

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
Alger

Université Kasdi Merbah
Ouargla

Université Ibn Khaldoun
Tiaret



Laboratoire de Biogéochimie
des Milieux Désertiques

ECOLE DOCTORALE – SCIENCES DU SOL

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Sciences Agronomiques

Option : Sciences du sol

Par : Khemgani Mohamed Abdelmalek

THEME

**Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe
alluviale de l'oasis de Guerrara**

Soutenu le: 15 /07 /2010

Devant le jury :

M. CHELOUFI Hamid	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Président
M. HAMDI-AISSA Baelhadj	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Encadreur
M ^{me} HADJ SAID Samia	Maître de conférences « B »	Université de Ouargla	Co-encadreur
M. DJILI Kadour	Professeur	E.N.S.A. Alger	Examineur
M. HACINI Messaoud	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Examineur
M. DADDI BOUHOUN Mustapha	Maître assistant « A »	Université de Ouargla	Invité

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie

Université Kasdi Merbah

Université Ibn Khaldoun

Alger

Ouargla

Tiaret



Laboratoire de Biogéochimie
des Milieux Désertiques

ECOLE DOCTORALE – SCIENCES DU SOL

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Sciences Agronomiques

Option : Sciences du sol

Par : Khemgani Mohamed Abdelmalek

THEME

**Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe
alluviale de l'oasis de Guerrara**

Soutenu le: 15 /07 /2010

Devant le jury :

M. CHELOUFI Hamid	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Président
M. HAMDI-AISSA Baelhadj	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Encadreur
M ^{me} HADJ SAID Samia	Maître de conférences « B »	Université de Ouargla	Co-encadreur
M. DJILI Kadour	Professeur	E.N.S.A. Alger	Examineur
M. HACINI Messaoud	Maître de conférences « A »	Université de Ouargla	Examineur
M. DADDI BOUHOUN Mustapha	Maître assistant « A »	Université de Ouargla	Invité

- *A la mémoire de mes parents.*
- *A ma femme.*
- *A mes fils et filles ; Belkhir, Widad, Fares, Nidal et Arwa.*
- *A mes frères et sœurs en particulier Belkacem et Dris.*
- *A toute la famille Khemgani.*
- *A tous mes amis.*
- *A tous les collègues de la première promotion de l'école doctorale de pédologie.*

Au terme de ce travail, je voudrais tout particulièrement remercier :

M. HAMDI-AISSA BAELHADJ pour m'avoir proposé et accepté de diriger ce modeste travail.

Mme HADJ SAID SAMIA, pour son aide et ses conseils durant son encadrement de ce travail.

M. CHELOUFI HAMID, pour l'honneur qu'il ma fait en acceptant de présider le jury de cette mémoire.

M. DJILI KADOUR, pour avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail.

M. HACINI MESSAOUD, pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'être parmi son jury.

Je voudrais exprimer mes vifs remerciements à :

-Toute l'équipe d'encadremnt de l'école doctorale de pédologie pour leurs encadrement, pour leur conseils et pour leurs critiques pertinentes.

- L'équipe de recherche du laboratoire Biogéochimie des Milieux Désertiques – Université Kasdi Merbah – Ouargla, pour leurs aides et pour leur soutien.

- Le personnel des laboratoires pédagogiques du département des Sciences Agronomiques de l'université de Ouargla et celui de l'ENSA (ex-INA) pour leurs aides, en particulier Monsieur Beggari, Monsieur Kadir et Monsieur Rêdouane.

- Tous ceux qui ont contribué par leur soutien moral, par leurs encouragements, par leurs conseils à la réalisation de ce travail, en particulier M^{me} Khikhi O. et Monsieur Gherab Djemouï.

- Monsieur Mansouri Salah, Monsieur Ben Chikhi Elhadj et tous les responsables de l'APC de Guerrara pour l'aide et pour les facilités qu'ils m'ont accordé pour la réalisation de ce travail.

- Mes remerciements vont aussi à toute ma famille pour leur soutien moral.

Résumé

L'étude des sols d'Algérie constitue une préoccupation majeure des pédologues algériens. En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer.

Dans les régions sahariennes, l'agrosystème oasien constitue l'un des paysages remarquables de gestion des terres et des eaux dans les zones arides, faisant partie du programme international Globally Important Agricultural Heritage Systems de l'FAO.

Dans ces agrosystèmes oasiens, les sols alluviaux constituent l'essentiel des sols potentiellement agricoles. Ces sols sont gérés d'une façon ingénieuse par les populations locale, ce qui a permis la préservation de l'agrosystème oasien.

L'oasis de Guerrara est plantée dans les alluvions de Oued Zegrir dont les crues occasionnelles permettent l'apport et la formation de sols alluviaux. Ces sols sont accompagnés d'une nappe d'inféoflux ou (alluviale) ce qui a permis l'installation et l'existence d'un agrosystème oasien particulier.

Les objectifs visés à travers ce travail sont ; la caractérisation des sols ainsi que la caractérisation hydrochimique et piézométrique de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Pour ce, cinq profils ont été réalisés à l'intérieur de la palmeraie, et 72 piézomètres (puits) ont été étudiés et échantillonnés en deux campagnes (Décembre 2008 et Mars 2009).

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols nous ont permis de classer nos sols comme étant des fluvisols aridique calcarique, avec une texture fine ; limoneuse, limono-argileuse et limono-sableuse, non à faiblement salins et à pH basique, riches en calcaire total, généralement pauvres et parfois pourvu en matière organique, des CEC moyennes et présentant un faciès chimique calci-magnésien et chloruro-bicarbonaté.

L'étude piézométrique de la nappe nous a permis de tracer sa carte piézométrique en deux campagnes (Décembre 2008 et Mars 2009). Par la suite nous avons pu déterminer le sens d'écoulement de cette nappe, qui a le même sens de circulation que celui de Oued Zegrir à l'intérieur de la palmeraie.

L'étude qualitative de l'eau de la nappe alluviale et l'étude des échanges et des relations entre les paramètres étudiés (indice d'échanges de base) ont confirmé la qualité géochimique de cette eau comme étant une eau non saline à pH légèrement alcalin et avec un faciès chimique calci-bicarbonaté.

Mots clés : Sols alluviaux, nappe alluviale, oasis, agrosystème oasien, Oued Zegrir, Guerrara

الملخص

تشكل دراسة التربة في الجزائر انشغالا هاما لعلماء التربة الجزائريين. إن القدرات الكبيرة من التربة الزراعية التي نمتلكها تتطلب معرفة جيدة لهذه الثروة من أجل المحافظة عليها و حسن تسييرها.

في المناطق الصحراوية ، يشكل نظام الزراعة الواحاتي أحد أهم المناظر الطبيعية لإدارة الأراضي و المياه بالمناطق الجافة، ضمن البرنامج الدولي لأهم النظم الزراعية الإرثية ، التابع لمنظمة التغذية و الزراعة.

في هذه النظم الواحاتية، تشكل التربة الغربية أهم الترب الفلاحية الخصبة. هذه الترب تتم إدارتها بطريقة عقلانية بواسطة السكان المحليين، مما أدى إلى المحافظة على النظام الزراعي الواحاتي.

أنشأت واحة القرارة على التربة الغربية لواد زقير، و الذي تسمح فيضاناته المؤقتة إلى جلب و تكوين تربة غرينية. هذه التربة هي مصحوبة بمياه جوفية سطحية (مياه الطبقة الغربية) مما أدى إلى ظهور و وجود نظام زراعي واحاتي مميز.

الأهداف المرجوة من خلال هذه الدراسة هي: دراسة التربة و كذا دراسة هيدرو-كيمياوية و بيزومترية لمياه المنطقة الغربية بواحة القرارة. لذلك، تم انجاز خمسة مقاطع للتربة داخل الواحة و دراسة مع أخذ العينات من 72 بئر خلال حملتين (ديسمبر 2008 و مارس 2009).

نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيمائية للتربة مكنتنا من تصنيفها كترية من نوع فليوفيسول اريديك كلكاريك، ذات قوام رفيع؛ سلتية، سلتية-طينية و سلتية-رملية، غير مالحة و ذات درجة حموضة قاعدية، غنية بكربونات الكالسيوم، عادة فقيرة و أحيانا بها كميات مقبولة من المادة العضوية، ذات قدرة تبادل كاتيوني ضعيفة إلى متوسطة بشكل عام و ذات سحنة كيميائية كلسية-مغنيزية و كلوريدية-بيكربوناتية.

الدراسة البيزومترية لمياه الطبقة الغربية سمحت لنا برسم خريطتها البيزومترية خلال حملتين (ديسمبر 2008 و مارس 2009). بعدها تمكنا من تحديد اتجاه سريان هذه المياه، و التي لها نفس اتجاه جريان مياه واد زقير داخل غابة النخيل.

الدراسة النوعية لمياه الطبقة الغربية و دراسة التبادلات والعلاقات بين العناصر المدروس ة (معامل التبادلات) أثبتت النوعية الجيوكيميائية لهذه المياه على أنها مياه غير مالحة، ذات درجة حموضة قاعدية قليلا و لها سحنة كيميائية كلسية – بيكربوناتية.

الكلمات الدلالية: التربة الغربية، مياه المنطقة الغربية، واحة، نظام زراعة واحاتي، واد زقير، القرارة.

Abstract

The study of soils in Algeria is a major concern for Algerian soil scientists. Indeed, the great potential agricultural land require a good knowledge of this heritage to preserve and manage it better.

In the Sahara, oasis agro-ecosystem is one of the remarkable landscapes of Land Management and water in arid areas, part of the Globally Important Agricultural Program International Heritage Systems of the FAO.

In these oases agro-ecosystems, alluvial soils are the main of agricultural potential soils. These soils are managed in an ingenious manner by local populations, which allowed the preservation of oasis agricultural ecosystem.

Guerrara oasis is planted in the alluvium of Wadi Zegrir which occasional floods allow the input and training alluvial soils. These soils are accompanied by an alluvial groundwater which allowed the installation and the existence of a particular oasis agroecosystem.

The objectives of this work are the soil characterization and hydrochemical characterization of the alluvial groundwater in Guerrara oasis. For this, five profiles were made within the park, and 72 piezometers (wells) were studied and sampled in two companions (December 2008 and March 2009).

The results of the physical and chemical analyses of soils allowed us to classify them as Aridic calcareic fluvisol; with fine texture; selty, selty-clay to selty-sand, non-saline, with neutral to slightly alkaline pH, rich in total limestone, low to acceptable contents of organic matter, of medium CEC and presenting a calci-magnesian and chloruro-sulphated chemical profile.

The piezometric study of the groundwater has allowed us to trace his two companions piezometric map (December 2008 and March 2009). Subsequently we were able to determine the direction of flow of the aquifer, which has the same sense of movement than Oued Zegrir inside the palm plantation.

The qualitative study of water and the study of the exchanges and relations between the parameters studied (index base exchanges) confirmed the geochemical quality of that water as a non-saline water with slightly alkaline pH and with a calci-bicarbonate chemical profile.

Key words: alluvial soils, alluvial groundwater, oasis, oasis agrosystem, Zegrir river, Guerrara.

Liste des abréviations

CE	: Conductivité Electrique
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CDARS	: Commissariat au Développement de l'Agriculture dans les Régions Sahariennes
FAO	: Food and Agriculture Organization
GPS	: Global Positioning System
Hz	: Horizons
MO	: Matière Organique
ONM	: Office National de Météorologie
Prof.	: Profondeur
SAR	: Sodium Adsorption Ratio
T°	: Température
USDA	: United States Departement of Agriculture
WRB	: World Reference Base

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	: Répartition des sols alluviaux par continent	11
Tableau 02	: Répartition des eaux du globe	13
Tableau 03	: Données climatiques de Ghardaïa entre 1995 et 2006	25
Tableau 04	: Caractérisation physique et chimique du profil 01	34
Tableau 05	: Résultats de l'analyse chimique de la solution du sol du profil 01	34
Tableau 06	: Caractérisation physique et chimique du profil 02	37
Tableau 07	: Résultats de l'analyse chimique de la solution du sol du profil 02	38
Tableau 08	: Caractérisation physique et chimique du profil 03	40
Tableau 09	: Résultats de l'analyse chimique de la solution du sol du profil 03	40
Tableau 10	: Caractérisation physique et chimique du profil 04	43
Tableau 11	: Résultats de l'analyse chimique de la solution du sol du profil 04	43
Tableau 12	: Caractérisation physique et chimique du profil 05	45
Tableau 13	: Résultats de l'analyse chimique de la solution du sol du profil 05	46
Tableau 14	: Coordonnées et profondeurs de la nappe (Décembre 2008)	50
Tableau 15	: Coordonnées et des profondeurs de la (nappe (Mars 2009)	52
Tableau 16	: CE, pH et température de l'eau (Décembre 2008)	56
Tableau 17	: CE, pH et température de l'eau (Mars 2009)	56
Tableau 18	: Le bilan ionique (Décembre 2008)	60
Tableau 19	: Indice d'échanges de base (Décembre 2008)	61
Tableau 20	: Le bilan ionique (Mars 2009)	62
Tableau 21	: Indice d'échange de base (Mars 2009)	63
Tableau 22	: Classification des eaux par la méthode du SAR	76
Tableau 23	: Normes d'interprétation du taux de calcaire du sol	76
Tableau 24	: Normes de l'OMS sur l'eau potable	77
Tableau 25	: Normes d'interprétation pour la CEC	78
Tableau 26	: Classe de salinité en fonction de la CE et la somme des anions	78

Liste des figures et photos

N°	Titre	Page
Figure 01	: Oasis à cours d'eau	05
Figure 02	: Evolution des sols alluviaux peu altérés et peu humifères	09
Figure 03	: Echange entre eaux de surface et souterraines	21
Figure 04	: Courbes isopièzes incurvées vers l'amont, la rivière alimente la nappe	22
Figure 05	: Courbes isopièzes incurvées vers l'aval, la nappe alimente la rivière	22
Figure 06	: Carte de la wilaya de Ghardaïa	24
Figure 07	: Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa	26
Photo 01	: Oued Zegrir (08 km au Nord de Guerrara)	27
Photo 02	: Digue de dérivation de la crue de Oued Zegrir	28
Figure 08	: Carte géologique de Guerrara	29
Figure 09	: Plan de l'ancienne palmeraie de Guerrara	30
Figure 10	: Positionnement des profils	33
Figure 11	: Profil calcaire, salin et de pH du profil 01	36
Figure 12	: Garniture cationique du profil 01	36
Figure 13	: Garniture cationique du profil 02	38
Figure 14	: Profil calcaire, salin et de pH du profil 03	41
Figure 15	: Garniture cationique du profil 03	41
Figure 16	: Garniture cationique du profil 04	44
Figure 17	: Profil calcaire, salin et de pH du profil 05	46
Figure 18	: Garniture cationique du profil 05	47
Figure 19	: Répartition spatiale des puits analysés (Décembre 2008)	51
Figure 20	: Répartition spatiale des puits analysés (Mars 2009)	53
Figure 21	: Carte piézométrique de la nappe alluviale (Décembre 2008)	54
Figure 22	: Carte piézométrique de la nappe alluviale (Mars 2009)	55
Figure 23	: Répartition spatiale de la CE de la nappe (Décembre 2008)	58
Figure 24	: Répartition spatiale de la CE de la nappe (Mars 2009)	59
Figure 25	: Diagramme de Piper (Décembre 2008)	64
Figure 26	: Diagramme de Piper (Mars 2009)	65
Figure 27	: Diagramme de Riverside (Décembre 2008)	66
Figure 28	: Diagramme de Riverside (Mars 2009)	67

Introduction	01
---------------------------	----

Première partie : Synthèse bibliographique

I- Agrosystèmes oasiens.....	03
I.1- Les oasis dans le monde.....	03
I.2- Les systèmes oasiens en Algérie	03
I.2.1- Les principales oasis potentielles	04
I.2.2- Evolution des agrosystèmes oasiens	04
I.2.3- Les contraintes	05
I.2.4- Gestion des ressources hydriques.....	05
I.2.5- Les systèmes d'irrigation.....	06

Chapitre II : Les sols alluviaux

II- Les sols alluviaux.....	07
II.1- Caractéristiques des fuvisols.....	07
II.2- Profil de référence.....	08
II.3- Formation et évolution.....	08
II.4- Classification.....	09
II.4.1- La classification U.S.D.A (1998).....	09
II.4.2- La classification C.P.C.S (1969).....	10
II.4.3- La classification de l' F.A.O.....	10
II.5- Répartition des sols alluviaux dans le monde.....	10
II.5.1- Dans le monde.....	10
II.5.2- Dans les zones arides.....	11

Chapitre III : Hydrogéologie

III- Hydrogéologie.....	12
III.1- Les eaux souterraines et cycle de l'eau.....	13
III.1.1- Caractéristiques des eaux souterraines.....	13
III.1.2- Les systèmes aquifères.....	14
III.1.3- Les différents types de nappes.....	15

III.2- Circulation de l'eau dans les nappes.....	16
III.3- Chimie et qualité des eaux souterraines.....	17
III.4- La nappe alluviale.....	18
III.4.1- Caractéristiques de la nappe alluviale.....	19
III.4.2- Alimentation des nappes alluviales.....	19
III.4.3- Relation nappe alluviale et cours d'eau.....	20
Conclusion.....	23

Deuxième partie : Matériel et méthodes

IV- Présentation de la région d'étude.....	24
IV.1- Situation géographique.....	24
IV.2- Cadre climatique.....	25
IV.2.1- Les températures.....	25
IV.2.2- Précipitations.....	25
IV.2.3- Vents.....	26
IV.3- Hydrologie.....	26
IV.3.1- Généralités sur Oued Zegrir.....	26
IV.3.2- Crues et épandages de Oued Zegrir.....	27
IV.4- Géologie.....	28
IV.5- Hydrogéologie.....	29

Chapitre V : Matériel et méthodes

V- Matériel et méthodes.....	30
V.1- Choix de la zone d'étude.....	30
V.2- Méthodes d'échantillonnage sur terrain.....	31
V.3- Méthodes d'analyse au laboratoire.....	31

Troisième partie : Résultats et discussions

VI- Caractérisation des sols.....	
VI.1- Profile 01.....	34
VI.1.1- Description générale.....	34
VI.1.2- Description du profil.....	34
VI.1.3- Résultats des analyses physiques et chimiques... ..	34
VI.2- Profile 02.. ..	37
VI.2.1- Description générale	37
VI.2.2- Description du profil	37
VI.2.3- Résultats des analyses physiques et chimiques	37
VI.3- Profile 03.....	39
VI.3.1- Description générale	39
VI.3.2- Description du profil	39
VI.3.3- Résultats des analyses physiques et chimiques	39
VI.4- Profile 04.....	42
VI.4.1- Description générale	42
VI.4.2- Description du profil	42
VI.4.3- Résultats des analyses physiques et chimiques	43
VI.5- Profile 05.....	44
VI.5.1- Description générale.	44
VI.5.2- Description du profil	45
VI.5.3- Résultats des analyses physiques et chimiques	45
VI.6- Discussion des résultats.....	48

Chapitre VII : Caractérisation de la nappe alluviale de Guerrara

VII- Caractérisation de la nappe.....	49
VII.1- Répartition spatiale des puits analysés.....	49
VII.2- Etablissement des cartes piézométriques.....	53
VII.2.1- Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Décembre 2008).....	53
VII.2.2- Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Mars 2009).....	55

VII.3- Etude chimique des eaux de la nappe.....	56
VII.3.1- La température.....	57
VII.3.2- Le pH.....	57
VII.3.3- La conductivité électrique (CE).....	57
La répartition spatiale de la CE de la nappe.....	58
VII.3.4- La chimie et qualité de la nappe	60
VII.3.4.1- Indice d'échanges de base.....	61
VII.3.4.2- Diagramme de Piper	64
VII.3.4.3- Degré d'aptitude à l'irrigation (Méthode de S.A.R).....	65
Conclusion	68
Discussion générale.....	69
Conclusion générale	70
Références bibliographiques	72
Annexes	76

Introduction

Introduction

L'étude des sols d'Algérie constitue une préoccupation majeure des pédologues algériens. En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer.

En régions sahariennes la quasi-totalité de la surface est constituée de terrains marginaux ; malgré les potentialités en eaux souterraines, les sols présentent des contraintes sévères pour la mise en valeur (salinité, encroûtements calcaire, gypseux et siliceux de subsurface, profondeur du sol, pierrosité, ...etc).

Dans ces régions, des systèmes de gestion des terres et des ressources naturelles, notamment les ressources en eaux et en sols, ont créé des paysages remarquables; parmi eux les systèmes oasis « agrosystèmes oasiens » (y compris les systèmes de gestion et de conservation des sols et des eaux) classés par le programme international Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) de l'FAO (2006). Résultat d'une combinaison ingénieuse de modes de gestions et des techniques basés sur un savoir ancestral, les agrosystèmes oasiens sont le témoignage de la capacité des êtres humains à composer avec les contraintes naturelles du milieu dans un processus évolutif conjoint êtres humains/nature (HAMDI-AISSA et al, 2010).

Dans les agrosystèmes oasiens, les sols alluviaux constituent l'essentiel des sols potentiellement agricoles. Ces sols sont gérés d'une façon ingénieuse par les populations locales. L'étude des fluvisols dans les oasis est une nécessité que ce soit à l'échelle nationale ou locale. La gestion de ces ressources constitue une priorité et un défi ancien pour ces populations, ce qui a permis la préservation de l'agrosystème oasien.

Dans certaines oasis à cours d'eau temporaires (crues d'oueds), comme le M'zab, les alluvions apportés et déposés par les Oueds ont permis l'existence d'une nappe alluviale, longtemps utilisée comme unique et principale ressource en eau, avant l'apparition des forages vers les années cinquante. Cette nappe très peu étudiée est alimentée par les eaux de crues occasionnelles.

En plus de l'alimentation de la nappe alluviale, les eaux des crues ont une grande importance pour les sols alluviaux, car ils permettent l'apport des éléments minéraux et favorisent par la suite la fertilité de ces sols.

Plusieurs auteurs ont étudié les sols alluviaux des zones arides, en donnant des interprétations pertinentes sur les caractéristiques de ces sols, leur formation, leur évolution et leurs modes de gestion. AUBERT (1960), DUTIL (1971), TOUTAIN (1974), BENABADJI (1996) et BEN HASSINE (2005) ont abordé des études sur les sols alluviaux dans plusieurs zones arides et oasis. D'autres chercheurs (DJILI, 2004, MESSEN et al., 2004, HAMDI AISSA et MESSEN, 2006, HAMDI AISSA et al. , 2006, 2007, AOUAM, 2007) ont mené des travaux sur les sols de Guerrara. Il s'agit d'étude de datation des sols et des études minéralogique, analytique et micro morphologique.

Notre travail de recherche s'intéresse à la caractérisation des fluvisols et de la nappe alluviale de la palmeraie de Guerrara, en abordant le système alluvions/nappe alluviale dans cette oasis par l'étude hydrochimique et piézométrique de la nappe alluviale.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de deux projets de recherche CNEPRU (*1. Etude des sols alluviaux en zones arides : inventaire, caractérisation pédo-sédimentaire, et 2. Caractérisation hydrogéologique des aquifères de Guerrara et vulnérabilité de la nappe superficielle*) agréés par le ministère et menés par le laboratoire de recherche Biogéochimie des Milieux Désertiques - Université de Ouargla.

L'objectif de ce travail est :

- La caractérisation des sols alluviaux de la palmeraie de Guerrara.
- La caractérisation de la nappe alluviale dans cette région.

Il s'agit dans la première partie de la caractérisation des sols alluviaux de l'oasis de Guerrara. Pour cela, plusieurs profils seront réalisés à l'intérieur de la palmeraie et prendre les échantillons nécessaires pour l'analyse du sol au laboratoire.

La deuxième partie du travail consiste en la caractérisation des eaux de la nappe alluviale par une étude hydrochimique et piézométrique de cette nappe. Pour cela, plusieurs échantillons d'eau seront prélevés et analysés au laboratoire, ainsi que des levées piézométriques à partir des puits à l'intérieur de la palmeraie.

La présente étude comporte trois parties :

- La première est une synthèse bibliographique sur le système agricole oasisien, les sols alluviaux et l'hydrogéologie, notamment la nappe alluviale.
- La deuxième partie sera consacrée à la présentation de la région d'étude avec le matériel et la méthodologie de travail.
- La troisième partie est réservée à l'interprétation des résultats obtenus et leurs discussions.

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Agrosystèmes oasiens

I- Agrosystèmes oasiens

D'après TOUTAIN (1977), le mot oasis désigne d'une manière générale, toute activité agricole autour d'un point d'eau au Sahara.

Ce sont des systèmes de production complexes et toujours en équilibre fragile ne pouvant exister sans les soins incessants prodigués par l'homme (COURNOYER, 2004).

Le terme d'oasis est appliqué à tous les points de la planète là où l'existence d'émergences locales de nappes aquifères, ou la présence d'eau superficielle amenée par des cours d'eau allochtones ou descendus de montagnes plus ou moins proches, ou encore d'un inféoflux (sous-écoulement dans les nappes alluviales de lits des Oueds), permettent, au milieu ou en lisière des aires arides, l'installation de sédentaires et de cultures (MECKELEI, 1980).

En effet, l'oasis est souvent lié à la présence du palmier dattier, qui est la culture principale dans ces milieux, en favorisant la création d'un micro climat oasien.

Les agrosystèmes oasiens jouent un rôle majeur dans le développement des milieux désertiques à travers le monde, qui constituent des zones potentielles de la phoéniculture par excellence. Ces systèmes phoénicoles (ou oasis) se situent en Afrique du nord, en moyen orient, en Asie, en Amérique et en Australie.

I-1- Les oasis dans le monde

D'après TOUTAIN et al, (1988), il y'a près de 800000 ha d'oasis à palmier dattier dans le monde, soit environ 105 millions de palmiers, dont 27 millions en Afrique du nord (environ 26%). La production dattière mondiale est de 2,1 millions de tonnes dont 35% en Afrique du nord.

