux. Dans son rapport sur l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, le Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes ([CIHEAM, 1999](#)) estime les pertes en eau dans les canaux en terre à environ 25% pour 100 m de longueur.

Concernant les pertes par stockage et par infiltration, les valeurs de la littérature font référence à des canaux mis en eau en permanence, contrairement aux canaux du contexte de l'irrigation gravitaire des palmeraies de la région de Sidi Okba.

Pour l'estimation des pertes dues au transport, le meilleur moyen est de mesurer le débit dans les séguias.

En fin, il est impératif d'ajouter que les pertes lors de transport de l'eau peuvent entraîner une réduction des temps d'arrosage et du tour d'eau sans pour autant éliminer totalement le déficit dû à une adéquation entre les besoins et la ressource.

V-6-3- L'efficacité de système d'irrigation

L'irrigation gravitaire représente le mode d'irrigation le plus répandu dans l'agriculture irriguée dans la région de Sidi Okba. Selon [Boutouga \(2012\)](#), près de 76 % des terres irriguées le sont par mode gravitaire, toutes cultures confondues.

En situation traditionnelle, l'efficacité de l'eau en submersion alternée, varie de 45 à 70 %. Elle tient compte de l'eau perdue dans l'atmosphère, avant d'atteindre la culture et celle perdue par drainage ou ruissellement.

V-6-4- L'efficacité de l'utilisation de l'eau par le palmier

C'est le rapport du volume d'eau directement utilisé par les plantes sur celui reçu à l'entrée des parcelles. L'estimation rigoureuse de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par le palmier ne peut être approchée que par des essais sur terrain. Dans notre cas, les consommations effectives en eau des palmiers ne sont pas connues. Ce paramètre est essentiel pour établir les calculs de l'efficacité.

L'estimation de l'efficacité d'irrigation n'a pas été possible du fait que l'étude a été entamée alors que le barrage était à son plus bas niveau. Il s'en est suivi que l'irrigation du périmètre de Sidi Okba a fait défaut particulièrement durant les deux dernières années.

V-6-5- Valorisation de l'eau d'irrigation

Les niveaux de valorisation de l'eau d'irrigation sont très faibles et n'ont pas beaucoup évolué. La valeur de l'eau est passée de 0,05 dinar par palmier en 1952 à 0,50 dinar par palmier en 1989. Les données et analyses concernant cet aspect font défaut. Depuis la mise en exploitation du barrage, aucune redevance n'est exigée pour les volumes fournis à l'irrigation. Toutefois les exploitants des palmeraies payent une cotisation à l'association des irrigants de Sidi Okba à laquelle ils sont affiliés.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail effectué dans le cadre du magister, analyse les aspects quantitatifs des ressources en eau superficielle du barrage Foum el Gherza et les impacts qu'il a induit sur les palmeraies de la région de Sidi Okba. Au terme de cette étude nous apportons les conclusions suivantes :

- Le développement de l'agriculture dans la région de Sidi Okba est conditionné impérativement par la pérennité des ressources en eau et leur possibilité d'utilisation dans le temps. Les palmeraies constituent la principale ressource de l'agriculture saharienne. Cette région du Sud algérien représente un potentiel de production important. De nombreuses contraintes limitent de façon durable son développement, contraintes liées au milieu physique des oasis mais aussi aux moyens logistiques mis en place. En effet, la plupart des zones de palmeraies connaissent d'énormes problèmes liés directement aux conditions naturelles de la région (forte évaporation, salinité des sols) et la mauvaise exploitation hydro-agricole (travaux culturaux et entretien, mode d'irrigation).
- Cette région d'étude appartient à la partie Est de Biskra. C'est une zone aride à semi arides, caractérisée par une faible pluviométrie avec une grande variabilité annuelle. Les moyennes annuelles des précipitations sont comprises entre 100 et 200 mm, et une température moyenne de l'ordre de 22,32 °C. L'évapotranspiration réelle est plus importante. L'excédent est nul et la RFU épuisée durant tout l'année. La salinité observée dans le périmètre a une origine géologique et varie entre 2 et 30 mmhos/cm sur le périmètre.
- Les ressources en eau superficielle de la région de Sidi Okba, largement suffisantes au début de l'exploitation du barrage, ont montré leur limite. Le barrage n'assure plus qu'une fraction des besoins en eau des palmiers, en raison des problèmes d'envasement, des sécheresses répétées et d'un accroissement des demandes en eau liés à l'agriculture.
- L'estimation des besoins en eau des palmiers dans la zone d'étude fait ressortir les chiffres de l'ordre de 15 947 m³/an/ha, 15 059 m³/an/ha et 23512 m³/an/ha respectivement selon Blaney & Criddle, Thornthwaite et Turc. Cette demande augmente avec l'évolution des palmiers dont le nombre a dépassé 379000 en 2014.

