



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم الطبيعية و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم الزراعية
Département des Sciences Agronomiques
Filière : Sciences Agronomiques
Option : Eau, Sol et Environnement

**Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme
de Doctorat es-sciences**

Présenté par : BERKANE Ibrahim

Thème

**Étude du risque agro écologique en milieux semi-arides
Cas de la plaine de la Mina (Algérie Occidentale)**

Composition du jury de soutenance

Nom et prénom	Grade	Qualité	Structure
Mr. REGUIG YSSAAD Houcine Abdelhakim	Prof.	Président	Université de Mostaganem
Mr. BENABDELLI Kheloufi	Prof.	Encadreur	Université de Mascara
Mr. LARID Mohamed	Prof.	Co- Encadreur	Université de Mostaganem
Mr. BELHADI Abdelkader	Prof.	Examineur	Université de Saida
Mr. GHELAMALLAH Amine	MCA	Examineur	Université de Mostaganem
Mr. BELGHERBI Benamar	MCA	Examineur	Université de Mascara
Mr. BAGHDADI Djillali	MCA	Invité	Université de Relizane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Mes chers parents pour leur tendresse, affection, patience, encouragement depuis ma naissance jusqu'à ce jour, ainsi leur soutien durant la période de mes études, qu'Allah les garde.

Ma chère femme pour ses encouragements durant la réalisation de ce travail.

mes petites filles

Mes chers frères et mes chères sœurs et leurs petits-enfants.

Ainsi qu'à la famille de Boukhobza

A mes chers ami(e)s

Je dédie aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Remerciements

Louange à Dieu, Seigneur tout puissant

Qui nous a comblé de sa miséricorde jusqu'à la réalisation de ce modeste travail.

*En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Monsieur **BENABDELI Kheloufi**, professeur au département de Biologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Mascara) pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant de m'encadrer, mais aussi pour ses informations, ses conseils, ses orientations, qui ont été fort précieux.*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur **LARID Mohamed**, professeur au département de l'Agronomie de l'Université de Mostaganem, avec qui j'ai eu la chance d'effectuer ce travail et de m'avoir fait l'honneur de le diriger avec beaucoup d'attention et de patience.*

*Mes remerciements les plus respectueux vont également à Monsieur **REGUIG YSSAAD Houcine Abdelhakim**, professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Mostaganem) pour m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence de ce jury.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à l'égard de : Monsieur **BELHADI Abdelkader**, professeur à l'université de Saida et Monsieur **GHELAMALLAH Amine**, Maître de conférences à la faculté de SNV (Université de Mostaganem), ainsi que Monsieur **BELGHERBI Benamar**, Maître de conférences à la faculté de SNV (Université de Mascara) d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail.*

*A Monsieur **BAGHDADI Djillali**, Maître de conférences à la faculté de SNV (université de Relizane) d'avoir accepté notre invitation.*

*Toute ma gratitude va également aux nombreuses personnes qui, au sein des différentes institutions que j'ai eu l'occasion de contacter pour réaliser ce travail (INSID, DSA, DRE, et ADE etc.) en particulier Messieurs : **GASMI Farid** et **BENKHEDDA Youcef** de laboratoire régional de l'INSID -Relizane se sont démenées pour me fournir les informations que je recherchais. Elles se sont toujours montrées bienveillantes et ont largement participé à orienter mes recherches bibliographiques ou à les compléter.*

Je salue aussi tous les agriculteurs qui ont bien voulu consacrer un peu de leur temps à répondre à mes questions et à me faire part de leur point de vue à l'enquête agro socioéconomique et mon sujet traité.

Ainsi qu'à toute personne ayant contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Enfin, et bien que des simples remerciements ne suffisent pas pour exprimer tout ce que je leurs dois, mes remerciements les plus chaleureux à mes parents, à ma femme et à tous les membres de ma famille.

Résumé :

La Plaine de la Mina, d'une superficie de 93.000 ha environ est située au Nord-Ouest de l'Algérie, d'altitude moyenne 80 m, d'un climat semi-aride. Cette plaine est exposée à des problématique agro écologiques comme la salinisation des sols, la dégradation des ressources hydriques accrues par le changement climatique. La contrainte majeure du développement agricole dans les zones arides et semi-arides est l'absence d'une connaissance fiable des dangers et des risques agro écologiques et des niveaux des ressources naturelles existantes.

L'objectif de cette étude consiste à identifier, évaluer et cartographier les dangers et la gravité des risques agro écologiques afin de contribuer et mieux intervenir pour les minimiser et résoudre les problèmes liés au développement agricole.

Les résultats révèlent une baisse de la pluviométrie au cours d'un siècle (depuis 1918 jusqu'à 2020) et qui s'est accentuée au cours de la période 1983-2000 considérée comme la plus sèche avec la disparition de l'isohyète 350-400 mm et l'apparition au Sud-Ouest de l'isohyète 280 mm. Quant à l'évaluation et à la cartographie du niveau du risque de salinité des sols et des eaux souterraines destinées à l'irrigation, les résultats de l'expérimentation réalisée sur une superficie de 4000 ha indiquent une forte variabilité spatiale de la salinité (Ceps) qui varie entre 1,35 et 28,8 dS/m. Les cartes d'isovaleurs de la ECe estimée par l'équation de régression et interpolées par la méthode krigeage ordinaire (KO) a montré que la superficie des sols salés ($ECe > 4$ dS/m) représente 90 % de la zone d'étude. Les résultats indiquent également une qualité médiocre à déconseillée de l'eau pour l'irrigation. Les points d'eau sont répartis aux classes de C4S2 (7%), C4S3 (35%) et C4S4 (58%).

L'utilisation de la méthode AMDEC « *Analyse des Modes, des Effets et de la Criticité des Défaillances* » combinée au modèle (Cause et Conséquence) a permis d'identifier 21 défaillances, dont 19 sont censées être importantes et qui regroupent quatre causes « *organisationnelles, techniques, naturelles et politiques* ».

La gestion durable des potentialités en sol et en eau, la sécurisation du foncier agricole, le choix des cultures tolérantes, le réaménagement des réseaux de drainage, l'irrigation avec des eaux moins salées et l'introduction des agroécosystèmes telle que l'agroforesterie semblent être des alternatives pour une agriculture contemporaine durable avec une meilleure productivité des sols.
Mots clés : systèmes agraires, risque agroécologique, défaillance, salinité, semi-aride, plaine de la Mina, Algérie.

Abstract

The Mina Plain, with an area of about 93,000 ha, is located in the northwest of Algeria, with an average altitude of 80 m, and a semi-arid climate. This plain is exposed to agro-ecological problems such as soil salinization, degradation of water resources increased by climate change. The major constraint of agricultural development in arid and semi-arid zones is the absence of a reliable knowledge of the hazards and agro ecological risks and the levels of existing natural resources.

The objective of this study is to identify, assess and map the hazards and severity of agro-ecological risks in order to contribute and better intervene to minimize them and solve the problems related to agricultural development.

The results reveal a decrease in rainfall over the course of a century (from 1918 to 2020), which was accentuated during the period 1983-2000, considered the driest, with the disappearance

of the 350-400 mm isohyet and the appearance of the 280 mm isohyet in the southwest. As for the evaluation and mapping of the level of risk of salinity of soils and groundwater intended for irrigation, the results of the experiment carried out on an area of 4000 ha indicate a high spatial variability of salinity (ECe) which varies between 1.35 and 28.8 dS/m. Isovale maps of the ECe estimated by the regression equation and interpolated by the Ordinary Kriging (OK) method showed that the area of saline soils (ECe > 4 dS/m) represents 90% of the study area. The results also indicate poor to unsuitable water quality for irrigation. The water points are distributed to the classes of C4S2 (7%), C4S3 (35%) and C4S4 (58%).

The use of the FMEA method (*Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*) combined with the (Cause and Consequence) model identified 21 failures, 19 of which are considered important and which group together four causes "*organizational, technical, natural and political*".

The sustainable management of soil and water potential, the securing of agricultural land, the choice of tolerant crops, the reorganization of drainage networks, irrigation with less salty water and the introduction of agroecosystems such as agroforestry seem to be alternatives for contemporary sustainable agriculture with better soil productivity.

Key words: Agrarian system, agro-ecological risk, failure, salinity, semi-arid, Mina plain, Algeria.

ملخص

يقع سهل مينا، الذي تبلغ مساحته 93.000 هكتار في شمال غرب الجزائر، متوسط ارتفاع 80 متراً، في مناخ شبه جاف. لا يزال هذا السهل يعاني اليوم من مشاكل بيئية زراعية: تغير المناخ، تملح التربة، التدهور لموارد المائية، الزراعة الأحادية. يعد الافتقار إلى المعرفة الموثوقة بخطر المخاطر الزراعية الإيكولوجية مستويات الموارد الطبيعية الموجودة أحد المعوقات الرئيسية لإدارة التنمية الزراعية في المناخ الجاف شبه الجاف.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تقييم رسم رانط مخاطر شدة المخاطر الزراعية البيئية، ذلك للمساهمة في التقليل من أجل تقليل هذه المخاطر حل بعض المشاكل المتعلقة بالتنمية الزراعية.

تظهر نتائج الدراسة انخفاضاً في هطول الأمطار على مدى قرن من الزمان (من 1918 إلى 2020) الذي ازداد حدة خلال الفترة 1983-2000 الذي يعتبر الأكثر جفافاً مع تضاء منحنيات الامطار 350-400 ملم ظهور منحني 280 مم إلى الجنوب الغربي.

أما النسبة لتقدير رسم رانط مستوى مخاطر ملوحة التربة المياه الجوفية المستعملة في السقي الفلاحي، تشير النتائج التي أجريت على مساحة 4000 هكتار إلى تباين مكاني قوي لملوحة الأراضي (Ceps) الذي تراوح بين 1,35-28,8 dS/m. أظهرت الخرائط المسلية لـ ECe المقدرة معادلة الانحدار المقحمة واسطة طريقة kriging العادية (KO) أن مساحة سطح التربة المالحة (ECe > 4 dS/m) تمثل 90% من منطقة الدراسة. كما تشير النتائج إلى نوعية مياه رديئة إلى غير مناسبة للسقي الفلاحي، حيث تم تصنيف مياه الاراضي على فئات التالية: (7%) C4S2؛ (35%) C4S3؛ (58%) C4S4.

حدد استخدام طريقة تحليل نمط الافياف (FMEA) جنباً إلى جنب مع النموذج (السبب النتيجة) إلى اظهار 21 فافاً، منها 19 مهمة التي تجمع معاً أسباب تنظيمية تقنية بيئية سياسية.

التنمية المستدامة لمصادر التربة المياه، تأمين العقار الفلاحي لاستصلاح الامثل للأراضي الزراعية، تيار المحاصيل الزراعية المقامة للملوحة، إعادة تنظيم شبكات الصرف الري لإزالة ممارسات الحراة الزراعية الممارسات الإيكولوجية الزراعية كبدايل لنظم الزراعة التقليدية ينبغي أيضاً تصميم الزراعة المعاصرة من أجل استدامة إنتاجية التربة والنظم الإيكولوجية الزراعية.

مفتاح كلمات: النظام الزراعي، الملوحة، المخاطر الزراعية البيئية، مناخ شبه قاحلة، سهل مينا، الجزائر.

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques géographiques de la station de référence	10
Tableau 2	Les moyennes annuelles des précipitations de trois périodes	11
Tableau 3	Précipitations moyennes mensuelles et annuelle durant les périodes	12
Tableau 4	Précipitations moyennes saisonnières durant deux périodes	12
Tableau 5	Les données thermiques (°C) de la station de Relizane de deux périodes	13
Tableau 6	Evapotranspiration potentielle (ETP) moyenne durant les deux périodes.	14
Tableau 7	Indice d'aridité du PNUE de la zone d'étude	15
Tableau 8	Indice de sécheresse estivale de la station de référence	15
Tableau 9	Ambiance bioclimatique de la plaine de la Mina	17
Tableau 10	caractéristiques du barrage de la plaine la Mina	18
Tableau 11	Nappes de la wilaya de Relizane	20
Tableau 12	Les différentes classes d'occupation du sol	32
Tableau 13	Répartition des classes de l'occupation du sol et de la plaine de la Mina	33
Tableau 14	Répartition des classes d'occupation du sol de site pilote	38
Tableau 15	Répartition des classes d'occupation du sol selon les communes (zone d'étude)	40
Tableau 16	Principales cultures légumières	45
Tableau 17	Rendements des cultures maraîchères	47
Tableau 18	Rendements de l'arboriculture	50
Tableau 19	Répartition des exploitations agricoles selon la classe de SAU	56
Tableau 20	Répartition des exploitations agricoles par nature juridique (ha)	56
Tableau 21	Répartition des exploitations agricoles enquêtées par communes	57
Tableau 22	Salinité de l'eau (CEw en ds/m) du barrage de SMB (Relizane)	59
Tableau 23	Qualité de l'eau du barrage de SMB (Relizane)	59
Tableau 24	Résultats d'analyses de l'eau sur 179 points d'eau dans le périmètre de la Mina	59
Tableau 25	Ouvrages de mobilisation et de régulation des ressources hydriques pour l'irrigation	61
Tableau 26	Bâtiments d'élevage	62
Tableau 27	Identification de source de dangers et de risques	75
Tableau 28	Données pluviométriques annuelles période de Seltzer (1913- 1938)	81
Tableau 29	Caractéristiques statistiques des données pluviométriques annuelles des postes climatologiques dans la wilaya de Relizane (1968- 2020)	81
Tableau 30	Classes de sévérité de sécheresse selon (Mckee et <i>al.</i> , 1993)	85
Tableau 31	Classification de SPI et de catégories de sécheresse	86
Tableau 32	Classes de gravité de la sécheresse selon le PNI	87
Tableau 33	Nombre de mois de classes de sécheresse calculées avec le SPI pour des périodes de 3, 6, 12, 24 et 48 mois	91
Tableau 34	Nombre de sécheresses pour 100 ans selon les catégories de sécheresse pour des périodes de 3, 6, 12, 24 et 48 mois	92
Tableau 35	Fréquence des différentes classes de sécheresse (N= 53 ans)	95
Tableau 36	Résultats statistiques des différents paramètres calculés (pluies cumulées, SPI et rendements moyen des céréales) de la période 1987 à 2020	99
Tableau 37	Pearson's Corrélation de paramètres calculés (pluies cumulées, SPI et rendements moyen des céréales) de la période 1987 à 2020	101

Tableau 38	Paramètres physico-chimiques du sol leurs méthodes utilisées.	106
Tableau 39	Classes d'intensité du coefficient de variabilité	109
Tableau 40	Statistiques de différents paramètres du sol (profondeur 0-75 cm)	111
Tableau 41	Matrice de corrélation de Pearson pour différents paramètres du sol	114
Tableau 42	Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.	114
Tableau 43	Statistiques de cemv, cemh , ceps ($ds.m^{-1}$) calculées et différentes classes de salinité du sol	116
Tableau 44	Paramètres physico-chimiques de l'eau et leurs méthodes utilisées.	117
Tableau 45	Classification de qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur le TDS	120
Tableau 46	Classification de qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur le risque de salinité (ecw) et SAR	121
Tableau 47	Qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur Na%	121
Tableau 48	Qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur RSC	122
Tableau 49	Statistiques de différents paramètres analysés de l'eau souterraine (n = 40)	123
Tableau 50	Matrice de corrélation de Pearson pour différents paramètres chimiques de l'eau souterraine	123
Tableau 51	Résultats d'analyse et Classification de l'eau d'irrigation	124
Tableau 52	Défaillances d'ordre organisationnelles	148
Tableau 53	Défaillances d'ordre technique	148
Tableau 54	Défaillances d'ordre naturel	149
Tableau 55	Défaillances d'ordre politique et de gouvernance	149
Tableau 56	Matrice des dangers et risques	149
Tableau 57	Classification des principales défaillances	151

Liste des figures

Figure 1	Localisation géographique de la plaine de la Mina	04
Figure 2	Découpage administratif de la zone d'étude	05
Figure 3	Ensembles géomorphologique de la zone d'étude	06
Figure 4	Modèle numérique du terrain (MNT) pour la wilaya de Relizane	07
Figure 5	Carte géologique de Relizane	09
Figure 6	La variation des précipitations moyenne annuelle période (1987-2009)	11
Figure 7	Répartition des pluies mensuelles	12
Figure 8	Carte de précipitations annuelles moyennes (1987-2009)	13
Figure 9	Diagramme Ombrothèrmique de la zone d'étude périodes (1918-1938) et (1987-2009)	16
Figure 10	Localisation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger, (1953).	18
Figure 11	Profil du cours d'eau principal du bassin versant	19
Figure 12	Carte de réseau hydrologique de la zone d'étude	20
Figure 13	Principales unités hydrogéologiques de la zone d'étude	21
Figure 14	Localisation du site pilote de l'étude	30
Figure 14a	Délimitation du site pilote de l'étude	31
Figure 15	Classes d'occupation du sol de la plaine de Mina	36
Figure 16	Carte d'occupation du sol de la plaine de Mina	37
Figure 17	Répartition de l'occupation du sol de site pilote d'étude	38
Figure 18	Carte d'occupation du sol de la zone d'étude	39
Figure 19	Parcours en végétation halophyte de type Ndjil ou la Suéda (<i>Suaeda fruticosa</i>)	39
Figure 20	Principales cultures maraîchères pratiquées dans la zone d'étude	45
Figure 21	Calendrier des principales cultures	46
Figure 22	Principales cultures pérennes pratiqués dans la zone d'étude	48
Figure 23	Carte de répartition des exploitations agricoles par nature juridique	58
Figure 23a	Modes d'irrigation	60
Figure 23b	Drains en état défectueux nécessitant un curage	61
Figure 23c	Espèces utilisées comme brise-vent et leur état de dégradation dans la zone d'étude partie Oued Djemaa	65
Figure 23d	Impacts de l'utilisation des eaux salées dans l'irrigation des sols	69
Figure 24	Carte du réseau du périmètre irrigué de la Mina	60
Figure 25	SPI de 3, 6, 12, 24 et 48 mois pour chaque mois de la période 1968-2020 à la station météo de RELIZANE	91
Figure 26	La série chronologique du PNI (%) pour la station de la zone d'étude (1968-2020)	94
Figure 27	Indice d'écart de précipitation à la normale IDP (%) pour la station de la zone d'étude (1968-2020)	95
Figure 28	Rendements des céréales (qx/ha) en fonction de pluies cumulées 6-mois (Novembre à avril) en mm	100
Figure 29	Rendements des céréales en fonction de SPI 6-mois (Novembre à avril)	101
Figure 30	Corrélations entre (pluie cumulée 3 et 6-mois / Rendement des céréales)	103
Figure 31	Corrélations entre (SPI 3 et 6-mois / Rendement des céréales)	103
Figure 32	Plan d'échantillonnage des points de lectures de l'em38 et prélèvements du sol.	108
Figure 33	Triangle de texture	112

Figure 34	Fréquence des paramètres des échantillons du sol	113
Figure 35	ACP des données des paramètres du sol, projection des variables dans le plan de l'axe 1 et 2	115
Figure 36	Corrélation entre Ceps et CEMH	116
Figure 37	Emplacement des points d'eau utilisée pour l'irrigation dans la zone d'étude	118
Figure 38	Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur la CE et le SAR	126
Figure 39	Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur ecw et Na %	127
Figure 40	Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur PI et la concentration totale d'ions	128
Figure 41	Carte des isohyètes de précipitations moyennes annuelles période (1918-1939)	134
Figure 42	Carte des isohyètes de précipitations moyennes annuelles période (1968-1989)	134
Figure 43	Carte des isohyètes de précipitations moyennes annuelles période (1990-2020)	135
Figure 44	Carte de migration des isohyètes 300mm, 350mm, 400mm De 1918 à 2020 -	136
Figure 45	Carte de répartition spatiale de la salinité du sol (ceep)	137
Figure 46	Carte d'occupation du sol de la zone d'étude	138
Figure 47	Carte de répartition spatiale du danger de salinité de l'eau (Ecw)	140
Figure 48	Carte de répartition spatiale de TDS	140
Figure 49	Carte de répartition spatiale de SAR (Sodium Adsorption Ratio)	141

Liste des photos

Photo 1	Quelques espèces de la flore spontanée dans la plaine de Mina	26
Photo 2	Quelques espèces animales dans la plaine de Mina	27
Photo 3	Mesures de l'EM38 et prélèvement d'échantillons de sol	106
Photo 4	Appareillages d'analyse du sol	108
Photo 5	Appareillages d'analyse de l'eau	119

ANNEXES

I. Guide d'enquêtes

II. Résultats des Analyses des sols et des lectures EM38 (34 prélèvements)

III. Données de lectures de EM38 (260 points)

IV. Données statistiques des analyses de l'eau des puits d'irrigation (40 puits)

Liste des acronymes

ABH : Agence de Bassin Hydrographique
AEP : Approvisionnement en eau potable
AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance
ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques
APFA : Accession à la Propriété Foncière Agricole
APHA: American Public Health Association
ASE : Agro Socio Economique
CPCS: Commission de Pédologie et de Cartographie des sols
DAS : Domaine Agricole Socialiste
DRE : Direction des Ressources en Eau
DSA : Direction des Services Agricoles
EAC : Exploitation Agricole collective
EAI : Exploitation Agricole Individuelle
ETP : Evapotranspiration potentielle
FAO: Food and Agriculture Organization of the United nations
FNRDA : Fonds National de Régulation et de Développement Agricole
GCA : Générale des Concessions Agricoles
GPI : Grand Périmètre Irrigué
INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
INSID: Institut National des Sols, de l'Irrigation et du drainage
LANDSAT : Programme américain d'observation de la terre par satellite
MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement rural
MASA : Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire
MNT : Modèle Numérique de Terrain
ONID: Office National de l'Irrigation et du Drainage
ONM: Office National De Météorologie
ONS : Office National De Statistique
PATW: Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya
PDARE : Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau
PME : Petite et Moyenne Entreprise
PMH : Petite et Moyenne H hydraulique
PNDA. Plan national de développement agricole
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
RGA: Recensement Général Agricole
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SAU : Superficie Agricole Utile