I-2- Le système oasien en Algérie

Les oasis Algériennes se localisent en grande partie dans le nord du Sahara, où les conditions climatiques semblent être plus favorables pour l'épanouissement de cette culture.

Ce sont des espaces totalement anthropisés, avec des systèmes de production intensifs et complexes, en un équilibre fragile (ZELLA et SMADHI, 2006).

En Algérie, le nombre de palmiers a passé de 11.5 millions pieds en 1998 pour atteindre 12 millions de palmiers dattiers en 2001 (BOUAMMAR et al, 2007).

Selon les statistiques du ministère de l'agriculture et du développement rural, le nombre actuel de palmiers a dépassé les 17 millions (CDARS, 2009).

I-2-1- Les principales oasis potentielles

Parmi les zones oasiennes potentielles en Algérie, on cite l'oasis de Ouargla, les Zibans, les oasis du M'zab, les Rhout du souf, les oasis de oued Righ et les oasis du Touat et celles de Gourara.

Chaque oasis se caractérise par un certain nombre de particularités, qui sont différentes de celles des autres régions ; cela est lié aux conditions hydrologiques

(type de ressources en eau et sa gestion), pédologiques et climatiques, et par conséquent, les variétés du palmier cultivées.

I-2-2- Evolution des agro systèmes oasiens

Au début de leur implantation, les oasis étaient créées et installées en fonction de la disponibilité et le mode d'exploitation des eaux, dans telle ou telle région, et c'est ainsi qu'on parle d'oasis de Foggara, oasis de Ghout...

La mise en place des oasis dans ces milieux arides, reflète la volonté et le travail des hommes, qui ne cessent de lutter contre les contraintes climatiques en particulier.

En fait, malgré les contraintes climatiques, hydriques et édaphiques, caractérisant ces zones désertiques, les habitants des oasis ont pu créer des micro-climats oasiens, avec une agriculture typique à ces régions.

Après l'apparition des premiers forages artésiens (vers les années cinquante), il y'a eu une extension des oasis par la mise en place de nouvelles palmeraies (dites modernes), avec un alignement suffisant entre les palmiers, augmentation des superficies irriguées et diversification des productions.

Cette nouvelle conjoncture a touché essentiellement les zones dattières potentielles (Zibans, El Oued, Le M'zab, Ouargla, El-Golea...), et comme conséquences à cela, il y'a eu des mutations progressives de la société et de l'environnement en général, à savoir les flux migratoires, la croissance démographique, la surexploitation des ressources hydriques et la remontée des eaux (BOUZAHER, 1990).

I-2-3- Les contraintes des milieux oasiens

En plus des contraintes climatiques (températures élevées, fortes évaporations, vents violents et rareté des précipitations), économiques (cherté des intrants, cout élevé de l'énergie électrique et le prix de vente bas des dattes), et sociales (migration de la main d'œuvre jeune vers d'autres secteurs économiques et délaissement des palmeraies), qui freinent le développement de l'agriculture oasienne, il y'a la mauvaise gestion des ressources en eau.

I-2-4- Gestion des ressources hydriques

Vu la rareté des précipitations en zones arides, les principales ressources en eau d'irrigation des palmeraies sont les eaux souterraines (sources, nappes phréatiques et nappes profondes) et les eaux superficielles (crues, oueds...) (BOUZAHER, 1990).

Selon l'auteur, la gestion des eaux d'irrigation constitue l'axe de l'agriculture oasienne, autour duquel il y a toute une organisation collective très hiérarchisée. Cette gestion est marquée par :

- Une insuffisance chronique et exploitation irrationnelle de l'eau, ce qui influe sur la production agricole.
- La qualité de l'eau (souvent chargée en sels) induit une dégradation des sols et chute des productions des cultures.

D'après Zella et Smadhi, 2006, le type de l'oasis dépend de la nature et de l'exploitation, la ressource en eau, la nature du sol et sa topographie, et on a quatre types :

- L'oasis située dans les dépressions, dont l'eau d'irrigation est exploitée à partir des forages dans les nappes profondes (cas de Ouargla).
- L'oasis de ghout, où l'eau d'irrigation est prise par capillarité (Frane, Hadjira, Hassi Naga et Oued Souf).
- L'oasis fluviale, qui se situe près des oueds (Les Ziban, M'zab, La Saoura...).
- L'oasis de dépression, alimentée en eau par les foggaras (Adrar, Timimoune).



Figure 01 : oasis à cours d'eau (COURNOYER, 2004).

I-2-5- Les systèmes d'irrigation

Le système d'irrigation le plus utilisé dans les palmeraies traditionnelles est la submersion. Au niveau des nouvelles palmeraies, en plus de la submersion, on utilise le système localisé pour les palmiers, le fruitier et le maraîchage.

En zones arides, la pratique de l'irrigation par aspersion permet de grandes pertes en eau par évaporation et aussi l'épuisement des nappes phréatiques (POSTEL, 1992).

En effet, l'accès à l'eau détermine des systèmes d'irrigation et de production différents. Dans les oasis de grandes vallées, l'irrigation par écrêtage de crues et petits barrages permet d'associer aux cultures oasiennes des cultures de crues. C'est le cas des Ziban et du M'zab (TOUTAIN et al, 1988).

Dans la région de Guerrara, la nappe superficielle est sollicitée par un grand nombre de puits traditionnels (1300 puits) destinés à l'irrigation de la palmeraie (HADJ SAID et al, 2008).

Chapitre II: Les sols alluviaux

II- Les sols alluviaux

Un sol alluvial est un sol constitué généralement de dépôts alluviaux relativement récents. C'est un sol azonal de type (A) C ou AC, formé sur matériaux marins, fluviaux ou lacustres, à horizon (A) faiblement développé ou parfois absent (DJILI, 2004).

Les alluvions sont des formations déplacées et redéposées par l'eau dont le transport peut s'effectuer pour des distances très importantes. Pour cela, la composition des matériaux alluvionnaires est souvent très indépendante des matériaux du paysage en aval (LOZET et MATHIEU, 2000).

Il s'agit de matériau fin (argiles, limons et sables) reposant sur un matériau grossier (la grève alluviale) dans lequel circule une nappe phréatique (CRETIEN et BAIZE, 1992).

II-1- Caractéristiques des fluvisols:

Selon CRETIEN et BAIZE (1992), les sols alluviaux fluviaux (ou fluvisols) se caractérisent par rapport aux autres sols non ou peu évolués par:

- Ils se situent souvent dans les endroits bas dans les paysages, celle des vallées, où ils constituent les lits mineurs et majeurs des rivières à l'exclusion des zones de terrasses (hors vallées).
- Une progression de la texture du sol le long de la rivière et sur ses cotés, suivant un tri qui s'effectue en fonction de la vitesse de l'eau dans la rivière et de la taille des particules transportées. Pour cela, les grosses particules se déposent généralement en amont, alors que les plus fines en aval de la rivière, où la vitesse de l'eau diminue.

Les alluvions peuvent être transportées sur de longues distances, ce qui influe sur la qualité minéralogique des sols déposés en aval. En général, ce sont des sols humides de type (A)C ou AC avec un horizon (A) faiblement développé (DJILI, 2004).

Ils sont souvent rajeunis par les dépôts de matériaux neufs, en période d'inondation (DUCHAUFOR, 2001).

- Ils sont développés dans des matériaux récents, mis en place par transport puis sédimentation en milieu aqueux et qui peuvent être relativement homogènes ou présentant une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant (AOUAM, 2007).
- Les fluvisols sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique permanente ou temporaire à fortes oscillations et ils sont inondables en période de crue (DUCHAUFOR, 2001).
- Leur évolution pédologique est nulle ou faible et peut se traduire par de faibles altérations et redistributions de fer, de CaCO_3 , de sels etc....(DUCHAUFOR, 2001).

II-2- Profil de référence

Il s'agit d'un sol gris alluvial dont l'humus est un mull, d'épaisseur très variable et avec un horizon minéral peu altéré (peu coloré, gris ou beige, en raison de la faible quantité de fer libre) (DUCHAUFOR, 2001).

Le sol peut être calcaire ou non, avec une texture souvent hétérogène le long de la rivière et en profondeur, et la structure n'est pas affirmée. La granulométrie du sol est variable suivant la vitesse de l'eau et peut être sableuse, limoneuse, mais rarement argilo-limoneuse. Ces sols ne disposent pas d'horizons de référence spécifiques mais on peut trouver :

- des horizons A typiques ou atypiques (Js).
- horizons S assez typiques (fluvisols brunifiés) ou atypiques (Js).
- horizons H peu épais (moins de 40cm).
- horizons G, g ou -g (à plus de 50cm).
- des couches M et souvent des couches D (grève alluviale) qui constitue une discontinuité physique et mécanique dans le solum (DUCHAUFOR, 2001).

II-3 – Formation et évolution des sols alluviaux

Les sols dans les rivières sont affectés par le niveau d'eau en écoulement, la perméabilité et la position par rapport au lit, ainsi que la vitesse d'écoulement. Les fleuves et rivières ayant un débit très irrégulier et venant des zones plus humides, débordent et constituent dans les plaines basses des dépôts alluviaux souvent épais et d'un degré de fertilité élevé (LAVOIE et al, 2006).

Les alluvions déposées sur les cotés des rivières diffèrent dans leurs taille et texture en fonction de la vitesse de l'eau et la position par rapport à l'écoulement principal. La qualité des alluvions dépend de la qualité des roches du bassin versant ainsi que celle des sols parcourus par la rivière (LAVOIE et al, 2006).

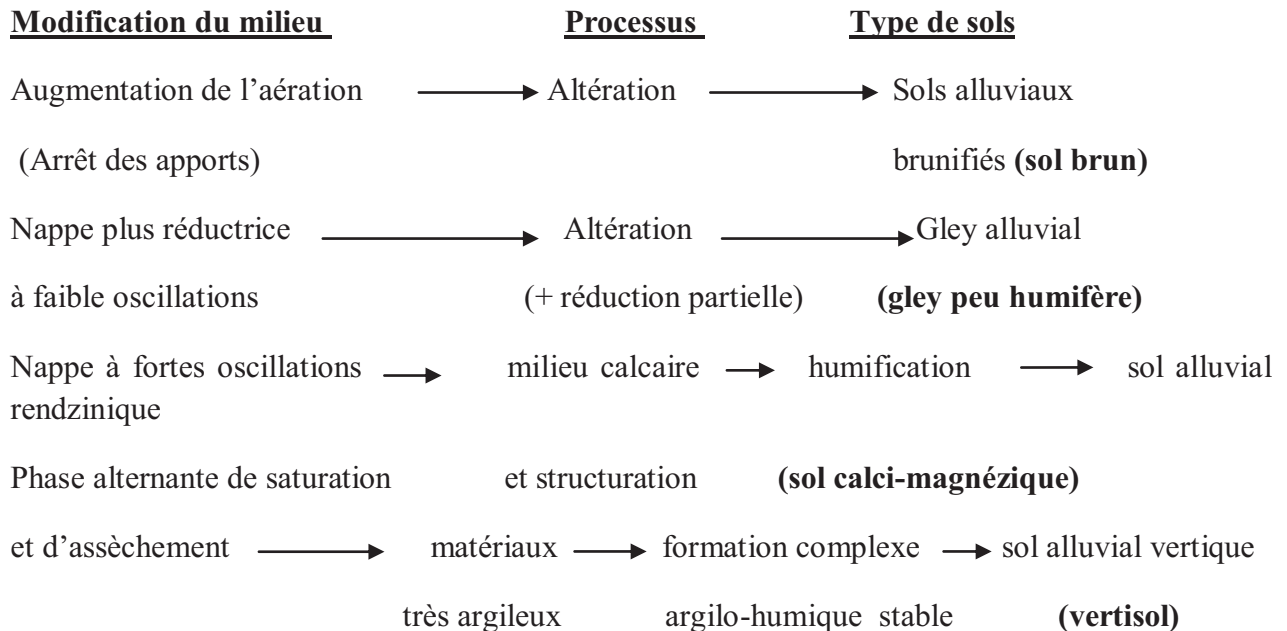
On évalue que les apports annuels lors des crues sont de l'ordre de 0.5 à 3.5 cm par an en moyenne, ce qui provoque au cours des années un rehaussement du niveau des terrasses (LAVOIE et al, 2006).

Au niveau de la plaine d'inondation, les sédiments sont des dépôts par excès de charge et reflètent l'influence importante des conditions locales. Les sols alluviaux peu évolués présentent en fonction du milieu des faciès acides ou neutres à modérément alcalins (DUCHAUFOR, 1977).

Les dépôts alluviaux sont souvent épais, dotés d'un potentiel élevé de fertilité et classés en fonction de leur texture et leur perméabilité (AUBERT, 1960).

En effet, l'activité de sédimentation des cours d'eau a pour effet de rajeunir les sols et la végétation (FARINE et GERBER, 2007).

Selon DUCHAUFOR (1977), l'évolution pédogénétique des sols alluviaux qui est illustrée dans la figure 02, reflète les principales tendances évolutives des sols alluviaux peu altérés et peu humifères:



**Figure 02 : Evolution des sols alluviaux peu altérés et peu humifères
(DUCHAUFOR, 1977)**

II-4- La classification des sols alluviaux

II-4-1- La classification américaine (U.S.D.A, 1998)

Cette classification est basée sur les propriétés pédogénétiques des sols; caractéristiques morphologiques, chimiques, minérales et naturelles, qui sont connus sous le nom d'horizons diagnostiques :

Ordre : Entisols.

Sous ordre : Fluvents.

Grands groupes :

- Torrifuvents (chaud et sec).
- Tropofluvents (chaud et humide).
- Udifluvents (humide).
- Ustifluvents (semi aride).
- Xerofluvents (climat méditerranéen).

En zones arides d'Algérie, les sols alluviaux sont rattachés aux groupes des Torrifuvents et Ustifuvents (HALITIM, 1988 *in* DJILI, 2004).

II-4-2- La classification Française (C.P.C.S, 1967)

Pour l'ancienne classification Française (1967), les sols alluviaux sont classés comme suit:

Classe : sols peu évolués.

Sous classe : sols peu évolués d'apport.

Groupe : sols alluviaux.

Sous groupes :

- **Sols alluviaux à faible évolution hydromorphe**

Sols alluviaux peu humifères : sol alluvial gris et sol alluvial brunifié.

Sols alluviaux humifères : sol alluvial Rendzinique et sol alluvial chernozemique.

- **Sols alluviaux hydromorphes**

Sols alluviaux peu humifères, à Gley.

Sols alluviaux tourbeux ou à anmoor.

D'après POUGET *in* DJILI (2004), dans les zones arides et semi arides de l'Algérie, on trouve les sols suivants :

- Les sols peu évolués d'apport alluvial modaux.

- Les sols peu évolués vertiques.

- Les sols peu évolués halomorphes.

II-4-3- La classification de l'F.A.O

Elle est basée sur les horizons diagnostiques génétiques, et classe les sols alluviaux comme des sols peu évolués en fluvisols et parfois vertisols (F.A.O., 1998).

II-5- Répartition des sols alluviaux dans le monde

II-5-1- Dans le monde

On rencontre ce type de sols un peu à travers tout le monde, où les conditions favorisent leur formation. Ils se localisent surtout dans les lits des rivières et oueds, dans les zones de sédimentations et au niveau des plaines alluviales. La surface totale des sols alluviaux est de l'ordre de 356 millions d'hectares à travers le monde (F.A.O., 1993, *in* AOUM, 2007).

Le tableau 01 donne la répartition des alluvions dans le monde.

Tableau 01: Répartition des sols alluviaux par continent

(F.A.O., 1993, in AOUAM, 2007)

Continent	Superficie (ha)	Continent	Superficie (ha)
Europe	40.250.000	Afrique	98.400.000
Nord et Asie centrale	73.327.000	Sud et Sud Asiatique	57.357.000
Australie	8.827.000	Sud et Amérique Centrale	67.687.000
Amérique du nord	10.387.000		
Total :		356.235.000	

II-5-2- Dans les zones arides

En zones arides, les sols alluviaux se trouvent dans les lits des oueds et dans les zones d'épandage. En zones arides Algériennes, les sols alluviaux se localisent dans les lits d'oueds et dans les plaines inondables par les crues comme Oued M'Zab, Oued N'sa, Oueds Biskra, Oued Djedi etc....

Chapitre III : Hydrogéologie

III- Hydrogéologie

Les eaux souterraines occupent les vides du milieu poreux dans la couche géologique, en formant une couche réservoir (ou aquifère). Ces eaux se déplacent à travers la porosité du sol selon un mouvement qui ressemble à celui dans des tubes capillaires fins. Pour cela, la forme, dimension et distribution des particules du milieu poreux ont de grande importance dans l'étude du mouvement de ces eaux (BANTON et BANGOY, 1999).

Ces eaux font partie du cycle hydrologique dans la nature, où les formations géologiques jouent un rôle de réservoir des eaux, qui s'infiltrent dans le sol à partir des précipitations, rivières et fleuves.

Dans le sol, ces eaux se trouvent dans deux zones ; une zone de saturation, où l'eau occupe tous les pores, et une zone d'aération dans laquelle l'eau occupe une partie seulement des vides et l'autre partie est occupée par l'air.

L'étude des eaux souterraines fait appel à d'autres disciplines à savoir la physique et les mathématiques, qui servent à élaborer des modèles, en tenant compte de l'ensemble des paramètres souterrains et leurs interactions. Pour cela, il est indispensable d'avoir une idée détaillée sur les différents aquifères, leurs caractéristiques (géométriques, physiques et chimiques), piézométrie, charges hydrauliques et écoulements (BANTON et BANGOY, 1999).

En effet, les conditions de formation, les phénomènes de stockage et la circulation des eaux, la recharge et la pollution de ces eaux restent très peu comprises.

En zones arides, les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau. Elles se localisent au niveau des différentes formations géologiques et peuvent être exploitées par des puits, forages, foggara et parfois à partir de sources libres.

III- 1 – Les eaux souterraines et le cycle de l'eau

Les eaux souterraines sont des ressources naturelles qui font partie d'un cycle global, actif en permanence et qui est représenté par les eaux à la surface du globe et celle de l'atmosphère, en trois phases ; solide, liquide et gazeuse (BANTON et BANGOY, 1999).

En effet, l'eau est l'aspect précieux irremplaçable des ressources naturelles, qui sans elle, la vie et l'activité humaine serait impossible. Elle n'est pas seulement une matière minérale, ni seulement un moyen pour le développement de l'agriculture, mais aussi un conducteur efficace de la culture. Ces eaux, qui ne représentent qu'une faible partie du cycle de l'eau, ne sont pas distribuées d'une manière homogène dans le globe (BANTON et BANGOY, 1999).

Le tableau 02 donne la répartition et quelques caractéristiques de ces eaux :

Tableau 02 : Répartition des eaux du globe (BANTON et BANGOY, 1999).

Comportement	Volume (1000 km ³)	Importance Relative (%)	Vitesse de Circulation	Temps séjour de (année)	Renouvellement (1000 km ³ /an)
Océans et eaux salées	1400000	97.3	m/s	1000 -10000	350 (évaporation)
Glaciers et calotte	30000	2.1	m/an	100 -1000	E (évaporation et fonte)
Eaux souterraines	5000 (<1 km)	0.35	m/an	100 -1000	12 (écoulement)
	3000 (>1 km)	0.21	E	> 10000	E (vaporisation)
Lacs et plans d'eau	150	0.01	m/s	10 -100	Inclus aux rivières
Humidité du sol	70	0.005	m/mois	0.1 - 1	70 (évaporation)
					12 (infiltration)
Atmosphère	13	0.001	m/s	0.01 - 0.1	420 (précipitation)
Rivières	1.2	0.0001	m/s	0.01 - 0.1	40 (écoulement)

III- 1-1- Caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines se caractérisent par rapport aux eaux superficielles par certaines particularités (JAMET, 2004) :

A – La disponibilité

La présence d'eau souterraine n'est pas liée forcément à l'abondance des pluies sur place, car la recharge de ces nappes dépend des zones d'infiltration, généralement situées plus loin. De ce fait, les zones arides, disposant de grandes potentialités en eau souterraine, sont soumises à des conditions climatiques (pluies rares et irrégulières) qui ne permettent pas la formation de telles ressources en eau.

Les nappes souterraines ont des régimes moins contrastés que les nappes superficielles, et en cas de contrastes de pluviométrie, l'eau sera disponible en périodes sèches et en périodes humides

B – La qualité

Les eaux des nappes sont tamponnées par les roches qu'elles traversent lors de l'écoulement, et aussi altérées. Ces roches, par l'adsorption, jouent le rôle d'épuration de ces nappes en cas de contamination par des polluants (surtout les métaux lourds).

C – La dynamique

La dynamique des eaux souterraines est liée à plusieurs phénomènes, parmi lesquels on cite :

- L'importance des surfaces de contact entre l'eau et la phase solide qui a un effet sur la viscosité.
- La pression et la température dont sont soumises ces eaux.

Pour les eaux de surface, l'écoulement dépend surtout de la gravité.

D – Espace et temps

L'écoulement des nappes souterraines est beaucoup plus lent et différent que celui des eaux de surface, et qui peut prendre des années, siècles ou plus.

III-1-2- Les systèmes aquifères

L'aquifère est un corps de roches perméables comprenant une zone saturée, suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Il est homogène quand il y'a perméabilité d'interstice (sable gravier) et il est hétérogène pour une perméabilité de fissure (granite, calcaire Karstique). Les formations peu ou semi perméables (sables argileux) peuvent stocker l'eau, mais la vitesse de transit est faible, on parle ici « d'aquitard », et si les formations imperméables ne produisant pas d'eau, on parle « d'aquicludes » (MARGAT, 1990 *in* BEAUCHAMP, 2006).

Ce sont des formations géologiques, formées généralement par des matériaux non compactés tels que le sable, gravier ou roches calcaires (BANTON et BANGOY, 1999).

III-1-3- Les différents types de nappes

Une nappe souterraine représente spécifiquement la partie saturée en eau de l'aquifère. D'une manière générale, on distingue deux types de nappes (ou aquifères); libres et captives ou semi captives :

a- nappe libre

C'est une nappe souterraine dont la surface fluctue librement dans le temps et on parle de nappe libre (ou à surface libre). Elle est en contact avec l'atmosphère, et elle est rechargée directement par les eaux de pluies. Le toit de la nappe est à la pression atmosphérique et la variation du stock d'eau dans la nappe se fait par variation du niveau de remplissage. La capacité d'emménagement de la nappe est égale à sa porosité (SORMAN et ABDULRAZZAK, 1993).

En effet, la surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe, qui est surmontée par une zone non saturée. Lorsque le sol est uniformément poreux et perméable, l'eau de pluie s'infiltré jusqu'à une couche imperméable, et sature le sol jusqu'à un certain niveau appelé « surface libre de la nappe ». Dans cette nappe, l'eau circule jusqu'à des exutoires qui se trouvent dans des points bas (BANTON et BANGOY, 1999).

b- nappe captive

C'est une nappe qui se trouve entre deux niveaux imperméables, et l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Si on creuse un forage dans cette nappe et qui traverse la couche imperméable, l'eau remonte et peut jaillir et la nappe est artésienne BANTON et BANGOY (1999).

Si la position de la surface de cette nappe ne peut pas varier, la nappe est dite captive ou semi captive. Le degré de captivité de la nappe est déterminé par le contraste de perméabilité des matériaux (BANTON et BANGOY, 1999).

III –2- Circulation de l'eau dans les nappes

La dynamique de l'eau dans les nappes est un phénomène complexe, qui est basé sur des lois physiques. Il s'agit d'équations qui se basent sur des calculs d'écoulement pour expliquer le phénomène de circulation des eaux souterraines (BANTON et BANGOY, 1999).

III – 2-1- Les écoulements

Le sens et le mouvement des eaux dans les milieux poreux du sol, dépendent des zones d'alimentation et de pompage, et aussi de la forme des pores formant la micro structure du milieu poreux.

En fait, l'utilisation des outils mathématiques simple par DARCY (1958), a permis la résolution des problèmes de l'étude des écoulements :

$$Q = A \cdot K \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{avec : } Q : \text{ le flux à travers la surface } A.$$

K : la perméabilité (m/s).

Ou

H : le potentiel exprimé en hauteur d'eau (m).

U : la vitesse de Darcy ou flux à travers A.

$$U = K \cdot \frac{\partial H}{\partial x}$$

Dans les aquifères superficiels, la vitesse de Darcy varie entre quelques dizaines de mètres/an et quelques mètres/ jour (BANTON et BANGOY, 1999).

III-2-2- La piézométrie

La piézométrie d'une nappe est la mesure de son état de charge. Alors que l'établissement de la carte piézométrique d'une nappe, c'est la cartographie de l'énergie utilisable pour les écoulements.

Pour une nappe libre, il s'agit de caractériser aussi, l'état de remplissage de l'aquifère, car la surface supérieure de l'eau change avec le régime de remplissage. Donc, c'est la cartographie du toit de la nappe.

Tracé de la piézométrie d'une nappe alluviale

Le sens général d'écoulement de la nappe alluviale est le même que celui de l'écoulement du cours d'eau. Selon les conditions de saison et de prélèvement d'eau, il y'a deux situations ; ou bien le cours d'eau qui alimente la nappe, ou inversement, c'est la nappe qui soutien la rivière (BANTON et BANGOY, 1999).

Selon le même auteur, ce phénomène est lié à la différence de charges et exprime la topographie du site. Ainsi, les charges les plus élevées correspondent à des endroits de topographie plus élevée, et inversement, les charges les plus faibles indiquent des basses topographies du site.

L'organisation des écoulements ressemble à celle des ruissellements de surface, avec une ligne de partage des eaux qui a un contour voisin de la ligne de partage des eaux superficielles, et par conséquent, les lignes de courants et les surfaces isopièzes se déduisent (BANTON et BANGOY, 1999).