- Actuellement, les volumes d'irrigation ne satisfont guère la demande des palmeraies. Ces derniers dépassent largement l'offre de barrage, engendrant un déficit plus accru. A titre d'exemple pour l'année 2013, aucun volume d'irrigation n'a été fourni par le barrage en raison de sa faible capacité. Pour l'année 2014 les volumes d'irrigation fournis par le barrage couvraient seulement 7,66 % en moyenne des besoins de palmiers.
- L'étude a montré aussi des dysfonctionnements à plusieurs niveaux : les campagnes d'irrigation – le réseau d'irrigation – les méthodes de gestion.
 - Pour ce qui est des campagnes d'irrigation, il est à noter les difficultés du respect des consignes à savoir, le nombre de campagne d'irrigation, le nombre de jours de la campagne et l'espacement entre les campagnes. Il n'y a pas de grandes variations des volumes d'eau d'irrigation affectés aux palmeraies de Sidi Okba. Des relâchements fréquents sont observés dans les campagnes d'irrigation.
 - Concernant le réseau d'irrigation, l'irrigation gravitaire traditionnelle est pratiquée sur plus de 80 % des superficies. De plus, et concernant l'efficience du transport, les pertes dans le réseau représente près de 20%.
 - Les problèmes de gestion sont divers. Les modèles d'aménagement sont proposés et réalisés pour optimiser l'utilisation des sols et de l'eau. Les principales difficultés rencontrées concernent le milieu socio-économique marqué essentiellement par les méthodes de partage de l'eau, les tâches d'entretien et de distribution. La phoeniculture constitue la principale ressource des populations locales.
- Concernant le patrimoine phoenicole, les données collectées durant l'étude indique une connaissance très partielle de la réalité foncière de la région de Sidi Okba.
- Durant la période 1999-2014, la région de Sidi Okba a connu un taux d'accroissement de 75%, 72% et 249% respectivement pour le nombre total de palmiers, le nombre de

palmiers productifs et la production. La région de Sidi Okba occupe la première place en nombre de palmiers. Les rendements à Sidi Okba sont marqués par une augmentation notable sur la période 2000-2014. Ils sont concurrencés par ceux de la région de Tolga. Ces deux régions ont un rendement supérieur à la moyenne de la Wilaya de Biskra durant les trois dernières années de la période d'étude.

- La confrontation entre l'évolution du nombre de palmiers et les volumes d'irrigation, fournis sur la période 1999-2014 par le barrage Foug el Gherza, montre les difficultés de mise en valeur et d'extension du périmètre de Sidi Okba ainsi que la gestion des eaux du barrage. La production a connu un rythme croissant tout au long de la période 1999-2014.
- Les résultats graphiques et statistiques confirment bien que le développement du périmètre de Sidi Okba se trouve bien affecté par le manque d'eau.