SCDV : Secrétariat de la Convention sur la Diversité biologique

SIG : Système d'Information Géographique

SOGREAH : Société Grenobloise d'Etude et d'Application Hydraulique

SPOT : Programme européen d'observation de la terre par satellite

USDA: United States Department of Agriculture

USDA: United States Department of Agriculture

WGS 84 : World Geodetic System (Système Géodésique Mondial- révisé 1984)

WMO : World Meteorological Organization

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
RESUME	III
ABSTRACT	IV
ملخص	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES PHOTOS	X
LISTE DES ACRONYMES	XI
Introduction générale	01
Chapitre I : Caractérisation écologique de l'espace agricole	
1. Caractérisation écologique de l'espace agricole	03
1.1. Présentation de la zone d'étude – la plaine de la Mina	03
1.1.1. Situation géographique de la plaine	03
1.1.2. Découpage administratif	04
1.2. Caractérisation de la composante abiotique	05
1.2.1. Aspect géomorphologique	05
1.2.2. Géologie	07
1.2.3. Pédologie	09
1.2.4. Le climat	09
1.2.4.1. Les facteurs climatiques	10
1.2.4.1.1. Précipitations	11
1.2.4.1.1.1. le régime annuel des précipitations	11
1.2.4.1.1.2. Le régime mensuel et saisonnier des précipitations	12
1.2.4.1.2. Les températures	13
1.2.4.1.3. L'évapotranspiration	13
1.2.4.1.4. Les autres facteurs climatiques	14
1.2.4.2. Synthèse climatique	15
1.2.4.2.1. Indice d'aridité du PNUE	15
1.2.4.2.2. Indice de sécheresse	15
1.2.4.2.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls & Gausson (1953)	16
1.2.4.2.4. Quotient pluviométrique et climagramme D'Emberger (1955)	17
1.2.5. Les ressources en eau	18
1.2.5.1. Les eaux superficielles	18
1.2.5.1.1. Réseau hydrographique de la plaine de la Mina	19
1.2.5.2. les eaux souterraines	20
1.3. Caractérisation de la composante biologique	21
1.3.1. La biodiversité végétale	21
1.3.1.1. La flore cultivée	22
1.3.1.1.1. La strate arborée	22
1.3.1.1.2. La strate basse (herbacée)	22
1.3.1.2. La flore spontanée	24

Chapitre II : Diagnostic des systèmes agraires

1. Méthodologie et outils de travail	28
1.1. Présentation du site pilote	29
2. L'occupation du sol de la zone d'étude	31
2.1. L'occupation du sol de plaine de la Mina	32
2.1.1. Répartition des classes de l'occupation du sol	33
2.1.1.1. Occupation du sol agricole	34
2.1.1.2. Occupation hors agricole	37
2.2. L'occupation du sol de site pilote	37
3. Diagnostic des systèmes de culture et d'élevage	40
3.1. Notions de base	40
3.1.1. L'Agrosystème	40
3.1.2. Système de culture	40
3.1.3 Système d'élevage	41
3.1.4. Système de production agricole	41
3.1.5. Exploitation agricole	41
3.2. Systèmes de culture et d'élevage	41
3.2.1. système de grandes cultures	42
3.2.1.1. Le système de culture « céréalier »	42
3.2.1.2. Système des cultures fourragères	44
3.2.1.3. Les légumineuses	44
3.2.2. système maraîcher	42
3.2.3. système arboricole	47
3.2.4. système "élevage "	50
3.2.4.1. Système « Elevage ovin »	50
3.2.4.2. Système « Elevage bovin »	51
3.2.4.3. Autres Systèmes d'Elevage	52
3.2.4.4. Elevage associé aux cultures	53

CHAPITRE III : Etat des connaissances sur la gestion des risques

1. Mode d'exploitation du milieu	55
1.1. Foncier agricole	55
1.2. Nature juridique des terres	56
2. L'utilisation de l'eau agricole	58
2.1. Qualité de l'eau d'irrigation	58
3. L'aménagement de l'espace agricole	60
3.1. Bâtiments d'élevage	61
3.2. Les brises vents, les clôtures et les alignements	62
3.3. Alignements et clôtures	66
4. Contraintes du développement agricole de plaine	67
4.1. Un contexte climatique toujours incertain	67
4.2. Dégradation continue et alarmante des sols	67
4.2.1. Des sols menacés par la salinité	68
4.3. La dégradation de la biodiversité	69

Chapitre VI : Typologie des risques agro-écologiques

1. Notion du risque	72
2. Notion d'agro-écologie :	72
2.1. Histoire de l'évolution du concept	73
2.2. Agro-écologie	75
3. Typologie des risques agro-écologiques :	75
3.1. Risque de sécheresse	75
3.2. Risque de salinité des sols	77
3.2.1. Définition	77
3.2.2. La salinisation dans le monde et en Algérie	79
3.2.3. Effets néfastes de la salinité sur les sols et les plantes	80

CHAPITRE V : Evaluation des impacts des risques agro-écologiques

1. Contexte climatique toujours incertain	81
1.1. Évolution des précipitations	81
1.2. Caractérisation de la sécheresse	82
1.2.1. Les indicateurs de sécheresse	82
1.2.1.1. Standardized Precipitation Index (SPI)	83
1.2.1.1.1. Description de SPI	84
1.2.1.1.2. Méthode de Calcul	84
1.2.1.2. Pourcentage de l'indice de précipitation à la normale PNI (%)	87
1.2.2. Evaluation des sècheresses 1968-2020	88
1.2.2.1. Intensité des séquences de sécheresse	88
1.2.2.1.1. Valeurs SPI	88
1.2.2.1.2. Valeurs de (PNI %) et (IDP %)	93
1.2.2.2. Risque sécheresse en céréaliculture pluviale	96
1.2.2.2.1. Impact du déficit hydrique sur le rendement des céréales	96
1.2.2.2.2. Evaluation du risque sécheresse en céréaliculture pluviale	97
1.2.2.2.2.1. Analyses de corrélation	101
2. Evaluation du risque de la salinité des sols	103
2.1. Méthodes d'évaluation de la salinité des sols	103
2.2. La zone d'étude	104
2.2.1. Analyse des documents de base	104
2.2.2. Mesures de l'EM38 et prélèvement d'échantillons de sol	105
2.2.3. Analyse au laboratoire	106
2.2.3.1. Mode opératoire des analyses du sol	107
2.2.4. Analyses statistiques	108
2.2.5. Régression linéaire et corrélation	109
2.2.5.1. Équation d'étalonnage des mesures de (CEMh)	110
2.3. Résultats et discussions	110
2.3.1. Analyse statistique des paramètres du sol	110
2.3.2. Analyse de corrélation	113
2.3.3. Estimation de CEps à partir des mesures CEMh	115
3. Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation	116
3.1. Echantillonnage	117
3.2. Mode opératoire d'analyse de l'eau	118

3.2.1. Le pH	118
3.2.2. La conductivité électrique (ECw)	118
3.2.3. Dosage des cations	118
3.2.3.1. Carbonates et bicarbonates	118
3.2.3.2. Les chlorures	119
3.2.3.3. Les sulfates	119
3.2.4. Dosage des cations	119
3.2.4.1. Le Calcium (Ca ²⁺) et Magnésium (Mg ²⁺)	119
3.2.4.2. Le Sodium (Na ⁺) et le Potassium (k ⁺)	119
3.3. Classification de la qualité de l'eau d'irrigation	120
3.3.1. Total des sels dissous (TDS)	120
3.3.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR)	120
3.3.3. Le pourcentage de Na (Na%)	121
3.3.4. Dureté totale (TH)	121
3.3.5. Le carbonate de sodium résiduel (RSC)	122
3.3.6. L'indice de perméabilité (PI)	122
3.4. Résultats et discussion	122
3.4.1. Analyse statistique des paramètres de qualité de l'eau	122
3.4.2. Analyse de corrélation	123
3.4.3. Qualité de l'eau d'irrigation	123
3.4.3.1. Total des sels dissous (TDS)	124
3.4.3.2. Conductivité électrique (ECw)	124
3.4.3.3. Sodium adsorption ratio (SAR)	125
3.4.3.4. Le pourcentage de Na (Na%)	126
3.4.3.5. Le carbonate de sodium résiduel (RSC)	127
3.4.3.6. Permeability index (PI)	127

CHAPITRE VI : Cartographie des risques agro-écologiques 129

1. Rappel sur les méthodes de cartographie numérique	129
1.1. La géostatistique	129
1.2. L'interpolation	129
1.2.1. Méthodes d'interpolation spatiale	130
1.2.1.1. Interpolation de pondération de distance inverse (IDW)	131
1.2.1.2. L'interpolation par le krigeage	131
1.2.2. Les logiciels utilisés pour l'interpolation spatiale	132
1.3. Cartographie de modification des précipitations dans la région d'étude	133
1.3.1. Migration des isohyètes (03 périodes)	133
1.4. Cartographie du risque de salinité du sol et de l'eau d'irrigation	136
1.4.1. Interpolation de la Ceps estimée par le krigeage ordinaire	136
1.4.2. Occupation du sol des terres agricoles selon les classes de salinité	138
1.4.3. Interpolation Spatiale des paramètres de qualité de l'eau	139

CHAPITRE VII : Stratégie de gestion des risques agro-écologiques

1. Gestion des risques et agriculture	142
1.1. Identification des dangers et des risques au niveau des systèmes agraires	142
1.2. La prévention des risques	143
2. Utilisation d'indicateurs	144

2.1. Indice de risque en milieu agricole	144
3. Outil d'évaluation des risques	145
3.1. Matrice d'évaluation des dangers et des risques	145
3.1.1. Matrice des vulnérabilités	145
3.2. Utilisation de la méthode AMDEC	145
3.2.1. Quelques données sur cette méthode	145
3.2.2. Buts de l'AMDEC	146
3.2.3. Possibilité d'application aux espaces agricoles	146
4. Contribution à l'utilisation d'une matrice AMDEC	147
4.1. Matrice des défaillances élaborées	148
4.1.1. Les défaillances d'ordre organisationnel	148
4.1.2. Les défaillances d'ordre technique	148
4.1.3. Défaillances d'ordre naturel	149
4.1.4. Défaillances d'ordre politique et de gouvernance	149
4.2. Matrice des dangers et risques	149
5. Stratégie de gestion des risques agro-écologiques	150
5.1. A l'échelle de la région	152
5.2. A l'échelle de l'exploitation	153
5.3. A l'échelle de la parcelle	153
Conclusion générale	155
Références bibliographiques	158
Annexes	170

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le secteur agricole algérien fait face à des problématiques agro-environnementales diverses : fluctuation des productions agricoles qui menace la sécurité alimentaire, la dégradation des sols (la salinité, l'érosion et le déclin de la fertilité), la dégradation des potentialités des ressources hydriques, le changement climatique, la dégradation des parcours, la monoculture, la perte de biodiversité, etc.

Dans la plus grande partie de l'Afrique, la sécheresse est la calamité climatique la plus fréquente. L'Algérie, et surtout l'Ouest du pays, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, pendant les années 40 et les années 70 jusqu'à nos jours (**Meddi, 2003**).

En Algérie, selon les travaux de **Halitim (1973 et 1985) ; Houerou (1993)**, les sols salés occupent de grandes étendues de superficies (3,2 millions d'hectares de la superficie totale) et près de 10-15 % de terres irriguées, sont concernées par ces problèmes et selon les travaux de **l'INSID (2008)**, la salinisation des sols est observée dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays.

L'espace agricole de la wilaya de Relizane en générale et les plaines en particulier font face à des problématiques agro-écologiques diverses. Les pratiques agricoles modernes et inadaptées menacent la durabilité des exploitations agricoles et par conséquent la sécurité alimentaire. La plaine de la Mina, d'une superficie de 930 km² environ, d'une altitude moyenne 80m, d'un climat semi-aride à aride, consiste en une portion subsidence du bassin du Bas-Chélif. Cette plaine subit encore aujourd'hui les conséquences néfastes de ces contraintes agro-écologiques. Comme elle est d'une importance agronomique et économique majeure, il convient pourtant de l'aménager et de bien la gérer et de la préserver en favorisant notamment d'une agriculture plus durable (**Berkane, 2016**).

Les différents impacts néfastes de l'intensification des pratiques agricoles ont amplifié les contraintes environnementales. Une contrainte majeure à une gestion durable de développement agricole dans les zones arides et semi-arides est l'absence d'une connaissance fiable des dangers et des risques agro-écologiques et des niveaux des ressources naturelles existantes.

Selon **Benabdeli (2013)**, l'agriculture doit faire face à des risques climatiques, sanitaires et environnementaux qui peuvent avoir des conséquences sur la viabilité des exploitations. Ainsi, accompagner les agriculteurs vers une meilleure gestion des risques permet d'accroître la résilience de leurs exploitations et de minimiser les impacts, notamment économiques, de ces risques. Le risque en agriculture fait aujourd'hui partie des éléments à prendre en considération dans la gestion globale d'une exploitation.

Dans une perspective de développement durable de la plaine, notre étude consiste à identifier les dangers et les risques agro-écologiques au travers un inventaire des dangers, une évaluation de la gravité des risques et ceci pour contribuer et intervenir afin de minimiser ces risques et résoudre certains problèmes liés au développement agricole durable.

La mise en place d'une stratégie de gestion des risques agro-écologiques exige le choix d'outils permettant de prendre en charge tous les aléas. Il ne peut y avoir préservation et de durabilité des espaces agricoles sans un diagnostic axé essentiellement sur l'identification des sources de danger ayant engendré des risques.

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance) combinée au Modèle (Cause et Conséquence) est largement utilisée dans l'évaluation des risques, cette méthode peut facilement s'appliquer pour identifier et évaluer les risques sources de dégradation et dysfonctionnement des systèmes agraires. Tous les espaces agricoles, quel que soit leur composition, leur localisation, leur potentialité et leur stade de dégradation peuvent être dans un premier temps identifiées par les principaux indices de perturbation qui constituent les causes de défaillance de l'écosystème qui permettent de comprendre les modes de défaillance qui renseignent sur les effets de défaillance. Il sera possible ensuite de corriger toutes les anomalies constatées pour opter sur une stratégie de réhabilitation et de gestion durable de cet espace agricole (**Benabdeli, 2008**).

Après une caractérisation écologique de l'espace agricole de plaine de la Mina, tout en mettant exergue de l'occupation du sol et le diagnostic des agrosystèmes, pour nous permettre de connaître bien du milieu géographique, des caractéristiques des exploitations et les aménagements réalisés, une identification des dangers et des risques agro-écologiques. Les données feront l'objet d'une évaluation de la gravité des risques et dont les résultats seront valorisés par des restitutions cartographiques (cartes thématiques).

En plus de la 1^{ère} étape basée sur la caractérisation écologique de l'espace agricole de la zone d'étude (chapitre1), les autres étapes de cette démarche sont :

- Le diagnostic des systèmes agraires et l'état des connaissances sur la gestion des risques,
- La typologie des risques agro-écologiques.
- L'évaluation des impacts des risques agro-écologiques
- Cartographie des risques agro-écologiques
- Stratégie de gestion des risques agro-écologiques
- Une conclusion générale suivie de quelques perspectives.

CHAPITRE I :
CARACTERISATION
ECOLOGIQUE DE L'ESPACE
AGRICOLE

1. Caractérisation écologique de l'espace agricole

1.1. Présentation de la zone d'étude – la plaine de la Mina

Introduction

La plaine de la Mina est située au Nord-Ouest de l'Algérie dans la willaya de Relizane et qui constitue la partie rive gauche de Cheliff. Elle est limitée au Nord par la willaya de Mostaganem, au Sud par les monts de Beni-Chougrane, à l'Est par le massif de l'Ouarsenis et à l'Ouest par la plaine d'El-Habra. La plaine de la Mina constitue une partie importante de la superficie totale de la willaya de Relizane (930 km²).

L'oued de la Mina constitue la principale cours d'eau qui prend sa source sur le plateau calcaire situé entre l'extrémité ouest du Djebel Nador et Frenda à l'est des monts de Saïda. L'écoulement de l'Oued Mina se fait vers le nord érodant les formations lithologiques de calcaire et marno-calcaire de plateau jusqu'à la hauteur du barrage de Bakhadda, puis il vient buter contre les dépôts miocènes formés essentiellement par des marnes et argiles (ANRH, 2003).

Le périmètre de la Mina était irrigué à partir de l'oued Mina durant l'époque coloniale à travers un réseau d'irrigation alimenté par le barrage de Bakhadda. Cependant, l'eau de mauvaise qualité qui ne répondait pas aux besoins de la population locale après l'indépendance. En 1978 a mise en service du barrage de Sidi M'Hammed Benaouda (Sidi Saada) d'une capacité de 232 millions de m³ et d'un volume régularisable de 130 millions de m³ par an qui a été construit sur l'Oued de Mina en aval du barrage de Bakhadda.

L'eau de ce barrage était directement acheminée pour alimenter le périmètre irrigué de la Mina d'une superficie de 17256 ha et l'approvisionnement en eau potable (AEP) de la ville de Relizane.

1.1.1. Situation géographique de la plaine

Le bassin du Bas-Chéiff s'allonge sur plus de 300 km au Nord de la chaîne Tellienne, Béni Chougrane et Ouarsenis. L'ensemble géographique appelé les plaines du Chéiff. Ce domaine comporte une région déprimée, constituée de la plaine de la Mina qui occupe une superficie de 93.000 hectares, tire son nom de dernier affluent important d'oued Chéiff. Elle s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes (**fig. 1**) :

$X_1 = 0^\circ 13' 51'' \text{ N}$; $Y_1 = 35^\circ 34' 58'' \text{ E}$

$X_2 = 0^\circ 45' 36'' \text{ N}$; $Y_2 = 35^\circ 55' 8'' \text{ E}$

Elle est limitée :

- Au Nord, par le plateau de Mostaganem et les monts de Dahra.
- Au Sud, par les monts de Béni Chougrane.

- A l'Ouest, par la plaine d'El-Habra et le massif de Bel Hael.
- A l'Est, par le massif de l'Ouarsenis.



Figure 1. Localisation géographique de la plaine de la Mina

1.1.2. Découpage administratif

La wilaya de Relizane est issue du dernier découpage administratif de 1984 institué par la loi 84-09 du 04 avril 1984. Avant cette date, cet espace était lié administrativement à la wilaya de Mostaganem. Elle se compose de 13 daïras regroupant 38 communes (fig. 2), et s'étend sur une superficie de 4842,73 Km² avec une population estimée à 726 180 habitants en RGPH 2008, soit une densité de 150 hab/Km² et selon la DPSB de la wilaya, la population de la wilaya de Relizane en 2018 est de 940 679 habitants soit une densité de 194 hab/Km². La plaine de la Mina compte 08 communes totalisant une superficie de 930 Km² regroupant 03 daïrates : Relizane, Matmar et Yellel avec une population 271609 soit une densité de 292 hab/Km². Et en fin de 2018 la population de la plaine est estimée à 346343 soit une densité de 372 hab/Km².

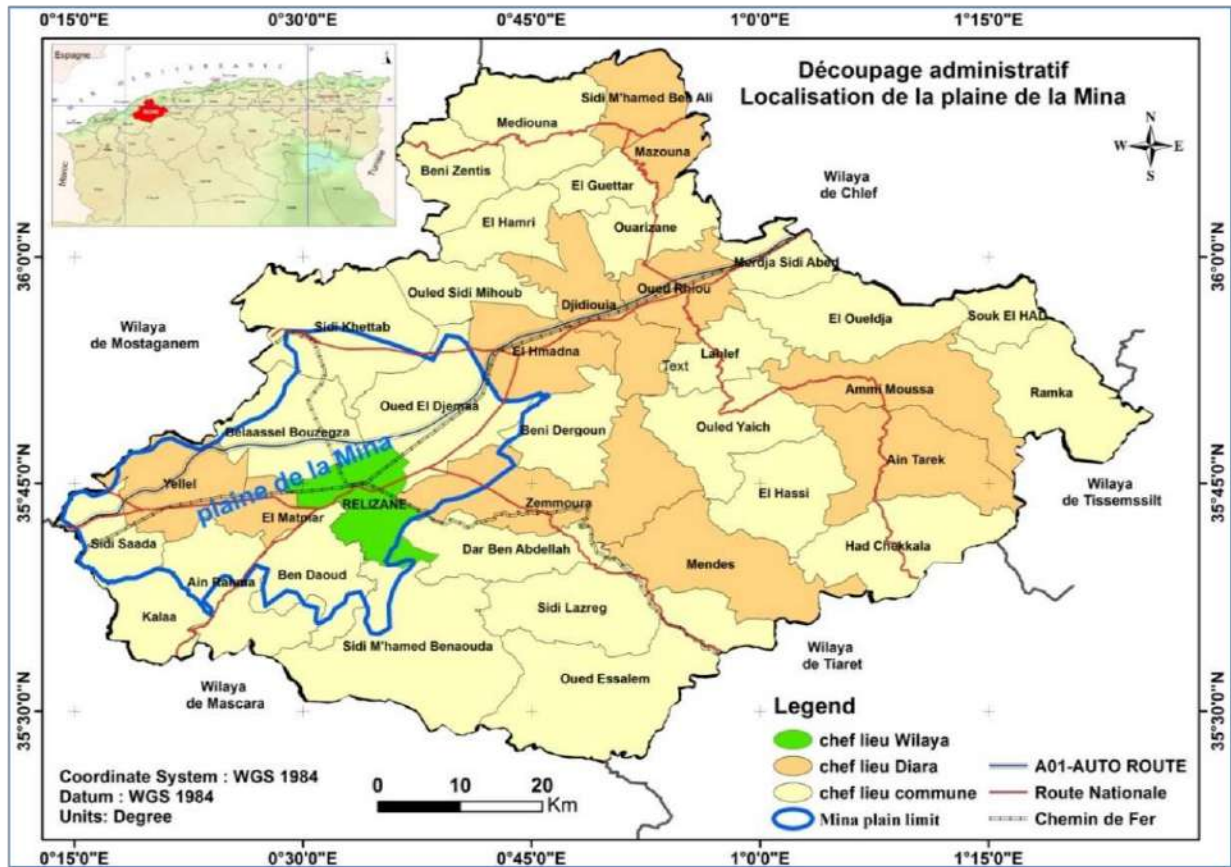


Figure 2. Découpage administratif de la zone d'étude

1.2. Caractérisation de la composante abiotique

1.2.1. Aspect géomorphologique

Morphologiquement, La plaine de la Mina est entourée par des plateaux peu élevés et des plaines. Ces derniers lui donnent la forme d'une cuvette elliptique allongée de direction NE-SO. Elle constitue une partie subsidence du bassin néogène du Bas-Chélif (ANRH, 2003).