III-3 – Chimie et qualité des eaux souterraines

III-3-1- Chimie des eaux

Les caractéristiques chimiques et physiques de l'eau conditionnent la qualité et l'utilisation de cette eau. En fait, l'eau contient toujours des quantités de matières dissoutes, solides et gazeuses. La composition chimique de la solution du sol dépend du pH, de la pression gazeuse, de la nature des métaux existants, du pouvoir oxydant de la solution et des micro-organismes (ATTEIA, 2005).

La qualité de l'eau est influencée depuis son passage dans l'atmosphère, écoulement superficiel, infiltration dans le sol et altération des eaux souterraines, jusqu'à son extraction dans des points d'eau (puits, forages, sources...) (MARGAT, 1990 *in* BEAUCHAMP, 2006).

Les principales réactions chimiques dans les nappes sont des réactions d'oxydoréduction ou redox. Ces réactions se produisent après infiltration de l'oxygène du sol vers les nappes, où les eaux ne sont plus en contact avec de l'air, et on passe progressivement d'un milieu aérobie vers l'anaérobie (ATTEIA, 2005).

III-3-2- Qualité des eaux

Lors du passage lent de l'eau dans le sol, il se produit un équilibre avec la phase gazeuse et les minéraux du sol, avec une pression de CO₂ qui est plus forte que la pression atmosphérique. Concernant les minéraux, les eaux sont toujours en équilibre avec les silicates (quartz, feldspath, argiles). L'équilibre sera réalisé dans les horizons profonds (ATTEIA, 2005).

La salinité est un élément essentiel dans la caractérisation qualitative des eaux. Elle est ordinairement exprimée par la conductivité électrique (SERVANT, 1978).

Les réactions redox modifient certains paramètres de la qualité des eaux à savoir la teneur en oxygène, fer, et hydrogène sulfuré, et influer par la suite les métaux lourds (polluants) dans l'eau et certaines substances organiques. Ces réactions sont généralement lentes et exigent la présence de bactéries catalysantes, complexes. les bactéries utilisent la réaction qui leur fournit le plus d'énergie, en utilisant d'abord l'oxygène, puis les nitrates, le fer, le manganèse, sulfates et en fin le CO₂ (ATTEIA, 2005).

La composition chimique d'une eau naturelle comprend: L'oxygène, l'azote, le soufre, le carbone et l'hydrogène. Il faut noter que ces éléments peuvent exister sous forme solide, liquide et gazeuse (ATTEIA, 2005).

III- 4- La nappe alluviale

Les systèmes alluviaux sont une partie de l'hydro système fluvial, défini comme un ensemble fonctionnel en interaction avec un cours d'eau, grâce à des flux de matières (eau, solutés, charge solide), d'organismes et d'énergie (AMOROS et PETTS, 1993).

La nappe alluviale est une nappe libre qui circule dans les alluvions de la rivière, et qui se trouve à une profondeur faible, ce qui facilite son exploitation par des puits et forages (LENOBLE, 1995).

Des rythmes hydrologiques différenciés (basses eaux, hautes eaux, crues inondantes) entraînent une structuration d'espaces et de volumes emboîtés (chenal d'étiage, lit de pleins bords, champ d'inondation, aquifère alluvial). Ils induisent également une dynamique géomorphologique qui assure le renouvellement des biotopes et conditionne pour partie le développement des biocénoses (TREMOLIERES et *al*, 2002).

Les alluvions déposées par les cours d'eau, sont généralement, accompagnées d'une nappe alluviale, dont la qualité de l'eau est meilleure que celle du cours d'eau, du fait qu'elle a été filtrée par le sous-sol. Cette eau est utilisée comme eau potable et en agriculture (BANTON et BANGOY, 1999).

III-4-1- Caractéristiques de la nappe alluviale

Elle est caractérisée par la porosité du milieu qui détermine l'espace disponible pour l'eau, ses dimensions, sa hauteur, la vitesse et sens d'écoulement. Cette nappe est délimitée par des alluvions secs en haut (perméables) et un substratum imperméable en bas qui est généralement l'argile (LENOBLE, 1995).

III-4-2- Alimentation des nappes alluviales

L'alimentation des nappes alluviale dans les zones arides se fait par les eaux de précipitation, en périodes de crue ; la submersion des alluvions par les eaux de crue permet la pénétration de l'eau dans les couches géologiques de la terre, en assurant une recharge des nappes alluviales.

En effet, l'alimentation en eau des nappes alluviales dans les régions arides est intermittente et résulte des pertes de transmission des eaux de crues dans les lits

dessellés des Oueds. Le volume d'eau alimentant la nappe dépend principalement de la largeur du périmètre humidifié et la durée de submersion. On note aussi, qu'une partie importante des eaux de crues est perdue suite aux variations de débit en amont (SORMAN et ABDULRAZZAK, 1993).

Néanmoins, en milieu aride et semi-aride, la zone non saturée joue un rôle considérable dans les échanges nappe-cours d'eau (DAGES et *al*, 2008).

La recharge des nappes alluviales se fait par les eaux de crues occasionnelles et ne concerne qu'une partie du réservoir potentiel. L'amplitude du renouvellement de la nappe par rapport aux pertes de transmission des lits dépend du volume de la crue et de la durée pendant laquelle le sol reste humide, ainsi que des caractéristiques physiques du sol (SORMAN et ABDULRAZZAK, 1993).

D'après les mêmes auteurs, il y'a toujours une perte d'une partie des eaux de la nappe, soit par les fuites, ou bien par le pompage exagéré. Cependant, une recharge artificielle de la nappe est possible par la confection de barrages d'écrêtement, permettent un contact de l'eau avec les alluvions, suffisamment important pour l'infiltration d'un volume d'eau dans les alluvions en aval.

III-4-3- Relation nappe alluviale et cours d'eau

Il y'a toujours une relation entre nappe alluviale et cours d'eau (rivière, oued ...), de sorte que : soit la nappe soutient le cours d'eau ou inversement c'est la rivière qui alimente la nappe. Cette relation peut être identifiée par l'observation de la variation de charges près de la rivière ; s'il y'a une décroissance des charges vers le cours d'eau, cela signifie qu'on est en situation d'un écoulement de la nappe vers la rivière. Si par contre, les charges sont croissantes, on parle d'un écoulement rivière – nappe (BANTON et BANGOY, 1999).

Le mouvement des eaux d'alimentation est lié à certaines propriétés du sol et de l'eau à savoir ; le coefficient de conductivité hydraulique, la pression et la structure du sol. L'infiltration des eaux de rivières et de lacs peut aussi contribuer de façon significative à la recharge de la nappe. Latéralement, d'autres aquifères peuvent alimenter la nappe. De même, les écoulements de la nappe en aval peuvent alimenter les courants d'eau et les sources (BANTON et BANGOY, 1999).

Ces échanges entre nappe et cours d'eau constituent des conditions aux limites dont la quantification est nécessaire et permet la compréhension de la dynamique du système hydrogéologique. Les gradients de charge hydraulique entre les eaux de surface et les eaux souterraines, conditionnent ces échanges, car la différence de charge hydraulique indique le sens des échanges entre nappe et cours d'eau (BANTON et BANGOY, 1999).

Ainsi, si le plan d'eau de la rivière est supérieur à la surface de la nappe libre, la rivière alimente la nappe (saison sèche), et dans le cas inverse, elle draine la nappe (saison humide). Ce phénomène d'échange entre eaux superficielles et eaux souterraines est illustré par la figure 03.

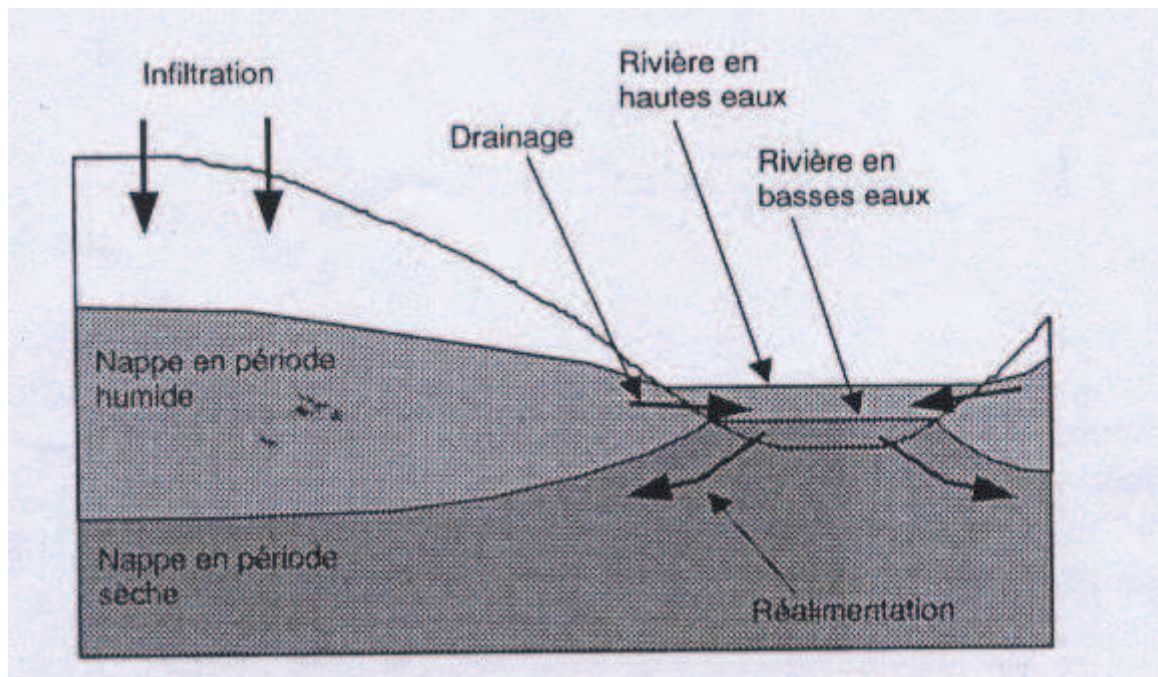


Figure 03: Echange entre eaux de surface et souterraines (BANTON et BANGOY, 1999).

Les relations entre un cours d'eau et sa nappe alluviale sont identifiées par les cartes de la surface de la nappe (cartes isopièzes ou courbes d'égale altitude de la surface de la nappe), qui sont tracées à partir de mesures du niveau de la nappe dans les puits et forages. Les figures 04 et 05 montrent les deux situations qui peuvent avoir lieu entre la nappe alluviale et la rivière :

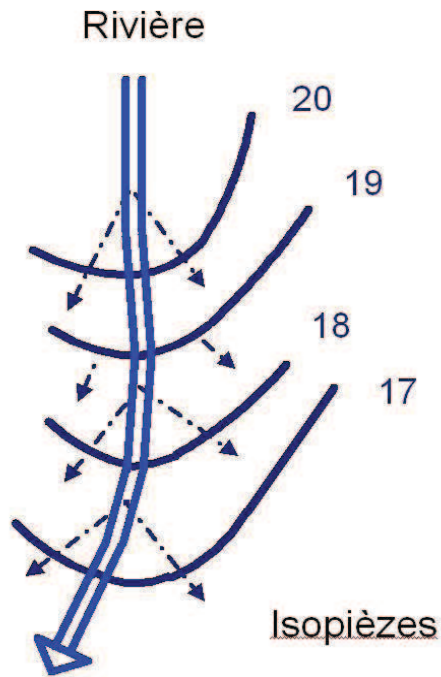


Figure 04 : Courbes isopièzes incurvées vers l'amont, la rivière alimente la nappe (LENOBLE, 1995).

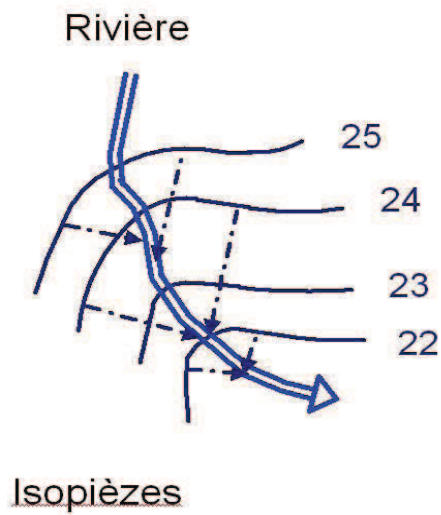


Figure 05 : Courbes isopièzes vers l'aval, la nappe alimente la rivière (LENOBLE, 1995).

Conclusion

Les sols alluviaux sont des sols peu évolués d'apport fluvial (fluvisols), dont l'appellation diffère selon la classification. Ces sols sont fertiles, riches en éléments minéraux et caractérisés par la présence d'une nappe alluviale, ce qui explique la concentration de l'activité agricole dans ces sols.

En zones arides, la recharge de la nappe alluviale se fait essentiellement par des eaux de crues occasionnelles. C'est une nappe libre et peu profonde qui est en contact permanent avec un cours d'eau non permanent. Cela permet des échanges entre les deux.

Le sens d'écoulement de la nappe peut être identifié par le tracé de la carte piézométrique. Il s'agit des mesures du niveau de la nappe dans des puits et forages.

La présence d'eau dans les zones arides a permis l'installation d'oasis, qui sont des écosystèmes particuliers, convenables pour la survie des populations, des espèces végétales et animales. Les ressources hydriques dans ces oasis sont les eaux souterraines, présentes sous formes de nappes profondes ou superficielles telle que la nappe alluviale.

Elle caractérise les régions sahariennes à cours d'eau à savoir le M'zab, les Ziban et la Saoura. La présence d'un cours d'eau a permis l'existence de cette nappe, constituant la principale source d'eau potable et d'irrigation, d'où la nécessité de la protéger de toute contamination.

Deuxième partie : Matériel et méthodes

**Chapitre IV : Présentation de la
région d'étude**

I V– Généralités sur la région d'étude

I V– 1- Situation géographique

Notre travail s'est déroulé dans la commune de Guerrara, qui se situe à environ 120 km au nord-est de Ghardaïa, à la latitude $32^{\circ}50'$, longitude $4^{\circ} 30'$ et à une altitude de 300 m. Sa superficie est de 2600 km² (DJILI, 2003).

La figure 06 montre les limites de Guerrara avec les autres Daïras de la wilaya de Ghardaïa.

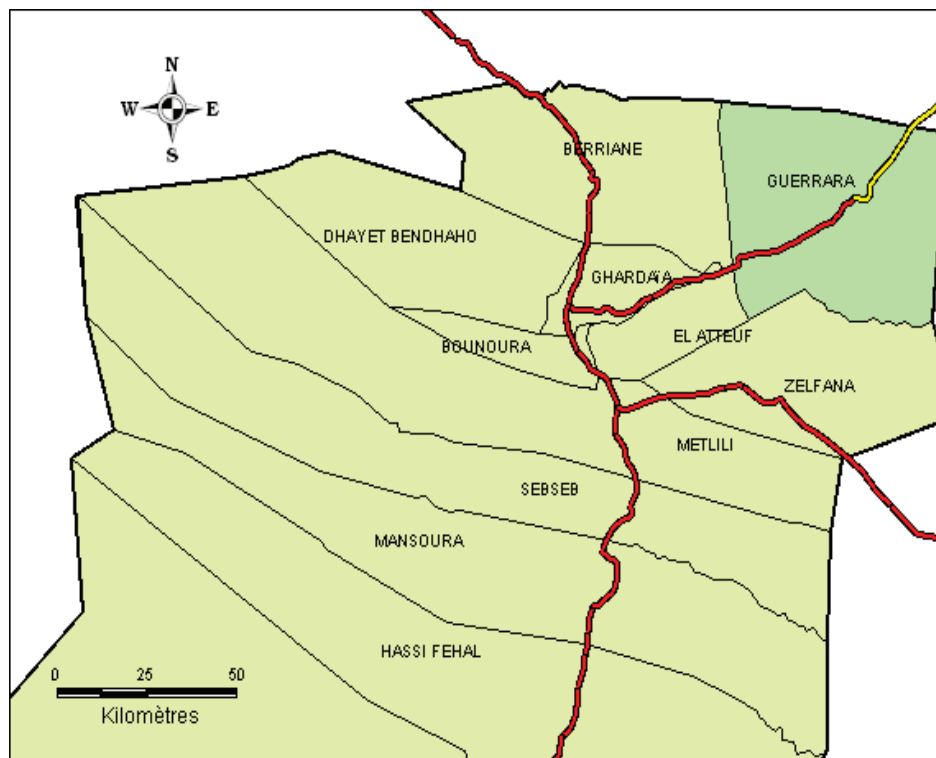


Figure 06 : Carte de la wilaya de Ghardaïa (CDARS, 2009).

En plus des limites avec les Daïras de Ghardaïa, Guerrara est limitée au Nord par la Daïra de Messaad (wilaya de Djelfa) et à l'Est par la Daïra d'El hadjira (wilaya de Ouargla).

IV- 2- Cadre climatique

Les données climatiques de la région de Ghardaïa pour la période 1995-2006 sont illustrées par le tableau 03.

Tableau 03: Données climatiques de Ghardaïa entre 1995 et 2006(O.N.M. 2007)

paramètres	Température (C°)			Précipitations (mm)	Vents (m/s)	Humidité (%)
	Min	max	moyenne			
Janvier	6.1	17	11.23	10.5	3.73	57.52
Février	8	19.6	13.4	2.71	3.78	47.62
Mars	10.9	24.1	17.16	9.95	3.78	40.63
Avril	14.3	27.4	20.8	11.36	4.44	36.98
Mai	20.3	32.5	25.95	1.27	4.42	30.67
Juin	24.4	38.1	31.28	0.91	3.87	26.86
Juillet	27.2	40.9	34.59	0.98	3.73	23.27
Août	27	40.9	34	6.29	3.65	44.76
Septembre	22.5	35.1	28.75	21.51	3.63	36.84
Octobre	17.2	29	22.96	8.26	3.06	44.76
Novembre	10.6	21.7	16.1	8.23	3.44	50.34
Décembre	7.1	17.8	12.88	7.03	3.49	58.37
Moyennes			27.64	7.41	3.75	41.55
Cumul				89		

IV-2-1- Les températures

Le mois le plus froid est Janvier, avec une température mensuelle moyenne de 11.23C, alors que le mois le plus chaud est Juillet, avec une moyenne mensuelle de 34.59 °C.

IV-2-2 - Précipitations

Les pluies sont rares et irrégulières d'une année à une autre et en fonction des saisons. La moyenne annuelle des précipitations est de 89 mm,

La figure 07 représente le diagramme ombrothermique de la région de Guerrara.

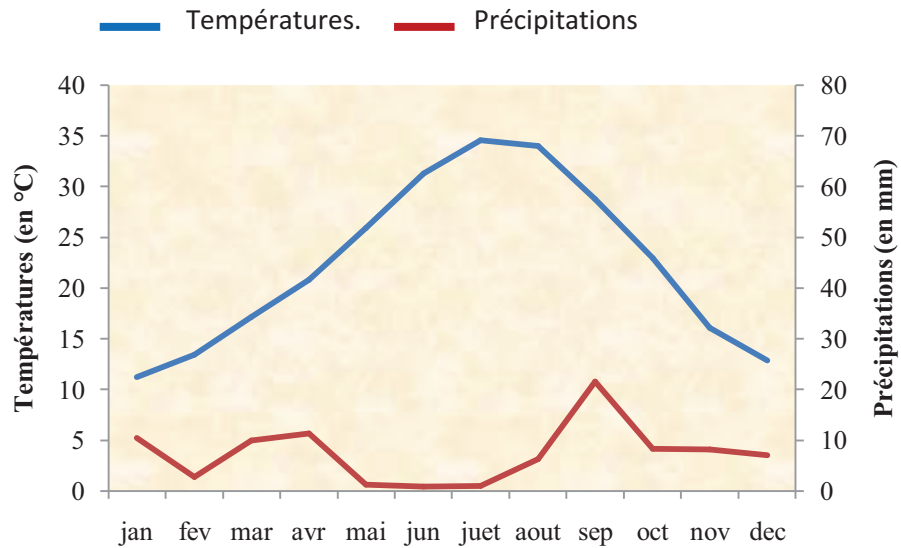


Figure 07: Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa

La saison sèche correspond à l'air entre les deux courbes et s'étale sur toute l'année.

IV-2-3- Vents

La vitesse des vents varie de 3.06 m/s en Octobre à 4.44 m/s en Avril, avec une moyenne annuelle de 3.44 m/s.

la direction des vents est Sud Ouest-Nord Est.

IV- 3- Hydrologie

IV-3-1- Généralités sur Oued Zegrir

Oued Zegrir est l'un des grands cours d'eau de la vallée du M'zab qui passe par

Guerrara. Il est d'une longueur de 270 km de son origine (Oued Ajerma) jusqu'à la Daya de Ben Feïlah (DJILI, 2004).

Il est constitué de tributaires irréguliers ramifiés autour d'un tronc principal (PEULVAST et VANNEY, 2001 in DJILI, 2004).



Photo 01 : Oued Zegrir (08 km au nord de Guerrara).

IV-3-2- Crues et épandage de Oued Zegrir

Le régime des crues de Oued Zegrir est souvent irrégulier et variable d'une année à une autre, selon la chute des pluies.

Dans le but d'une bonne gestion des eaux de Oued Zegrir, les habitants de Guerrara ont mis en place un dispositif qui permet de guider les eaux des crues vers la palmeraie, inondation pendant des jours à des semaines pour assurer une bonne alimentation de la nappe alluviale et par la suite évacuer les eaux en surplus. Il s'agit de la construction d'un ouvrage composé de :

- Une digue de dérivation des eaux de crue vers un barrage de dérivation.
- Un barrage de dérivation mené de buses qui permet le passage de l'eau vers la palmeraie et vers l'extérieur.
- Des drains pour l'acheminement de l'eau à l'intérieur de la palmeraie.

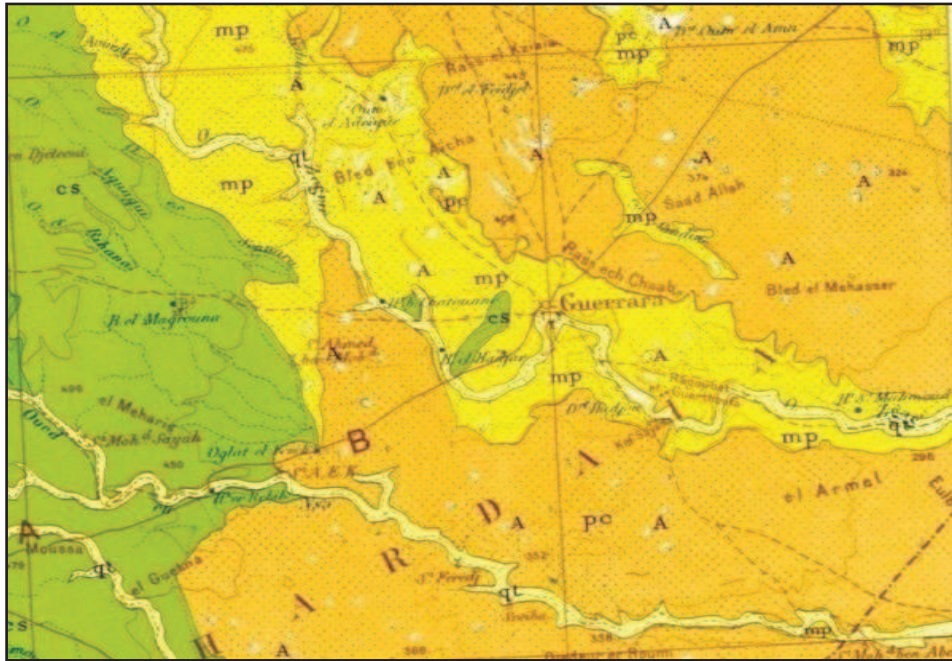


Photo 02 : Digue de dérivation de la crue de Oued Zegrir (HARIZ, 2008).

IV- 4- Géologie

Selon la carte géologique de Guerrara présentée dans la figure 08, on trouve trois types de formations géologiques :

- Le Crétacé supérieur (CS) qui occupe la zone de Bled Bouaïcha au Nord-Ouest (en vert) et qui est constituée d'une double dalle dure de calcaires dolomitiques.
- Le Néogène (en jaune) présenté par la dépression de Guerrara qui est creusé dans le Pontien. Il s'agit du Mio-Pliocène (mp). Le reste du terrain est constitué du Pliocène continental (pc) comme des étendus formés de calcaire épais et continus. Cette formation s'étend dans la région des Dayas (DJILI, 2004).
- le Quaternaire continental (qt) est représenté par des formations sédimentaires sahariennes, qui sont des alluvions fluviales.



Echelle: 1/500000

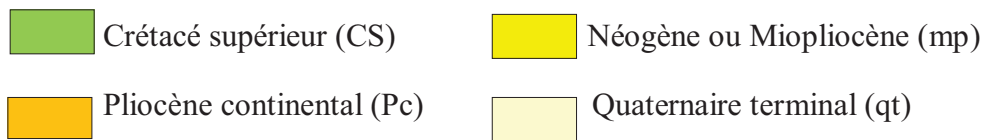


Figure 08 : Carte géologique de Guerrara (HADJ-SAÏD et al, 2008).

IV-5- Hydrogéologie

Cinq aquifères sont exploitables à Guerrara, y compris la nappe superficielle :

- La nappe superficielle ou alluviale qui est une nappe d'Oued. Elle est alimentée par les crues de Oued Zegrir. La profondeur de cette nappe est variable selon la saison ; 0.4 à 6m en période de hautes eaux et de 10 à 35m en période des basses eaux.
- La nappe du Mio-Pliocène et Eocène qui se localise dans la partie Est de Guerrara ; il s'agit d'une nappe de Mio-Pliocène sableux de 125 m d'épaisseur en plus d'une nappe d'Eocène à calcaire blanc fin et de 100 m d'épaisseur.
- La nappe du Sénonien qui est rencontrée dans la partie Ouest de Guerrara et liée aux deux précédentes nappes et qui peut être exploitée à environ 430 m de profondeur.
- La nappe de Turonien carbonaté; d'une épaisseur de 74m, de 500 m de profondeur et caractérise la partie Ouest de Guerrara.
- La nappe du continental intercalaire ou nappe albienne qui se trouve à environ 500 à 900m de profondeur.