Enfin, nous pensons que l'impact du barrage de Foug El Gherza a été positif en considération de sa durée de vie et des problèmes auxquels il a été confronté. Il a permis de développer la région de Sidi Okba et aussi la Wilaya de Biskra, qui se reconnaît, entre autre par ce barrage. Toutefois, ce développement n'a pas été soutenu par les moyens et mesures nécessaires et opportunes.

Comme perspectives à ce travail, il serait intéressant de focaliser les études futures sur l'intégration des ressources souterraines dans la dynamique des oasis et son impact sur le développement agricole. De plus, l'influence des changements climatiques sur la production des palmiers serait aussi une thématique qui ajoutera certainement des éléments nouveaux sur la contrainte climatique abordée dans le présent mémoire.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Absi R., 2013.** Analyse de la diversité variétale du Palmier Dattier (*Phoenix dactylifera* L.): Cas des Ziban (Région de Sidi Okba). Mémoire de magister. Université de Biskra. 105 pages.
- **Aidaoui S., 1994.** Ressources en eau et aménagement hydro agricole dans la région des Zibans. Thèse de Doctorat. Université de Nancy II. 353 pages.
- **Amri C., 2006.** Les Collemboles de quelques habitats et biotopes de l'est algérien : Inventaire et dynamique saisonnière. Mémoire de magister. Université Constantine. 101 pages.
- **ANAT., 2014.** Carte du réseau hydrographique.
- **ANBT., 2014.** Données d'exploitation du barrage de Foum El Gherza. Fichier numérique. Antenne de Biskra.
- **ANRH., 1993.** Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord.
- **ANRH., 2003.** Essai sur modèle mathématique du système aquifère de la région de Biskra.
- **ANRH., 2012.** Recharge artificielle de la nappe alluviale d'oued Biskra. Projet WADIS MAR.
- **Aouidane., 2008.** Etude de la dynamique agricole dans la région des Ziban : cas d'étude d'El Ghrous. Mémoire de magister en agronomie saharienne Régulation des agro systèmes sahariens. Université Kasdi Merbah Ouargla. 143 p.
- **Arab Organization for Agricultural Development (AOAD),, 2008.** Arab Agricultural Statistics Yearbook, 28, Year- 2008 PART III: Plant Production, Statistics Division.
- **Arrus R., 1985.** L'eau en Algérie. De l'impérialisme au développement (1830-1962). Office des Publications Universitaires (Alger). Presses Universitaires de Grenoble. 388 pages.
- **Bachir M., Souissi D., Mohamed C., 2008.** Algeria country paper, in: Proceedings of Workshop on "Irrigation of Date Palm and Associated Crops" in collaboration with Faculty of Agriculture, Damascus. University, Damascus, Syrian Arab Republic, 27-30 p.

- **Badsı W., 2011.** Etude de l'évaporation du lac de la retenue de Foug El Gherza. Projet de fin d'étude d'ingénierat. Département d'hydraulique. Université de Biskra. 82 pages.
- **Ballais J L., 2010.** Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara Algérien. *Physio-géo* .vol 4 .2010.p107-127.
- **Benbouz H., 1994.** Contribution à l'étude du comportement de 24 variétés de coton *G. hirsutum* et *G. barbadense* et essai d'amélioration de la production de semences hybrides (F1) dans la région de Biskra. thèse Ing. Inst Nat Ens Sup Batna, 96p.
- **Benziouche S E., Chehat F., Belhamra M., 2014.** L'irrigation dans les palmeraies des Ziban: Pratiques et Contraintes. Actes du Séminaire sur la gouvernance des eaux souterraines au Maghreb. Biskra, 3-7 décembre 2013. 113 pages.
- **Bessenasse M., Kettab A., Paquier A., Galeas G et Ramez P., 2003.** Simulation numérique de la sédimentation dans les retenues de barrages: cas de la retenue de Zardezas, Algérie. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 16, n° 1, pp: 103-122.
- **Blaney H F., Criddle W D., 1950.** Determining consumptive use and irrigation water requirement. USDA-ARS Technical Bulletin, 1275.
- **Bouammar B et Bekhti B., 2008.** Le développement de l'économie agricole oasisienne: entre la réhabilitation des anciennes oasis et l'aménagement des nouvelles palmeraies. *Revue EL-BAHITH*. 19-24 pages.
- **Bouammar., 2010.** Le développement agricole dans les régions sahariennes. Thèse de Doctorat en Sciences économiques. Université Kasdi Merbah Ouargla. 296 pages.
- **Bouguedoura N., Ibrahim A., Ould Mohamed A., Saker M and Trifi M., 2008.** A paper presented at NEPAD Biotechnology Workshop "Challenges for North Africa and Promises for a Regional Integrated Program". Ezzahra, Tunisia, in collaboration with the Tunisian Society of Microbiology, pp: 22-25.
- **Bouraoui M., 2013.** Etude de délimitation du périmètre de Sidi Okba. Plan synoptique. Echelle 1: 50000.
- **Boutouga F., 2012.** Ressources et Essai de Gestion des eaux dans le Zab Est de Biskra. Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 172 pages.