La zone d'étude, comprend toute la région comprise entre les Monts de Zemmoura, de Belhacel y compris les collines qui entourent la Sebkhia de Benziane. Morphologiquement, la plaine de la Mina est limitée (fig. 3) :

- Au Nord, par les monts du Dahra qui s'élève de 500 à 700 m, constituant une barrière climatique qui réduit l'influence marine (La pluviosité dans cette région est amoindrie de manière remarquable.
- Au Nord-Est, par les dépressions plus ou moins fermées qui se traduisent par le notable Sebkhia de Benziane et les Daïas élémentaires environnantes.
- Au Sud par les massifs de Zemmoura dont la partie orographique est moins accentuée. En été, l'effet orographique se fait bien sentir par les perturbations orageuses donnant souvent des pluies violentes de courtes durées.

- A l'Ouest, par l'anticlinal peu élevé, de Belhacel (400m) qui représente un pli structural simple, se plongeant jusqu'au village de Sidi Khettab.
- En fin, au Sud-Ouest, par la ride anticlinale complexe, relayant l'anticlinal de Guerbouça en séparant la dépression de la plaine de Touila de celle de la plaine de Semmar.

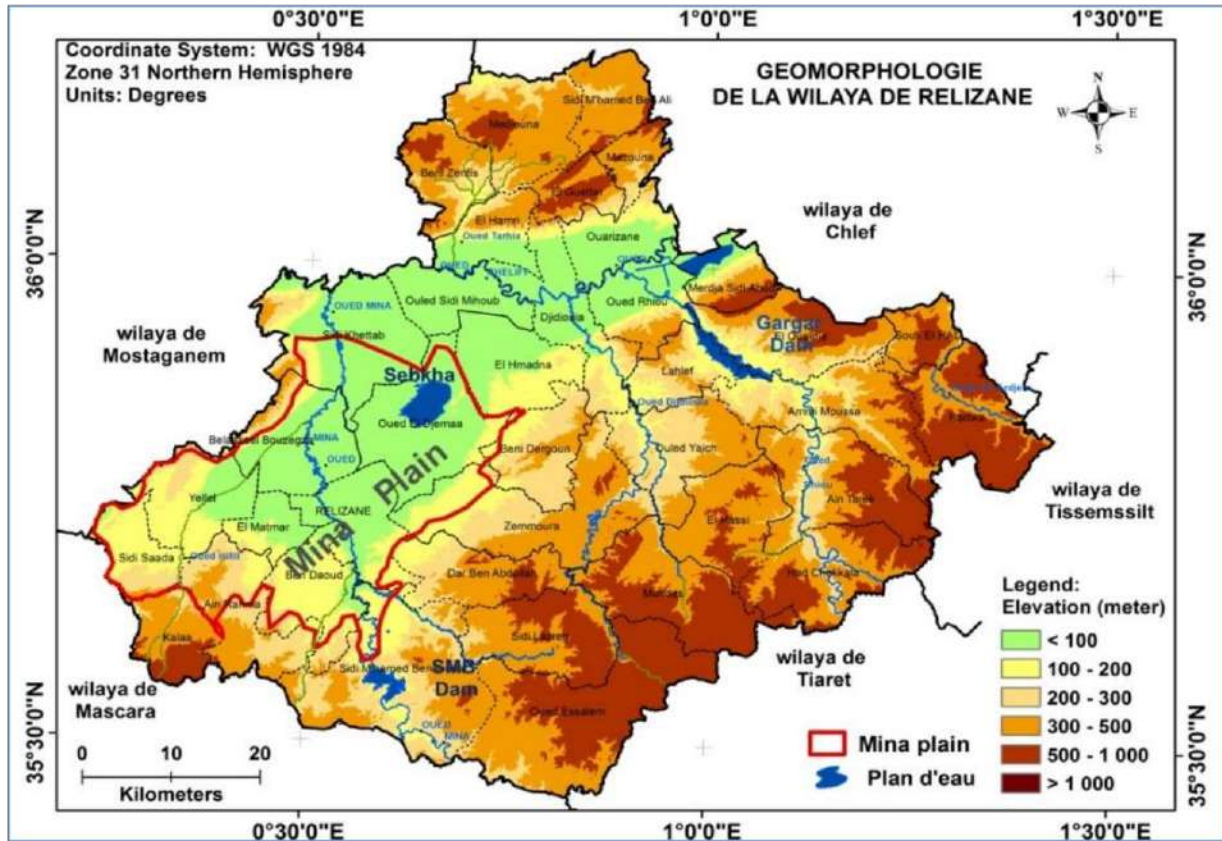


Figure 3. Ensembles géomorphologiques de la zone d'étude

Du point de vue du relief, la zone des plaines du cheliff est située de part est d'autre de la route nationale N° 04. Elle s'étend d'Est en Ouest avec une altitude qui variée entre 40 et 200 m. Occupant la partie centrale de la Wilaya, cette zone est caractérisée par des basses plaines au relief plat (fig. 4).

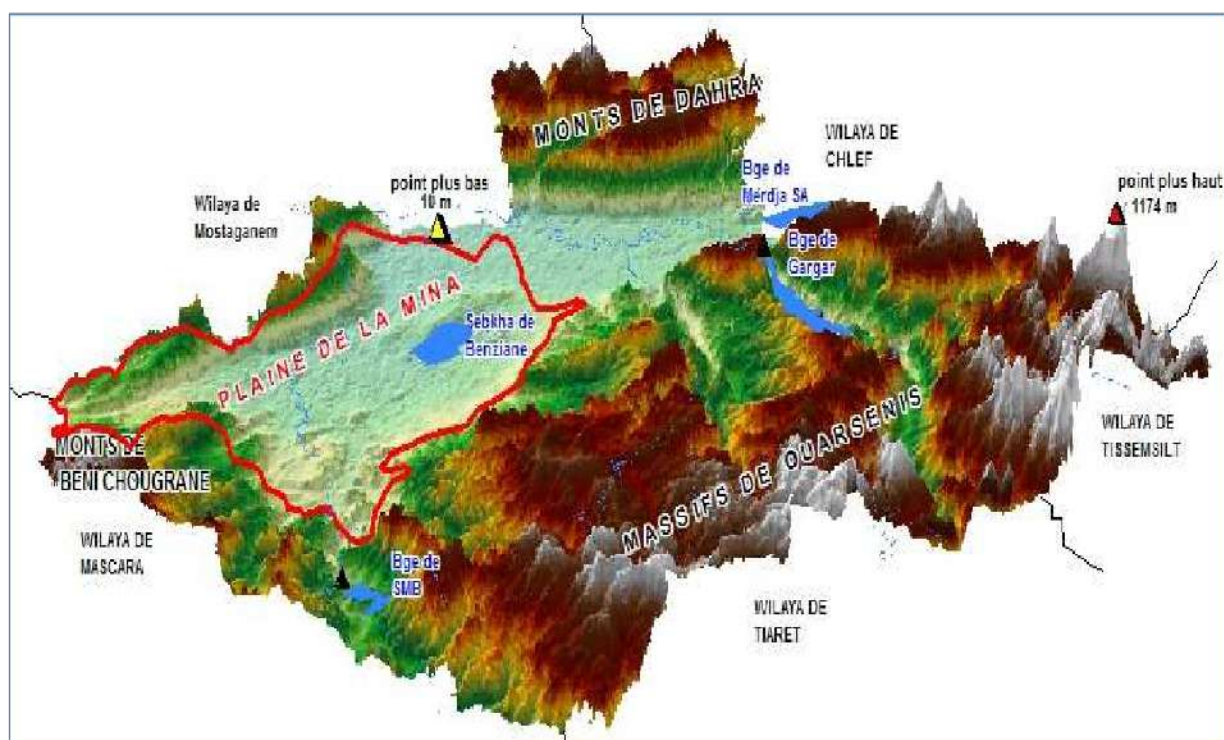


Figure 4. Modèle numérique de terrain (MNT) pour la wilaya de Relizane

1.2.2. Géologie

La plaine de la Mina est une zone déprimée dominée au sud, à l'est et l'ouest par des massifs montagneux (ANRH, 2003) :

- **Région de Hillil (Yellel) :** Au nord-ouest, elle est entourée par les monts de Belhacel, qui sont formés de grès pliocène et de sables de désagrégation de ces grès. A l'ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croûte calcaire sur le piedmont. Au sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et marne du pliocène.
- **Région de Touila-Khaourara :** A l'ouest les affleurements sont formés de grès pliocène et de marnes grises du miocène. A l'est, la plaine est séparée de la vallée de la mina par des collines formées de grès et de poudingues.
- **Vallée de la Mina :** Au sud et à l'est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes miocènes (de l'helvétien) à petits cristaux de gypse. A l'ouest la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingue encroûtés.
- **Région d'Oued Djemâa :** La partie sud-ouest d'Oued Djemâa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire.

Du point de vue géomorphologique, la plaine est caractérisée par trois types de formations géomorphologiques (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974):

- **Les glacis de piedmonts** : Ce sont des formations colluviales de piedmonts s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant, en aval à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.
- **Les alluvions** : Ce sont des formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture est variable et est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine. Dans les parties basses la texture devient plus argileuse et vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne et deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite. Dans la limite Est, ces formations sont moyennement salées.
- **Certains oueds** ont raviné des formations géologiques salées (marnes à gypse miocène du bassin versant de la Mina, massif de gypse du trias du bassin versant de l'oued Malah) qui ont déposés dans certaines zones des alluvions salées ;
- **Des alluvions salées** sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, et la partie sud de la sebkha de Benziane (action de la nappe phréatique salée dans certaines zones et ravinement de la colline argileuse salée bordant la sebkha de Benziane) ;
- **Les cônes de déjection des oueds** : Les bordures géologiques de la zone d'étude sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux à l'aval de texture variable : dans la vallée de la mina et la plaine de oued djemaa, le cône de déjection comporte une texture lourde, alors que dans les zones de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. Les couvertures sableuses sont caractérisées par des dépôts sableux épais (plus de 2m) d'origine éolienne qui proviennent des ables de désagrégation des grés pliocènes. La topographie est légèrement ondulée à uniforme. Ces dépôts sont localisés dans la plaine de Yellel au pied du massif de Belhacel.

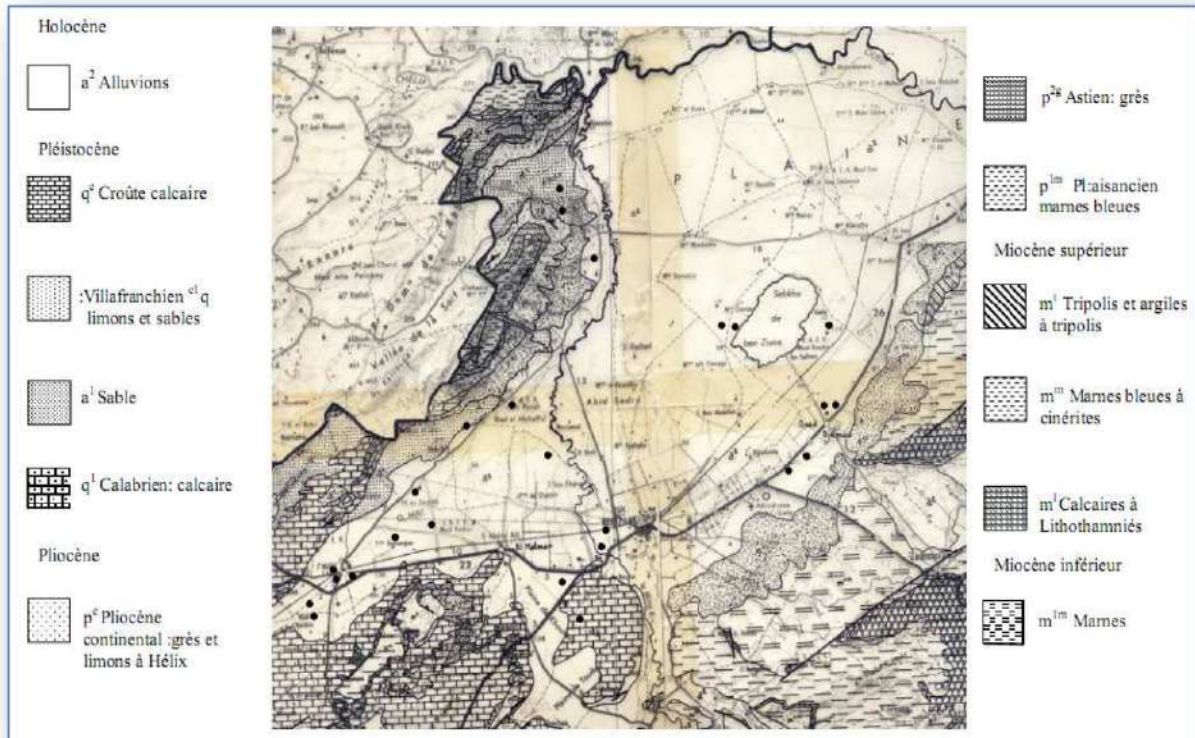


Figure 5. Carte géologique de Relizane au 1/50000 (Boualla, 2002)

1.2.3. Pédologie

La plaine de la Mina est constituée d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine (argile - limon), potentiellement salinisables, avec la présence d'un taux de calcaire appréciable. La profondeur des sols est de 1 à 1.5 m en moyenne (ANRH, 2003).

Les sols présentent, à des degrés divers, de fortes teneurs en particules fines liées à l'origine des alluviaux, des caractères vertiques, des teneurs en sels élevées et des tâches d'excès d'eau dans le profil. Les éléments fins dérivés des marnes ou argile tertiaire confèrent au sol du périmètre une cohésion et une compacité excessives. Ces sols de texture fine à moyenne sont plus argileux et souvent engorgés d'eau dans les dépressions. Ils présentent le plus souvent une faible teneur en matière organique qui décroît avec la profondeur pour devenir négligeable. Le pH est généralement voisin de la neutralité à légèrement alcalin (INSID, 2011). Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974).

1.2.4. Le climat

L'Algérie du nord est sous l'influence d'un climat méditerranéen de transition entre le tempéré et le tropical (Emberger, 1955 ; Estienne & Godron, 1970) caractérisé par une période

froide et humide allant de Novembre à Mars (hiver) et une autre chaude et sèche s'étalant d'Avril à Octobre.

La position méridionale de Nord-Ouest du pays par rapport à la zone climatique méditerranéenne, la sécheresse estivale prolongée et l'irrégularité des pluies sont autant de facteurs écologiques limitants, menaçants perpétuellement les régions naturelles. Le milieu climatique n'est favorable pour le développement des formations végétales que sur une portion assez restreinte de cette région. Cette région est caractérisée également par une aridité singulière car les perturbations climatiques abordent le Maghreb par l'ouest lorsque l'anticyclone des Açores occupe une position méridionale (Benabdeli, 1996).

D'une manière générale le climat est relativement sec sur l'ensemble de la région nord-ouest. La pluviométrie est souvent inférieure à 500 mm à l'exception des hauteurs où elle atteint 700 à 800 mm sur une étendue appréciable. Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition et le développement des plantes et la nature du sol (Boulaine, 1971 ; Torrent 1995) son analyse à l'échelle d'une région se base sur des données fournies par des stations météorologiques, nous avons fait une synthèse climatique de notre région d'étude sur la base des données météorologiques de la station de Relizane.

1.2.4.1. Les facteurs climatiques

L'étude climatique est basée sur la comparaison des données climatiques (précipitations et températures) entre deux périodes ; très ancienne (1913-1938) de Seltzer (1946) qui a été obtenue à partir du recueil météorologique, et l'autre récente (1963 - 1989 et 1990 - 2020), qui a été fournie par l'Office National de la Météorologie (O. N. M.) de la station de Relizane (tab. 1) et d'autres sources comme : l'ABH cheliff-Zahrez et ANRH. Ces dernières sont considérées comme sources des données climatiques et hydrologiques vu sa proximité de la plaine de la Mina. Les données de pluviosités et les températures sont les composantes majeures qui constituent la charnière du climat, car elles influent directement sur le sol et la végétation (Djebaili, 1984). Pour démontrer ses variations temporelles, il a été procédé à l'analyse des données climatiques de différentes périodes :

- L'une ancienne : **1913-1938**
- L'autre récente : **1963 – 1989 et 1990-2020.**

Tableau 1. Caractéristiques géographiques de la station de référence

Station météo	Altitude (m)	Coordonnées géographiques:		Période
		Longitude	latitude	
Relizane	79	0°33'36" E	35°44'48" N	(1913-1938)
				(1963 - 1989)
				(1990- 2020)

1.2.4.1.1. Précipitations

La pluviométrie varie en fonction de l'éloignement de la mer et l'exposition des versants par rapport aux vents humides (Djebaili, 1984). Cette dernière agit d'une manière directe sur la végétation et le sol. En effet le régime pluviométrique contribue dans une proportion importante au maintien et la répartition du couvert végétal. Elle est évaluée en mm par jour, par mois ou par an (Aime, 1991). L'un des traits originaux du climat en méditerrané s'exprime par l'irrégularité des pluies le long de l'année : abondantes en automne et en hiver et parfois en printemps et presque nulles en été (Aubert & Monjauze, 1946).

1.2.4.1.1.1. Le régime annuel des précipitations

L'examen des données de précipitation enregistrées durant différentes périodes étudiées, anciennes (1913-1938) selon les travaux de Seltzer (1949) et récentes (tab.2) montre de nettes variations d'une époque à une autre notamment entre la récente et l'ancienne.

Tableau 2. Moyennes annuelles des précipitations de trois périodes

Période	Pluie moyenne annuelle (mm)
Très ancienne (1913-1938)	325,0
Ancienne (1963- 1989)	302.0
Récente (1990- 2020)	290.2

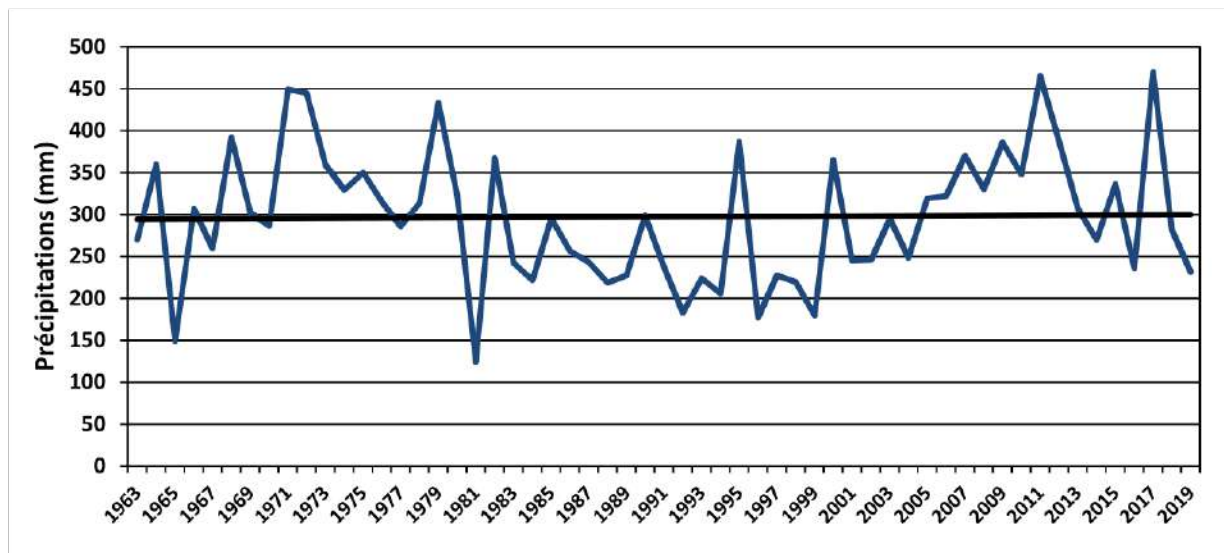


Figure 6. Variation des précipitations moyennes annuelles (période :1963-2020)

La **figure 6** représente les précipitations moyennes annuelles de 1963 à 2020 soit un nombre d'observations $N = 58$ ans.

1.2.4.1.1.2. Le régime mensuel et saisonnier des précipitations

Le tableau ci-dessous montre un régime saisonnier du type AHPE (période 1913-1938) et de type HPAE dominé pour la période (1990-2020) avec une tranche pluviométrique annuelle et saisonnière assez bien répartie. On révèle une notable différence qui se traduit par une nette tendance vers un cycle de sécheresse caractérisée par un cycle long des mois secs (mi-mars jusqu'à mi-octobre).

La zone d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de 290,2 mm (1990-2020) (carte des précipitations (fig. 8). Le maximum des précipitations moyennes mensuelles correspond au mois de novembre avec 48,3 mm, et le minimum au mois de juillet avec 0,7 mm (tab.3 et fig.7).

Tableau 3. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles durant les périodes.