Chapitre V : Matériel et méthodes

V- Matériel et méthodes

La caractérisation des sols et de la nappe alluviale de la palmeraie de Guerrara nécessite avant tout un choix de la zone d'étude et la méthode d'échantillonnage ainsi que le matériel utilisé. Après cela, on entame la description morphologique des sols et analytiques pour les sols et l'eau de la nappe

V-1- Choix de la zone d'étude

Pour la réalisation du présent travail, on a opté pour l'ancienne palmeraie de Guerrara qui a une superficie de 400 ha. Ce sont des alluvions qui contiennent une nappe alluviale, alimentée saisonnièrement par les eaux des inondations de Oued Zegrir.

La figure 09 donne le plan général de la zone d'étude qui se situe à peu près entre les parallèles 3629000 et 3627500 Nord et entre 639000 et 641500 Est.

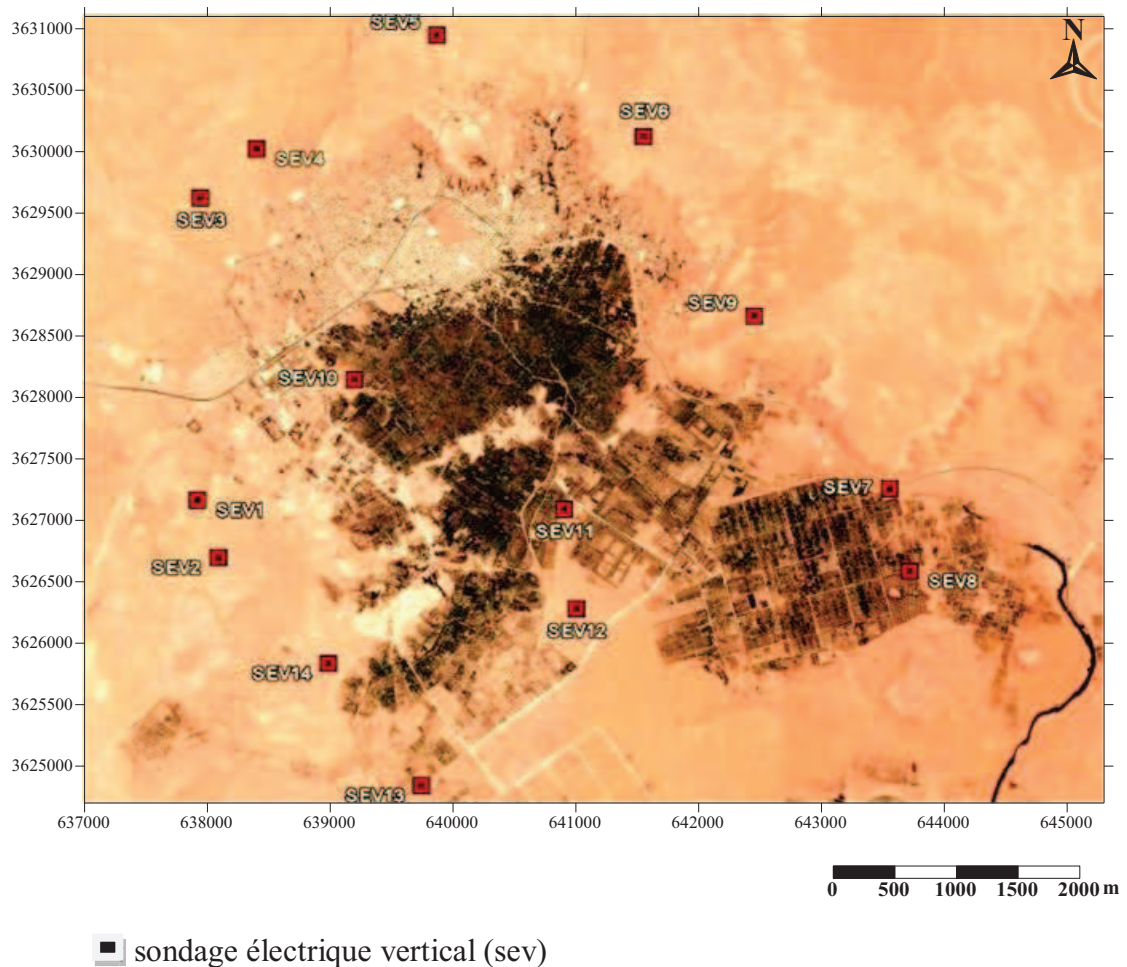


Figure 09: Plan de l'ancienne palmeraie de Guerrara.

V-2- Méthodes d'échantillonnage sur terrain

Concernent les sols, la méthode de travail consiste en la caractérisation morphologique des profils. Cinq profils ont été réalisés à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Guerrara de façon à représenter les sols de l'oasis. Après description des profils selon la méthode décrite par BAIZE et JABIOL (1995), nous avons échantillonné les sols de chaque horizon, puis nous avons effectué les analyses classiques au laboratoire, pour arriver à classer les sols.

L'étude de la nappe a été menée en deux campagnes, une durant le moi de Décembre 2008 sur 42 puits et une deuxième en Mars 2009 sur 30 puits.

L'étude piézométrique de la nappe consiste en la mesure de la profondeur de la nappe, ses coordonnées géographiques et sa cote dans chaque puits. Cela dans le but de tracer la carte piézométrique et de déterminer le sens d'écoulement de cette nappe. Par la suite, nous avons analysé au laboratoire les échantillons d'eau (analyse chimique).

-La mesure de la profondeur de la nappe a été effectuée par une sonde électrique graduée

-Les coordonnées géographiques des points d'eau ont été mesurés par un GPS.

V-3- Méthodes d'analyse au laboratoire

- La granulométrie est évaluée par la pipette de ROBINSON, faisant appelle à la loi de STOCKS.

- La texture des sols a été interprétée à partir du triangle des textures « USDA texture triangle »

- Le pH et la conductivité électrique ont été mesurés au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre et un conductimètre, sur des extraits au 1/5 pour le sol, et sur site pour l'eau.

- Les sulfates sont déterminés par précipitation sous formes de sulfates de baryum en présence de $BaCl_2$.

- La matière organique est obtenue par titration à base d'acide sulfurique et de dichromate de potassium, selon la méthode ANNE.

- Les chlorures sont déterminés selon la méthode argento-métrique de MOHR en les précipitant par le nitrate d'argent sous forme $AgCl$.

- Le calcaire total a été déterminé par la méthode de calcimètre de BERNARD. L'interprétation du calcaire total selon les normes données par BAIZE, 1988(in MOTI, 1997).

- Le dosage des cations a été effectué par spectrométrie à flamme et par absorption atomique.
- La classification des sols est faite selon la WRB/FAO (1998).
- La cartographie de la nappe a été réalisée par un logiciel (surfer).

En plus de la cartographie de la nappe, on a mené les mêmes analyses chimiques pour l'eau de la nappe et selon les mêmes méthodes utilisées pour les analyses chimiques du sol.

Chapitre VI : Caractérisation des sols

VI - Caractérisation des sols

La caractérisation des sols de la palmeraie de Guerrara vise la détermination des principales propriétés physiques et chimiques, suivi d'une classification des sols. Pour ce, les cinq profils réalisés à l'intérieur de la palmeraie de Guerrara ont fait l'objet d'une description détaillée et d'un échantillonnage suivi d'analyses au laboratoire. Le positionnement des profils à l'intérieur de la palmeraie est donné par la figure 10.

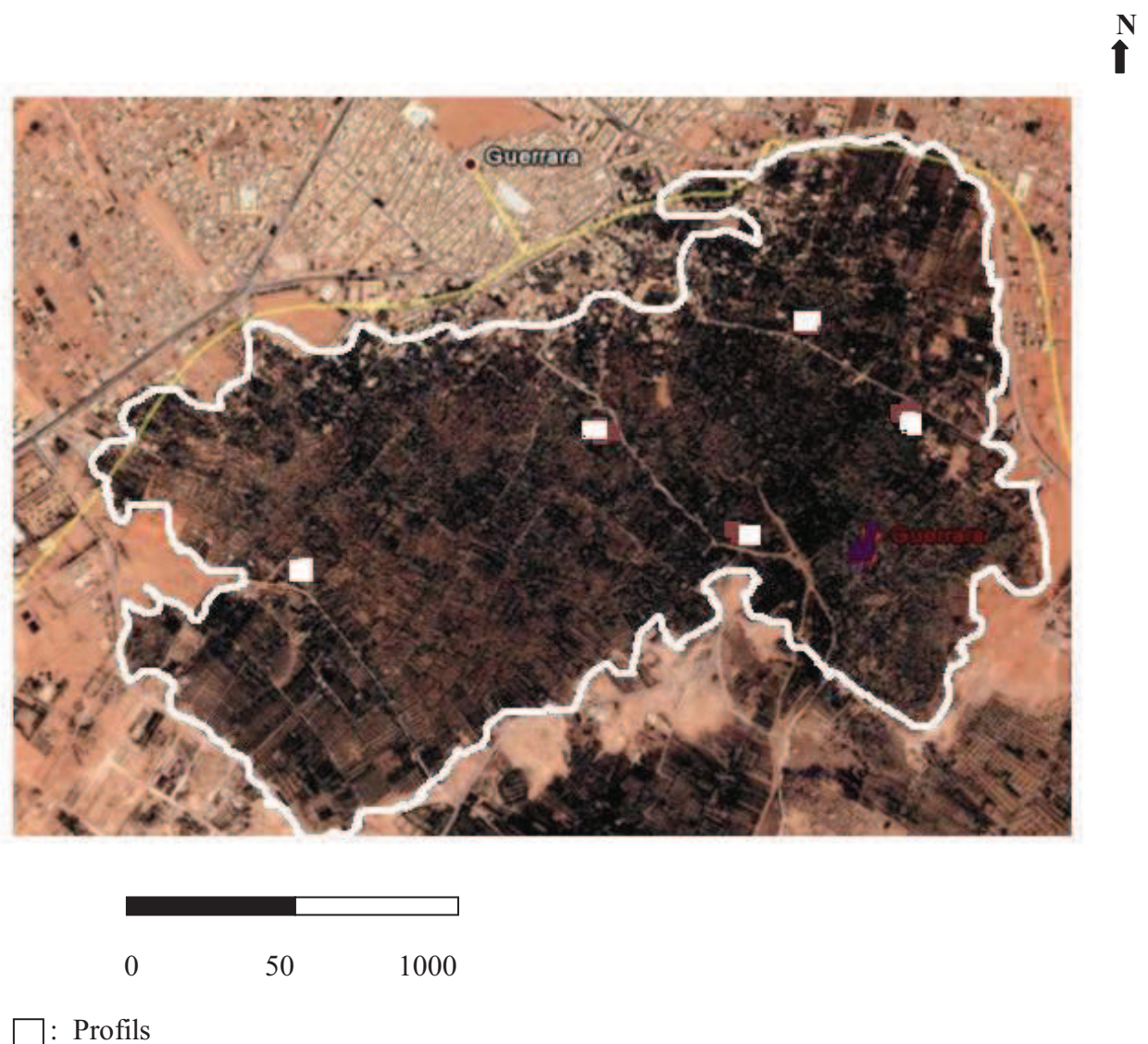


Figure 10 : Positionnement des profils dans la palmeraie

VI-1- Profil 01

VI-1-1- Description générale

-Nom du profil : Profil 01. – Date : 03/ 03/ 2009

-Lieu : CHERGUIA – Nord-est de la palmeraie de Guerrara.

- N 32° 47′ 20″ E 04° 30′ 27″ - Altitude : 303 m.

- Forme du sol : légère pente vers l’Ouest.

- Etat du ciel : Dégagé.

- Pluies précédentes : Mi Janvier 2009.

- Couvert végétal : Avoine entre palmiers.

VI-1-2- Description du profil

- **Ap (0-40cm)** : sol brun (7.5 YR 4/4) à l’état humide, texture limono-sableuse à limoneuse, friable, peu compact, structure massive à éclats anguleux, pas d’éléments grossiers, humide, faible activité racinaire, la transition est nette, effervescence à l’HCl.

-**C1 (40-60 cm)** : 7.5 YR 5/6 brun clair à l’état humide, de texture sablo-limoneuse, structure massive, sol humide, forte activité racinaire avec des racines de palmiers, transition nette, faible effervescence à l’HCl

-**C2 (60 - > 120 cm)** : 7.5 YR 4/4 brun à l’état humide, texture argilo-limoneuse avec présence de sable fin, structure massive à éclats anguleux, très humide, meuble, racines de palmiers moins nombreuses, transition graduelle, effervescence à l’HCl.

VI-1-3- Résultats des analyses physiques et chimiques

Les résultats des analyses physiques et chimiques de sol du profil 01 sont représentés dans les tableaux 04 et 05.

Tableau 04 : Caractérisation physique et chimique du profil 01

Hz	Prf (cm)	Granulométrie (%)					Texture	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gypse (%)
		A	Lf	Lg	Sf	Sg				
Ap	0-40	6.8	34.5	25	32.1	1.6	LS	7.74	2.37	0.07
C1	40-60	21.7	15.4	10.3	48.7	3.9	SL	4.30	0.63	0.64
C2	60->120	23.8	37.7	17.3	21	00	LA	12.90	1.53	1.84

Le sol du profil 01 est de texture fine, limono sableuse à sablo limoneuse riche en argile surtout dans les horizons C1 et C2 (21.7 et 23.8%). La texture est limono argileuse dans l'horizon C2. Le sol est modérément calcaire dans le premier horizon (7.74%), peu calcaire dans le deuxième (4.3%) et modérément calcaire dans le troisième horizon (12.9%). L'horizon Ap est bien pourvu en matière organique (2.37%), C1 en est très pauvre (0.63%) et C2 est pauvre en matière organique (1.53%). Le taux de gypse est très bas surtout dans le premier horizon (0.07%).

Tableau 05 : Résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant du profil 01.

Hz	Profondeur (en cm)	pH 1/5	CE 1/5 (dS/m)	K ⁺ (méq/100g)	Na ⁺ (méq/100g)	Ca ²⁺ (méq/100g)	Mg ²⁺ (méq/100g)	CEC (méq/100g)
Ap	0-40	8.00	0.26	0.17	0.40	4.70	1.24	6.51
C1	40-60	7.93	0.15	0.16	0.20	9.01	1.38	10.75
C2	60- >120	7.90	0.22	0.29	0.28	11.47	1.41	13.45

La CE est mesurée sur des extraits dilués au 1/5 et pour rendre cette valeur proche des conditions de la solution du sol, on doit ramener les valeurs de la CE à des valeurs qui correspondent à un extrait de pâte saturée. Pour cela, les valeurs de la CE de l'extrait dilué au 1/5 doivent être multipliées par un coefficient de correction qui dépend de la texture du sol, et puisque la texture dominante est limoneuse, ce coefficient est estimé au environ de 10. Selon le tableau 28 (en annexes) qui donne la classification de la salinité du sol en fonction de la CE de l'extrait saturé, le sol dans le profil 01 est non salé dans les horizons C1 et C2 car la CE < 0.25 dS/m (< 2.5 dS/m), et faiblement salé dans l'horizon Ap.

Le pH est basique (7.90 à 8.00).le faciès cationique du complexe adsorbant du sol est dominé par le calcium (4.7 à 11.47 méq/100g), puis par le magnésium, le sodium et enfin le potassium.

Selon le tableau d'interprétation pour la CEC (27 en annexes), la capacité d'échange cationique est faible dans l'horizon Ap (6.51 méq/100g), moyenne dans C1 (10.75 méq/100g) et assez élevée dans C2(13.45 méq/100g).

La figure 11 représente l'évolution du calcaire, de la conductivité électrique et du pH avec la profondeur du sol.

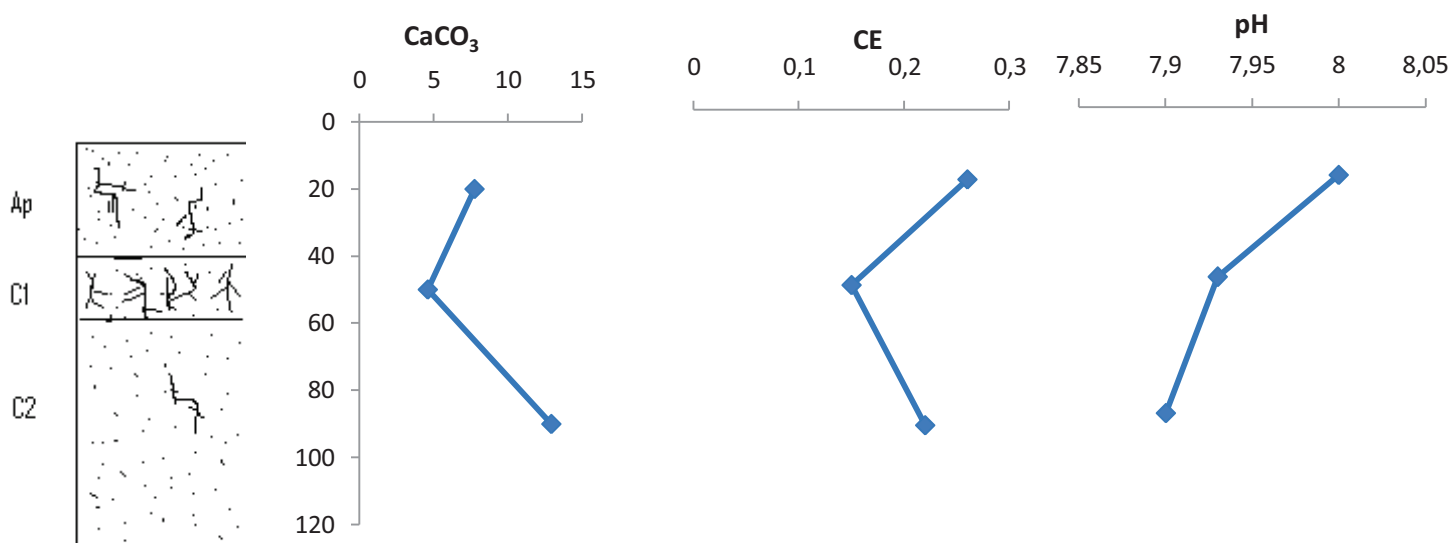


Figure 11 : profil calcaire, salin et de pH du profil 01

L'augmentation du taux d'argile de 6.8 à 23.8% est suivi par une augmentation du calcium (4.7 à 11.47 méq/100g) et une augmentation de la CEC (6.51 – 13.45 méq/100g). La CE est peu variable avec la profondeur et diminue de 0.26 à 0.22 dS/m., Le pH est peu variable avec la profondeur avec des valeurs de 8.00 à 7.90.

La figure 12 représente le faciès cationique du complexe adsorbant dans le profil 01. La teneur en Ca⁺⁺ augmente avec la profondeur. Le calcium est dominant par rapport aux autres cations et c'est le magnésium qui vient en deuxième position, puis le sodium et en fin le potassium.

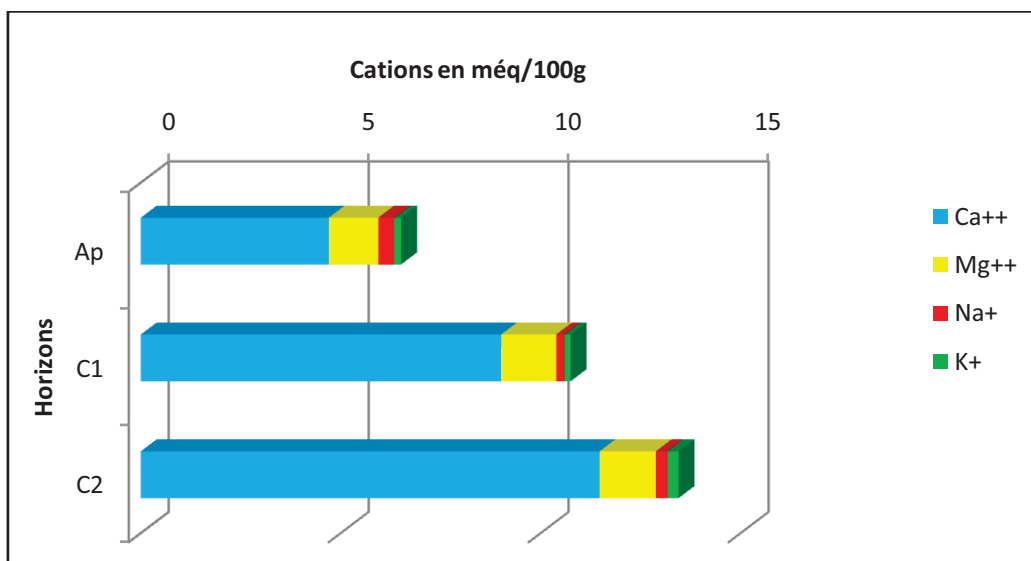


Figure 12 : Garniture cationique du complexe adsorbant dans le profil 01

Il y'a augmentation des teneures en Ca^{++} en allant de la surface du sol vers la profondeur, cela est expliqué par l'augmentation de la teneur en argile et celle de la CEC en profondeur du profil.

VI-2- Profil 02

VI-2-1- Description générale

-Numéro du profil : Profil N° 02. – Date : 03/ 03/ 2009

-Lieu : CHERGUIA – Nord-est de la palmeraie de Guerrara.

- N 32° 47' 14" E 04° 30' 16" - Altitude : 301 m.

- Forme du sol : plat.

- Etat du ciel : Dégagé.

- Pluies précédentes : Mi Janvier 2009.

- Couvert végétal : Mauvaises herbes entre les palmiers.

VI-2-2- Description du profil

-Ap (0-40cm): 7.5 YR 4/4(brun) à l'état humide, de texture limono argileuse, riche en argile et en limon fin, structure massive à éclats anguleux, humide, activité racinaire faible (peu de racines de palmier), la transition est graduelle, effervescence à l'HCl.

-C1 (40>120cm) : 7.5 YR 3/4 (brun foncé) à l'état humide, texture limoneuse, plus riche en limon fin que le premier horizon, la structure est massive, transition est graduelle, forte activité racinaire dans la partie supérieure de l'horizon, très humide et plastique, effervescent à l'HCl.

VI-2-3- Résultats des analyses physiques et chimiques

Les résultats des analyses physiques et chimiques du sol dans le profil 02 sont représentés dans le tableau 06.

Tableau 06 : Caractérisation physico-chimique du profil 02

Hz	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gypse (%)
		A	Lf	Lg	Sf	Sg			
Ap	0-40	31.3	24	9.4	34.8	0.5	10.75	1.85	0.18
C1	40>120	21.2	37.3	4.1	36.1	1.3	11.75	1.63	0.33

Le sol du profil 02 présente une texture équilibrée entre argile, limon et sable. La texture est limono-argileuse dans l'horizon Ap et limoneuse dans C1. Le taux d'argile est élevé dans l'horizon Ap (31.1%) et acceptable dans C1(21.2%). Le sol est modérément calcaire dans les deux horizons (10.75 à 11.75%), les taux de matière organique (1.85% et 1.63%) sont acceptables par rapport aux sols des zones arides. Le taux de gypse est très faible surtout dans le premier horizon.

Les résultats des analyses physiques et chimiques du complexe adsorbant du sol sont représentés dans le tableau 07.

Tableau 07 : Résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant.

Hz	Profondeur (en cm)	pH	CE 1/5 (dS/m)	K ⁺ (még/100g)	Na ⁺ (még/100g)	Ca ²⁺ (még/100g)	Mg ²⁺ (még/100g)	CEC (még/100g)
Ap	0-40	8.04	0.21	0.07	0.24	13.91	1.48	15.7
C1	40>120	8.27	0.24	0.08	0.32	11.06	1.34	12.8

Le sol est non salé car la conductivité électrique de l'extrait de dilution au 1/5 est de 0.21 à 0.24 dS/m qui correspondent à des valeurs de CE de l'extrait saturé qui sont < 2.5 dS/m. Le pH est basique (8.04 à 8.27) et le complexe adsorbant est dominé par le calcium dans les deux horizons (13.91 et 11.06 még/100g). La CEC est élevée dans l'horizon Ap (15.7 még/100g), où la teneur en argile est plus élevée (31.3%) et assez élevée dans C1 (12.8 még/100g).

La figure 13 donne la garniture cationique du complexe adsorbant du profil 02.

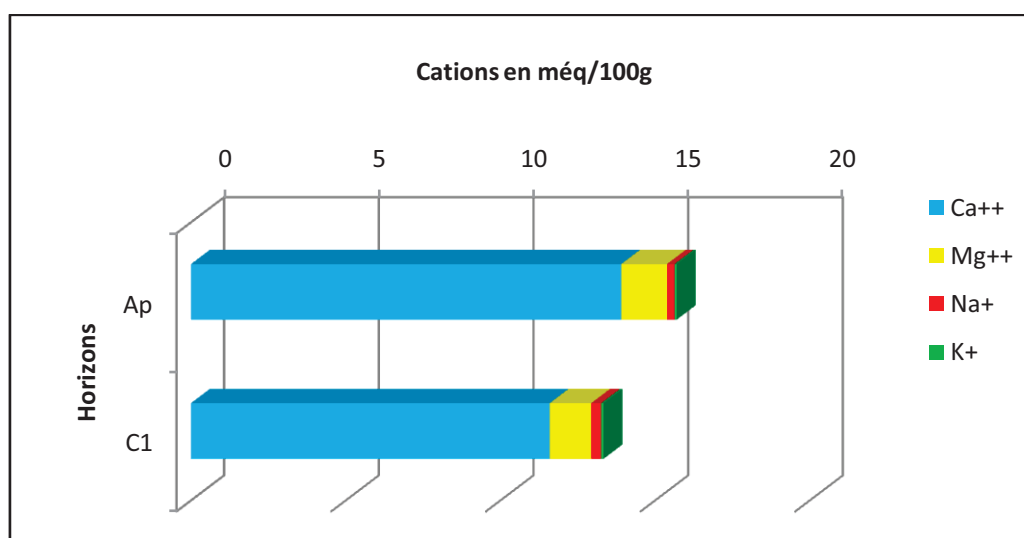


Figure 13 : Garniture cationique du complexe adsorbant du profil 02

On remarque une dominance de l'ion Ca^{++} à travers le profil avec une teneur qui représente 87% de la CEC. Ces teneurs sont plus fortes dans l'horizon Ap car la teneur en argile est appréciable dans cet horizon (31.3%). Mg^{++} constitue 10% de la CEC et Na^+ et K^+ (2 à 3%).