- **Busson G et Cornée A., 1989.** Données sur les paléoclimats déduites de la sédimentation continentale du Mésozoïque saharien. Environnements of Mid-Cretaceous Saharan dinosaurs- Elsevier .pp 37-42.
- **Chabour N., 2006.** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. 171 pages.
- **Chaouch S., 2006.** Développement agricole durable au Sahara. Nouvelles technologies et mutations socio économiques : cas de la région de Ouargla. Thèse de Doctorat Université Aix-Marseille. 389 pages.
- **Chebbah M., 2007.** Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat. 410 p.
- **CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes), 1999.** L'amélioration de l'efficacité de l'irrigation pour une économie d'eau : cas d'un périmètre irrigué en Tunisie. 57 pages.
- **Demnati F., 2013.** Biodiversité et Enjeux Socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir. Thèse de doctorat. Université de Biskra. 143 Pages.
- **Djafour et Aida., 2009.** Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour l'irrigation d'une palmeraie à Ouargla. Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur Vol. 1 N° 3, pp 17-23.
- **DPAT., 2010.** Potentialités hydrauliques existantes dans la région de Biskra. Rapport interne.
- **DSA de Biskra., 2014.** Donnée statistique. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Biskra, Service des statistiques agricoles.
- **DURAND J H., 1954.** Les sols d'Algérie. Publication du S.C.H.
- **FAO., 2002.** L'eau, l'agriculture et l'alimentation. Chapitre 3 l'utilisation de l'eau en agriculture. Archives de documents de la FAO. Fichier web.
- **FAO., 2003.** The marketing potential of date palm fruits in the European market, FAO commodity and Trade Policy Research Working Paper No. 6, Pascal Liu (Ed.), Raw Materials, Tropical and Horticultural Products Service Commodities and Trade Division, FAO, Rome, Italy.
- **Fao-Aquastat., 2005.** <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/dza>