Période	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	Juit	Août	Sept	Année
Ancienne (1913-	29,0	45,0	48,0	47,0	35,0	37,0	30,0	32,0	7,0	1,0	1,0	13,0	325,0
Récente (1963-	30,6	34,3	44,1	31,8	36,8	36,6	36,3	25,9	8,0	1,9	2,6	13,1	302,0
Récente (1990-	23,0	48,3	34,9	37,8	33,7	32,0	35,2	22,3	6,5	0,7	2,4	13,4	290,2

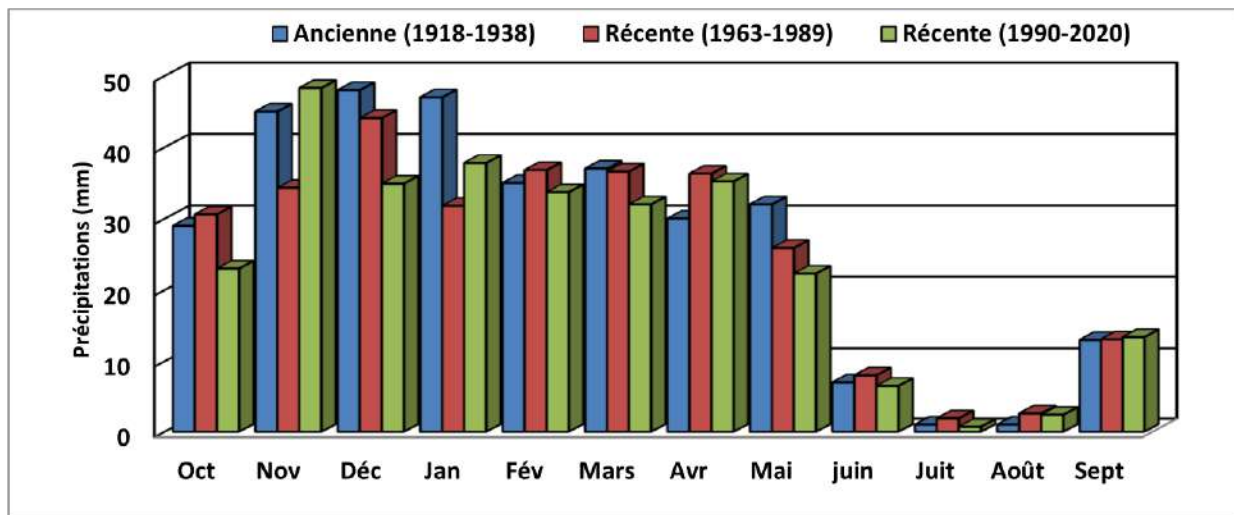


Figure 7. Répartition des précipitations moyennes mensuelles

La répartition saisonnière pour la récente période (1990-2020) s'établit de la manière suivante : L'automne : (36,6 %) des apports annuels, l'hiver : (35,7 %), le printemps (22,1%) et l'été (5,69 %). Cette répartition détermine pour la région un indicatif saisonnier (indicatif de Musset) de type AHPE identique que les d'autres périodes (1963-1989 et 1913-1938) (tab.4).

Tableau 4. Précipitations moyennes saisonnières durant les périodes.

Saison	Automne		Hiver		printemps		Eté		Moyenne (mm)
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Très Ancienne	122	37,5	119	36,6	69	21,2	15	4,62	325,0
Ancienne (1963-1989)	109	36,1	105,2	34,8	70,2	23,2	17,6	5,83	302,0
Récente (1990-2020)	106,2	36,6	103,5	35,7	64	22,1	16,4	5,69	290,2

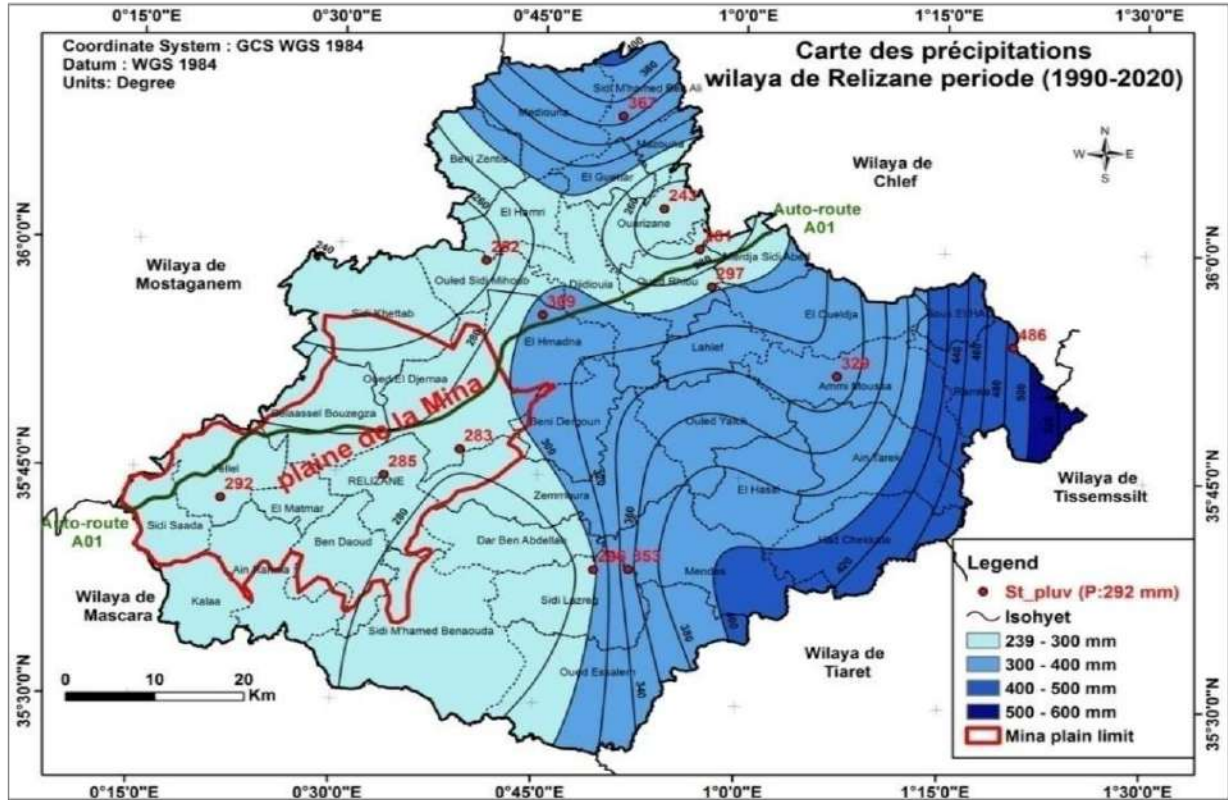


Figure 8. Carte des précipitations annuelles moyennes (1990-2020)

1.2.4.1.2. Les températures

Un élément écologique fondamental en tant que facteur climatique vital et déterminant dans la vie des végétaux. Elle conditionne en effet la durée de la période de végétation, ainsi que la répartition géographique des espèces (Aime, 1991). Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaude 38.7 °C, en Juillet, et le mois le plus froid 6.0 °C, en Janvier, où la moyenne annuelle est de 20,1 °C (tab.5).

Tableau 5. Données thermiques de la station de Relizane (périodes 1913-1938 et 1990-2020)

Période	Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	Moy	M-
Ancienne (1913-1938)	m °C	12,8	9,1	5,5	<u>4,5</u>	5,7	7,1	9,1	12,3	15,1	18,6	19,7	17,6	11,4	14
	M °C	26,4	19,9	16,1	15,3	16,9	19,8	23,4	27,8	32,1	<u>37,2</u>	37,7	32,5	25,4	
	Moy. °C	19,6	14,5	10,8	9,9	11,3	13,5	16,3	20,1	23,6	27,9	28,7	28,7	18,43	
Récente (1990-2020)	m °C	14,7	10,6	7,5	<u>6,0</u>	6,6	8,4	11,1	13,9	17,9	21,6	22,3	19,1	13,3	13,6
	M °C	28,4	21,4	17,9	16,7	18,0	21,1	24,9	29,5	34,0	<u>38,7</u>	38,5	33,2	26,9	
	Moy. °C	21,5	16,0	12,7	11,4	12,3	14,7	18,0	21,7	26,0	30,1	30,4	26,2	20,1	

1.2.4.1.3. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle (ETP) constitue le facteur primordial caractérisant la zone d'étude, à travers la restitution de l'eau évaporée par la surface du sol recouverte de végétation, Cette composante dépend entièrement du climat où se trouve la plaine de la Mina et s'appelle

(l'évapotranspiration potentielle). L'évapotranspiration est très importante au mois d'août (1990-2020) avec 7,1 mm/J par contre elle est très faible au mois de décembre avec 1,3 mm/J (**tab.6**).

Tableau 6. Evapotranspiration potentielle (ETP) moyenne (périodes 1913-1938 et 1990-2020)

Période	Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	Année
Ancienne (1913-1938)	ETP (mm) Thornwaithe	72	35	19	17	21	36	56	93	129	183	182	124	966
Récente (1990-2020)	ETP (mm) Penman	95	55	39	44	60	95	130	170	195	222	220	135	1460

Les données du tableau ci-dessus montre une notable différence de l'ETP mensuelle et annuelle qui se traduit par une nette tendance vers un cycle de sécheresse.

1.2.4.1.4. Les autres facteurs climatiques

- **La gelée blanche :** du fait du climat continental de la région, les gelées existent pendant une bonne période de l'année. Elles représentent un risque pour les cultures agricoles surtout les maraîchères en période de semis. Le nombre moyen annuel de jours de gelées blanchâtres est environ 40.
- **Le vent :** Il constituant un facteur écologique limitant dans certains biotopes par son influence négative sur le développement de végétation et par conséquence sur les rendements des cultures. Dans la plaine de Mina, les vents de direction Nord – Ouest et Ouest sont prédominants. En hiver certains vents d'ouest sont assez forts et peuvent atteindre des vitesses de 10 à 20 m/s. La vitesse moyenne annuelle du vent est 2,8 m/s.
- **Le Sirocco :** Vent sec et chaud soufflant du sud, il assèche le sol, fait augmenter l'évapotranspiration des plantes et constitue un danger pour les cultures agricoles. Le sirocco, particulièrement important, se manifeste durant la saison estivale ; le nombre moyen de jours de sirocco par an est d'environ 20 jours.
- **Humidité relative :** Une des principales caractéristiques du climat de la région est la valeur assez basse de l'humidité relative des différents mois de l'année. On constate que les taux les plus élevés de l'humidité relative sont rencontrés le matin à 6 H (80%) et le soir à 12 H (50%). Le mois le plus humide est janvier et le plus sec est celle du mois de juillet.
- **Nébulosité :** indique la portion du ciel couverte par des nuages. Lorsque totalement couvert représente un indice de 10 et clair par 0. On constate que le mois le plus couvert de l'année est le mois de janvier (3,8) et le mois le plus dégagé est celui de juillet (1,2).
- **Durée d'insolation :** La connaissance de ce paramètre est très primordiale pour l'installation des cultures agricoles ; Le nombre moyen annuel d'heures d'insolation

(1990-2020) est environ 2882 heures. Le maximum est enregistré en Juillet avec 351 heures, le minimum est enregistré en Janvier (157 heures).

1.2.4.2. Synthèse climatique

La synthèse climatique nous a permis de classer le climat de la zone d'étude afin de mieux se rendre compte sur la distribution et le comportement des différentes associations végétales et animales. De nombreux indices et formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température pluviométrie.

1.2.4.2.1. Indice d'aridité du PNUE

Proposée par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) basée sur le rapport entre précipitation et évaporation : lorsque ce rapport est inférieur à 0,03 nous sommes dans une région « hyper- aride » ; quand il est compris entre 0,03 et 0,20 il s'agit d'une région « aride » ; entre 0,20 et 0,50 une région « semi- aride » ; entre 0,50 et 0,75 une région « sub-humide sèche » (**Bied-Charreton, 2009**). Le climat de la zone d'étude est du type semi-aride selon l'indice d'aridité du PNUE (**tab. 7**).

Tableau 7. Indice d'aridité du PNUE de la zone d'étude

Zone d'étude	Période	P (mm)	ETP (mm)	Rapport P / ETP	Type de Climat
Plaine de Mina « Station de Relizane »	Ancienne (1913-1938)	325,0	966,0	0,33	Climat semi-aride
	Récente (1990-2020)	290,2	1460,0	0,20	Climat semi-aride

1.2.4.2.2. Indice de sécheresse

Le Houeroux (1989) suggère cet indice en complément du régime pluvio-thermique pour caractériser le climat méditerranéen. Il est calculé de la façon suivante :

$$Is = P \text{ (mm)} / M \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad \text{d'où :}$$

P : Moyenne des précipitations saison été (mm).

M : Moyenne des températures maximales du mois les plus chauds ($^{\circ}\text{C}$).

Selon **Emberger (1942)** « Is » ne doit pas passer la valeur de 7 pour le climat méditerranéen, par contre **Daget (1977)** a fixé le seuil à 5 pour mieux caractériser le climat méditerranéen du climat océanique. La valeur de cet indice calculé pour la station est consignée dans le tableau 8.

Tableau 8. Indice de sécheresse estivale de la station de référence.

Zone d'étude	Période	M ($^{\circ}\text{C}$)	P (mm)	Indice de sécheresse
Plaine de la Mina « Station de Relizane »	Ancienne (1913-1938)	37,2	15	0,40
	Récente (1990-2020)	38,7	16,4	0,42

Il ressort de ce tableau que la valeur de l'indice de sécheresse pour notre zone d'étude est de 0,40 pour la période (1913 -1938) et de 0,42 pour celle de la période (1990-2020). Ces faibles valeurs de « *Is* » confirment la xéricité de la saison sèche et la rareté des pluies estivales. Cette valeur caractérise nettement le climat méditerranéen (Berkane, 2016).

1.2.4.2.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls & Gausson (1953).

La sécheresse n'est pas le résultat de l'absence totale des précipitations mais de leur faiblesse qui se conjugue aux fortes chaleurs (Bagnouls & Gausson, 1953). En effet un mois est considéré comme étant sec lorsque le total mensuel des précipitations est égal ou inférieur au double de la moyenne des températures soit : $P = 2T$.

- **P** : Précipitations moyennes mensuelles (mm).
- **T** : Températures moyennes mensuelles (°C).

Ils proposent un modèle de représentation graphique où ils juxtaposent les températures et les précipitations. La sécheresse se manifeste alors lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière (fig.9).

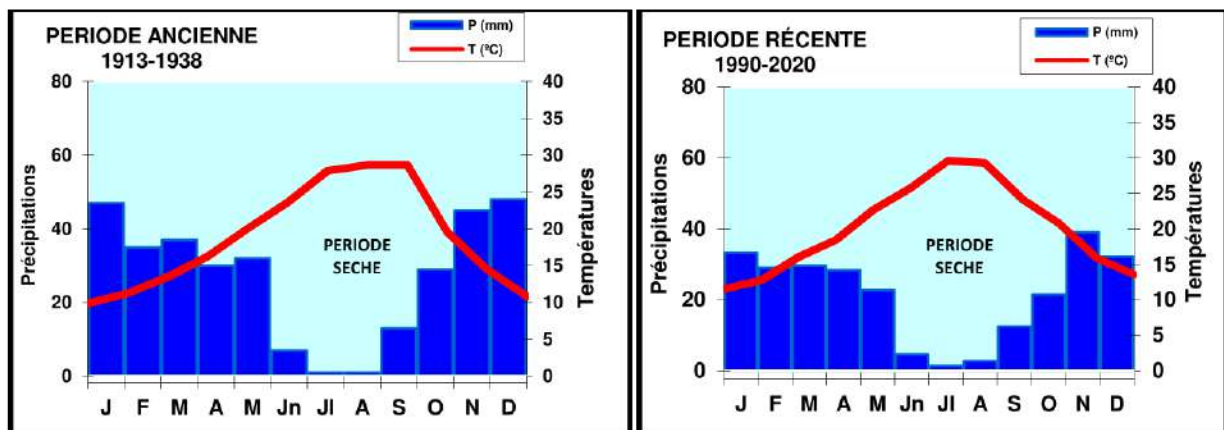


Figure 9. Diagrammes ombrothermiques de la zone d'étude périodes (1913-1938) et (1990-2020)

L'analyse de deux diagrammes permet de visualiser une période pluvieuse qui s'étend généralement d'octobre à la fin d'avril et une séquence sèche bien accusée pour le reste de l'année (du mois d'avril jusqu'au mois de mi-octobre). Toutefois les mois de juin, juillet, août et septembre demeurent les mois les plus secs pour les deux périodes. Pour ce qui est de la période sèche, en plus de la longueur de la mauvaise saison, les pluies printanières marquent une grande baisse ces dernières années.

La végétation passe donc une saison très dure marquée par des perturbations sur le plan physiologique d'où la nécessité de l'irrigation pour combler le déficit hydrique (Berkane, 2016).

1.2.4.2.4. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger (1955)

Ce quotient nous permet de déterminer l'ambiance bioclimatique d'une région où règne le climat du type méditerranéen, en faisant intervenir les précipitations, les températures maximales et minimales selon la formule suivante :

$$Q2 = \frac{1000P}{\frac{(M-m)(M2-m2)}{2}} = \frac{2000P}{M2 - m2}$$

Le positionnement sur un tel diagramme est établi par le Q2 calculé à partir de la formule suivante : $Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$

P : moyenne des précipitations annuelles (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$).

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré kelvin ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$).

Pour définir l'étage bioclimatique, nous avons utilisé le climagramme pluviothermique de **Sauvage (1963)** qui combine la température et la pluviométrie. Les quotients obtenus et l'ambiance bioclimatique correspondants sont indiqués dans le tableau 9.

Tableau 9. Ambiance bioclimatique de la plaine de la Mina.

Zone D'étude	Période	M (°K)	m (°K)	P (mm)	Q2	Ambiance bioclimatique	
						Etage	Variante
Plaine de Mina	(1913-1938)	310,4	277,7	325,0	35,80	Aride supérieur	Tempéré
	(1990-2020)	311,9	279,2	290,2	30,03	Aride moyenne	Tempéré

Les résultats obtenus nous ont permis de situer la zone d'étude sur l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver tempéré pour la période 1913-1938 et sur l'étage aride moyen pour la période 1990-2020 (**fig.10**).

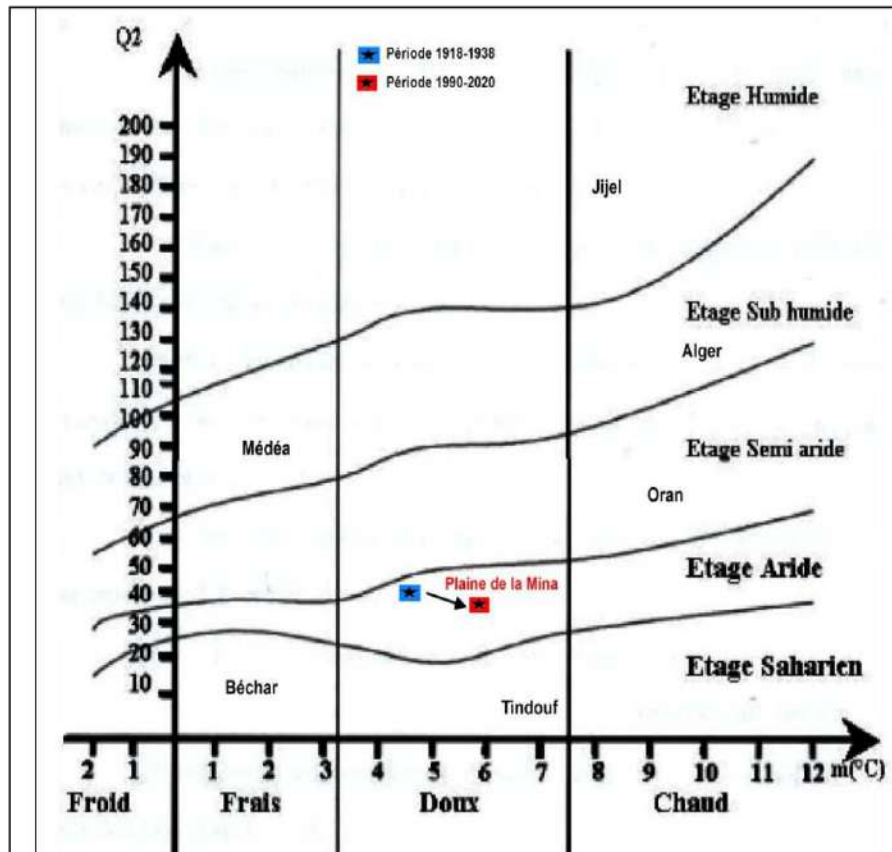


Figure 10. Localisation de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.

1.2.5. Les ressources hydriques

1.2.5.1. Les eaux superficielles

D'un point de vue hydrologique, la plaine de la Mina chevauche un bassin versant de la Mina qui fait partie d'un grand le bassin versant de l'Oued Chélif.

La mise en eau du barrage de Sidi M'hamed Benaouda en 1978 avec une capacité de 225 Hm³ qui pouvant régulariser jusqu'à 120 Hm³ /an (tab. 10), et a permis l'exploitation du potentiel en eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina., Toutefois en raison des dérèglements climatiques ces dernières décennies, le volume stocké actuellement ne guerre dépasse est de 50 Hm³ ce qui influe considérablement sur l'irrigation des cultures de périmètre irrigué.

Tableau 10. Caractéristiques du barrage de la plaine la Mina

Barrage	Date de mise en eau	Capacité Initiale/Actuelle Hm ³	Volume régularisé Initial/Actuel Hm ³	Usage	Grand Périmètre Irrigué
S.M.Benaouda	1978	225/153	120/50	AEP-Irrigation	La Mina

Source : DRE de Relizane, 2016

1.2.5.1.1. Réseau hydrographique de la plaine de la Mina

La vallée de la Mina, affluent du Chélif inférieur, est sensiblement parallèle à celle de la Habra. Cette vallée est celle de ces affluents principaux, oued El-Abd et oued El-That, ont leur origine à la lisière des Hauts-Plateaux descendant du Sud au Nord et traversent une région très montueuse entre des falaises de grès profondément érodées (Toumi, 2013).

Le bassin de l'Oued Mina draine une superficie de 8200 km² comprise depuis les hautes terres (monts de Frenda) jusqu'à la mer Méditerranée par le biais de l'Oued Chélif. Les principaux affluents prenant naissance à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Mina sont :

- Oued Abd, prend naissance des monts à partir des monts de Sidi Youcef et Boudfir et draine le djebel d'Argoub, Toukiret, Moualek et Djebel Maida.
- Oued Taht draine les monts de Kaf Safsaf passant par les monts de Keskas et Coulamzan.
- Oued Haddad draine les monts de Loukda.
- Oued Kreloua, draine les monts de Sidi Yahia et de Bou Barha.