VI-3- Profil 03

VI-3-1- Description générale

- Numéro du profil : Profil 03. – Date : 03/ 03/ 2009
- Lieu : EL MANGEA (Centre) - N 32° 47' 06" - E 04° 29' 55" - Altitude : 300 m.
- Forme du sol : plat.
- Etat du ciel : Dégagé.
- Pluies précédentes : Mi Janvier 2009.
- Couvert végétal : Sol nu (sous palmiers).

VI-3-2- Description du profil

-Ap (0-15cm): 7.5 YR 3/4 (brun foncé) à l'état humide, la texture est argilo-limoneuse, structure massive, absence d'éléments grossiers, humide, présence de couleur foncée noirâtre qui résulte de la décomposition des débris végétaux et de dates sur la surface du sol, absence d'activité racinaire, transition nette, forte effervescence à l'HCl.

-C1 (15-35cm): 7.5 YR 4/4 (brun) à l'état humide, de texture sablo-limoneuse, friable, structure massive, pas d'éléments grossiers, saturé en eau, faible activité racinaire, transition nette, très forte effervescence à l'HCl.

-C2 (35>100cm): 7.5 YR 4/4 (brun) à l'état humide, texture limono-sableuse, structure massive, saturée en eau, pas d'éléments grossiers, transition nette, forte activité racinaire (racines de palmiers), forte effervescence à l'HCl.

VI-3-3- Résultats des analyses physiques et chimiques

Le tableau 08 représente les résultats des analyses physiques et chimiques du profil 03.

Tableau 08 : Caractérisation physique et chimique du profil 03.

Hz	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gypse (%)
		A	Lf	Lg	Sf	Sg			
Ap	0-15	36.1	23	10.3	28.5	2.1	12.04	2.48	1.08
C1	15-35	19.9	34.4	4.3	39.5	1.9	10.43	1.37	5.41
C2	35>100	19	48.9	6.18	25.4	0.5	12.47	1.42	2.92

Le sol est de texture limono- argileuse dans l'horizon Ap, avec 36.1% d'argile, 33.3% de limon et 30.5 % de sable (essentiellement fin). En profondeur, la texture est limoneuse dans C1 et limono-argileuse dans C2, avec des taux d'argile acceptables (19 et 19.9%).

Il est modérément calcaire dans l'ensemble des horizons (10.43 à 12.47%), et les taux de matière organique sont importants (1.37 à 2.48%) par rapport aux sols des zones arides.

La teneur en gypse est légèrement plus importante par rapport aux autres profils, avec des valeurs qui varient de 1.08 à 5.41%.

Le tableau 09 donne les résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant du sol.

Tableau 09 : Résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant du sol.

Hz	Profondeur (en cm)	pH	CE 1/5 (dS/m)	K ⁺ (méq/100g)	Na ⁺ (méq/100g)	Ca ²⁺ (méq/100g)	Mg ²⁺ (méq/100g)	CEC (méq/100g)
Ap	0-15	7.73	0.10	0.56	0.60	13.52	1.58	18.5
C1	15-35	7.88	0.21	0.65	0.32	8.91	1.32	11.2
C2	35>100	7.60	0.16	0.08	0.60	9.84	1.27	11.8

Le sol dans le profil 03 est non salé avec des valeurs de CE de 0.10 à 0.21 dS/m. Le pH est basique avec des valeurs de 7.60 à 7.88. Il y'a une dominance du calcium dans le complexe du sol par rapport aux autres cations, avec une teneur plus forte dans l'horizon Ap (13.52 méq/100g). Les teneurs en Mg²⁺ varient entre 1.27 et 1.58 méq/100g, Na⁺ de 0.32 à 0.6 méq/100g, et K⁺ entre 0.08 et 0.65 méq/100g. La CEC est élevée dans l'horizon Ap (18.5 méq/100g) et moyenne dans C1 et C2 (11.2 et 11.8 méq/100g).

La figure 14 représente le profil calcaire, salin et de pH du sol.

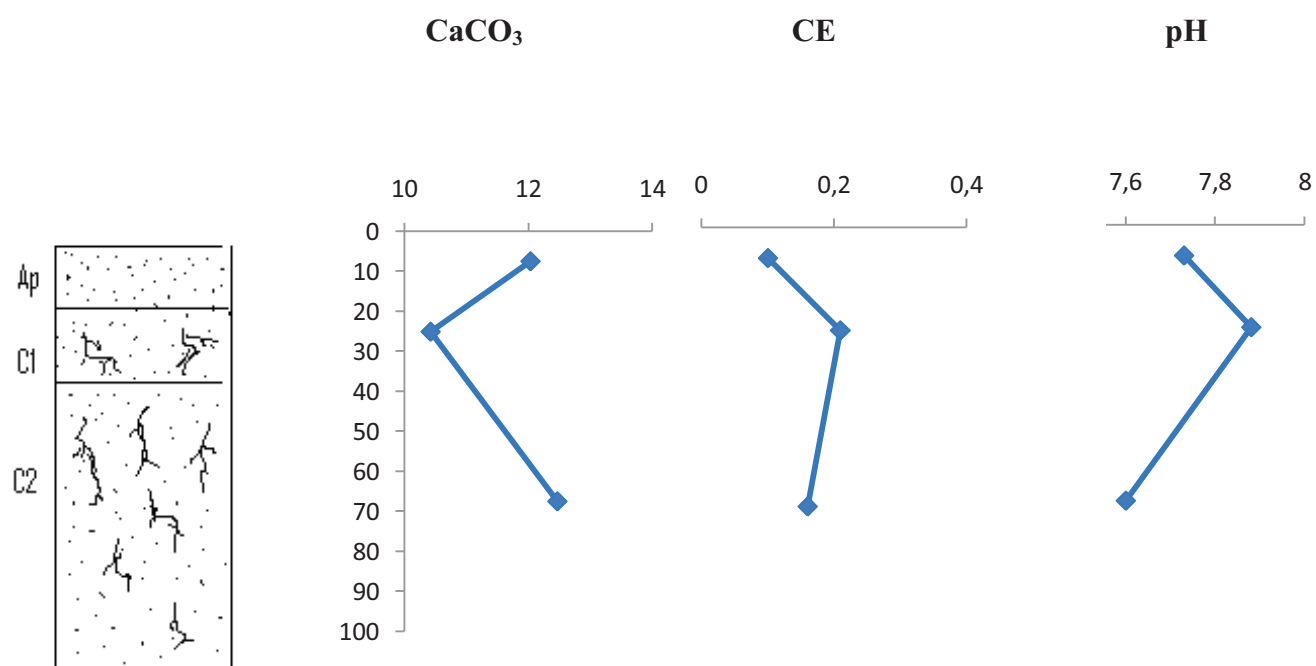


Figure 14 : profil calcaire, salin et de pH du profil 03

Le calcaire, la CE et le pH sont peu variables d'un horizon à un autre.

La figure 15 représente la garniture cationique du complexe adsorbant du sol dans le profil 03.

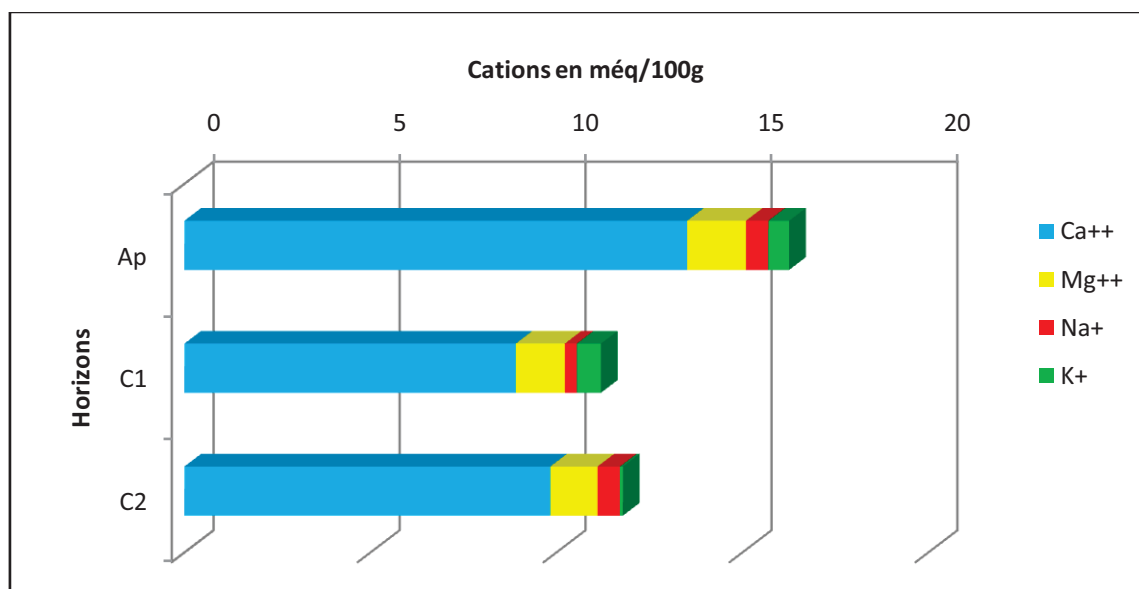


Figure15 : Garniture cationique du complexe du sol dans le profil 03

La garniture cationique du complexe adsorbant dans le profil 03 est dominée par le calcium, puis le magnésium. Les teneurs en calcium et en magnésium sont plus fortes dans le premier horizon par rapport aux autres horizons. Dans l'horizon Ap, l'ion Ca^{++} constitue près de 73% de la totalité des cations échangeables du complexe adsorbant du sol, 79% dans le deuxième (C1) et 83% dans l'horizon C2.

VI-4- Profil 04

VI-4-1- Description générale

-Numéro du profil : Profil N° 04. – Date : 03/ 03/ 2009

-Lieu : EL MANGEA (Centre de la palmeraie).

* N 32° 46' 57"

* E 04° 30' 06"

- Altitude : 301 m.

- Forme du sol : plat.

- Etat du ciel : Dégagé.

- Pluies précédentes : Mi Janvier 2009.

- Couvert végétal : Avoine.

VI-4-2- Description du profil

-Ap (0-20cm): 7.5 YR 4/6 (brun clair) à l'état humide, texture limono-sableuse avec présence d'argile, sol humide et pâteux, structure massive, pas d'éléments grossiers, forte activité racinaire (enracinement d'avoine), transition graduelle, forte effervescence à l'HCl.

-C1 (20>130cm): 7.5 YR 4/4 (brun) à l'état humide, texture limono-sableuse, sols très humide et pâteux, structure massive, pas d'éléments grossiers, transition graduelle, activité racinaire nulle, très forte effervescence à l'HCl

VI-4-3- Résultats des analyses physiques et chimiques du sol

Les résultats des analyses physiques et chimiques du sol sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Caractérisation physique et chimique du profil 04.

Hz	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gypse (%)
		A	Lf	Lg	Sf	Sg			
Ap	0-20	21.4	38.5	7.4	32.6	00	13.33	2.64	3.24
C1	20>130	20	45.7	2.6	30.8	0.9	12.01	0.52	00

Le sol du profil 04 est de texture limoneuse, avec des teneurs moyennes en argile (20 à 21.4%). Il est modérément calcaire dans les deux horizons (12.01 à 13.33%), bien pourvu en matière organique dans l'horizon Ap (2.64%), alors que le taux de matière organique est faible dans l'horizon C1 (0.52%).

Le gypse est présent dans le premier horizon avec une teneur de 3.24% et très faible en profondeur (0.02%).

Les résultats des analyses chimiques du complexe adsorbant sont représentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant du sol.

Hz	Profondeur (en cm)	pH	CE 1/5 (dS/m)	K ⁺ (méq/100g)	Na ⁺ (méq/100g)	Ca ²⁺ (méq/100g)	Mg ²⁺ (méq/100g)	CEC (méq/100g)
Ap	0-20	8.28	0.19	0.11	0.32	11.39	1.38	13.2
C1	20>130	8.05	0.32	0.23	0.48	10.53	1.36	12.6

Le sol du profil 03 est non salé dans l'horizon Ap (0.19 dS/m) et faiblement salé dans C1 (0.32 dS/m). Le pH est basique à travers tout le profil (8.28 à 8.05). Il est riche en Ca²⁺ (11.39 à 10.53 méq/100g) par rapport aux autres cations. La CEC est assez élevée et peu variable d'un horizon à l'autre (12.6 à 13.2 (méq/100g)).

La figure 16 indique la garniture cationique du sol dans le profil 04.

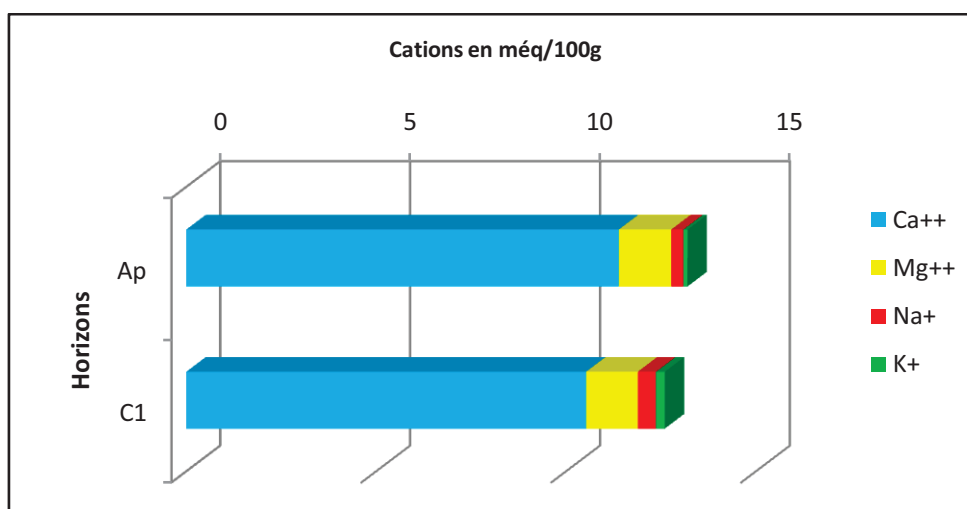


Figure 16 : Garniture cationique du complexe adsorbant du profil 04

La figure 16 indique une dominance de l'ion calcium dans le profil 04, puis l'ion magnésium et le sodium et potassium se trouvent en traces. La teneur en calcium est plus élevée dans le premier horizon et constitue 86% de la somme des cations échangeables dans cet horizon. Elle est de 83% dans le deuxième horizon.

VI-5- Profil 05

VI-5-1- Description générale

-Numéro du profil : Profil N° 05.

– Date : 03/ 03/ 2009

-Lieu : CHIHIA (Sud-ouest de la palmeraie).

* N 32° 46' 53''

* E 04° 29' 24''

- Altitude : 305 m.

- Forme du sol : plat.

- Etat du ciel : Dégagé.

- Pluies précédentes : Mi Janvier 2009.

- Couvert végétal : Sol nu sous palmiers.

VI-5-2- Description du profil

-Ap (0-15cm): 7.5 YR 4/4 (brun) à l'état humide, texture limoneuse, structure massive, humide, transition nette, activité racinaire nulle, pas d'éléments grossiers, forte effervescence à l'HCl.

-C1 (15-45cm): 7.5 YR 4/3 (brun) à l'état humide, texture sableuse à sablo-limoneuse, friable, humide, structure massive, transition nette, activité racinaire faible, forte effervescence à l'HCl.

-C2 (45-75cm): 7.5 YR 5/6 (orange) à l'état humide, texture sableuse à sablo-limoneuse, friable, structure particulaire, très humide, transition nette, forte activité racinaire (enracinement de palmier), très forte effervescence à l'HCl.

-C3 (75>130cm): 7.5 YR 5/6 (orange) à l'état humide, texture sableuse à sablo-limoneuse, friable, structure particulaire, très humide, très peu d'enracinement, forte effervescence à l'HCl.

VI-5-3- Résultats des analyses physiques et chimiques

Le tableau 12 indique les résultats des analyses physiques et chimiques du profil 05.

Tableau 12 : Caractérisation physique et chimique du profil 05.

Hz	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					CaCO ₃ (%)	M.O (%)	Gypse (%)
		A	Lf	Lg	Sf	Sg			
Ap	0-15	16.8	28.1	14.2	40.2	0.7	7.80	1.26	2.00
C1	15-45	10.2	7.7	11.7	69.2	1.2	4.73	0.58	3.29
C2	45-75	7.5	8.9	4.5	78.4	0.7	4.30	0.73	1.14
C3	75>130	6.2	11.3	4.1	76.8	1.6	1.72	0.21	1.41

Le sol du profil 05 est de texture limoneuse dans Ap, limono-sableuse dans C1 et sablo-limoneuse dans C2 et C3. Il est modérément calcaire dans le premier horizon (7.80%) et peu calcaire dans les autres horizons (1.72 à 4.73%), le taux de matière organique est acceptable dans AP (1.26 %) et faible dans les autres horizons (0.21 à 0.73%). la teneur en gypse varie de 1.14 à 3.29%.

Les résultats des analyses chimiques du complexe adsorbant du sol sont représentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats de l'analyse chimique du complexe adsorbant du sol.

Hz	Profondeur (en cm)	pH	CE 1/5 (dS/m)	K ⁺ (méq/100g)	Na ⁺ (méq/100g)	Ca ²⁺ (méq/100g)	Mg ²⁺ (méq/100g)	CEC (méq/100g)
Ap	0-15	8.17	0.20	0.14	0.28	7.91	1.29	9.62
C1	15-45	7.80	0.28	0.08	0.48	4.58	1.24	7.51
C2	45-75	7.90	0.29	0.11	0.48	4.76	1.07	6.37
C3	75>130	8.00	0.28	0.03	0.40	2.57	1.29	4.27

Le sol est non salé dans l'horizon Ap (0.20 dS/m), faiblement salé dans C1 (0.28 dS/m) et faiblement à moyennement salé dans C2 et C3 vu la texture sablo-limoneuse des deux horizons. Le pH est basique (7.8 à 8.17), plus riche en calcium par rapport aux autres cations. La teneur en calcium est plus forte dans Ap (7.91 méq/100g), puis diminue en profondeur. La CEC est moyenne dans l'horizon Ap (9.62 méq/100g) et faible dans le reste du profil (4.27 à 7.51 méq/100g). La figure 17 montre l'évolution du calcaire, de la CE et du pH avec la profondeur du sol.

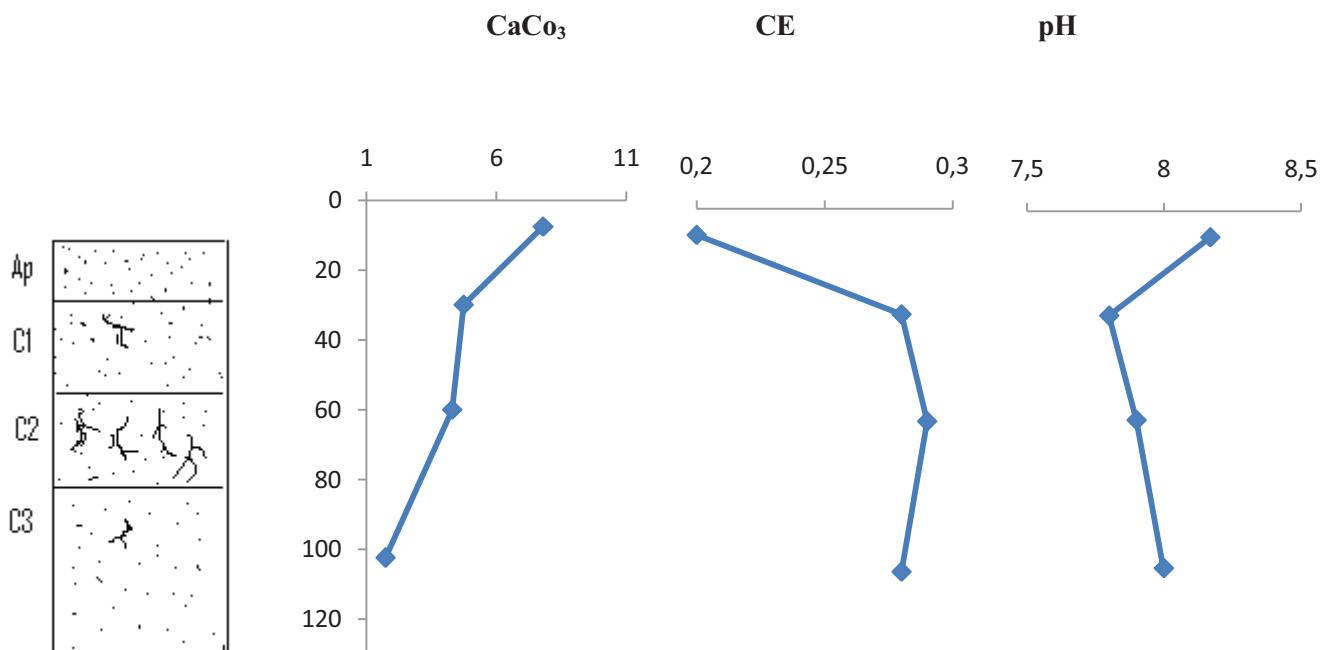


Figure 17: Profil calcaire, salin et de pH du profil 05

La CE et le pH sont peu variables d'un horizon à un autre, alors que le calcaire diminue en profondeur.

La figure 18 représente la garniture cationique du complexe du sol dans le profil 05.

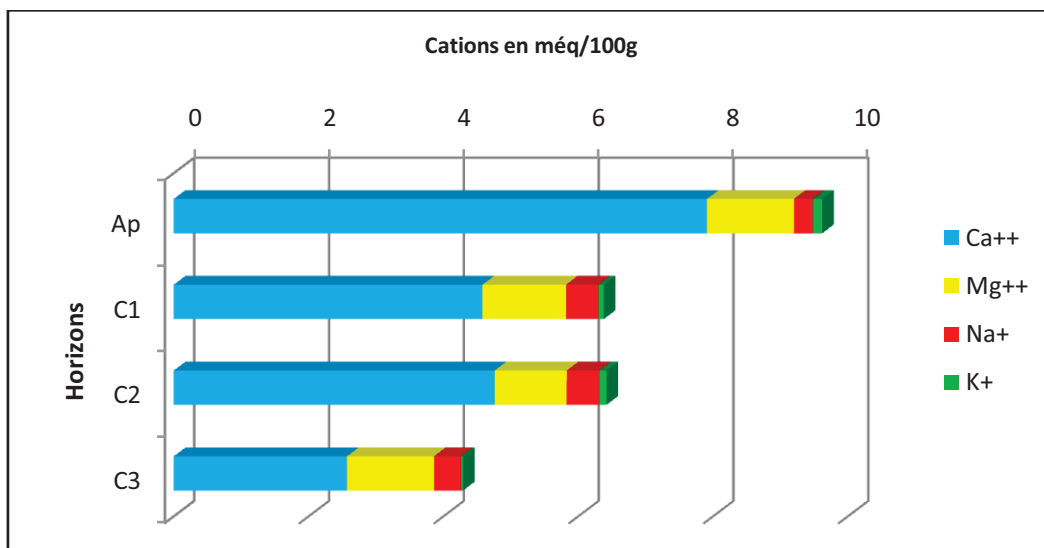


Figure 18 : Garniture cationique du complexe adsorbant du profil 05

D'une manière générale, la teneur en calcium du profil 05 à tendance à décroître avec la profondeur. Le Ca^{++} représente 82% de la totalité des bases échangeables dans le premier horizon. Les teneurs en magnésium sont peu variables d'un horizon à un autre avec des valeurs qui varient de 1.07 et 1.29 méq/100g.

VI-6- Discussion des résultats

Les cinq profils analysés montrent des sols de texture limoneuse pour les profils 01 et 04, limono-argileuse pour 02 et 03 et une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse pour le profil 05, avec des teneurs en argiles importantes dans la plupart des profils.

La présence de calcaire total dans le sol est variable d'un profil à un autre et même selon les horizons. Suite aux normes données par Baize (2000), notre sol peut être considéré comme étant un sol modérément calcaire, car il a des teneurs en calcaire entre 5 à 25%. C'est le cas de tous les profils, à l'exception des horizons C1 dans le profil 01 et C1, C2 et C3 du profil 05.

D'après Servant (1975), le sol est non salé à faiblement car les conductivités électriques de l'extrait dilué au 1/5 varient entre 0.10 à 0.32 dS/m. Ces valeurs sont < 2.5 dS/m dans la majorité des horizons et < 5 dS/m dans les horizons restants. Cette faible salure des sols est expliquée par le lessivage des sels par les eaux des inondations occasionnelles. En fait, le phénomène de salinisation de ces sols ne se pose pas à l'heure actuelle vu les inondations temporelles de ces alluvions. Le pH du sol est basique et varie de 7.60 à 8.28.

En ce qui concerne le complexe adsorbant du sol, on note une dominance du calcium par rapport aux autres cations. La CEC est élevée à assez élevée dans les profils 02 et 04, ainsi que dans l'horizon AP du profil 03 et l'horizon Ap du profil 03 (12.8 à 18.5 méq/100g), moyenne dans les horizons C1 du profil 01, C1 et C2 du profil 03 et C1 du profil 05 (9.96 à 11.8 méq/100g) , et elle est faible dans C1,C2,C3 du profil 05 (4.27 à 7.51 méq/100g).