- **FAOSTAT., 2009.** Crop Production 2008, Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Gausсен et Bagnouls., 1952.** Les climats biologiques et leurs classifications. Annale de Géographie, 355: 193-220.
- **Gerrard G., 1999.** Climatologie de l'environnement. Cours et exercices corrigés. Préface de Jean Mamy 2^{ème} Edit. Dunod. 300 P.
- **Gouskov N., 1952.** Le barrage de Foum El Gherza. Eléments de technologie des barrages Algériens. XIX Congrès géologique international. Alger . pp 259-269.
- **Gouskov N.,1964.** Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000. Biskra. Serv. Géol. De l'Algérie. Alger.
- **Halilat M.T., 1998.** Etude expérimentale de sable additionné d'argile : Comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse Doctorat, INA Paris. Grignon. France. 229 p.
- **Halilat.M.T, 2005.** Situation de l'irrigation/fertigation en algérie. Revue H.T.E. N° 131 - Mars / Juin. pp 69-77.
- **Hamamouche M. F, Kuper M, Hartani T. 2014.** Intégration des ressources en eau souterraine dans un périmètre irrigué de surface: le cas de l'oasis de Sidi Okba (Algérie). Actes du Séminaire sur la gouvernance des eaux souterraines au Maghreb. Biskra, 3-7 décembre 2013. 113 pages.
- **Hannachi S., Khitri D., Benkhalifa A., Brack de la perrière R A. 1998.** Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Ed .CDARS-URZA. Algérie. Pp 225.
- **Ifagraria., 1966.** Etude de l'aménagement de la palmeraie de Sidi Okba. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. Direction du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole. Rome.
- **Kassoul M., Abdelgader A et Belorgey M., 1997.** Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 10, n° 3, pp 339-358.

- **Kebaili N., 2006.** Menaces de la salinité des sols: Constats dans la région des Ziban. Journées Internationales sur la Désertification et le Développement Durable. P 510-519.
- **Khadraoui., 2005.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis Algériennes, 310 pages.
- **Laffitte R., 1939.** Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull, Serv. Carte géologique Algérie, Alger. 2^{ème} édition. 484 p.
- **Lain M., 2005.** Agricultural vulnerability to drought: A comparative study in Morocco and Spain, Thesis, IAMZ-CIHEAM Zaragoza, Spain.
- **Le Houerou H.N., 1995.** Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Option méditerranéenne. Série B : études et recherches n 10 ; CIHEAM. Montpellier, 397 p.
- **MADR., 2003.** Rapport sur la situation du secteur agricole en 2001. Données de la relance des investissements. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. 79 p.
- **Mailhol J C., Vodicka A., Ruelle P., Slatni A., Ikama M., 2004.** Diagnostic des pratiques d'irrigation gravitaire dans le Moyen Sebou : perspectives d'améliorations. Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée. Rabat 19-23 avril, 13 pages.
- **Masmoudi., 2012.** Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région saharienne : cas des Oasis des Ziban. Thèse de doctorat en sciences, 137 pages.
- **Mehaoua M S., 2014.** Abondance saisonnière de la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller., 1839), bioécologie, comportement et essai de lutte. Thèse de doctorat. 109 pages.
- **Merabet B et Souissi D., 2008.** Algeria country paper. In: FAO (ed) Workshop on irrigation of Date palm and Associated Crops. Damascus.
- **Messar E.M., 1993.** Le secteur phoenicicole algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010. In: Ferry M. (ed.), Greiner D. (ed.). Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; N° 28, pp 23-44.

- **Ministère des Ressources en Eau., 2012.** Note sur l'activité de l'hydraulique agricole. Alger. 4 pages.
- **Mutin G., 2000.** L'eau dans le monde arabe, enjeux et conflits. Collection : carrefours de géographie, Ellipses, Paris. 156 p.
- **Nadji H., Gali B., 1992.** Étude de faisabilité de transfert des eaux d'oued Abdi vers le barrage Foug el Guerza. Mémoire de fin d'études, Institut d'Hydraulique, Centre Universitaire de Biskra, 51 p.
- **Neyrpic., 1952.** Etudes préliminaires du périmètre de Foug El Gherza, gouvernement général de l'Algérie service de la colonisation et de l'hydraulique, 103 pages.
- **ONM Biskra., 2015.** Données météorologiques de Biskra.
- **Ould Baba Sy M., 2005.** Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, Tunis (Tunisie). 261 pages.
- **Ozenda. P., 1991.** Flore et végétation du Sahara (3^e éd). Paris, France, CNRS. 662p.
- **Penman H L., 1948.** Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences.
- **Peyron G., 2000.** Cultiver le palmier-dattier. Ed. Gridao. Montpellier. pp : 13-66.
- **Remenieras G., 1976.** L'hydrologie de l'ingénieur. Édit. EYROLLES, Paris, deuxième édition, 265 p.
- **Remini B, Leduc C et Hallouche W. 2009.** Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Revue Sécheresse vol. 20, n° 1. pp 96-103.
- **REMINI B., 2005.** La problématique de l'eau en Algérie. Ouvrage édité à compte d'auteur, Dépôt légal : 114-2005, ISBN : 9947-0-0724-3, 182 p.
- **Sedrati N., 2011.** Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de biskra-sud est algerie. Thèse de doctorat science. Université d'Annaba. 252 pages.
- **Seiad L N., 2003.** Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en algerie. revue h.t.e n° 125, pp 94-101.
- **Sethyco., 1978.** Enquete parcellaire de la palmeraie de Sidi Okba.