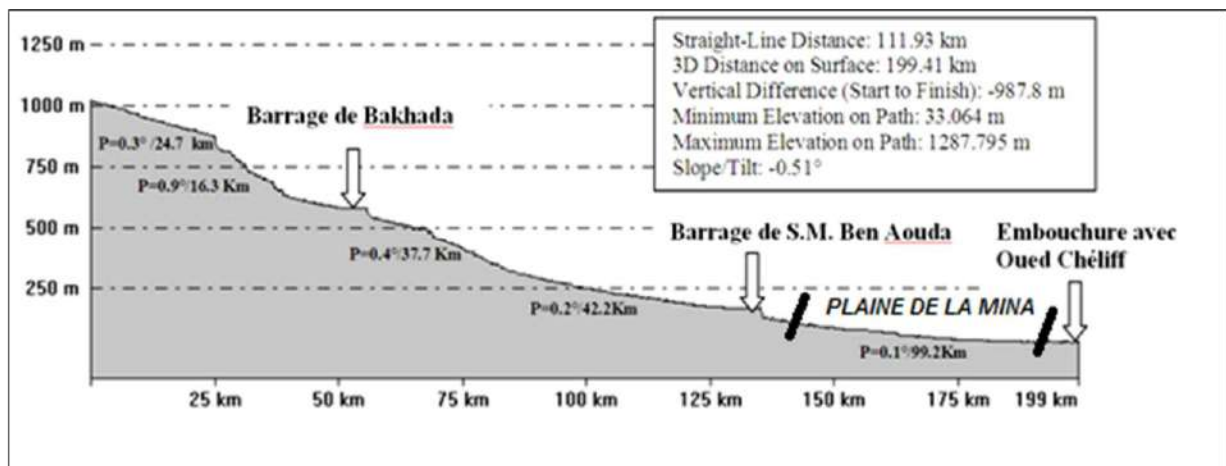


Figure 11. Profil du cours d'eau principal du bassin versant (Toumi, 2013).

A 200 m d'altitude se situe le barrage de Sidi M'Hamed Benaouda sur l'oued Mina qui rejoint l'oued Chélif environ 80 Km à l'aval du site du barrage (fig. 12). A quelques kilomètres en amont du barrage de S.M. Benaouda, l'oued Mina est contrôlé par le barrage de Bakhada (à 600 m) qui draine un bassin de 1300 Km² (Toumi, 2013). Dans la plaine de la Mina, il existe deux principaux oueds : l'oued Yellel à l'est et l'oued Mina au centre qui reçoit un affluent salé au sud du périmètre : l'oued Malah (fig. 12). Le réseau hydrographique est constitué par l'Oued Mina qui draine les reliefs de l'Ouarsenis et est considéré comme l'un des principaux affluents de l'Oued Cheliff. Ces oueds charrient tous les eaux saumâtres par suite de l'existence de sources salées et du lessivage des terrains salins triasiques et miocènes de l'amont. Ces eaux s'infiltrant

et s'accumulent dans les couches sablonneuses inter stratifiées entre les argiles salées et constituent des nappes qui s'écoulent souterrainement, se dispersent et viennent soudre dans les petites dépressions imperméables où elles forment des marais après les fortes pluies d'hivers et les irrigations trop abondantes.

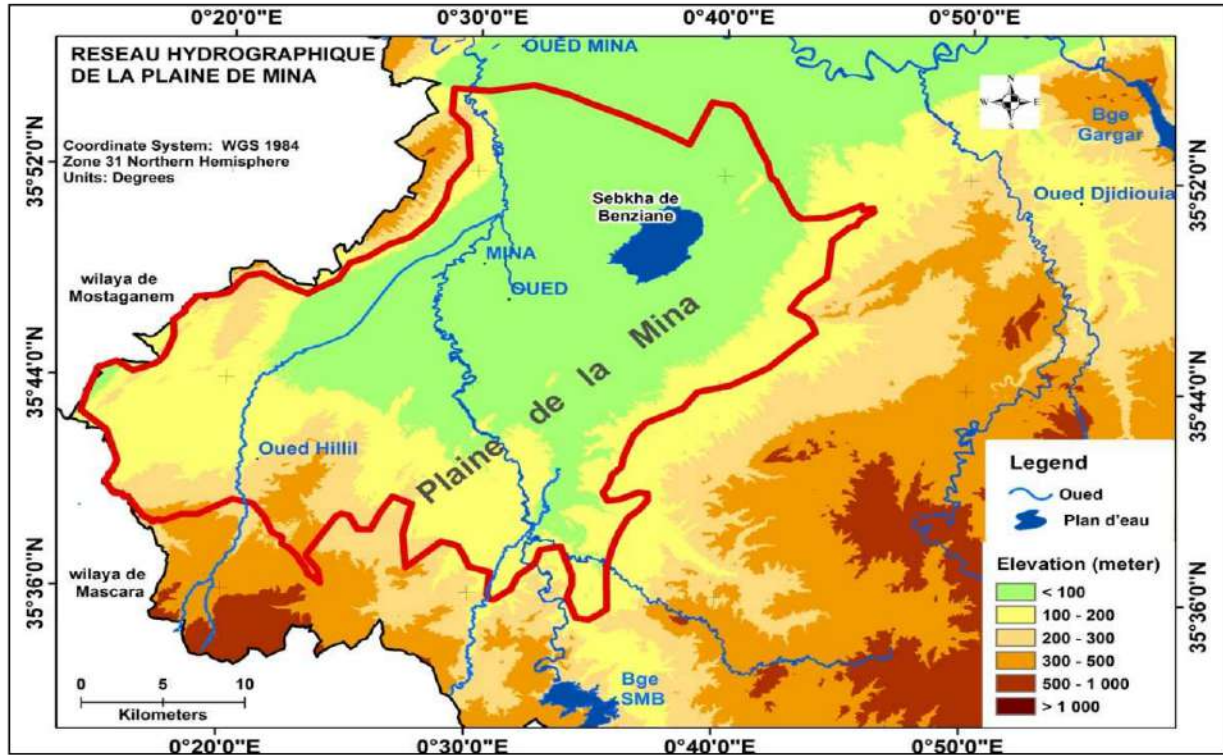


Figure 12. Carte du réseau hydrologique de la zone d'étude

1.2.5.2. Les ressources en eau souterraines

Les eaux souterraines captées dans la plaine de la Mina sont utilisées pour l'agriculture, l'alimentation en eau potable (AEP) et l'industrie ont pour origine les principales formations aquifères suivantes :

- Nappes alluviales monocouches des vallées alluviales (Oued Rhiou, Oued Djidiouia, Oued Mina et Oued El Ardjem),
- Nappe Alluviale de la plaine du Bas Chélif /La Mina.

Le tableau ci-dessous représente les différentes nappes souterraines, localisations et leurs réserves utiles en eau dans la wilaya de Relizane. Selon ANRH, (2012), les potentialités hydriques souterraines renouvelables disponibles sont estimées de l'ordre de 23 Hm³/an.

Tableau 11. Nappes de la plaine de la Mina

Dénomination de la nappe	Localisation	Région agricole	Réserves utiles Hm ³
Quaternaire de la Mina	Yellel, Matmar, Relizane, O/Djemaa, Sidi Khattab, Belhacel Bouzegza	Plaine de la Mina	23

Source : DRE de Relizane, 2016

Sur le plan hydrogéologique, on distingue sur la plaine de la Mina, plusieurs horizons aquifères plus ou moins bien individualisés. Séparés les uns des autres par des couches d'argiles discontinues. Il existe donc des interconnexions hydrauliques entre tous ces horizons.

A partir de l'analyse lithologique et structurale, on peut distinguer dans la plaine de la Mina en trois (03) unités hydrogéologiques : plaine alluviale de la Mina, plateau de Mostaganem et les alluvions d'Oued Mina (**fig. 13**). On peut aussi détailler la plaine de la Mina en cinq (05) aquifères potentiels connus, du plus récent au plus ancien :

- Les alluvions récentes.
- Les alluvions anciennes, y compris les sables des dunes continentaux.
- Les grés à Hélix.
- Les grés à Ostréa.
- Les calcarénites du sommet des marnes bleues.

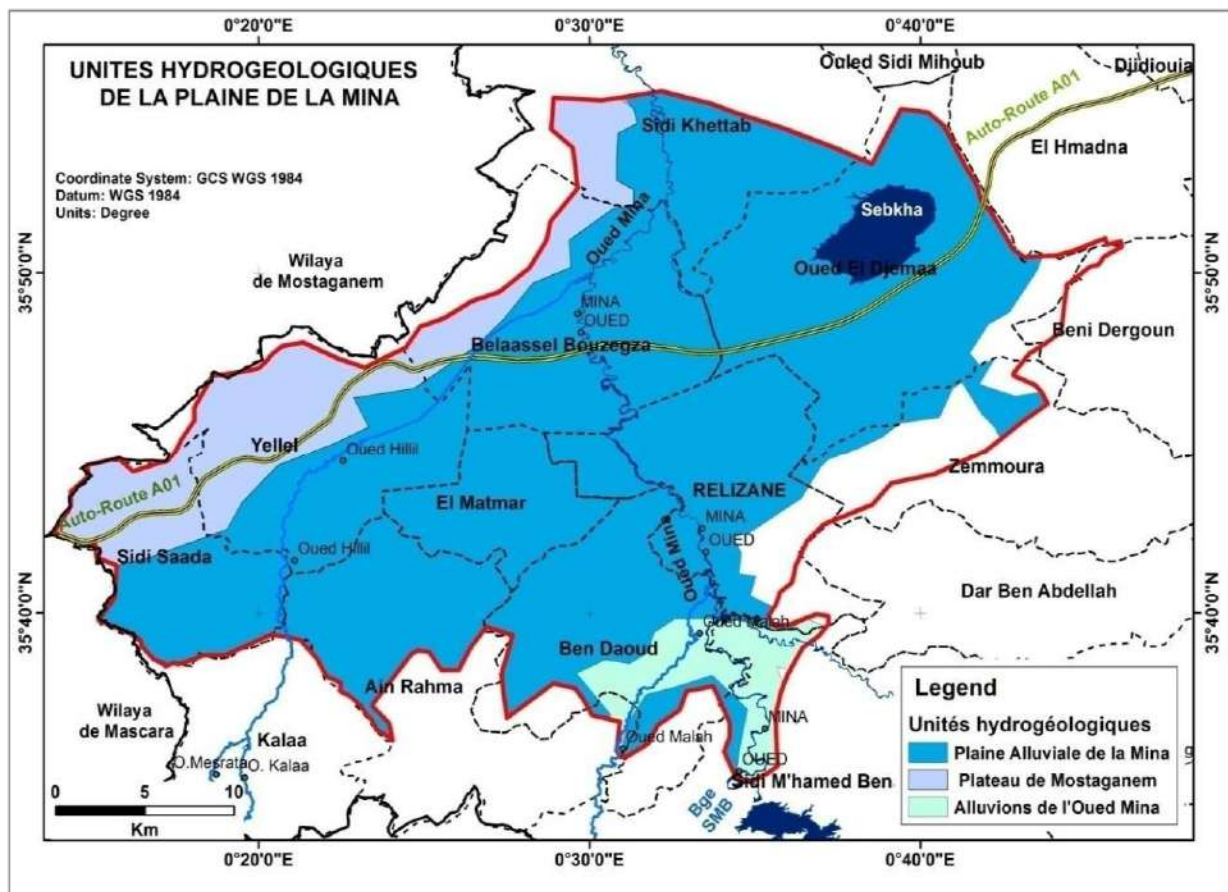


Figure 13. Principales unités hydrogéologiques de la zone d'étude

1.3. Caractérisation de la composante biologique

1.3.1. La biodiversité végétale

La végétation constitue un élément important du milieu physique. D'ailleurs elle n'est que le reflet de la qualité du sol et bien sûr du climat (**Benabdeli, 1996**). La plaine de la Mina

comporte deux catégories de plantes, la végétation anthropogène (agro diversité) qui occupe les terrains cultivés et la flore spontanée qui pousse dans les autres espaces (Berkane, 2016) :

1.3.1.1. La flore cultivée

Les espèces de cette catégorie appartiennent à une douzaine de familles botaniques, on peut les répartir selon le port en trois strates.

1.3.1.1.1. La strate arborée

Elle est occupée par une dizaine d'espèces fruitières, dominées par les agrumes : l'oranger (*Citrus sinensis* L.) avec les variétés communes locales, WASHINGTON et Thomson Navel, Double Fine, Portugaise, Sanguine, Valenci Late et Canader A en plus des autres variétés dispersées dans les vergers comme le bigaradier (*Citrus aurantium* L.). Les autres agrumes sont la clémentine (*Citrus climentina*) avec ou sans pépin, le mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco.), le citronnier (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) avec deux variétés Limon et Citron et la pamplemousse (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.).

L'autre groupe d'arbres est formé de rosacées : le pommier (*Pyrus malus* L.) représenté par quatre variétés, Yorka, Reinette, Golden Dilicieux et Ana. Le poirier (*Pyrus communis* L.), dont on distingue une seule variété, Santa Maria, le prunier (*Prunus domestica* L.) avec la variété Golden Japan, le Néflier (*Erybothria japonica* (Thunb.) Lindl.) et plus d'autres Prunus comme le pêcher (*Prunus persica* L.) variété de Nectarine, le cerisier (*Prunus cerasus* L.) variété Burlat et l'abricotier (*Prunus armeniaca* L.) dominée par deux variétés Canino et Bullida et le cognassier (*Cydonia oblonga* Mill.)

L'olivier (*Olea europea sativa* L.) est représenté par les variétés : Sigoise, Verdelle Sevellane, Chemlal et Corni Capra.

La liste se complète par les arbres rustiques : le grenadier (*Punica granatum* L.) avec une variété très délicieuse Sefri et le figuier (*Ficus Carica* L.), dont on peut distinguer sur la base du fruit, une variété Bakor (le précoce) à grosses figues noirâtres, une autre à fruits jaunes, la troisième à figues verdâtres et variété Chetoui.

1.3.1.1.2. La strate basse (herbacée)

Cette strate est la plus diversifiée, ses espèces sont réparties entre maraîchage, fourrages, céréales et cultures industrielles. Nous citerons :

- **Les Astéracées** : Artichaut (*Cynara scolymus* L. Benth.) Espèce originaire des régions méditerranéennes, Plante herbacée pérenne tolérante à la salinité, parmi les variétés cultivées : Violet de Provence, violet d'hyeres, blanc d'hyeres... On note aussi d'autre culture dans la même famille la laitue (*Lactuca scorialis*) variété de beurre pommée et laitue à couper

- **Les Apiacées** : la carotte (*Daucus carota* L.) deux variétés Super Muscade, MUSCADE et Céleri Branche (*Apium graveolens* L.)
- **Les Liliacées** : l'oignon (*Alium cepa* L.), l'ail (*Alium sativum* L.) deux variétés Rouge local, Rose de Kabylie,
- **Les Chénopodiacées** : la betterave (*Beta vulgaris* L.), l'épinard (*Spinacia olearacea* L.),
- **Les Brassicacées (crucifères)** : le navet (*Brassica campestris* L.), le radis (*Raphanus sativu sL.*), le Chou (*Brassica oléracea* L.) et le Chou-fleur (*Brassica oléraceaL.*), ces cultures sont très localisées dans la partie ouest de la plaine dans des jardins potagers (commune de Yellel et Sidi Saada);
- **Les Solanacées** cultivées sont : la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) représentées par les variétés Spunta, Fabula, Nicola, Diamant, Timate, Atlas, Bartina, Désirée, Kondor l'aubergine (*Solanum melongena* L.), la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) et le piment et poivron (*Capsicum annum* L.).
- **Les Fabacées** : la fève (*Vicia faba* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et le Haricot (*Phaséolus vulgaris* L.) ;
- Le maraîchage pratiqué se compose aussi de **Cucurbitacées**, dont le concombre (*Cucumis sativus* L.), la courgette (*Cucurbita pepo* L.) et le potiron (*Cucurbita maxima* Duchesne.). On cite également dans la même famille, la pastèque (*Citrullus vulgaris* Schrad.) et le melon (*Cucumis melo* L.) dont la variété cultivée dominante dans la plaine est Jaune Canaria, elle peut atteindre des dimensions énormes,
- Les **Lamiacées** (Labiées) : La menthe (*Mentha aquatica*)
- On note enfin deux **Ombellifères** : le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.,) et le persil (*Pétroselinum crispum* Mill. Fuss).

Concernant les céréales : face aux conditions climatiques méditerranéennes caractérisées par des variations interannuelles des précipitations ainsi que leur distribution irrégulière au cours de la saison de croissance, toutes les céréales et leurs variétés sélectionnées sont précoces et mieux adaptées aux régions arides et semi-arides.

Le blé dur (*Triticum turgitum* L. var.durum) les variétés cultivées dans la zone sont : Vitron, Waha, Simeto et Chen's, pour le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) on rencontre plusieurs variétés dont les plus cultivées : Arz (Beni Slimane), Anza, HD 1220 (Hidab) et Ain Abid, en plus de deux céréales cultivées dans la zone, c'est l'orge (*Hordeum vulgare* L.,) qui vient en seconde après le blé dur, les agriculteurs locaux cultivent plusieurs variétés à destinations différentes : Saïda 183 (semi-précoce), Raihane (précoce), Fouara et Tichedriet dont la plus emblavée c'est la variété de Saida 183 : destinée à la consommation humaine ou principal

fourrage des bétails. Les autres fourrages sont : l'avoine (*Avena sativa* L.), la vesce avoine, la luzerne (*Medicago sp* L.) et le sorgho (*Sorghum sp.* Moench.).

1.3.1.2. La flore spontanée

La flore nord-africaine est très proche de celle du domaine méditerranéen d'Europe avec cependant un caractère nettement xérothermique (**Benabdeli, 1996**). Par flore méditerranéenne on entend l'ensemble des plantes que l'on peut trouver sur le pourtour méditerranéen, de l'Espagne à la Turquie, et les côtes de l'Afrique du nord.

Ce que ces plantes ont de commun, c'est une bonne adaptation à leur environnement et à leur climat. Leur cycle est inversé par rapport à ceux des autres flores par exemple. Durant les mois d'été, qui sont des mois de sécheresse prononcée pour ces régions (le cas du Nord-Ouest algérien), ces plantes se mettent en repos végétatif, on parle alors d'estivage : elles ne fleurissent pas. En septembre et octobre, avec l'arrivée des pluies, la végétation redémarre. L'hiver étant doux, elle continue à se développer pour fleurir dès la fin de l'hiver. L'arbousier *Arbutus unedo* par exemple, fleurit en octobre (en même temps que ses fruits sont disponibles), l'asphodèle *Asphodelus s.* (**Chaabane, 2010**). Les feuilles de ces plantes sont souvent petites et charnues.

Les herbacées évitent quant à elles les rudes conditions estivales. Elles germent rapidement en automne, poussent en hiver, fleurissent et fructifient au printemps, juste avant la sécheresse. Elles se distinguent par un ensemble d'adaptations morphologiques et physiologiques, qui font face à la rigueur des facteurs climatiques (xérothermique), dont la lignification des tissus, l'absorption de l'eau sous toutes ses formes et la limitation de ses pertes, les caractéristiques de la partie aérienne et le raccourcissement du cycle végétatif.

A l'inverse de la précédente catégorie de plantes, qui vivent et se développent grâce à l'entretien de l'homme, la végétation spontanée dépend des conditions naturelles, des facteurs édaphiques particulièrement. C'est pour cette raison que les études d'inventaires floristiques, du moins dans cette zone sauf que quelques recueils des espèces de la faune et la flore établi par les services de la protection de la biodiversité de la conservation des forêts de Relizane, abordent cette catégorie à travers la diversité géomorphologique de la zone. La géomorphologie offre une diversité de biotopes, dont le bassin versant de la Mina et leur relief plat dans la partie étudiée (altitude inférieure à 200 m), prédominance des alluvions et de sable (90% de la lithologie de la zone) et aussi la salinité des sols sont les types de biotope les plus variés (**Chaabane, 2010**).

Dans le cas de notre plaine, on rencontre les différentes strates de la végétation spontanée, on peut citer les espèces suivantes :

Les espèces à port buissonnant, arboré ou arbustive offrent du bois: Cyprès (*Cupressus sempervires* L.), Casuarina (*Casuarina collina* Poiss. ex Pancher & Sebert.,), Acacia avec les

espèces : mimosa à large feuilles (*Acacia pycnantha* Benth.), *Acacia cyclops* (*Mimosa cyclope* Mill.), *Acacia mimosa* (*Mimosa hérissé*), Figuier de berbère (*Opuntia*), Rétame (*Rétama rétama*) et quelques pins : pin d'Alep (*Pinus helpensis* L.), pin pignon ou pin parasol (*Pinus pinea*), chêne Kermès (*Quercus coccifera*), Olivier (*Olea europaea* spp *oleaster*), caroubier (*Ceratonia siliqua*), Eucalyptus avec deux espèces : *Eucalyptus camaldulensis* et *Eucalyptus cladocalyx* dispersées dans la plaine (**Photo 1**) .

Ces espèces végétales disposées en limites de parcelle pour assurer diverses fonctions : offre du bois, utilisées comme brise vent, séparation des propriétés ou la protection contre l'intrusion comme le cyprès, casuarina, acacia.

D'autres plantes vivaces : La Sedra ou jujubier sauvage (*Zyziphus lotus*), la Tarfa ou le tamaris (*Tamarix articulata*), laurier rose (*Nerium oleander*), filaire à feuilles étroites (*phillyrea angustifolia*) et passerine hérissée (*Thymelaea hirsuta*) offrent aussi du bois.

La flore spontanée fournit aussi des plantes à vertu médicinale comme l'Eucalyptus, le Cyprès, Pin d'Alep, le Feijel ou le Rue (*Ruta tuberculata*).

Nerprun alaterne (*Rhamnus alaternus*), Asperge commun (*Asparagus acutifolius*), Guettaf ou l'Atriplex (*Atriplex halimus*), Ndjl ou la Suéda (*Suaeda fruticosa*), Fumana élevée (*Fumana calycina*), Oseille d'aristide (*Rumex aristidis*) et Alfa (*Stipa tenacissima*). Ces plantes dont le Guettaf et Ndjl (végétation halophyte) occupant une grande surface de pâturage dans la zone constituent des fourrages pour des petits troupeaux mixtes de chèvres et de moutons. Il existe encore plusieurs plantes éphémères, dont : le Saadane (*Neurada procumbens*), le khobaiz (*Malva aegyptica*), l'épinard (*Spinacia olearacea*), l'Ortie le Hadj (*Colocynthis vulgaris*), Aneb edib (*Solanum nigrum*), le Kikout (*Panocratium saharae*) et le Guiz (*Dipcardi serotinum*).