En fait, vu les qualités physiques et chimiques des sols de la palmeraie de Guerrara, ils peuvent être considérés comme des sols fertiles convenables à toute culture, surtout que le problème de salinisation ne se pose pas, vu le lessivage par les eaux de Oued Zegrir lors des inondations occasionnelles.

Suite aux observations et analyses précédentes sur les sols de la palmeraie de Guerrara et en utilisant la classification WRB/FAO (1998), on a pu classer les sols des profils étudiés comme des sols de type Fluvisols aridique-calcaire, car ils contiennent sur toute leurs profondeurs du calcaire et ils répondent aux critères diagnostics de la propriété aridique.

Chapitre VII : Caractérisation de la Nappe alluviale de Guerrara

V II – Caractérisation de la nappe alluviale de Guerrara

La zone d'étude est caractérisée par une nappe d'inféoflux formée dans les alluvions de Oued Zegrir. Elle est alimentée par cet Oued, avec lequel elle entretient des relations étroites (infiltration). Notre travail vise par l'étude qualitative et hydrodynamique de cette nappe, de vérifier sa source d'alimentation et son sens d'écoulement.

Les résultats des mesures des deux campagnes d'échantillonnage nous ont permis d'élaborer des cartes de répartition spatiale des puits, des cartes piézométriques de la nappe et des cartes de répartition de la CE.

VII-1- Répartition spatiale des puits analysés

Les échantillons d'eau analysés sont prélevés des puits répartis sur toute la palmeraie (42 en décembre 2008 et 30 puits en mars 2009). En effet, les conditions de travail mentionnées dans la partie méthodologie de travail (inondations en plein campagne d'échantillonnage) ont fait que l'objectif de notre étude soit modifié en deux campagnes. Durant la campagne de Décembre 2008 on a échantillonné 42 puits répartis sur le milieu et sur la partie Ouest de la palmeraie et au cours de la deuxième (Mars 2009) 30 puits ont été échantillonnés dans la partie Est de la palmeraie en plus d'autres puits du reste de la palmeraie. Ces derniers constituent la suite du travail de la campagne de Décembre 2008. Pour cela les cartes de répartition des puits sont différentes car il ne s'agit pas de la même zone d'échantillonnage.

Les résultats des mesures des coordonnées géographiques des puits et des profondeurs de la nappe sont présentés dans les tableaux 14 et 15.

Tableau 14 : résultats des mesures des coordonnées géographiques et des profondeurs (Décembre 2008)

Puits	X en UTM	Y en UTM	Prof. H(m)	Altitude (m)	Cote (m)
P1	640259,793	3628602,51	0,45	301	300,55
P2	640418,066	3628450,74	0,6	301	300,4
P3	640343,946	3628172,47	0,87	300	299,13
P4	640606,73	3627991,38	1	301	300
P5	640266,333	3628140,56	0,9	300	299,1
P6	640634,058	3627899,36	1	301	300
P7	640840,88	3627994,7	1,2	301	299,8
p8	641103,678	3627813,62	4,3	292,7	288,4
P9	641023,435	3627966,5	4,1	300	295,9
P10	641076,346	3627905,64	5,2	300	294,8
P11	641106,749	3627598,05	1,8	298	296,2
P12	641055,59	3627535,72	0,85	299	298,15
P13	639432,08	3628252	5,1	300	294,9
P14	639304,166	3628096,19	5,9	299	293,1
P15	639358,797	3627912,14	1,7	299	297,3
P16	639436,848	3627913,24	1,6	299	297,4
P17	640055,591	3628322,4	1,25	300	298,75
P18	640135,816	3628169,52	0,85	300	299,15
P19	639874,35	3628258,23	0,7	298	297,3
P20	639954,138	3628136,15	0,4	300	299,6
P21	639695,713	3628009,29	0,5	299	298,5
P22	639906,02	3627858,25	1	297	296
P23	640141,044	3627799,96	0,6	299	298,4
P24	639877,829	3628011,86	0,9	299	298,1
P25	640006,606	3628106,09	0,93	300	299,07
P26	640060,816	3627952,84	0,6	300	299,4
P27	639929,862	3628012,6	1,55	299	297,45
P28	640216,48	3627985,85	0,95	300	299,05
P29	639592,948	3627915,44	0,95	299	298,05
P30	639543,084	3627760,72	0,8	299	298,2
P31	639459,83	3628129,18	1,1	299	297,9
P32	639756,433	3627394,1	3	300	297
P33	639883,916	3627580,71	0,4	299	298,6
P34	639907,324	3627765,86	0,9	298	297,1
P35	639596,853	3627638,27	1,9	300	298,1
P36	639390,013	3627542,95	1,7	299	297,3
P37	639496,605	3627359,64	0,7	299	298,3
P38	640141,915	3627738,37	0,95	299	298,05
P39	640341,328	3628357,24	1	300	299
P40	641309,62	3627970,57	2,4	299	296,6
P41	641078,1	3627782,46	2,7	299	296,3
P42	641260,66	3627754,26	3,1	298	294,9

La figure 19 représente la répartition spatiale des puits analysés durant la campagne de décembre 2008.

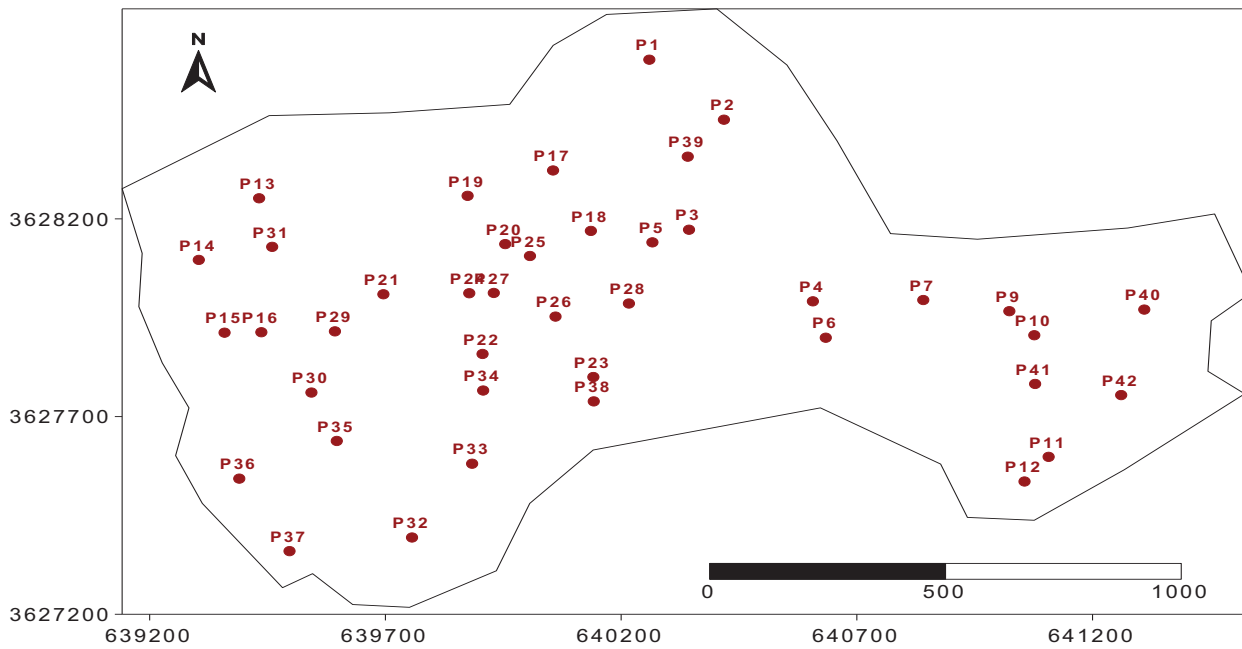


Figure 19 : répartition spatiale des puits analysés (Décembre 2008)

Les puits au niveau desquels ont été réalisées les mesures piézométriques ainsi que des prélèvements d'eau sont répartis à travers l'ensemble de la palmeraie pour assurer une distribution homogène des paramètres étudiés

Tableau 15 : résultats des mesures des coordonnées géographiques et des profondeurs (Mars 2009)

Puits	X en UTM	Y en UTM	Prof. H(m)	Altitude (m)	Cote (m)
C1	641201,603	3628246,26	2,62	301	298,38
C2	641070,645	3628306	1,33	301	299,67
C3	640965,267	3628396,91	0,7	301	300,3
C4	640810,924	3628271,5	1	302	301
C5	640600,174	3628453,32	0,9	301	300,1
C6	640473,153	3628235,9	0,3	301	300,7
C7	640701,174	3628670,38	4	301	297
C8	640754,079	3628609,52	3,5	301	297,5
C9	640911,045	3628550,15	1,1	301	299,9
C10	641274,82	3628586,13	12	303	291
C11	641170,32	3628615,45	5,8	303	297,2
C12	641038,49	3628736,78	10	303	293
C13	640959,57	3628797,26	10,8	302	291,2
C14	640936,622	3628581,31	1,16	301	299,84
C15	640685,655	3627930,89	1	299	301
C16	640952,833	3627441,85	1,4	299	297,6
C17	640238,573	3628263,38	0,8	300	299,2
C18	640188,285	3628139,46	0,4	300	299,6
C19	640137,123	3628077,13	1	301	300
C20	640111,542	3628045,97	0,7	300	299,3
C21	640034,364	3627983,27	1	300	299
C22	640036,975	3627798,49	1,3	298	296,7
C23	640141,044	3627799,96	0,8	299	298,2
C24	640343,946	3628172,47	1	301	300
C25	640634,058	3627899,36	3	300	297
C26	640840,88	3627994,7	1,4	292	290,6
C27	639756,433	3627394,1	4,1	300	295,9
C28	641078,1	3627782,46	1,5	298	296,5
C29	639592,948	3627915,44	0,8	299	298,2
C30	639596,853	3627638,27	2,2	299	296,8

Les puits échantillonnés sont répartis à travers l'ensemble de la palmeraie pour assurer une distribution homogène des piézomètres (puits).

La figure 20 représente la répartition spatiale des puits étudiés lors de la deuxième campagne

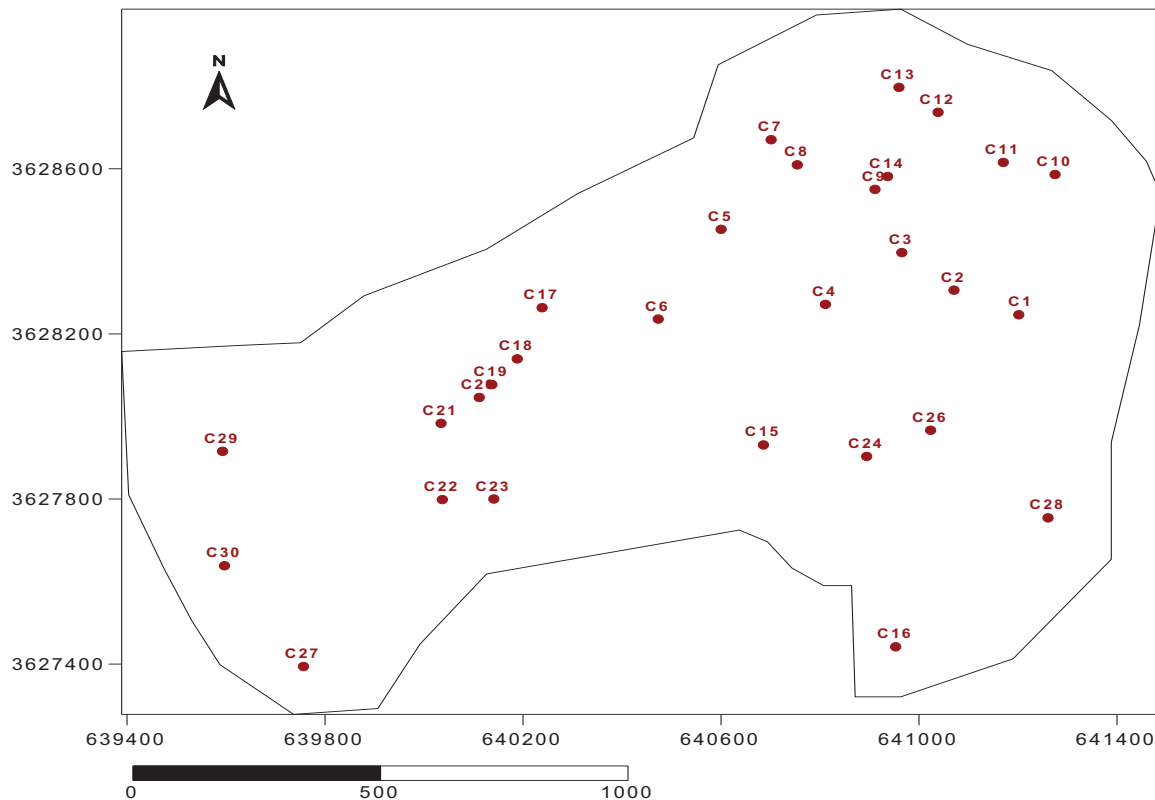


Figure 20 : répartition spatiale des puits analysés (Mars 2009)

VII-2 - Etablissement des cartes piézométriques de la nappe

La mesure de la profondeur de la nappe dans les puits a été effectuée par une sonde électrique, constituée d'un ruban gradué relié à une électrode. Une fois la sonde est en contact avec la surface d'eau, il y'a déclenchement d'un signal sonore et lumineux.

VII-2-1- Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Décembre 2008)

La piézométrie de la nappe est réalisée après les mesures des profondeurs et des coordonnées géographiques des puits (Tableau 14).

La profondeur de la nappe (niveau statique) est variable d'un puits à un autre selon la topographie du terrain. Pour cela, on remarque que le niveau d'eau dans certains puits est très proche de la surface du sol (0.4 à 1 m), alors que dans d'autres puits le niveau est de 10 m de profondeur.

Les résultats des mesures de la cote de la nappe et des coordonnées géographiques des puits ont servi à la réalisation de la carte piézométrique de la nappe.

La figure 21 représente la carte piézométrique de la nappe alluviale de Guerrara établie au mois de Décembre 2008.

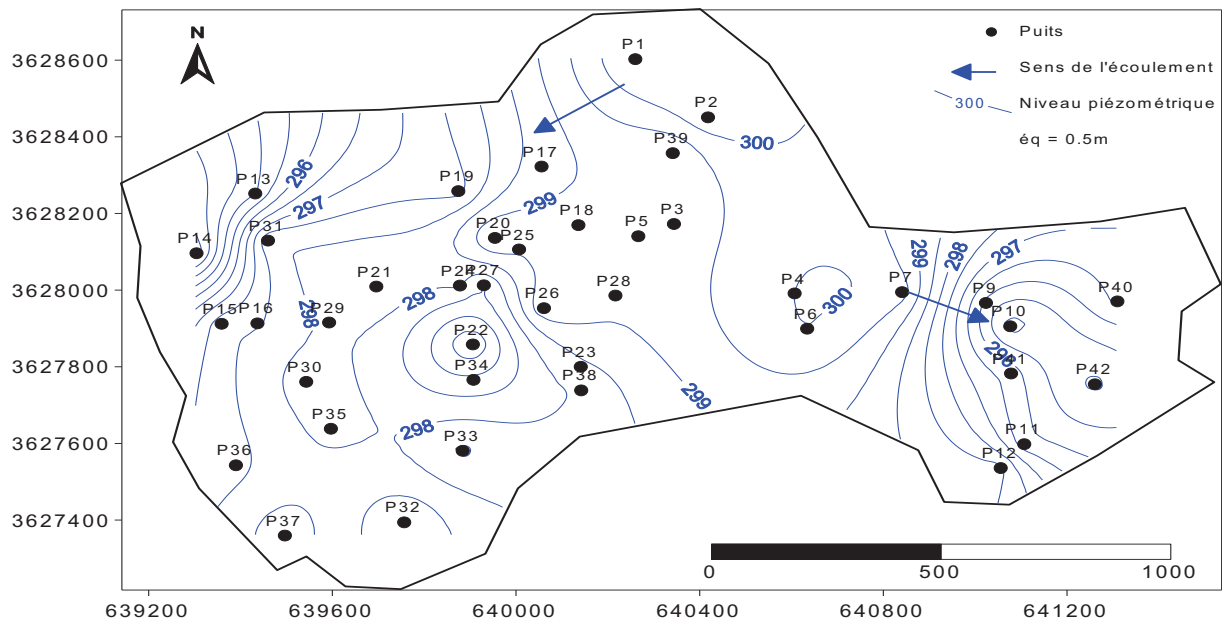


Figure 21 : Carte piézométrique de la nappe alluviale (Décembre 2008)

Le sens d'écoulement de la nappe semble logique en se dirigeant de la zone d'alimentation par l'Oued vers l'Ouest et l'Est. En effet, la crue de Oued Zegrir entre dans la palmeraie du côté Sud-Est pour se diriger vers le Nord-Ouest et après inondation et infiltration pendant plusieurs jours, l'eau est relâchée vers le Sud après ouverture des digues.

On remarque deux dépressions ; une à l'Ouest et l'autre vers l'Est qui correspondent probablement à la topographie du terrain. Les deux dépressions sont séparées par une ligne de partage des eaux ou (zone d'alimentation) dont le sens est Sud-Est et Nord-Ouest et qui correspond à la zone d'alimentation de la nappe par Oued Zegrir.

VII-2-2- Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Mars 2009)

De la même procédure on a tracé la carte piézométrique de la nappe alluviale, en tenant compte des données géographiques, la profondeur et le niveau piézométrique.

La figure 22 représente la carte piézométrique de la nappe en Mars 2009.

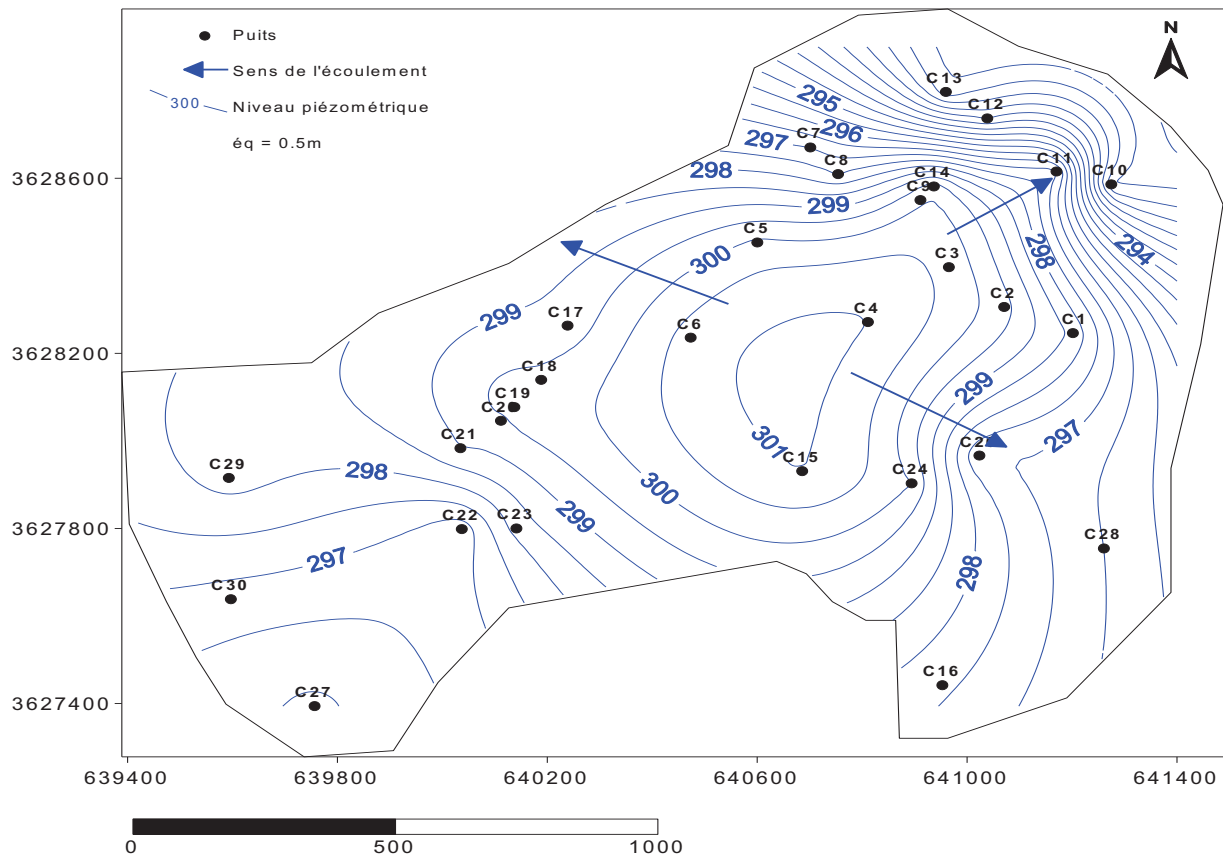


Figure 22 : Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe (Mars 2009)

La figure 22 montre trois principaux sens d'écoulement séparés par un dôme piézométrique ou ligne de partage des eaux souterraines. Cette ligne constitue la zone d'alimentation de la nappe par l'Oued. Au Nord –Est et au Sud- Ouest de cette ligne on remarque deux dépressions qui correspondent à des différences de topographie. Les sens d'écoulement de la nappe reflètent le scénario du passage et du séjour de la crue de Oued Zegrir dans la palmeraie ; entrée des eaux du côté Sud –Est en traversant la palmeraie avec une direction Nord –Ouest, inondation et répartition des eaux dans les deux côtés Est et Ouest (pendant des jours à des semaines), puis vidange par ouverture des digues vers le Sud-Est.

VII-3- Etude chimique des eaux de la nappe

Les résultats des mesures de la conductivité électrique (CE), pH et la température de l'eau sont illustrés par les tableaux 16 et 17.

Tableau 16 : Paramètres physico-chimiques de la nappe mesurés in situ (Décembre 2008)

N° Puits	CE (dS/m)	pH	T en °C
P1	8.71	7.06	19.5
P2	0.51	7.19	17.2
P3	1.63	7.16	17.9
P4	1.42	7.12	16.9
P5	5.42	7.02	17.4
P6	1.93	7.12	17.2
P7	3.66	7.05	19.6
P8	6.54	7.05	20.1
P9	1.25	7.13	19.6
P10	5.05	7.11	19.5
P11	7.52	7.11	20.3
P12	1.94	7.23	17.5
P13	1.09	7.11	19.2
P14	5.10	7.01	17.7
P15	0.44	7.16	16.2
P16	1.07	7.03	19.5
P17	4.49	7.01	19.2
P18	0.85	7.14	16.4
P19	1.61	7.12	17.5
P20	0.98	7.09	18.8
P21	2.27	7.04	17.2

N° Puits	CE (dS/m)	pH	T en °C
P22	0.57	7.63	17.9
P23	0.36	7.81	17.5
P24	0.47	7.16	19.5
P25	0.68	7.15	17.8
P26	1.56	7.11	18.2
P27	4.73	6.94	20.2
P28	1.97	7.15	18.5
P29	1.06	7.07	17.8
P30	0.73	7.18	17.6
P31	2.55	7.07	19.6
P32	1.48	7.11	17.5
P33	0.58	7.13	17.2
P34	2.02	7.01	19.6
P35	0.28	7.11	17.5
P36	0.88	7.11	17.8
P37	3.30	7.03	18.5
P38	2.78	7.11	19.8
P39	2.89	7.11	19.6
P40	0.31	7.13	16.5
P41	0.24	7.20	17.5
P42	2.61	7.11	19.2

Tableau 17: : Paramètres physico-chimiques de la nappe mesurés in situ (Mars 2009)

N° Puits	CE (dS/m)	pH	T en °C	N° Puits	CE (dS/m)	pH	T en °C
C1	0.3	7.31	22.7	C16	2.7	7.39	20.3
C2	0.15	6.88	22.3	C17	1.3	7.57	22.6
C3	0.12	7.01	20.7	C18	0.79	7.63	23.4
C4	0.68	7.20	23.1	C19	13.5	7.06	23.2
C5	0.18	7.03	22.4	C20	3.2	7.31	20.6
C6	5.3	6.88	23.4	C21	5.5	7.18	23.5
C7	6.4	6.59	22.6	C22	5.3	7.16	24.3
C8	0.24	6.98	19.9	C23	0.55	7.80	21.2
C9	0.55	7.45	21.3	C24	2.9	7.08	23.3
C10	6.8	6.59	20.4	C25	4.7	6.99	21.2
C11	1.15	7.11	21.6	C26	2.6	7.27	21.2
C12	4.6	7.72	23.7	C27	0.7	7.75	19.9
C13	4.3	6.64	22	C28	0.4	7.75	21.6
C14	0.55	7.63	21.9	C29	1.7	7.06	22.6
C15	2.9	7.34	21.5	C30	0.37	7.86	20.6

VII-3- 1- La température

La température des eaux de la nappe alluviale de Guerrara varie selon les conditions climatiques ambiantes ; Elle est de 16.2 à 20.3 °C durant la première campagne, et de 19.9 à 23.5°C au cours de la deuxième. Ces valeurs sont proches de la température moyenne ambiante en Décembre et en Mars à Guerrara (12.8 et 17.16°C). Nous pouvons donc penser que la nappe est en équilibre thermique avec l'atmosphère.

VII-3- 2- Le pH

Les valeurs de pH sont proches de la neutralité. Elles varient de 6.94 à 7.81 pour les mesures de la première campagne, avec une moyenne de 7.13. Pour la deuxième campagne, le pH de l'eau des puits varie entre 6.59 et 7.85.

En ce qui concerne le pH de l'eau de Oued Zegrir, il est de 7.15.

VII-3-3- La conductivité électrique (CE).

La conductivité électrique de l'eau des puits échantillonnés est variable d'un puits à un autre (0.12 à 13.5 dS/m).

Le puits P1 Présente la valeur la plus élevée (8.71 dS/m), alors que la valeur la plus basse a été enregistrée dans le puits P41 (0.24dS/m). Concernant la campagne de Mars 2009, on a enregistré la plus faible conductivité (0.12 dS/m) dans le puits C3, alors la plus forte (13.5 dS/m) était celle du puits C19. La conductivité électrique de Oued Zegrir est de 0.12 dS/m.