- **Tanina D S., Nagnin S., Yéi S O., Théophile L., Gbombélé S., Kouassi E A et Biémi. J., 2011.** la variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau du degré carré de grand-lahou (sud-ouest de la côte d'ivoire). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, vol 5, pp 55-73.
- **Tatar H., 2013.** Transformations foncières et évolution des paysages agraires en Algérie », *Méditerranée* n° 120, pp 37-46.
- **Tebbi F Z., 2014.** Modélisation de la régularisation des barrages dans la région des Aurès. Thèse de Doctorat Sciences. Université de Batna. 136 pages.
- **Touati B., 2010.** Les barrages et la politique hydraulique en Algérie: état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de Doctorat d'Etat en Aménagement du Territoire. Université de Constantine. 384 pages.
- **W.W.A.P, Unesco. 2009.** The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris:Unesco, and London :Earthscan. Map 7.5, page 109.
- **Wikipedia.org, 2015.** la carte administrative d'Algérie.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Alger#/media/File:Algeria_relief_location_map.jpg
- **Zella L et Smadhi. D., 2007.** Evolution de l'irrigation. *Larhyss Journal*, N°6 pp 65-80.

ANNEXES



Annexes

Annexe 1 : Formule de Thornthwaite

$$ETp = 1,6 \cdot \left(\frac{10t}{I} \right)^a \cdot p$$

où

t : température moyenne mensuelle en °C.

I : index calorique annuel, $I = \sum$ des index calorique mensuels (i), $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$

a : $1,6 / 100 \cdot I + 0,5$

p : coefficient correctif en relation à la latitude, rapport des heures journalières de lumière (moyenne d'un mois) sur 12 heures.

Annexe 2 : Formule de Blaney et Criddle

$$E = t \cdot p \cdot \frac{K}{100}$$

où

E : évapotranspiration en inches

t : Temperature moyenne mensuelle en F°

p : pourcentage des heures diurnes du mois par rapport à celles diurnes totales de l'année

k : coefficient expérimental, variable selon la culture, le mois et la zone considérée.

pour les palmier dattier on a adopté la valeur 0,65 constante pour chaque mois de l'années

Annexe 3 : Formule de Turc

$$ETp = (I_g + 50) \frac{t}{t+15} \cdot \left(1 + \frac{50 - u.r}{70} \right) K$$

$$\text{Avec } I_g = I_{gA} \left(0,18 + 0,62 \cdot \frac{h}{H} \right)$$

où

t : temperature moyenne mensuelle de l'air en °C

I_g : radiation globale moyenne du mois en petites calories par cm^2 et par jour sur une surface horizontale.

I_{gA} : valeur théorique de la radiation globale (énergie solaire en absence d'atmosphère).

h : durée de l'insolation mensuelle effective.

H : durée mensuelle du jour.

u.r : humidité relative moyenne mensuelle de l'air.

pour les valeurs de u.r > 50 l'expression $\left(1 + \frac{50 - u.r}{70} \right)$ est prise égale à 1.

K : valeur constante égale 0,37 pour février et 0,40 pour tous les autres mois.