Pour la flore adventice : les études botaniques et phyto-sociologiques des mauvaises herbes des grandes cultures en Algérie sont anciennes et montre la diversité de la flore adventice en relation avec le milieu physique et les cultures (**Deslabre, 1945 ; Chevassus, 1971 cité par ITGC, 1995**)

La flore adventice se compose des espèces suivantes :

- La folle avoine (*Avena sterilis* L) une forte infestation de cette adventice réduit considérablement le rendement du blé ;
- Le brome (*Bromus ssp*) plusieurs espèces sont présentés les plus importantes sont les suivantes : brome rigide (*bromus rigidus Roth*) et Brome de Madrid (*Bromus madritensis*)
- Les ray-grass annuels avec deux especes : Ray-grass rigide (*Lolium rigidum L*) et ray- grass d'Italie (*Lolium multiflorum lam*) ;

- Les alpistes annuels (*Phalaris*) trois espèces sont souvent rencontrées : *Phalaris déformé* (*Phalaris paradoxa* L), *phalaris à épi court* (*Phalaris brachystachys* Link) et *Phalaris mineur* (*Phalaris minor* retz)
- Moutarde des champs (*Sinapis arvensis*)
- Ravenelle
- Coquelicot (*Papaver rhoeas* L)
- Capselle bourse à pasteur (*capsella bursa-pastoris* L)
- Chiendent officinal (*Elytrigia repens*)
- Petit pois sauvage (*Pisum sativum arvense*)
- Camomille (*Anthemis nobilis*)
- Mélilot (*Melilotus albus*)



Cupressus sempervirens L



Ziziphus lotus



Eucalyptus camaldulensis



Atriplex halimus

Photo 1. Quelques espèces de la flore spontanée dans la plaine de Mina

Concernant l'utilisation de la flore naturelle arborée et arbustive, il faut noter que ces plantes ligneuses en associant avec la culture et/ou l'élevage si bien aménagée et entretenue présentent des emplois multiples fonctionnels : les haies brise-vent, l'ombrage pour l'homme et l'animal, et productifs : source de bois et de fruits, une vertu médicinale, fourrage pour le bétail (Berkane, 2016).

13.2. La biodiversité animale

Un inventaire de la faune, établi volontairement en 2010 par les services de la protection de la biodiversité animale et végétale de la conservation des Forêt de la wilaya de Relizane, dans les trois régions : massif d'Ouarsenis, monts de Dahra et Beni Chougrane et la plaine de Bas du

Cheliff, a révélé la présence de centaine espèces d'Invertébrés, dominées par la classe des Insectes, et environ 80 espèces de Vertébrés, en majorité des oiseaux. En outre, cet inventaire a montré que la faune des zones montagnardes (Sud-est et Nord) sont fortement similaires en matière de diversité faunistique. Au niveau de la plaine de la Mina, la faune est constituée des espèces suivantes :

- **Les Mammifères :** En plus des espèces domestiques : mouton, chèvre, vache, lapin, âne, mulet, chien et chat, on rencontre le Hérisson d'Afrique du nord (*Erinaceus algirus*) et le Sanglier (*Sus scrofa*), des rongeurs dont le la souris domestique (*Mus musculus*), le Lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*), Gerboise et Chauve-souris. D'autres espèces, on rencontre aussi le lièvre brun (*Lepus capensis*), le chat sauvage (*Felis sylvestris*) (**Photo 2**).
- **Les oiseaux :** Les plus connus dans la plaine sont : le Moineau domestique (*Passer domesticus*), la tourterelle des bois (*Streptopelia semequale*), la pie bavarde (*Lanius excubita*), la perdrix gabra (*Alectorica barbara*), et le pigeon (*Columba livia*) et autres plus ou moins abondant comme la Caille de blés.

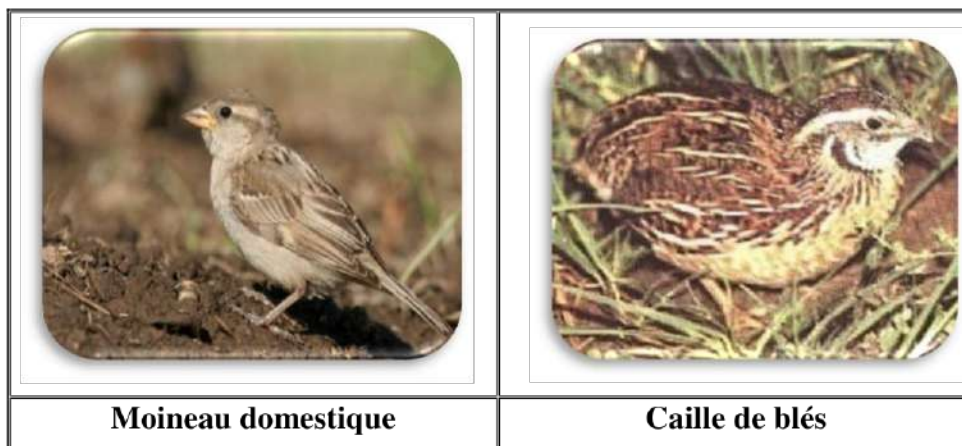


Photo 2. Quelques espèces animales dans la plaine de Mina

- **Les reptiles :** En plus des mammifères et des oiseaux cités, les reptiles sont représentés par plusieurs espèces telles que l'agame, le caméléon commun, le lézard, la couleuvre, et la vipère.
- **Les invertébrés :** Ce sont les insectes et les acariens qui sont les plus abondants et les plus diversifiés. Parmi l'entomofaune, on cite la cochenille et de nombreuses espèces de papillons, coccinelles, mouches, criquets et pucerons.

CHAPITRE II :
DIAGNOSTIC DES SYSTEMES
AGRAIRES

CHAPITRE II : Diagnostic des systèmes agraires

1. Méthodologie et outils de travail

Le secteur agricole de la wilaya de Relizane en général et les plaines en particulier font face à des problématiques agro-environnementales diverses : la dégradation des sols (la salinité), l'utilisation intensive des intrants chimiques, la monoculture, la perte de biodiversité, les fluctuations climatiques, etc. Les pratiques agricoles modernes et inadaptées menacent la durabilité des exploitations agricoles et par conséquent la sécurité alimentaire. Les différents impacts néfastes de l'intensification des pratiques agricoles ont amplifié les contraintes environnementales.

Une contrainte majeure à une gestion durable de développement agricole dans les zones arides et semi-arides est l'absence d'une connaissance fiable des dangers et des risques agro-écologiques et des niveaux des ressources naturelles existantes.

Dans une perspective de développement durable de la plaine, notre étude consiste à identifier les dangers et les risques agro-écologiques au travers un inventaire des dangers, une évaluation de la gravité des risques et ceci pour contribuer et intervenir afin de minimiser ces risques et résoudre certains problèmes liés au développement agricole durable.

Après un diagnostic du milieu géographique et socioéconomique de la plaine de la Mina, tout en mettant exergue l'occupation du sol et le diagnostic des agrosystèmes pour nous permettre une meilleure connaissance du milieu géographique, des caractéristiques des exploitations et les aménagements réalisés, une identification des dangers et des risques agro-écologiques au travers d'un inventaire des dangers est impérative. Les données recueillies feront l'objet d'une évaluation de la gravité des risques et dont les résultats seront valorisés par une cartographie thématique numérisée intelligible servant à tout moment d'outil de prise de décision par les acteurs concernés.

En plus de la première étape basée sur la caractérisation écologique de l'espace agricole de la zone d'étude (chapitre1), les autres étapes de cette démarche seront réparties comme suit:

- Diagnostic des systèmes agraires et de l'état des connaissances sur la gestion des risques,
- Typologie des risques agro-écologiques.
- Evaluation des impacts des risques agro-écologiques,
- Cartographie des risques agro-écologiques,
- Stratégie de gestion des risques agro-écologiques.

Les principales sources d'informations utilisées sont la bibliographie et les différents structures et instituts, les enquêtes et observations sur terrain. La bibliographie propre à la zone

d'étude est nombreuse, elle est liée aux documents techniques comme le PATW (Plan d'Aménagement du Territoire de la wilaya de Relizane), le PDAU (Plan Directeur de l'Aménagement Urbain) et le POS (Plan d'Occupation des Sols), les recueils et les statistiques de la direction des services agricoles (DSA), la direction des ressources en eau (DRE), etc., ainsi que la monographie de la wilaya, la cartographie et les SIG. D'autres sources traitant et étudiant la plaine de Mina, la wilaya et le Nord algérien en général sont également exploitées comme le projet de l'INSID (2011) « Salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina (Relizane, Algérie) ».

Concernant les enquêtes, un questionnaire a été établi basé sur des questions ouvertes favorables au développement de l'entretien, contrairement aux questions à réponse directe. Les sondages sont réalisés sur un échantillon raisonné, ceci aidera à cerner la diversité des situations existantes (cf. annexe). Dans ce contexte, l'étude bibliographique, la prospection au niveau de la plaine et les entretiens avec les personnes source (agriculteurs, éleveurs, cadres et délégués de l'agriculture et des cadres forestiers ainsi que les élus des communes), ont permis une stratification préalable de l'occupation du sol. L'enquête a été effectuée au niveau de 133 exploitations agricoles privées et étatiques (EAC, EAI) touchant un effectif total de 200 agriculteurs.

1.1. Présentation de la zone d'étude

Etant donné la superficie importante de l'ordre de 93.000 ha, la démarche retenue s'articulera sur la localisation d'une zone pilote, un espace bien définie avec une superficie moyenne de l'ordre de 4000 ha et assez représentative de l'ensemble de la plaine et même de la région. La zone d'étude fait partie intégrante de la plaine du Cheliff dans la vallée de la Mina dans la Wilaya de Relizane qui est située au Nord-Ouest de l'Algérie. C'est une zone assez représentative de la plaine, de plus c'est une zone caractérisée par l'agriculture affectée par différents problèmes environnementaux à savoir : la sécheresse, la salinisation des sols, la qualité des eaux médiocre en irrigation et la perte de biodiversité. Un espace agricole d'une superficie de 4000 ha. Elle est située, à environ de 5 km à l'Ouest de la chef-lieu de la wilaya de Relizane et limitée au Nord par l'autoroute Est-Ouest (A01) et au sud par le chemin de fer (Oran-Alger) et à l'Est par Oued Mina. Elle se localise dans le périmètre irrigué. Les coordonnées de la zone d'étude, (fuseau 31, Longitude / Latitude (WGS 84) de l'hémisphère Nord) se situent entre les longitudes 0°26'1.60"E et 0°31'9.96"E et entre les latitudes 35°44'8.06"N et 35°47'42.59"N (**fig.14**).

La situation actuelle laisse apparaître des problèmes agro-écologiques majeurs au niveau de la plaine de la Mina et au son périmètre irrigué :

- L'eau : elle est généralement salée de qualité médiocre et les ressources n'arrivent pas à couvrir les besoins en eau des cultures ;
- Le taux de salinité élevé des sols ;
- Un contexte climatique toujours incertain : caractérisé par des séquences de sécheresse prolongées et bien accusées
- Le drainage : défectueux et ne remplissant pas sa fonction il aggrave la situation, d'autant plus qu'il existe une nappe phréatique salée peu profonde.

La contrainte majeure reste la salinité. Celle-ci est due d'une part à la qualité de l'eau d'irrigation et à la remontée de la nappe phréatique salée d'autre part.

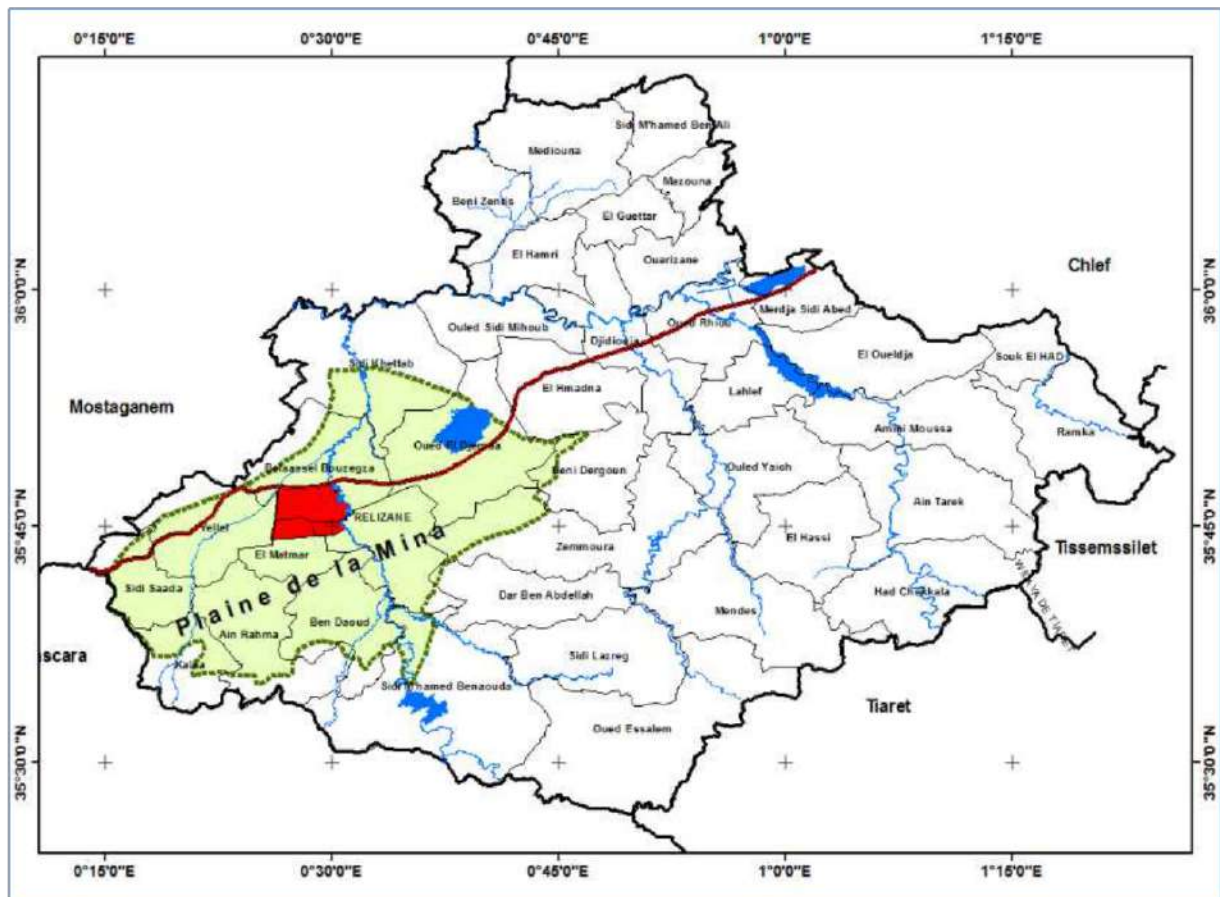


Figure 14. Localisation du site pilote de l'étude

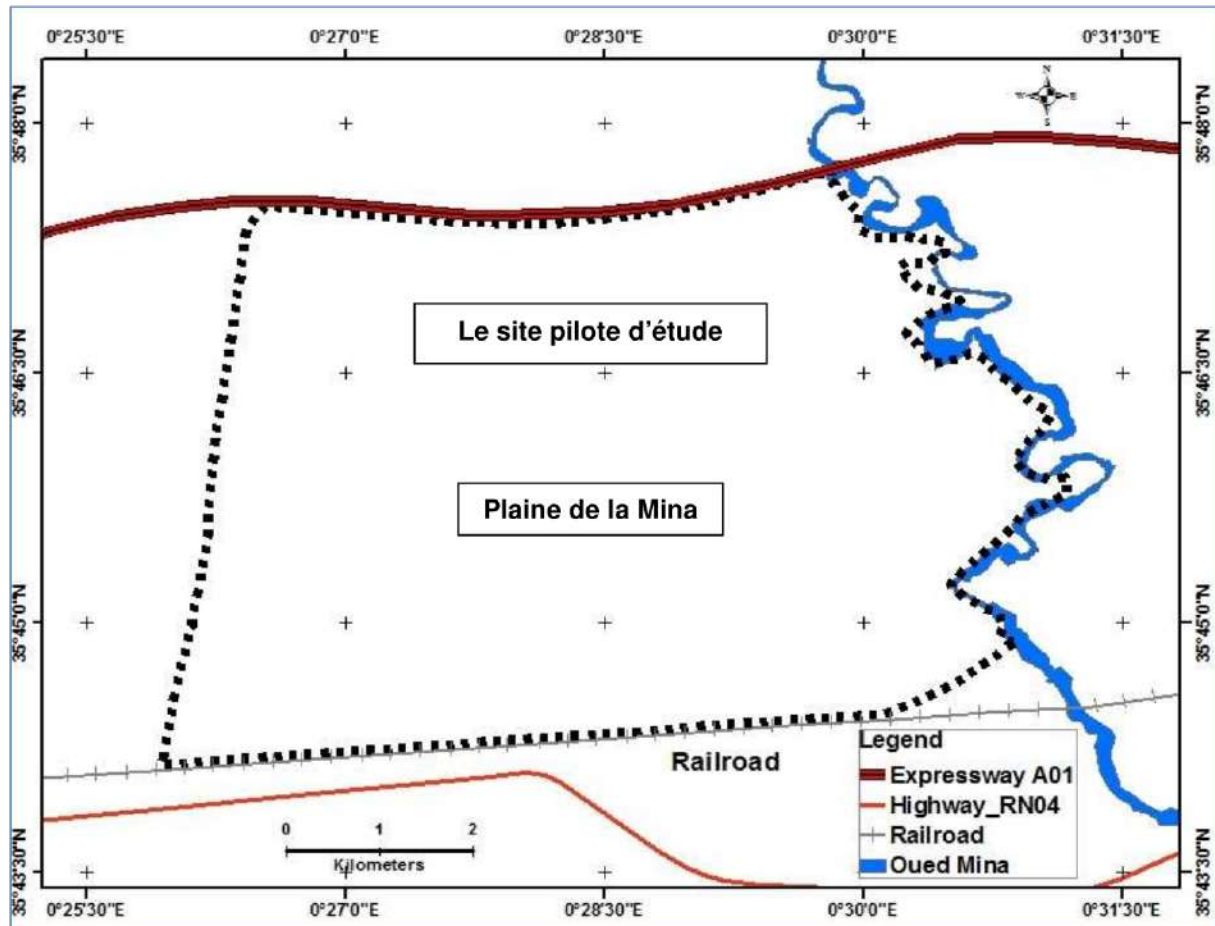


Figure 14a. Délimitation du site pilote de l'étude

2. L'occupation du sol de la zone d'étude

Une description physique de l'espace est définie comme la couverture bio-physique de la surface des terres émergées (FAO, 1998). Les données sur l'occupation et l'utilisation des sols fournissent en général des informations quantitatives (classes d'occupation / utilisation et estimation de la superficie). Des précisions concernant les caractéristiques qualitatives (pratique agricole, valeur écologique, etc.) sont nécessaires pour bien décrire les processus en action (Commission Européenne, 2001 et OSS, 2011).

Le diagnostic de l'occupation du sol est basé sur les données suivantes :

- La carte d'occupation du sol de la wilaya de Relizane élaborée par l'INSID (2012), en plus des images satellitaires de « Google Earth », ce dernier est probablement la plus belle application publique de la télédétection spatiale réalisée à ce jour.
- Sondages et enquête sur terrain : Visualiser le paysage agraire et collecter les informations complémentaires à travers des entretiens avec des cadres techniques du secteur agricole et des personnes sources (les agriculteurs).

- Données administratives collectées de registres administratifs et statistiques de différents instituts et administration exemple la DSA, ONID, INSID, DRE, APC et les services du cadastre.

2.1. L'occupation du sol de plaine de la Mina

La carte de l'occupation du sol de la plaine de la Mina a été élaborée en mode numérique en utilisant le logiciel ArcGis 10.3 qui repose sur le traitement des images satellitaires de Landsat 8 Satellite (Oli Captor) de la date : March 29, 2018 fourni par USGS (United States Geological Survey) traitée par le logiciel ENVI 5.3 permettant une classification supervisée et des images satellitaires de « Google Earth » soutenue par des sondages, des enquêtes et des vérifications de terrain pour valider les résultats.

L'actualisation de cette carte a subi un autre traitement sur ArcGis 10.3. Toutes les zones isophènes (ayant les mêmes aspects) issues de la carte classifiée ont été délimitées, digitalisées et actualisées à partir des sources suivantes :

- Imagerie satellitaire obtenue par Google Earth 2018 qui nous a permis une visualisation détaillée de la zone, et a permis plus de fiabilité en matière d'occupation du sol. Ainsi, la carte d'occupation des espaces de la plaine de la Mina a été conçue.
- Une vérification sur terrain pour relever la confusion des classes en termes d'occupation du sol (exemple arboriculture confondu en oléiculture) et les limites des unités cartographiques et leur voisinage.
- La numérisation en utilisant les fonctionnalités des SIG par le logiciel ArcGis 10.3 et MapInfo 8.0 est un processus fastidieux qui consiste à suivre les contours des éléments (unités) sur une image satellitaire en mode composition colorée géo référencée à l'aide d'un curseur. La démarche choisie pour élaborer cette carte d'occupation de sol consiste à choisir des polygones (entité cartographique) d'apprentissage sur l'image qui vont servir de référence. Les différentes classes d'occupation du sol qui ont été retenues sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau 12. Les différentes classes d'occupation du sol

Occupation du sol agricole (SAU)	Occupation du sol hors agriculture (hors SAU)
Grande culture en sec	Forêt - maquis – reboisement
Culture maraîchère	Parcours
Arboriculture	Zone à sol nu - à affleurement rocheux
Oléiculture	Plan d'eau (barrage, oued...etc)
Viticulture	Espace bâti
Polyculture	

Dans le cadre du diagnostic des systèmes agraires de la zone d'étude, nous avons suivi la démarche suivante :

- Elaboration de la carte d'occupation du sol
- Caractérisation des systèmes de culture et d'élevage

La carte d'occupation du sol (**fig.15**) présente succinctement la plaine de la Mina, la nomenclature et tout particulièrement l'occupation agricole, sa répartition spatiale au niveau de la zone d'étude et les résultats statistiques issus de la cartographie à partir de l'imagerie satellitaire. L'utilité de la carte d'occupation du sol permet de fournir une information géographique spatiale relative à l'occupation du sol, identifier ses différentes classes et la caractérisation des systèmes de culture et d'élevage (**Berkane, 2016**).

Cette démarche nous a permis aussi de mener à démontrer et relever les différentes contraintes de développement agricole de la zone d'étude et par conséquent de proposer des aménagements intégrés et durables des terres, des eaux et des ressources vivantes qui favorise la conservation et la durabilité des agroécosystèmes.