La valeur de la CE de l'eau dans le puits C3 semble refléter le mieux notre nappe, en supposant que les autres puits renseignent sur une éventuelle contamination de celle-ci. Ceci est possible vu l'état des puits à l'intérieur de la palmeraie, souvent ouverts à de possibles contaminations ; résidus de récolte, des dattes, matériaux et objets transportés par le vent, déchets urbains (présence du réseau d'assainissement qui traverse la palmeraie)...etc.

- La répartition spatiale de la CE de la nappe.

Les résultats des mesures de la conductivité électrique nous ont permis de tracer une carte de répartition spatiale de la conductivité pour chaque campagne, où est représentée l'évolution de la conductivité électrique de la nappe. La CE de l'eau des puits varient entre 0.12 à 13.5 dS/m. Cela peut être expliqué soit par l'effet de l'évaporation ou par une contamination de la nappe dans certaines zones. Les figures 23 et 24 représentent l'évolution de la conductivité électrique de la nappe pour les deux campagnes à travers la palmeraie.

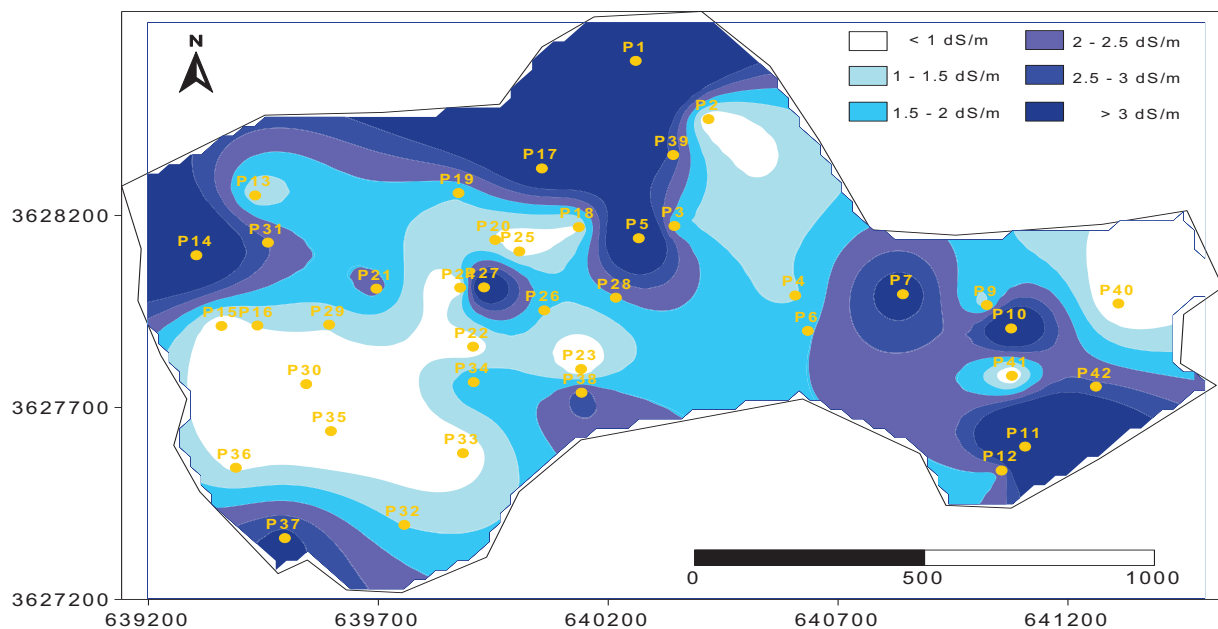


Figure 23 : Répartition spatiale de la CE de la nappe (Décembre 2008)

On remarque que les valeurs les plus élevées de la CE se localisent essentiellement dans la partie Nord de la palmeraie, qui correspond à la zone urbaine, et dans le Sud-Est.

Les valeurs les plus faibles de la CE étaient enregistrées au milieu et surtout à l'Est et l'Ouest de la palmeraie.

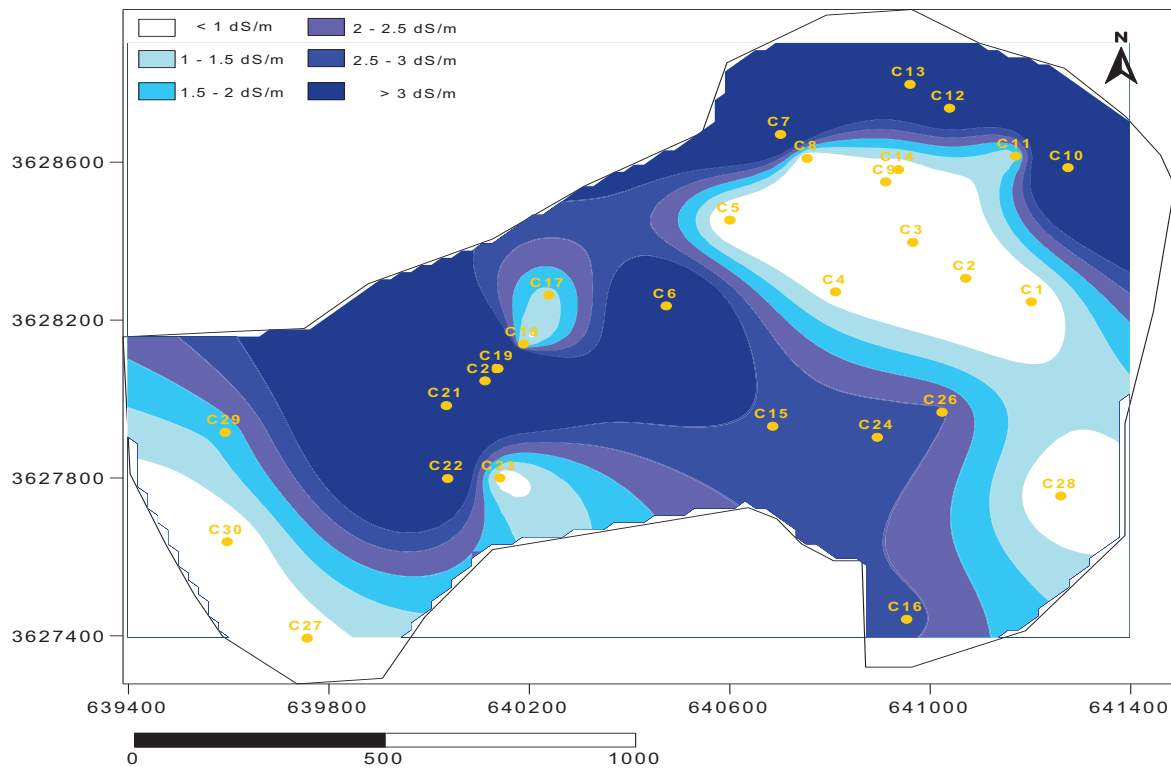


Figure 24 : Répartition spatiale de la CE de la nappe (Mars 2009)

En ce qui concerne la carte de l'évolution de CE en Mars, on remarque que les fortes valeurs de conductivité électriques sont observées au Nord et à l'Ouest de la palmeraie et les plus faibles valeurs sont au milieu du site d'étude.

VII-3-4- Chimie et qualité de la nappe

Les résultats sur le bilan ionique de l'eau de la nappe sont représentés dans le tableau 18.

Tableau 18 : Le bilan ionique (en méq/l) (Décembre 2008).

puits	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
P0	0,03	0,1	0,12	0,01	-	0,15	02,20
p1	11,8	2,7	2,97	1	8,9	0,83	12,2
p2	1,9	0,2	3,5	2	0,23	0,4	3,2
p3	2,35	0,4	1,18	0,94	0,9	0,16	8,2
p4	2,35	0,6	9,2	0,45	0,9	0,12	5,3
p5	6	1,3	2,7	1	5,8	0,59	2,4
p6	2,75	1,6	1,5	3	1,2	0,41	7
p7	5,12	2,3	2,45	0,7	0,8	0,54	2,8
p8	8,1	2,7	2,97	1,31	6,7	0,24	9,9
p9	2,15	0,2	9,7	1	6,4	0,14	3,8
p10	7,3	2,5	2,48	1,32	4,7	0,83	6
p11	9,65	0,6	2,88	2	7,6	0,9	9,9
p12	3,4	1	1,18	0,8	0,8	0,28	3,5
p13	1,65	0,9	1,04	0,81	0,6	0,32	5,2
p14	6,71	2,2	3,02	3,8	0,47	0,42	10,4
p15	1,5	1,7	4,5	2	0,1	0,52	3,8
p16	1,96	0,4	7,7	3	1,6	0,23	5,8
p17	6,31	0,62	2,48	2	0,31	0,6	7,4
p18	1,4	2,1	7	1	0,5	0,1	4,9
p19	2,91	0,9	1,04	5	0,9	0,28	5,9
p20	2,22	2,1	6,7	1,1	1	0,28	5,3
p21	3,37	0,34	1,88	4	1,5	0,31	2,6
p22	1,9	2,3	5,7	2	1	0,2	5
p23	2,1	1,5	3,5	1,46		0,26	3,9
p24	2,4	1,9	3,5	1	2,6	0,11	4,4
p25	9,8	2,6	5	1		0,29	5,2
p26	2,35	1,1	2,85	3,2	1,3	0,21	4,8
p27	5,12	1,9	2,7	0,5	0,5	0,47	9,3
p28	2,7	0,4	1,36	0,76	2,6	0,31	4,4
p29	8,1	0,5	1,25	0,4	0,2	0,32	3,6
p30	1,2	2,2	5,7	1	0,3	0,24	4,7
p31	3,37	2,4	2,17	0,6	2,1	0,36	4
p32	2,91	0,6	2,85	0,5	1	0,32	4,4
p33	0,62	1,9	4,5		0,2	0,16	4,3
p34	2,37	0,7	12,5	0,59	1,8	0,42	3,7
p35	1,5	1,6	1,5	3		0,24	4,1
p36	1,5	0,3	6,7	0,14	1,6	0,11	4,4
p37	6	1,7	1,55	0,23	2,4	0,15	3,6
p38	4,72	1,1	1,61	0,5	3	0,42	2,4
p39	4,25	2,2	2,2	0,5	1,1	0,24	1,7
p40	1,8	0,1	3	1,3		0,2	2,9
p41	0,9	0,1	2	0,69	2,1	0,1	3,4
p42	0,44	0,2	1,5	1		0,2	6,3

P0 : L'eau de l'Oued Zegrir.

L'étude de la qualité chimique de la nappe permet de déterminer le faciès chimique de l'eau de la nappe et de comprendre les relations qui existent entre les paramètres chimiques de cette eau ainsi que leurs origines.

VII-3-4-1- L'indice d'échanges de base

L'indice d'échanges de base (I.E.B) défini par H. Schoeller en 1934, est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant dans l'eau. Il est donné par l'expression suivante: $I.E.B = Cl^- - Na^+ + k^+/Cl^-$

Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants.

Si l'I.E.B = 0 pas d'échanges

l'I.E.B < 0 Ca^{2+} et Mg^{2+} sont échangés par Na^+ et K^+

I.E.B > 0 Na^+ et K^+ sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+}

Les résultats des calculs de l'indice d'échanges de bases sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : indice d'échanges de base entre l'eau de la nappe (Décembre 2008) et le terrain.

Puits	I.E.B = $Cl^- - Na^+ + k^+/Cl^-$
p1	-0,62
p2	-8,13
p3	-2,05
p4	-2,27
p5	-0,25
p6	-2,6
p7	-8,27
p8	-0,61
p9	0,63
p10	-1,08
p11	-0,3
p12	-4,5
p13	-3,2
p14	-17,9
p15	-31
p16	-0,47
p17	-21,3
p18	-2,8
p19	-3,2
p20	-2,2
p21	-2,2

Puits	I.E.B = $Cl^- - Na^+ + k^+/Cl^-$
p22	-1,9
p23	
p24	-2,9
p25	
p26	-1,8
p27	-10,2
p28	-1
p29	-4,05
p30	-4
p31	-1,6
p32	-2,9
p33	-3,1
p34	-1,3
p35	
p36	-0,9
p37	-2,5
p38	-1,5
p39	-3,8
p40	
p41	-0,4
p42	

Dans l'ensemble, les valeurs de l'indice d'échanges de base calculées sont négatives ce qui traduit la substitution du calcium et du magnésium de l'eau avec le sodium et le potassium des terrains traversés.

Le tableau 20 présente le bilan ionique de l'eau de la nappe en Mars 2009.

Tableau 20 : Le bilan ionique (en méq/l) (Mars 2009).

puits	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
C1	2	0,5	1,75	0,6		0,86	2.5
C2	1,2	2,7	0,72	0,91	0,2	0,29	1.1
C3	5,2	1,1	3,4	0,97	0,1	0,37	2.7
C4	6	1,6	0,3	0,6	0,2	0,19	3.6
C5	3,1	0,88	6,5	1,6	0,5	0,3	5.2
C6	9,7	0,97	1,2	1,18	3,2	0,49	5.4
C7	11,6	1,63	1,5	1,17	3,4	0,96	10.7
C8	4,4	0,85	0,84	0,5	1	0,32	6.8
C9	4	0,14	0,36	0,92		0,53	3.2
C10	12,2	1,24	1,87	1,1	5,2	0,79	9.9
C11	2,3	0,29	4,7	0,44		0,34	6.8
C12	9,5	1,1	1,32	1,01	2,7	0,53	9.1
C13	9,7	1,27	1,57	1,09	3	0,56	7.8
C14	4,4	0,14	3	0,85		0,31	3.2
C15	5,9	0,53	1,02	0,5	1	0,47	7.4
C16	1,63	0,48	0,84	0,4	1	0,31	6.2
C17	3,32	0,33	4,7	0,28	0,4	0,39	2.9
C18	5,2	0,27	4,7	1,2	0,2	0,66	4.1
C19	21,1	1,05	2,24	0,2	7,13	1,04	7.8
C20	5,05	0,56	1,57	1,02	1	0,43	5.6
C21	11,2	0,79	1,63	0,78	4	0,42	11.1
C22	11	0,61	1,5	1,08		0,46	3
C23	5,2	0,11	3	0,36	3,3	0,22	8
C24	6,3	0,53	1,44	0,3	1,22	0,2	8.5
C25	10,7	0,63	1,4	0,2	2,48	0,53	1.8
C26	7,15	0,58	0,95	0,8	01.78	0,43	05.80
C27	3,32	0,18	1,13	0,1	0.57	0,37	02.80
C28	1,20	0,51	0,47	0.37	02.3	0,17	02.40
C29	3,6	0,36	0,30	-	0.8	0,13	03.20
C30	3,2	0,32	0,30	1.81	0.8	0,27	02.50

Le bilan ionique de la nappe durant la deuxième campagne est marqué par la dominance du sodium puis le calcium par rapport aux autres cations ($Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$) pour les cations et $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ pour les anions.

Le tableau 21 présente les résultats des calculs de l'indice d'échanges de base pour la deuxième campagne (Mars 2009).

Tableau 21 : indice d'échange de bases entre l'eau de la nappe (Mars 2009) et le terrain.

Puits	$i-e-b = Cl^- - Na^+ + k^+ / Cl^-$
C1	
C2	-18,5
C3	-62
C4	-37
C5	-6,9
C6	-2,3
C7	-2,9
C8	-4,2
C9	
C10	-1,5
C11	
C12	-2,9
C13	-2,6
C14	
C15	-5,4

Puits	$i-e-b = Cl^- - Na^+ + k^+ / Cl^-$
C16	-1,1
C17	-8,1
C18	-26,3
C19	-2,1
C20	-4,9
C21	-1,9
C22	
C23	-0,6
C24	-4,6
C25	-3,5
C26	-3,3
C27	-5,1
C28	0,25
C29	-3,9
C30	-3,4

Les valeurs calculées de l' I.E.B sont négatives ce qui signifie que Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre Na^+ et K^+ des terrains traversés.

VII-3-4-2- Diagramme de Piper

Dans le but de déterminer la famille des eaux de la nappe alluviale de Guerrara, on a fait recours au diagramme de Piper. Les résultats des analyses ont été portés sur le diagramme de Piper (figures 25 et 26).

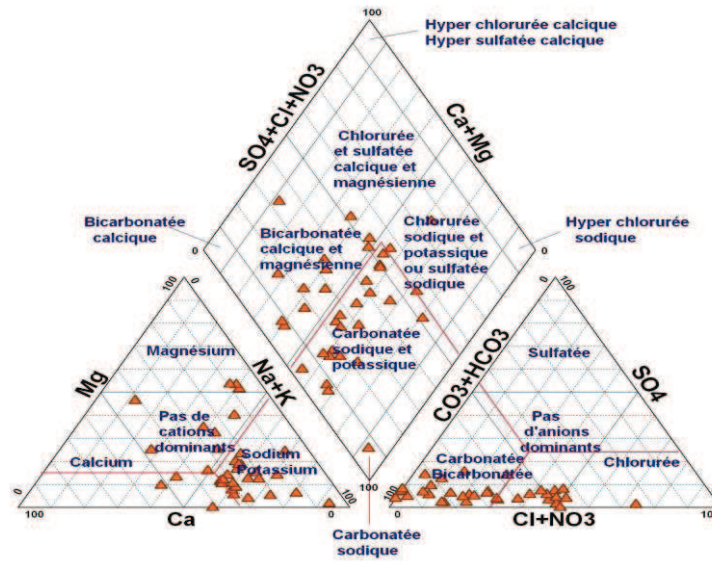


Figure 25 : Diagramme de Piper (Décembre 2008)

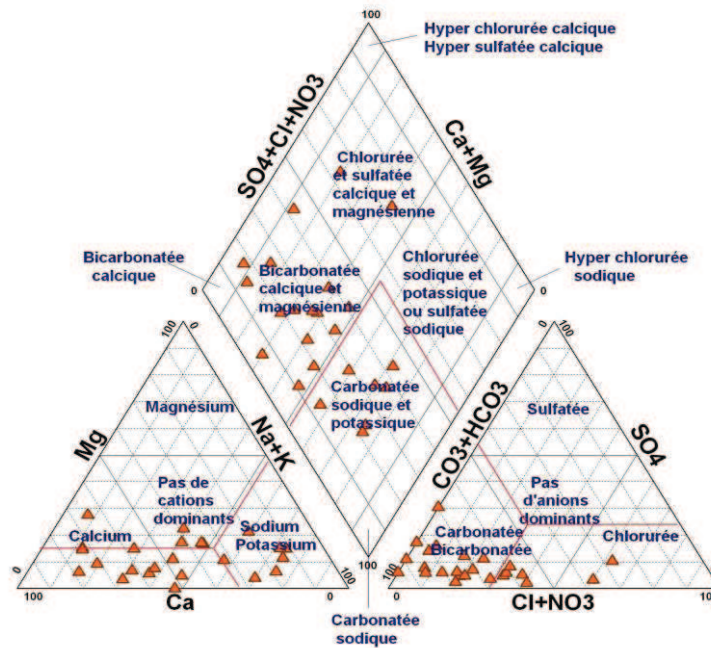


Figure 26 : Diagramme de Piper (Mars 2009)

Le diagramme de Piper montre que dans l'ensemble l'eau de la nappe appartient à la famille des eaux carbonatée sodique et potassique, et bicarbonatée calcique et magnésienne.

VII-3-4-3- Degré d'aptitude à l'irrigation (Méthode du S.A.R)

Étant donné que la région d'étude est à vocation agricole, il serait intéressant de voir l'aptitude des eaux de la nappe alluviale à l'irrigation. Pour cela, on a employé le diagramme de Riverside (1956) qui utilise les paramètres salinité (CE) et de l'alcalinité S.A.R (taux d'absorption du sodium).

Le tableau 22 (en annexes) donne la classification des eaux par la méthode de S.A.R.

Les figures 27 et 28 donnent la classification de l'eau selon son degré d'aptitude à l'irrigation.

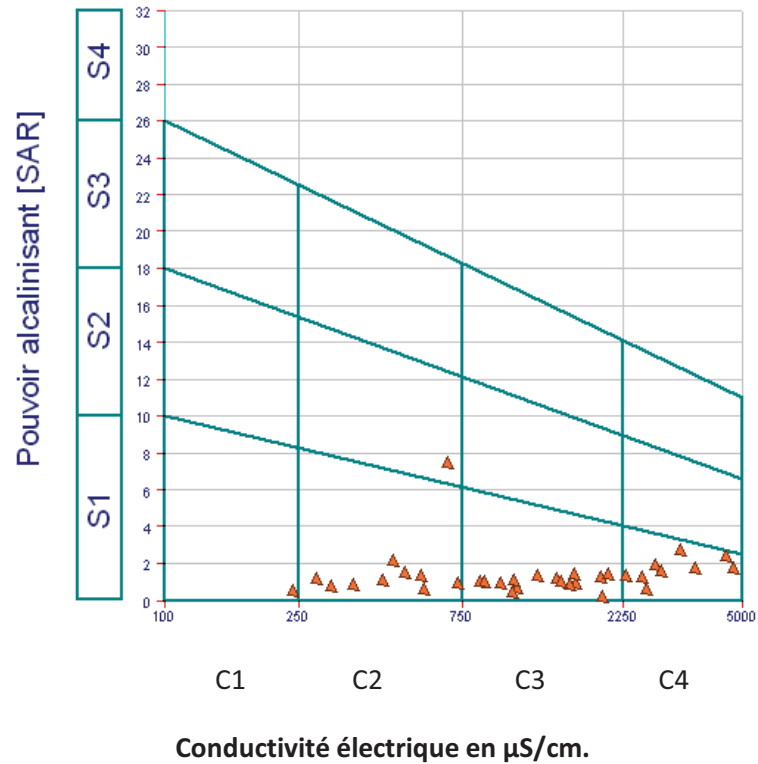


Figure 27 : Diagramme de Riverside (Décembre 2008)

La figure 27 montre que les eaux de la nappe en Décembre 2008 se situent en général, dans trois classes principales (Tableau 22 en annexes) :

- C2-S1 : Eau de bonne qualité qui peut être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
- C3-S1 : eau de qualité admissible, convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- C4-S1 : eau de qualité médiocre, fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés

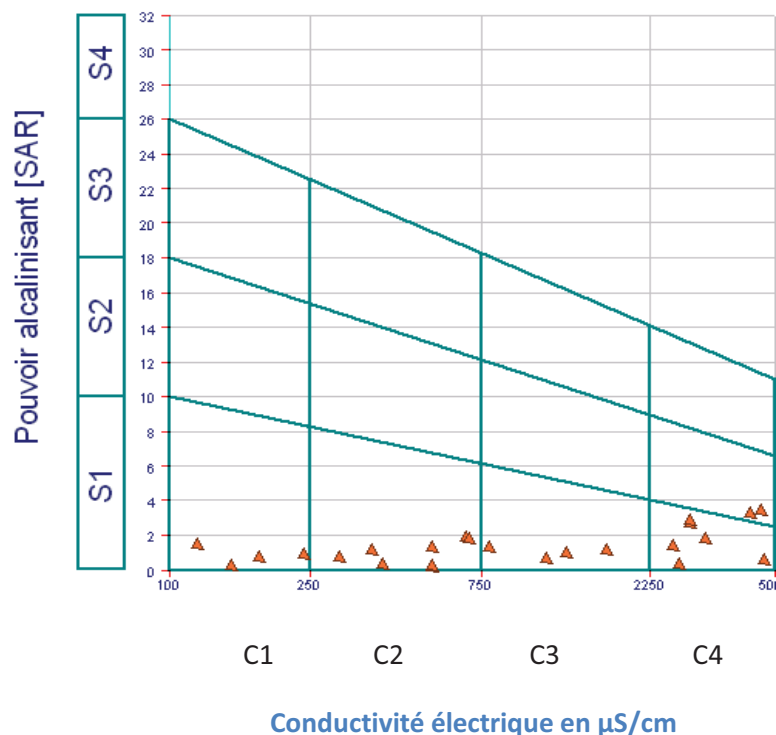


Fig. 28 : Diagramme de Riverside (Mars 2009)

Sur la figure 28, on remarque que les résultats de la campagne (Mars 2009) sont réparties sur quatre classes principales du tableau 22 (en annexes) ; C1-S1, C2-S1, C3-S1 et C4-S1.

Parmi les 72 puits étudiés, on a retenu 59 dont l'eau à une conductivité électrique inférieure à $5000\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour ce, on a désigné le nombre de puits par classe, comme suit:

- La classe C1-S1: 5 puits.
- La classe C2-S1: 17 puits.
- La classe C2-S2: 1 puit.
- La classe C3-S1: 19 puits.
- La classe C4-S1: 16 puits.
- La classe C4-S2: 1 puit.

Ces différentes classes sont groupées en quatre catégories ou classes d'eau selon leur aptitude d'utilisation en irrigation. Sur les 72 puits étudiés, 59 ont été retenu pour ressortir des pourcentages de chaque classe d'eau par rapport aux 59 puits : 8.5% excellente, 30.5% bonne, 32.2% admissible et 29.8% médiocre.

La caractérisation de l'eau de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara par la méthode de Riverside montre que près de 70% des puits étudiés ont une eau qui peut être utilisée en irrigation des cultures moyennement tolérantes aux sels. Les 30% qui restent présentent une eau fortement minéralisée du fait d'une probable contamination des puits à partir d'autres sources ; urbaines ou autres. Son utilisation en irrigation nécessite un sol perméable et un bon lessivage.

Conclusion

L'étude de l'eau de la nappe alluviale de Guerrara a été menée en deux campagnes suite aux conditions particulières du travail (inondations au cours de la campagne d'échantillonnage). 72 puits ont été étudiés durant les deux campagnes (42 en Décembre 2008 et 30 en Mars 2009).

L'étude piézométrique de la nappe nous a permis d'établir des cartes piézométriques et de déterminer le sens d'écoulement pour chaque campagne.

L'étude des paramètres physico-chimiques de l'eau nous ont permis d'établir des cartes de l'évolution de la CE à travers la palmeraie et de montrer le faciès géochimique de cette eau. Ce faciès indique que notre eau fait partie de la famille des eaux carbonatée sodique, et bicarbonatée calcique.

En ce qui concerne la salinité, l'eau de nappe alluviale est non à peu salée. Le pH est légèrement basique. Selon les normes de qualité l'eau de la nappe alluviale de Guerrara semble apte à l'irrigation et qu'il faudrait peut être faire plus d'analyses sur d'autres paramètres.

En fin, vu la texture générale des sols (limoneuse à limono-argileuse) et le rôle de lessivage des crues lors des inondations, l'irrigation avec cette eau ne peut constituer un danger ni pour les sols ni pour les cultures.

Discussion générale

VII.3- Discussion générale

Les sols de la palmeraie de Guerrara sont des alluvions apportés et déposés par les crues de Oued Zegrir. Il s'agit de sols de texture fine, généralement riches en limon, en sable fin et parfois riches en argile. L'analyse granulométrique montre que la texture des sols est limono sableuse à limono argileuse.

Les sols près de la périphérie de la palmeraie (profil 01 et 05) sont marqués par la présence de teneurs importantes de sable fin, ce qui peut être expliqué par l'action éolienne lors de la formation de ces sols. Par contre, les sols au milieu de la palmeraie sont plus riches en limon, en sable et en argile.

D'une manière générale, ils sont modérément calcaires dans la plupart des profils, avec des teneurs qui varient de 5 à 25%.

Les analyses chimiques du sol indiquent que les sols étudiés sont non salins (0.10 à 0.32 dS/m), ceci est du probablement au lessivage des sels par les eaux des inondations. Le pH est basique et parfois légèrement alcalin (7.60 à 8.28).

Le faciès cationique des sols est marqué par la dominance du calcium, du fait de la nature des roches parcourus par les eaux de Oued Zegrir, qui sont généralement calcaires.

Suite aux analyses précédentes et aux caractéristiques des sols étudiés, nous les avons classé comme des sols fluvisols calcaire aridique.

L'étude de la nappe alluviale a été menée en deux campagnes ; Décembre 2008 et Mars 2009 et sur 42 et 30 puits, nous a permis d'avoir quelques caractéristiques de cette nappe, qui est en relation étroite avec Oued Zegrir.

L'étude qualitative de la nappe indique que la qualité de cette eau est acceptable et peut être utilisée en irrigation des sols car la salinité de l'eau est faible dans la plupart des puits. De même, et en comparant les résultats des analyses chimiques avec celles de l'OMS, surtout pour le sodium, les chlorures, les sulfates et le pH, cette eau est jugée de bonne qualité potable.

Conclusion générale

Conclusion générale

La gestion particulière des terres et des ressources hydriques dans les agrosystèmes oasiens, constitue un témoignage d'un savoir faire remarquable de nos ancêtres, malgré les contraintes naturelles du milieu.

Afin de répondre aux objectifs de notre étude, à savoir la caractérisation des sols et la caractérisation de la nappe alluviale de la palmeraie de Guerrara, on a mené notre travail en deux parties ; il s'agit d'une caractérisation morphologique des sols, en plus des analyses physiques et chimiques au laboratoire. La deuxième partie est une étude hydrochimique et piézométrique des eaux de la nappe alluviale de cette palmeraie.

En ce qui concerne la caractérisation des sols, les différentes observations et analyses menées sur terrain et au laboratoire, nous ont permis de caractériser le sol de la palmeraie de Guerrara, comme étant un sol alluvial de type Fluvisol aridique-calcarique caractérisé par une texture limoneuse à limono-argileuse, un taux faible en matière organique. Le sol est non à faiblement salé, le pH est légèrement alcalin et il est riche en minéraux. Ces caractéristiques physiques et chimiques donnent au sol de bonnes aptitudes agricoles, ce qui a permis l'installation et la persistance de cet agrosystème oasien.

La deuxième partie du travail concerne la caractérisation de la nappe alluviale de cette oasis par une étude hydrochimique et piézométrique de la nappe à partir de plusieurs puits situés à l'intérieur de la palmeraie. L'étude s'est déroulée en deux campagnes (Décembre 2008 et Mars 2009), en examinant 72 puits ; 40 au cours de la première campagne et 32 au cours de la deuxième.

L'étude hydrochimique consiste en l'échantillonnage de l'eau des puits et analyses physico-chimiques in situ et au laboratoire. Les résultats des analyses montrent que l'eau de la nappe alluviale de Guerrara est dans l'ensemble faiblement salée excepté quelques puits qui donnent une eau chargée et qui serait à l'origine d'une éventuelle contamination, le pH est proche de la neutralité et le faciès chimique de la nappe est dans l'ensemble carbonaté sodique et bicarbonaté calcique.

Pour mettre en évidence l'évolution spatiale de la minéralisation de la nappe, on a tracé des cartes de répartition de la conductivité électrique de l'eau à travers la palmeraie. Les valeurs de la conductivité électrique de la nappe pour les deux campagnes varient entre 0.12 à 13.5dS/m. L'évolution de ce paramètre dans la palmeraie montre que les fortes valeurs s'observent surtout au Nord de la palmeraie et au Sud- Est au cours de la période de Décembre 2008 et au Nord et au Sud-Ouest en Mars 2009.

L'étude piézométrique de la nappe consiste en la mesure de la profondeur de l'eau dans les puits et par la suite le calcul de leur niveau piézométrique. Les résultats nous ont servis à tracer la carte piézométrique de la nappe de chaque campagne. Les cartes piézométriques obtenues indiquent que le sens de l'écoulement de la nappe alluviale suit d'une manière générale le sens du passage de Oued Zegrir à l'intérieur de la palmeraie.

A travers cette étude sur les sols alluviaux et la nappe alluviale de la palmeraie de Guerrara, on a pu donner quelques renseignements sur les caractéristiques principales des sols et de l'eau de la nappe d'inféoflux de cette oasis.

Afin de préserver le bon fonctionnement de cet agrosystème oasien, il est nécessaire de penser sérieusement aux problèmes qui menacent l'ancienne palmeraie de Guerrara à savoir :

- L'avancement de l'urbanisme à l'intérieur de la palmeraie.
- Contamination de plusieurs puits traditionnels par des déchets urbains et abandonnement d'autres.
- Passage du canal des eaux usées par la palmeraie.
- Salinisation de l'eau de la nappe alluviale dans certains endroits de la palmeraie par utilisation non contrôlée d'autres eaux d'irrigation.

En fin, Il faut signaler que ce travail sur les sols alluviaux et la nappe alluviale de Guerrara nécessite d'être poursuivi par d'autres études sur le fonctionnement sol/nappe alluviale dans cette région. Il faut aussi penser sérieusement au problème de l'avancée de l'urbanisme sur cette palmerai qui réduit de plus en plus les sols agricoles et enduit la contamination de sa nappe alluviale.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDELAZIZ, M., 1998. Relations hydriques et systèmes d'irrigation. Ed. Almaarif. Alexandrie, Egypte, 442 p.
- AMOROS, C., et PETTS, G.E., 1993. Les hydrosystèmes fluviaux. Masson, Paris.
- AOUAM, H., 2007. Etude minéralogique et micromorphologique de sols alluviaux de la région de Guerrara (W. Ghardaïa). Mémoire Magister. Département de pédologie. INA d'El-Harrach – Alger, 101p.
- ATTEIA, O., 2005. Chimie et pollution des eaux souterraines. Ed. Tec et Doc, Hermès – Lavoisier. 1^{ère} édition, 398p.
- AUBERT, G., 1960. Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et leur conservation. Colloque général sur les problèmes de la zone aride. ORSTOM. Paris.
- BAIZE, D., 2000. Guide des analyses courantes en pédologie. 2^{ème} édition, I.N.R.A, Paris, 257p.
- BANTON, O., et BANGOY, L.M. 1999. Hydrogéologie- Multi-science environnementale des eaux souterraines. Ed : Presses de l'université de Québec. AUPLEF, (460 p).
- BEAUCHAMP, J., 2006. Qualité et pollution des eaux souterraines. Université de Picardie, Jules Verne, France.
- BENAÏSSA, S., 2008. Femmes mozabites et habitat à Guerrara (Algérie) : étude sur l'adaptation culturelle à un type d'habitation. MASTER URBANISME ET TERRITOIRES, Mention «URBANISME ». Institut d'urbanisme de Paris, France.
- BENABADJI, M.B., METGE, G. et LOISEL, R. 1996. Description et aspects des sols en région semi-aride et aride au sud de Sebdou (Oranie-Algerie). Bultin, INST, Rabat. 1996.N° 20, p 77-86.
- BEN HASSINE, H., 2005. Effets de la nappe phréatique sur la salinisation des sols de cinq périmètres irrigués en Tunisie. Etude et Gestion des sols, volume 12,4, 2005. P 281-300.
- BOUAMMAR, B., ACOURENE, S. et MEROUCHI, L. 2007, Valorisation des rebuts de dattes et des dattes communes dans les Oasis du Sud-est Algérien.
- BOUZAHER, A., 1990. Création d'oasis en Algérie. *Options méditerranéennes, Série A, 11*, 325-328.
- C.D.A.R.S., 2009. La carte de la wilaya de Ghardaïa.
- COURNOYER, C., 2004. Le paysage de l'oasis dans le sud du Maroc. La palmerai de Marrakech un paysage périurbain. Université de Montréal. Canada.

- C.P.C.S., 1967. Commission de pédologie et de cartographie des sols. Classification des sols. Institut national de la recherche agronomique (INRA). Paris : Laboratoire de géologie-pédologie de l'ENSA, 87p.
- CRETIEN, J., et BAIZE, D. 1992. Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe.
Ed : INRA. France. pp 113 – 114.
- DAGES, C., VOLTZ, M., ACKERER, P., FLOURE, C. et FABRE, J.C. 2008. Modélisation tridimensionnelle des voies de recharge d'une nappe peu profonde dans un bassin versant agricole méditerranéen avec un dense réseau de fossés. Avignon. France.
- DJILI, B., 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro. Université de Ouargla, (81p).
- DUCHAUFOUR, P., 1977. Pédologie. Tome I. Pédogénèse et classification, Masson, Paris, 477p.
- DUCHAUFOUR, P., 2001. Introduction à la science du sol. Sol, Végétation, Environnement. Dunod.
- DURAND, J.H., 1983. Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, 339p.
- DUTIL, P., 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols sahariens. Thèse d'état. Université de Strasbourg, 364p.
- FAO, ISRIC, IUSS, 1998. World Reference Base for soil Resources. F.A.O, 84, Rome, 91p.
- FARINE, J., et GERBER, A., 2007. Dynamique de mise en place des sols en plaine alluviale du Rhône supérieur. *Mémoire de diplôme universitaire. Institut de biologie. Université de Neuchâtel – Suisse.*
- Gouaidia, L., 2008. Influence de la lithologie et de conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana. Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat d'hydrogéologie. Université Badji Mokhtar. Annaba, 131p.
- HADJ-SAID, S., HAMDI-AISSA, B., et TOUIL, Y., 2008. Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). *Bull. du Groupe Francophone Humidité et Transferts en Milieux Poreux*, 54, 195-198.
- HAMDI-AISSA, B. & N. MESSEN. 2006. DAYACLIM: A northern Sahara desert climate change project. *Past Global Changes News*. 14, p.4

- HAMDI-AISSA, B., N. MESSEN, B. DJILI, F. YUCEF, M. HACINI, D. IMATOUKENE, A. DJERRAB, A. GAOUAR, F. YUCEF-ETTOUMI, N. FERHAT et A. BENZINAH. 2006. Records of natural climatic changes in the Sahara Desert soils. In. first MedCLIVAR workshop : Reconstruction of past Mediterranean climate: Unexplored sources of high resolution data in historic time (Carmona, Seville, Spain Universidad Pablo de Olavide, 9-11 November 2006).
- HAMDI-AISSA, B., B. DJILI, F. YUCEF, H. AOUAM, N. MESSEN, M. HACINI, D. IMATOUKENE1, A. DJERRAB, A. GAOUAR, F. YUCEF-ETTOUMI, A. BENZINAH. 2007. Le sol outil de reconstitution de changements climatiques: exemple des sols alluviaux de Daya d'El-Amied. In Journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi arides. CRSTRA, Biskra 147-152
- HAMDI-AISSA, B., HARIZ, A., et MANSOURI, S., 2010. Les anciens systèmes de gestion de l'eau dans les oasis: patrimoine à préserver. Workshop sur l'agriculture saharienne: enjeux et perspectives. Ouargla – le 03 mai 2010. pp 15-16.
- HARIZ, A., 2009. Palmeraie de Guerrara. Espace naturel et culturel à sauvegarder. Association pour la sauvegarde du patrimoine. Guerrara. Ghardaïa.
- JAMET, P., 2004. Les eaux continentales. Rapport sur la science et la technologie n°25. Académie des Sciences. Les ULis Cedex A, France.
- LANO. Analyses – Terres. Capacité d'échange cationique (CEC).
www.lano.asso.fr/.../capacité_dechange_cationique.html. consulté en décembre 2009.
- LAVOIE, L., SAINT-LAURENT, D., SAINT-LAUREENT, J., et DUPLESSIS, P., 2006. Pedological and sedimentological analyses of alluvial soils and paleosols on floodplain terraces. Canadian journal of soil science ISSN 0008-4271 CODEN CJSSAR- Ottawa, Canada- Ed: Agricultural institute of Canada. Revue vol.86, n°5. pp 813 – 826.
- LENOBLE, J. A., 1995. Géologie et Hydrogéologie des Pyrénées orientales – Relation rivière-nappe. L'exemple du fleuve Têt et de la nappe alluviale de la Salanque.
www.jl-lenoble.com/tet.htm . document consulté en mars 2008.
- LOZET, J., et MATHIEU, C., 2000. Dictionnaire de science du sol. Ed : Tec.Doc. Lavoisier (384 p).
- MECKELEIN, W., 1980. compte rendu du séminaire sur la gestion des terres arides en Afrique de l'ouest. United Nations University (UNU), 1981. UGL, working group on desertification in India round arid lands, Stultgarer Georg. St. (special issue, Japan, 1980), vol.95, 203p.
- MESSEN, N., GAOUAR, A., HAMDI-AISSA, B., HACINI, M. & YUCEF-ETTOUMI, F. 2004. Etude du climat paléolithique dans un bassin sédimentaire du sud algérien : sélection du site. Journal Algérien pour les Zones Arides. 3, 38-44

- METREVILI, V., 1990. Hydrogéologie et phénomène de transport. Ed : OPU. (166p).
- MOTI, M., 1997. Cartographie par informatique des carbonates de la vallée de l'Artibonite (Haïti). Mémoire de M.Sc. de département des sols et de génie agroalimentaire. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation - Université La VAL. Québec.
- O.M.S., Normes de l'OMS sur l'eau potable. Lentech- water treatment solutions. Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne le qualité de l'eau potable.
- www.lentech.fr/.../potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm. consulté en Février 2010.
- O.N.M., 2007. Données climatiques de la région de Ghardaïa pour la période 1995-2006.
- OULD BABASY, M., 2005. Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de doctorat en géologie, département de géologie – Université de Tunis El Manar, 250p.
- POSTEL, S., 1992. Last Oasis : Facing water scarcity. The Worldwatch Environment Alert. W.W.Norton and company Ltd, (240 p).
- RHOUMA, A., et TONNEAU, J .P., 1994. Agriculture oasienne: quelles recherches ? Actes du séminaire Franco-Tunisien. Degueche, Tunisie. Ed. GRIDAO, INRA de Tunisie.
- SERVANT, J., 1975. Contribution à l'étude des sols halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Montpellier.
- SGHAIR, M., 1994. Les agro systèmes de production oasiens en Tunisie. Fonctionnement, rôle et adaptation aux changements écologiques et socio-économiques.
- SORMAN, A.V., et ABDULRAZZAK, M.J., 1993. Recharge through wadi beds in arid regions – Hydrogeology science journal. Ed: IAHS press. Vol. 38. n°3. (pp 173-186).
- TOUTAIN, G., 1974. Conservation des sols en palmeraies sahariennes et bordurières au sahara. Conservation et utilisation des sols. CIHEAM- Option Méditerranéenne. (p 65-69).
- [http:// ressources.ciheam.org/om/pdf/r25/CIO10585.pdf](http://ressources.ciheam.org/om/pdf/r25/CIO10585.pdf)
- TOUTAIN, G., 1977. Eléments d'agronomie saharienne. de la recherche au développement. Paris : INRA – GRET (277p).
- TOUTAIN, G., DOLLI, V., et FERRY, M., 1988. Situation des systèmes oasiens en régions chaudes – Revue options Méditerranéennes. CIHEAM, série A, n° 11, (pp 7 – 12).
- TREMOLIERES, M., SCHMITZLER, A., et CARBIENER, D., 2002. Quel système de référence pour la restauration des systèmes alluviaux Rhénans ? Rev. Ecol. (Terre vie), supplément 9.
- U.S.D.A, 1998. Keys to soil taxonomy. Natural Ressources Conservation Service. Eighth Edition. Soil Survey Staff. soils.usda.gov/technical/handbook/contents/part629.htm. consulté en Avril 2009.
- ZELLA, L., et SMADHI, D., 2006. Gestion de l'eau dans le milieu désertique : cas des oasis Algériennes. Larhyss journal de l'université de Biskra, 5, (pp 149).

Annexes

Annexes

Tableau 22 : Classification de Richards (Riverside, 1956) des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR. (Gouaidia, 2008)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Tableau 23 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol (BAIZE, 1988 in MOTI, 1997).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

Tableau 24 : Normes de l'OMS sur l'eau potable (www.lentech.fr/.../potable/normes/normes-OMS-eau-potable.htm).

Elément/ substance	Symbole/ formule	[] normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluoreure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Tableau 25: Normes d'interprétation pour la CEC (LANO/CA de Basse Normandie)

VALEUR DE LA CEC EN méq/100 g	INTERPRETATION
CEC < 9	Petite CEC
$9 \leq \text{CEC} \leq 12$	CEC moyenne
$12 < \text{CEC} \leq 15$	CEC assez élevée
$15 < \text{CEC} \leq 25$	CEC élevée
CEC > 25	CEC très élevée

Tableau 26 : Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait saturé et de la somme des anions (Servant in Baize, 1995)

Classes	Désignation	CE (mmhos/cm à 25°C)	Somme des anions (méq/l)
0	Non salé	< 2.5	< 25
1	Faiblement salé	2.5 - 5	23 – 50
2	Moyennement salé	5 - 10	50 – 105
3	Salé	10 – 15	105 – 165
4	Fortement salé	15 – 20	165 – 225
5	Très fortement salé	20 – 27.5	225 – 315
6	Excessivement salé	27.5 – 40	315 – 620
7	Hyper salé	>40	>620

Résumé

L'étude des sols d'Algérie constitue une préoccupation majeure des pédologues algériens. En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer.

Dans les régions sahariennes, l'agrosystème oasien constitue l'un des paysages remarquables de gestion des terres et des eaux dans les zones arides, faisant partie du programme international Globally Important Agricultural Heritage Systems de l'FAO.

Dans ces agrosystèmes oasiens, les sols alluviaux constituent l'essentiel des sols potentiellement agricoles. Ces sols sont gérés d'une façon ingénieuse par les populations locale, ce qui a permis la préservation de l'agrosystème oasien.

L'oasis de Guerrara est plantée dans les alluvions de Oued Zegrir dont les crues occasionnelles permettent l'apport et la formation de sols alluviaux. Ces sols sont accompagnés d'une nappe d'inféoflux ou (alluviale) ce qui a permis l'installation et l'existence d'un agrosystème oasien particulier.

Les objectifs visés à travers ce travail sont ; la caractérisation des sols ainsi que la caractérisation hydrochimique et piézométrique de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Pour ce, cinq profils ont été réalisés à l'intérieur de la palmeraie, et 72 piézomètres (puits) ont été étudiés et échantillonnés en deux campagnes (Décembre 2008 et Mars 2009).

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols nous ont permis de classer nos sols comme étant des fluvisols aridique calcaire, avec une texture fine ; limoneuse, limono-argileuse et limono-sableuse, non à faiblement salins et à pH basique, riches en calcaire total, généralement pauvres et parfois pourvu en matière organique, des CEC moyennes et présentant un faciès chimique calci-magnésien et chloruro-bicarbonaté.

L'étude piézométrique de la nappe nous a permis de tracer sa carte piézométrique en deux campagnes (Décembre 2008 et Mars 2009). Par la suite nous avons pu déterminer le sens d'écoulement de cette nappe, qui a le même sens de circulation que celui de Oued Zegrir à l'intérieur de la palmeraie.

L'étude qualitative de l'eau de la nappe alluviale et l'étude des échanges et des relations entre les paramètres étudiés (indice d'échanges de base) ont confirmé la qualité géochimique de cette eau comme étant une eau non saline à pH légèrement alcalin et avec un faciès chimique calci-bicarbonaté.

Mots clés : Sols alluviaux, nappe alluviale, oasis, agrosystème oasien, Oued Zegrir, Guerrara

المخلص

تشكل دراسة التربة في الجزائر انشغالا هاما لعلماء التربة الجزائريين. إن القدرات الكبيرة من التربة الزراعية التي نمتلكها تتطلب معرفة جيدة لهذه الثروة من أجل المحافظة عليها و حسن تسييرها.

في المناطق الصحراوية ، يشكل نظام الزراعة الواحاتي أحد أهم المناظر الطبيعية لإدارة الأراضي و المياه بالمناطق الجافة، ضمن البرنامج الدولي لأهم النظم الزراعية الإرثية ، التابع لمنظمة التغذية و الزراعة.

في هذه النظم الواحاتية، تشكل التربة الغرينية أهم الترب الفلاحية الخصبة. هذه الترب تتم إدارتها بطريقة عقلانية بواسطة السكان المحليين، مما أدى إلى المحافظة على النظام الزراعي الواحاتي.

أنشأت واحة القرارة على التربة الغرينية لواد زقير، و الذي تسمح فيضاناته المؤقتة إلى جلب و تكوين تربة غرينية. هذه التربة هي مصحوبة بمياه جوفية سطحية (مياه الطبقة الغرينية) مما أدى إلى ظهور و وجود نظام زراعي واحاتي مميز.

الأهداف المرجوة من خلال هذه الدراسة هي: دراسة التربة و كذا دراسة هيدرو-كيمياوية و بيزومترية لمياه المنطقة الغرينية بواحة القرارة. لذلك، تم انجاز خمسة مقاطع للتربة داخل الواحة و دراسة مع أخذ العينات من 72 بئر خلال حملتين (ديسمبر 2008 و مارس 2009).

نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيمائية للتربة مكنتنا من تصنيفها كتربة من نوع فليوفيسول اريديك كلكاريك، ذات قوام رفيع؛ سلتية، سلتية-طينية و سلتية-رملية، غير مالحة و ذات درجة حموضة قاعدية، غنية بكاربونات الكالسيوم، عادة فقيرة و أحيانا بها كميات مقبولة من المادة العضوية، ذات قدرة تبادل كاتيوني ضعيفة إلى متوسطة بشكل عام و ذات سحنة كيمائية كلسية-مغنيزية و كلوريدية-بيكربوناتية.

الدراسة البيزومترية لمياه الطبقة الغرينية سمحت لنا برسم خريطتها البيزومترية خلال حملتين (ديسمبر 2008 و مارس 2009). بعدها تمكنا من تحديد اتجاه سريان هذه المياه، و التي لها نفس اتجاه جريان مياه واد زقير داخل غابة النخيل.

الدراسة النوعية لمياه الطبقة الغرينية و دراسة التبادلات والعلاقات بين العناصر المدروسة (معامل التبادلات) أثبتت النوعية الجيوكيمياوية لهذه المياه على أنها مياه غير مالحة، ذات درجة حموضة قاعدية قليلا و لها سحنة كيمائية كلسية – بكاربوناتية.

الكلمات الدلالية: التربة الغرينية، مياه المنطقة الغرينية، واحة، نظام زراعة واحاتي، واد زقير، القرارة.

Abstract

The study of soils in Algeria is a major concern for Algerian soil scientists. Indeed, the great potential agricultural land require a good knowledge of this heritage to preserve and manage it better.

In the Sahara, oasis agro-ecosystem is one of the remarkable landscapes of Land Management and water in arid areas, part of the Globally Important Agricultural Program International Heritage Systems of the FAO.

In these oases agro-ecosystems, alluvial soils are the main of agricultural potential soils. These soils are managed in an ingenious manner by local populations, which allowed the preservation of oasis agricultural ecosystem.

Guerrara oasis is planted in the alluvium of Wadi Zegrir which occasional floods allow the input and training alluvial soils. These soils are accompanied by an alluvial groundwater which allowed the installation and the existence of a particular oasis agroecosystem.

The objectives of this work are the soil characterization and hydrochemical characterization of the alluvial groundwater in Guerrara oasis. For this, five profiles were made within the park, and 72 piezometers (wells) were studied and sampled in two companions (December 2008 and March 2009).

The results of the physical and chemical analyses of soils allowed us to classify them as Aridic calcaric fluvisol; with fine texture; selty, selty-clay to selty-sand, non-saline, with neutral to slightly alkaline pH, rich in total limestone, low to acceptable contents of organic matter, of medium CEC and presenting a calci-magnesian and chloruro-sulphated chemical profile.

The piezometric study of the groundwater has allowed us to trace his two companions piezometric map (December 2008 and March 2009). Subsequently we were able to determine the direction of flow of the aquifer, which has the same sense of movement than Oued Zegrir inside the palm plantation.

The qualitative study of water and the study of the exchanges and relations between the parameters studied (index base exchanges) confirmed the geochemical quality of that water as a non-saline water with slightly alkaline pH and with a calci-bicarbonate chemical profile.

Key words: alluvial soils, alluvial groundwater, oasis, oasis agrosystem, Zegrir river, Guerrara.