2.1.1. Répartition des classes d'occupation du sol

Les classes de superficies d'occupation du sol de la plaine sont présentées dans le tableau 13 issues des résultats statistiques des données liées à la carte d'occupation du sol digitalisée.

Tableau 13. Répartition des classes de l'occupation du sol et de la plaine de la Mina

Occupation	Superficie totale de la plaine de Mina	
	(Ha)	(%)
Agriculture (SAU)		
Oléiculture	3 538	3,80%
Culture arboricole	5 869	6,30%
Polyculture	1 822	2 %
Culture maraîchère	7 680	8,30%
Grande culture en sec	58 616	63 %
Viticulture	31	0,03%
Total occupation agricole (1)	77 555	83,30%
Sol nu à affleurement rocheux	580	0,60%
Parcours	9 675	10,40%
Forêt - maquis - reboisement	29	0,03%
Plan d'eau	2 506	2,70%
Espace urbanisé	2 734	2,90%
Total occupation hors agricole (2)	15 525	16,70%
Superficie totale (1+2)	93 080	100 %

Il est à signaler que les superficies tirées de l'occupation du sol sont issues de la cartographie des images satellitaires en date du 29 mars 2018 fournies par USGS (United States Geological Survey) (campagne agricole 2017/2018). La plaine de la Mina représente un territoire agricole par excellence vu son occupation du sol agricole qui représente 83,3% de la superficie totale de la plaine (**fig. 15**).

2.1.1.1. Occupation du sol agricole

La carte d'occupation du sol (**fig. 16**) représente les différentes classes décrites selon la localisation (lieu-dit, communes, zones homogènes). Les terres agricoles (grandes cultures, maraîchage, arboriculture, viticulture, oléiculture, et polyculture) représentent une superficie dominante de 77 555 ha soit 83,30% de la surface totale de la plaine. Elle est répartie comme suit :

- **Grandes cultures en sec** : Les grandes cultures qui regroupent les céréales, les légumineuses et les fourrages couvrent à elles seules une superficie de 58 616 ha soit 63%. Elles sont dominées par l'orge, le blé dur et l'avoine qui sont associées aux terres de parcours et sont situées sur l'ensemble du territoire de la vallée de la Mina. Dans la plaine, cette occupation est beaucoup plus marquante au niveau des plaines du bas-Cheliff et la vallée de la Mina.
- **Cultures maraîchères** : C'est en amont et aval de l'Oued Mina (commune de Sidi khattab) et les communes de Sidi Saada, Yellel, el Matmar, Oued el Djemaa et Relizane, associées à l'arboriculture que sont situées les grandes parcelles de maraîchage. Leur surface totale est de 7 680 ha soit 8,30%. Les cultures légumières de l'artichaut, la pomme de terre et les melons-pastèques sont prédominantes dans la Mina, d'autres sont intercalées sous les arbres fruitiers (système de culture intercalaire).
- **Arboriculture** : Deux grands ensembles homogènes, à savoir la plaine du Bas Cheliff et celle de la Mina qui attirent l'attention des vergers arboricoles. La superficie totale arboricole est de 5 869 ha soit 6,30% caractérisée par les espèces d'arbres fruitiers : les agrumes, les noyaux-pépins et les rustiques. Les agrumes occupent seulement 3600 ha dont les vergers sont localisés particulièrement dans les communes de Relizane, Oued el Djemaa, Ben Daoud, Matmar, Yellel, Sidi Saada, et Sidi el Khettab qui sont les plus concernées par cette occupation.
- **Oléiculture** : Prédominance à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya dans les communes de Yellel, el Matmar, Ain Rahma, Bellassel Bouzegza ainsi que dans les communes de Relizane et Oued Djemaa. On peut rencontrer d'autres plantations oléicoles éparpillées et

de moindre importance dans quelques exploitations agricoles. Leur surface totale est de 3 538 ha soit 3,80 %.

- **Viticulture** : D'après l'enquête sur terrain pour diagnostiquer l'occupation du sol surtout pour classer les parcelles plantées en cultures pérennes, une superficie de 31 ha, les carrés de vignes sont regroupés essentiellement dans la partie Nord de la zone, plus précisément dans les communes Sidi Khattab et Belhacel où sont dispersés dans les jardins familiaux.
- **Polyculture** : Situés à proximité des habitations dans des jardins familiaux généralement des potagers, la polyculture est présente sur l'ensemble du territoire de la Mina, particulièrement dans les communes de Yellel, Sidi Saada, Bellassel Bouzegza et Sidi Khattab situées au nord de la wilaya. Leur surface est de 1 822ha soit 2 %.

2.1.1.2. Occupation du sol hors agricole

- **Les parcours** : Les terres de parcours dans la plaine de Mina sont caractérisées par une végétation halophyte (Salsolacées, Soudes, Atriplex) recouvrant une couche de sels impropres à la culture, parmi ces espèces on trouve l'*Atriplex halimus* et *mauritanica*, la *Sueda fruticosa* et le *Pantago psillium*, on trouve aussi une végétation spontanée (Phragmites), grâce à l'humidité du sous-sol. Elles sont essentiellement localisées dans les terres mal drainées dans le nord des communes d'Oued Djemaa, Relizane, et Matmar et le Sud de la commune de Bellassel Bouzegza. Elles sont associées généralement avec les céréales. La superficie totale des parcours est de 9 675 ha soit 10,40%.
- **Forêt - maquis - reboisement** : Dans la plaine de la Mina, le type d'occupation du sol dit, les terres forestières (forêts, maquis et reboisement) concerne seulement « les reboisements », il s'agit d'un espace boisé en espèce d'eucalyptus localisé dans les hauts de la ville de Matmar d'une superficie de 29 ha soit un taux de boisement très faible 0,03%,
- **Sol nu à affleurement rocheux** : La zone Sud du territoire de la plaine est particulièrement érodée et ce aux niveaux de l'amont du barrage et à la berge des cours d'eau. D'autres traces à affleurements rocheux situées au sud de la commune de Bendaoud et Relizane. La superficie des sols érodés et à affleurement rocheux reste non négligeable, avec 580 ha soit 0,60 %,
- **Plan d'eau** : Les principaux cours d'eaux dans la vallée de la Mina sont : Oued Mina et Oued yellel qui forment l'essentiel du réseau hydrographique. D'autres moins importants (cours d'eau secondaire) : Oued Sfa. Le barrage de Sidi M'Hamed Benaouda qui alimente en eau d'irrigation le grand périmètre irrigué de la Mina situé au Sud de la zone et la

Sebkha de Benziane localisée au Nord-est dans la commune d'Oued Djemaa, ils sont parmi les principaux ouvrages hydrauliques et plans d'eau de la Wilaya. Leur superficie est de 2 506 ha soit 2,7% du territoire de la plaine.

- **Espace urbanisé :** L'essentiel du bâti et autres constructions est concentré globalement dans les chefs lieu de commune et longeant l'axe autoroutier Est-Ouest et le long de la route nationale n°4 traversant la plaine du Nord-Est au Sud-Ouest et passant par Yellel, el Matmar, le chef-lieu de wilaya, Oued Djemaa. Les autres constructions sont dispersées sur le reste des chefs-lieux de communes. La superficie bâtie est de 2 734 ha soit 2,90% de la superficie de la wilaya.

D'après la carte des classes d'occupation du sol établie, les résultats statistiques et l'enquête agro socioéconomique effectuée dans la zone d'étude, la plaine de la Mina est à typologie **agro-pastorale**.

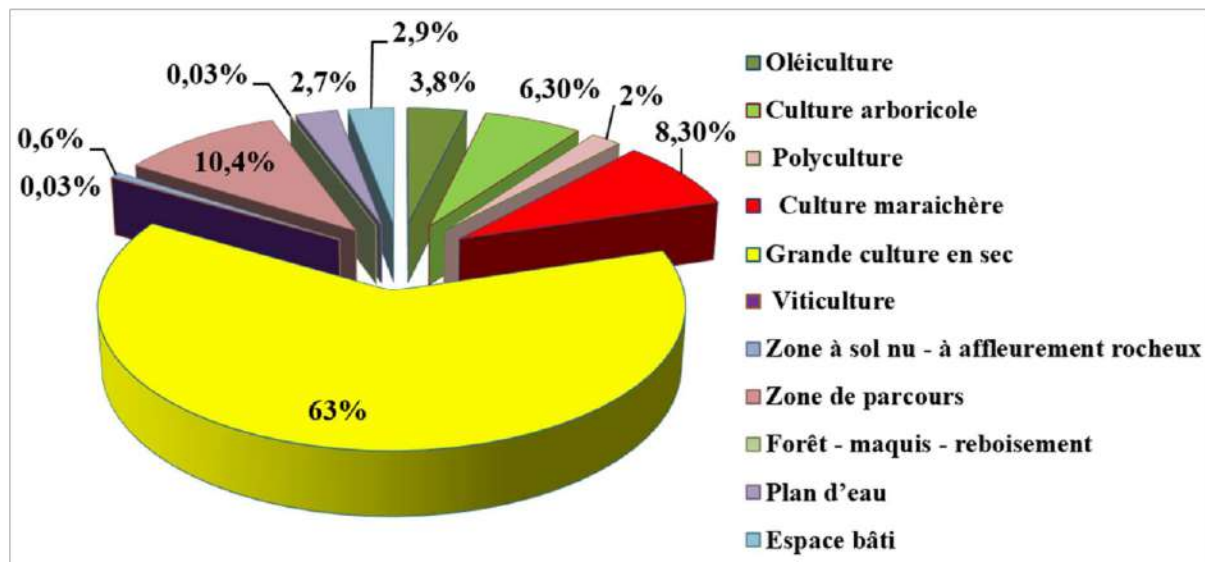


Figure 15. Classes d'occupation du sol de la plaine de Mina

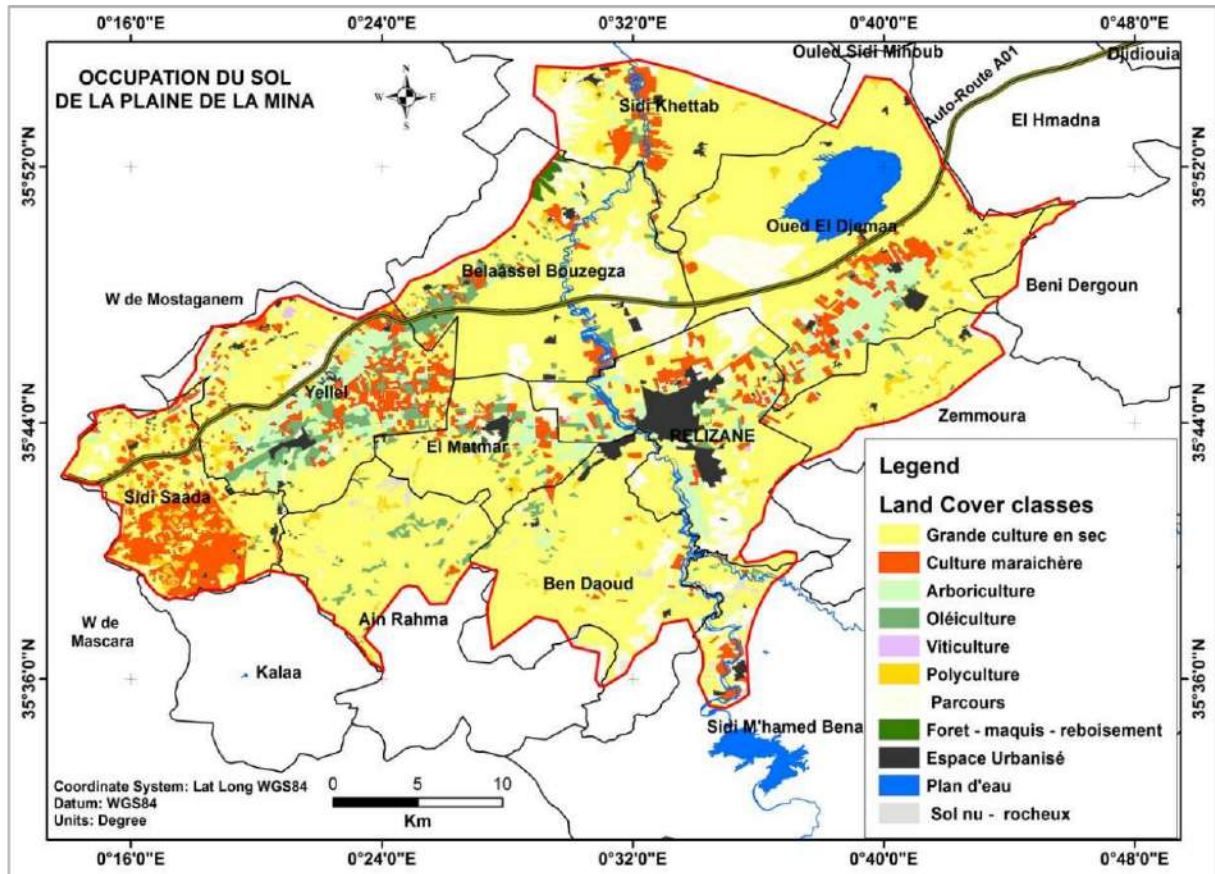


Figure 16. Carte d'occupation du sol de la plaine de Mina

2.2. L'occupation du sol de site pilote

Les résultats de l'occupation du sol de la zone d'étude sur une superficie totale de 4000 ha étudiés et enquêtés sont représentés par la carte (fig. 17) numérisée sur le logiciel ArcGis 10.3. Le graphique (fig. 18) et le tableau 14 représentent la répartition des classes de l'occupation du sol. La surface agricole utile (SAU) occupée par l'agriculture est de **3304,5** ha soit **82,81%** de la superficie totale étudiée, elle s'est répartie comme suit :

- Une prédominance des céréalicultures en sec qui occupent une superficie de 2674 ha soit 67% de la superficie prospectée. Elles sont dominées par l'orge et le blé dur en rentrant en assolement et rotation avec les fourrages et la jachère ou parfois en culture pure.
- Les cultures maraîchères qui occupent une superficie de 300 ha soit plus de 7,51% de la superficie totale étudiée, dominées principalement par les cultures : d'artichaut, la pomme de terre et le melon-pastèque.
- L'arboriculture fruitière regroupe les espèces d'arbres : les agrumes, et les rustiques représentent moins de 2% (68,4 ha) de la superficie totale enquêtée dominée par les agrumes.

- Les oliveraies occupent une superficie assez importante de 262,3 ha (6,57%) par rapport aux autres cultures pérennes par le fait de son introduction de plus en plus par les agriculteurs ces dernières années, vu sa forte tolérance à la salinité et la résistance au déficit pluviométrique en cas de manque d'eau d'irrigation.
- Les parcours présentés par la végétation naturelle, elle est surtout dominée par une végétation halophyte de type Salsola, Atriplex (*Atriplex halimus*) et Ndjl ou la Suéda (*Suaeda fruticosa*) (fig. 19), celle-ci représente 631,7 ha soit 15,83% de la superficie étudiée.
- Pour l'espace urbanisé caractérisé par des agglomérations d'habitats ruraux dans la zone occupe une superficie de 54 ha soit 1,36% de la superficie enquêtée.

La répartition des superficies de l'occupation du sol du site pilote d'étude sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 14. Répartition des classes d'occupation du sol de site pilote

Occupation	Superficie (ha)	Taux
Agriculture (SAU)		
Oléiculture	262,3	6,57%
Arboriculture	68,4	1,71%
Culture Maraîchère	299,8	7,51%
Céréaliculture en Sec	2674	67,01%
Total occupation agricole	3304,5	82,81%
Parcours	631,7	15,83%
Espace Urbanisé	54,1	1,36%
Total Occupation hors agricole	685,8	17,19%
Superficie totale	3990,3	100%

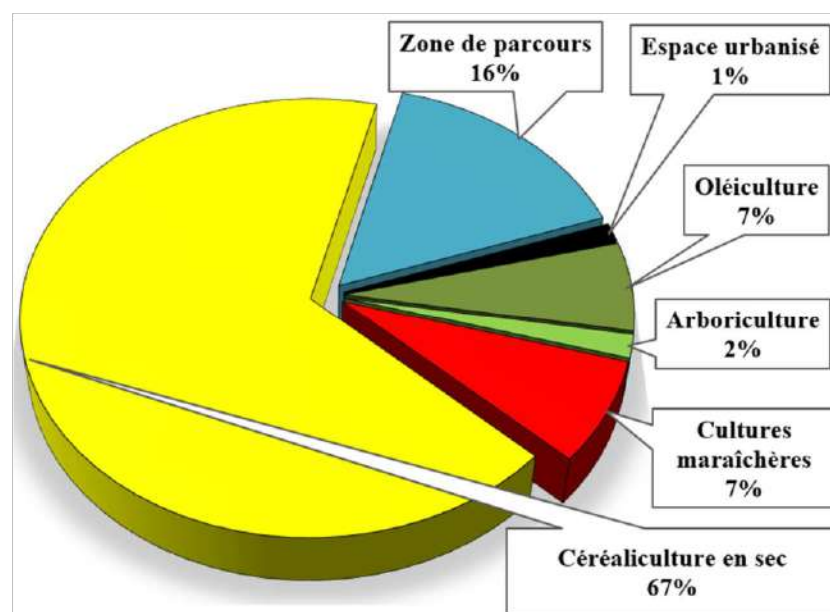


Figure 17. Répartition de l'occupation du sol de site pilote d'étude

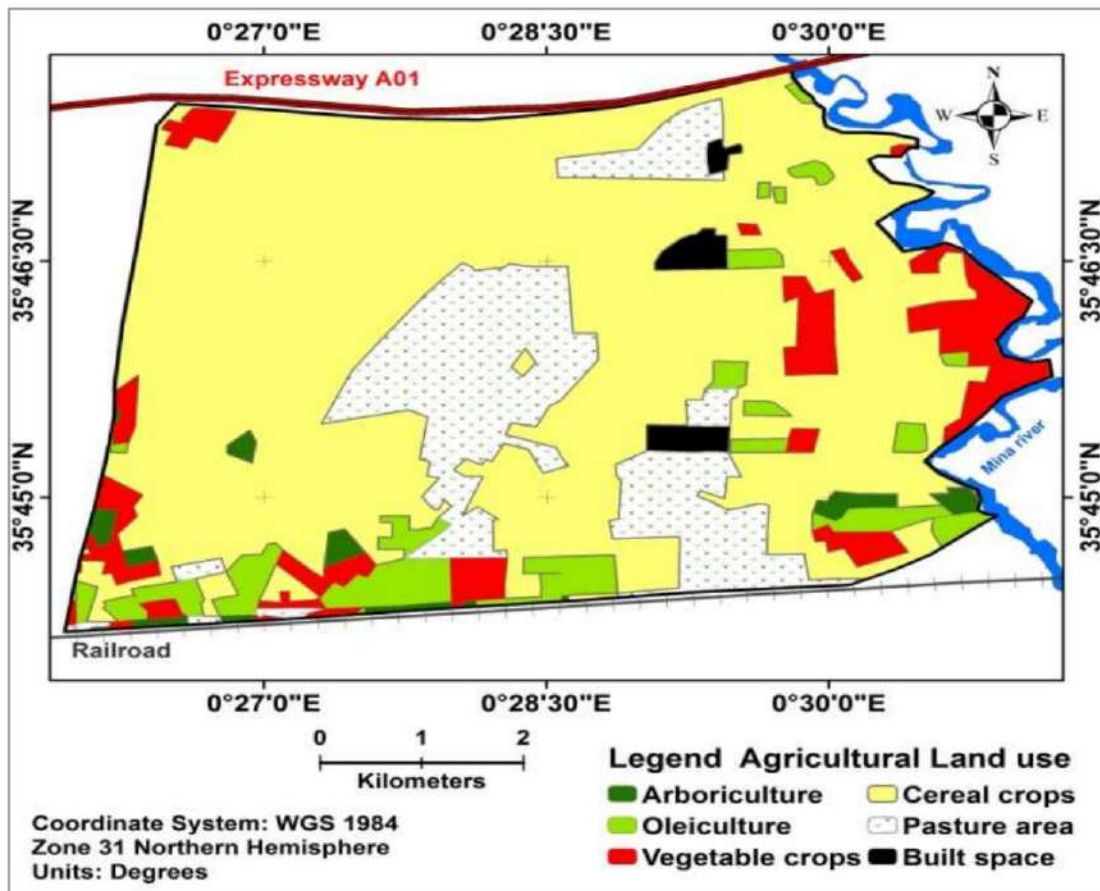


Figure 18. Carte d'occupation du sol de la zone d'étude

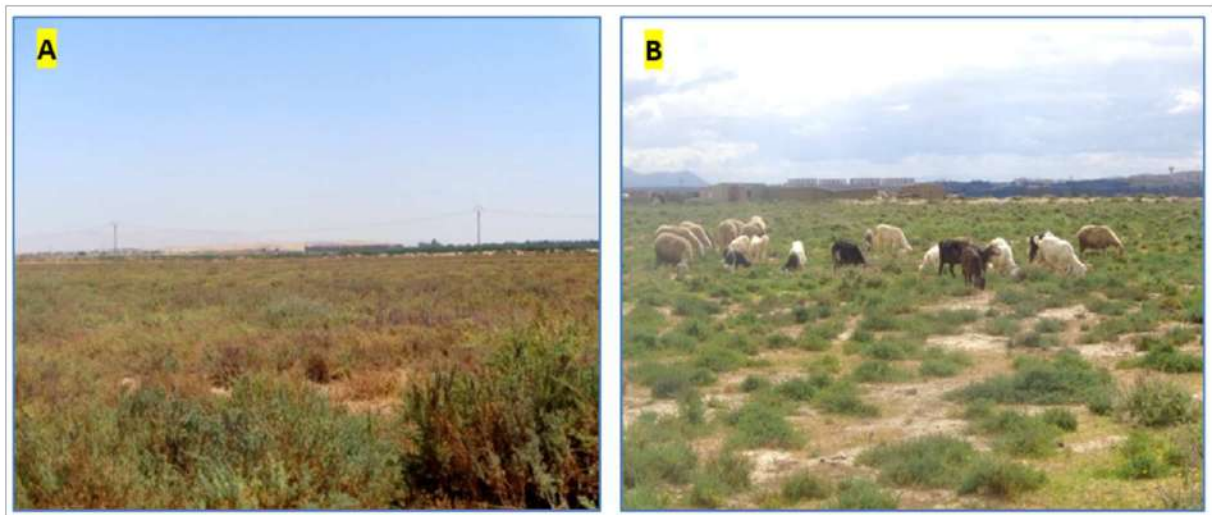


Figure 19. Parcours en végétation halophyte de type Ndjil ou la Suéda (*Suaeda fruticosa*)

Le tableau ci-dessous illustre que les cultures pérennes et le maraîchage sont plus présentés dans la zone d'Oued Djemaa et que 60% des grandes cultures en sec sont rencontrées dans la zone de Relizane.

Tableau 15. Répartition des classes d'occupation du sol selon les communes (zone d'étude)

Occupations du sol	Communes					
	Belhacel		Matmar		Relizane	
Occupation agriculture	Sup (ha)	Taux (%)	Sup (ha)	Taux (%)	Sup (ha)	Taux (%)
Oléiculture	64,4	2,5	140,4	15,9	42,2	9,0
Arboriculture	0,6	0,0	41,2	4,7	21,2	4,5
Cultures maraîchères	170,0	6,6	92,3	10,5	21,6	4,6
Céréaliculture en Sec	1924,9	75,2	503,6	57,1	219,2	47,0
Total occupation agriculture (1)	2160,0	84,4	777,5	88,2	304,2	65,2
Occupation hors agricole						
Parcours	350,1	13,7	104,3	11,8	162,2	34,8
Espaces urbanisés	49,1	1,9	/	/	/	/
Total occupation hors agricole (2)	399,2	15,6	104,3	11,8	162,3	34,8
Superficie totale étudiée = (1)+ (2)	2559,2	/	881,9	/	466,4	/

3. Diagnostic des systèmes de culture et d'élevage

Avant d'entamer les développements relatifs au diagnostic des systèmes de culture et d'élevage de la zone d'étude et la définition de leurs différents systèmes agraires, il est important de passer en revue quelques notions de base.

3.1. Notions de base

3.1.1. L'agrosystème

Le système agraire ou l'agrosystème (écosystème agricole ou terre cultivée) est un système artificiel, créé par l'homme depuis l'invention de l'agriculture, en vue de la satisfaction de ses besoins en produits alimentaires et autres produits de la terre. Les systèmes agraires sont des systèmes fragiles et instables en comparaison avec les écosystèmes naturels. Ils sont aussi privés d'autorégulation, ce qui nous oblige à intervenir fréquemment dans leur fonctionnement par le travail de sol, l'irrigation, la fertilisation, la lutte contre les ennemis, le désherbage, etc. en vue de leur permettre de nous fournir une production plus ou moins stable (NahaL, 2006).

L'agriculture devient une rupture avec l'écosystème naturel et que le système de culture devient la clef de voûte du complexe écologique (Cubizoller, 2000 in Khene, 2007).

3.1.2. Système de culture

Un système de culture est l'ensemble des modalités mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par la nature des cultures, leur ordre de succession et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues (Sebillotte, 1976).

3.1.3. Système d'élevage

Selon **Lhoste et al. (1993)**, un système d'élevage se définit comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées (lait, viande, cuirs et peaux, travail, fumure, etc.), ou pour répondre à d'autres objectifs.

3.1.4. Système de production agricole

Le système de production est un mode de combinaison entre terre, force et moyens de travail à des fins de production végétale ou animale, commun à un ensemble d'exploitations. **Jouve (1992)** a défini le système de production agricole comme « un ensemble structuré de moyens de production (travail, terre, équipement) combinés entre eux pour assurer une production végétale et/ou animale en vue de satisfaire les objectifs et besoins de l'exploitant (ou du chef de l'unité de production) et de sa famille ».

3.1.5. Exploitation agricole

Selon **Dufumier (1996)**, l'exploitation agricole est une unité de production agricole dont les éléments constitutifs sont la force de travail (familiale et salariée), les surfaces agricoles, les plantations, le cheptel, les bâtiments d'exploitation, les matériels et outillage. C'est le lieu où le chef d'exploitation combine ces diverses ressources disponibles et met ainsi en œuvre son système de production.

Selon le **MADR (2004)**, en Algérie, l'exploitation agricole est définie comme une unité économique de production agricole soumise à une direction unique, et comprenant tous les animaux qui s'y trouvent et toute la terre utilisée entièrement ou en partie pour la production agricole, indépendamment du titre de possession, du statut juridique, de la taille ou de l'emplacement. Elle peut être exploitée par une personne seule, conjointement par deux ou plusieurs personnes ou par une personne morale telle que société, entreprise collective, groupement d'intérêt, coopérative ou organisme d'état.

3.2. Systèmes de culture et d'élevage

D'après les travaux de **Berkane (2016)** lors de l'enquête agro-socioéconomique effectuée dans la plaine de Mina, les principales spéculations pratiquées dans la zone étudiée peuvent être classées comme suit :

- Les grandes cultures, les cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière et l'élevage.

Au cours de nos enquêtes sur la Mina, nous avons constaté différents systèmes de culture et d'élevage avec des pratiques culturelles communes, et d'autres spécifiques à des catégories d'exploitants. Ces dernières sont déterminantes sur la production agricole, elles découlent

généralement de la situation de l'agriculteur, de ses propres objectifs et des conditions de son exploitation. En effet, ce niveau de diversité correspond à l'organisation des systèmes de production. Les différents systèmes de cultures rencontrés se sont des systèmes majoritairement monocultures basés sur le degré d'intensification sans restitution de la matière organique (**Berkane, 2016**).

Les systèmes de culture sans restitution de la MO se caractérisent principalement par l'absence de toute forme d'apport organique en dehors des restitutions obligatoires que sont les racines de culture. Les différents types de restitution sont les restitutions organiques par voie naturelle (jachère de longue durée), et les restitutions organiques par apports d'amendements organiques au sol généralement sous forme de fumier ou compost (**Tapsoba, 2010**).

La majorité des exploitations agricoles pratiquent des systèmes de cultures non durables basées sur l'intensification des cultures sans restitution de la MO par l'utilisation intensive des intrants chimiques et les labours excessifs qui fragilisent les propriétés physico-chimiques et biologique du sol (**Berkane, 2016**).

Les systèmes de cultures et d'élevage identifiés à la plaine de Mina, sont :

- Le système de grandes cultures,
- Le système maraîcher,
- Le système arboricole
- Le système élevage
- Le système d'élevage associé aux cultures,

3.2.1. Système de grandes cultures

Les principales grandes cultures sont : les céréales d'hiver comme l'orge, le blé dur et le blé tendre. Les fourrages d'hiver, l'avoine, où la vesce-avoine, sont importants durant les années où les semences sont disponibles. En été les cultures fourragères en irrigué, comme le sorgho touchent une petite superficie.

3.2.1.1. Le système de culture « céréalier »

L'orge est semée au mois de novembre, d'habitude avant le semis des blés. Elle n'est presque jamais irriguée. On les récolte au mois de juin, si les pluies sont suffisantes pour que les graines se forment. Si les pluies semblent être insuffisantes au stade du tallage, la décision est souvent prise de la pâturer. Bien que les semences proviennent souvent de la dernière récolte, la majorité des semences est obtenue de la CCLS. La variété de SAÏDA 183 est la plus cultivée dans la zone vue sa résistance à la sécheresse et les maladies ainsi que sa productivité en semence et paille. Les blés sont semés en fin novembre - décembre, d'ordinaire après l'orge,

et presque toujours cultivés en sec. Comme l'orge, ils peuvent être pâturés si la pluviométrie est estimée insuffisante au stade du tallage les variétés de blé dur sont généralement tardives, comme Vitron, Waha, Simeto et Ofanto. La variété de Simeto la plus adaptée à la région la plus résistante au stress hydrique et les maladies (la rouille et Semporiose). Pour le blé tendre, on cultive généralement les variétés ARZ (Beni Slimane) vue sa précocité et sa résistance aux aléas climatiques et les maladies. Pour les variétés Anza, HD 1220 (Hidab) et Ain Abid. Les deux dernières variétés sont plus sensibles à la rouille jaune (*Puccinia striiformis* Westend) et la carie (*Tilletia caries* ou *Tilletia foetida*). La récolte des blés a lieu le mois de juin. Les céréales entre dans des assolements et rotations avec les cultures maraichères du plein champ comme la pomme de terre, l'artichaut et melon-pastèque ou d'autres cultures légumineuses comme les fèves et la jachère. Lorsque le précédent cultural de la culture de céréales est une culture maraichère (pomme de terre ou melon pastèque), culture légumineuse ou une jachère travaillée, les rendements des céréales en sec seront assez satisfaisants. Mais la plupart des agriculteurs ne respecte pas cette formule d'assolement et de rotation. Les rendements obtenus sont généralement bas, bien que ceux des cultures maraichères ou industrielles en irrigué soient souvent satisfaisantes. Par contre les exploitants qui disposent des ressources hydriques et/ou l'équipement d'irrigation au niveau des parcelles et pratiquent l'irrigation d'appoint des céréales pendant la période critique, leurs rendements seront améliorés. Les rendements sont assez bas qui varient entre 10 et 15 quintaux/ha, ils s'expliquent par plusieurs facteurs, mais surtout par la pluviométrie insuffisante. Ces dernières années, les exploitants ont considérés la pluviométrie comme le grand facteur limitant. L'incertitude liée à la pluviométrie apporte des restrictions au niveau des intrants en termes d'argent, de travail, ou de mécanisation (**Berkane, 2016**).

Pour les céréales d'hiver, la mauvaise herbe la plus redoutable et concurrente est la folle avoine (*Avena fatua* L., 1753) qui possède le même cycle que les céréales et qui concurrence depuis la montaison jusqu'à la floraison. Dans les cas où les engrais chimiques sont utilisés et d'après la déclaration de la majorité des agriculteurs enquêtés, les doses des engrais sont insuffisantes, il s'agit principalement de :

- Engrais de fond : TSP (Tri- superphosphate 46% P₂O₅) et SSP sulfate de phosphore 46 % P₂O₅) quantité : 0,8 à 1,5 quintaux /ha
- Engrais de couverture : Urée 46% N ou Sulfazote 26% N quantité : 1-2 quintaux/ha

Les oiseaux sont souvent responsables de pertes importantes de grains. Les parcelles de variétés précoces sont plus disposées à leur prédation.

Les agriculteurs qui disposent des exploitations céréalières dépourvues de rideaux biologiques vivaces se plaignent des pertes de rendements dues au vent qui assèche le sol.

Selon les exploitants de la Mina, il n'y a que la punaise (*Aelia germari* ou *Eurygaster maura*) parmi les insectes nuisibles qui pose un problème sérieux aux céréales. Elle attaque surtout les blés à l'état laiteux-pâteux et peut conduire à l'avortement de tous les épis. Si l'attaque est tardive, une récolte est obtenue mais la farine issue d'un blé punaisé voit ses qualités boulangères fortement altérées. Cependant, le service agricole de phytosanitaire en collaboration avec l'institut national de la protection des végétaux (INPV) prend des mesures contre les attaques importantes.

Le ver blanc (*Geotocus deserticola*) attaque les céréales en certains endroits, surtout là où la fertilité du sol est élevée par exemple à la suite d'une culture précédente légumineuse ou de doses élevées d'engrais, et là où les labours ne sont pas suffisants. Les traitements recommandés combinent la lutte mécanique des labours à l'application d'un des insecticides.

L'*Héliothis armigera* attaque parfois la culture de maïs (*Zea mays*. L) qui n'est cultivé que comme haies vives brise-vent dans quelques parcelles agricoles.

Le charbon (*Bacillus anthracis*) est répandu dans les céréales surtout la culture de l'orge, seulement quand les semences non-traitées, retenues dans la dernière récolte. La rouille et la carie sont présentes dans la zone d'étude, elles affectent le blé tendre durant les mois les plus arrosés de l'année, mais elles ne posent pas un problème grave. Le blé dur aussi peut être souffrir de la rouille et le Septoriose. L'orge souffre en plus du charbon, du Septoriose durant les années pluvieuses. Elle peut être attaquée aussi par l'*Helminthosporium* et par le « barley yellow dwarf virus ».

3.2.1.2. Système des cultures fourragères

L'avoine fourragère et la vesce-avoine sont semées normalement les mois d'octobre et de novembre ; elles sont récoltées en avril-mai. Une partie de l'avoine est récoltée en grains pour les besoins en semences de la campagne suivante. Le sorgho en irrigué est semé en avril/mai. Il est fauché deux ou trois fois jusqu'à novembre.

3.2.1.3. Les légumineuses

La principale culture légumineuse cultivée en plein champ ou intercalée dans vergers arboricole est la fève. Il semble que la superficie actuelle de cette culture est beaucoup plus en extension par rapport aux années passées.

3.2.2. Systèmes maraîchers

Les légumes frais sont produits pendant toute l'année. Mais, comme chaque espèce présente ses propres exigences édapho-climatiques, on parle à la Mina de deux types de cultures

maraichères saison et arrière-saison. Le tableau ci-dessous représente la répartition des principaux légumes produits.

Tableau 16. Principales cultures légumières

Types	Cultures légumières
Saison froide	Artichaut, Carotte, navet, oignon, fève, pois, petit pois
Saison chaude	Potiron, courge, melon, pastèque, aubergine, poivron, tomate, pomme de terre

Les cultures maraîchères représentent 8 % de la superficie occupée de la zone d'étude. Elles sont plus répandues chez les EAC que chez les autres agriculteurs. On peut distinguer trois (03) types de pratiques de maraîchages :

- En « grandes surfaces » : artichauts, pommes de terre, melons-pastèques (**fig. 20**). Ces cultures conduites en intensives entrent en assolement soit strictement maraîchers, soit avec des céréales ou des jachères, avec souvent également alternance sur une même parcelle de cultures en sec et de cultures irriguées ;
- En petits jardins familiaux, avec une production très diversifiée destinée à la consommation familiale et au marché ;
- Un troisième système de culture rencontré dans la zone d'étude : les cultures intercalaires dans les vergers, notamment pomme de terre, melons-pastèques et artichaut.

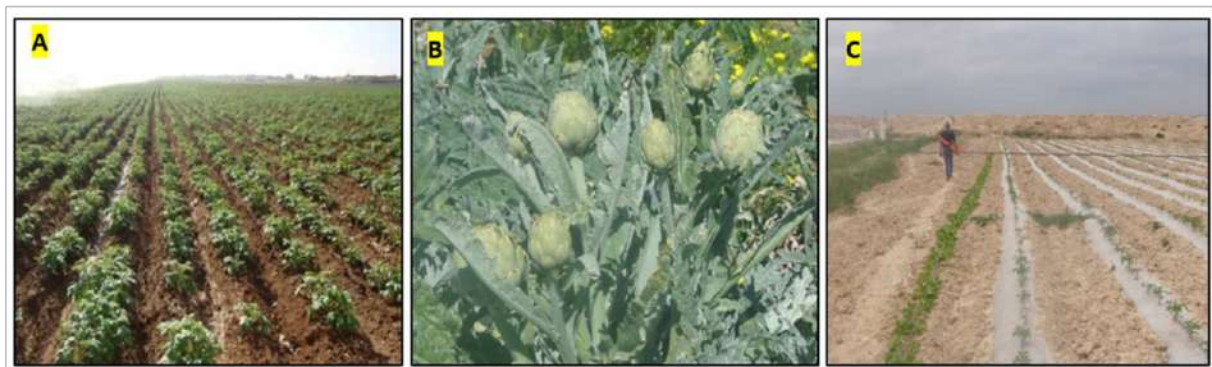


Figure 20. Principales cultures maraîchères pratiquées dans la zone d'étude
(A : Pomme de terre, B : Artichaut et C : Melon-pastèque sous paillage)

Photos I. Berkane, 2016

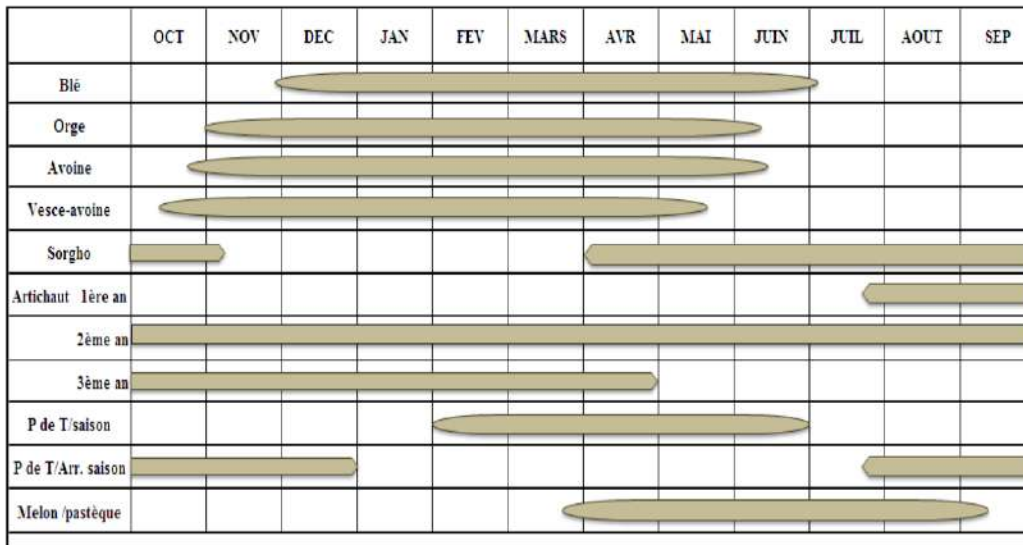


Figure 21. Calendrier des principales cultures, Berkane (2016)

Selon Berkane (2016), les cultures les plus pratiquées sont les suivantes :

- **L’artichaut**, culture traditionnelle de la zone de sa parfaite adaptation aux terres lourdes, argileuses et même salées. L’artichaut qui occupe le sol pendant deux années successives, une culture épuisant qui ne doit pas revenir avant 4 ans sur la même parcelle entre dans des assolements avec des céréales ou d’autres cultures légumineuses du plein champ comme les fèves, melons, pastèques. Il faut éviter de l’implanter après certaines cultures telles que les choux, la pomme de terre, l’épinard du fait de leur sensibilité à toutes les souches de *Verticilium* sp. Les variétés cultivées localement sont le blanc d’Hyères (blanc Oranais), le violet d’Hyères (violet d’Alger), le Quarantain. Les variétés blanches (précoces) (2/3) prédominent sur les variétés violettes (1/3) trop tardives. Vu de sa longue durée de cycle de développement, L’artichaut c’est le légume le plus consommateur d’eau en Algérie. Les besoins nets en eau de la culture dans la zone d’étude varient de 9000 à 12000 m³par hectare. Elle a en moyenne des rendements de 90 à 130 Quintaux/ha.
- **Les melons-pastèques**, cultures qui connaissent un développement important. Les variétés les plus répandues sont les melons jaunes verts Valencia Malacara et Siacora, le melon jaune Scripto et les pastèques d’Algérie à graines noires. Les cucurbitacées succèdent le plus souvent à une jachère. Les rendements varient de 60 à 200 Quintaux/ha.
- **La pomme de terre**, avec les variétés les plus cultivées Desirée (rouge) et Spunta (blanche). On peut rencontrer dans la zone de la Mina d’autres variétés comme : Fabula, Vivaldi, Ultra (blanches), condor, Amoroza et Rodio (Rouges). Généralement, la culture de céréale succède la culture de la pomme de terre.

- **Les autres légumes** de moindre importance cultivés dans des petits jardins potagers sont la patate douce, le piment/poivron, l'oignon, la tomate, le navet, la courgette, l'aubergine, le chou-flour, l'ail, la courge, la carotte, la laitue etc.

Les engrais utilisés dans le maraîchage sont : Urée 46%, Azofert 21% N, Sulfazote 26% N, NPK (15-15-15), Partenaire NPK (12-11-18).

D'après l'enquête effectuée sur les parcelles cultivées et la déclaration des agriculteurs, seulement 5% des exploitants utilisent les amendements organiques (le fumier) pour enrichir le sol (**Berkane, 2016**) et améliorer le rendement des cultures (**tab. 17**).

Tableau 17. Rendements des cultures maraîchères

Cultures maraîchères	Rendements en Qx/ha (moyenne sur 6 ans)	Rendement national en Qx/ha (moyenne sur 6 ans)
Pomme de terre	195	173
Artichaut	130	99
Oignon	100	145
Ail	40	40
Piment/poivron	72	115
Tomate	158	250
Melon	171	170
Pastèque	170	190

Source : Enquête ASE & Série B –MADR, cité par **Berkane, 2016**

Parmi les maladies importantes des cultures maraîchères à la zone, l'artichaut est attaqué par l'*Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766). La pourriture est aussi importante parfois chez l'artichaut, la pomme de terre et la tomate sont prédisposées aux infestations des nématodes. Les deux cultures sont attaquées par le *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, 1876. On dit aussi que le flétrissement bactérien des solanacées n'est pas présent dans la vallée de la Mina. La tomate souffre aussi de l'Oïdium (*Pseudoidium neolycopersici*, L. Kiss)

Pour la commercialisation des légumes, les agriculteurs disposent de quatre (04) filières : le marché de gros, le marché local, la vente à la ferme et la vente sur pied (la vente à la ferme ayant lieu après récolte par l'exploitant). L'enquête nous montre que les exploitants ont principalement recours aux marchés de gros (47% de produits) et à la vente sur pied (44% de produits) pour la commercialisation de leurs légumes (**Berkane, 2016**).

3.2.3. Systèmes arboricoles

L'arboriculture remonte à l'origine de la plaine. Elle se localise principalement le long de la route nationale n°04 Oran-Alger sur des sols profonds et sains, mais de texture assez lourde. Elle compte les agrumes, les oliviers et les arbres fruitiers divers.

Selon **Berkane (2016)**, l'arboriculture est surtout localisée dans les exploitations agricoles privées. Dans le secteur public (EAC et EAI), l'arboriculture est peu présentée ; il s'agit d'une arboriculture très éparse, principalement constituée de l'olivier et figuier.

Dans la zone d'étude, on peut trouver une diversité d'arbres fruitiers (**fig. 22**). Cependant, du point de vue abondance, production et valeur commerciale, trois types d'arbres fruitiers nous semblent intéressantes :

- **Les agrumes** : dont l'oranger (*Citrus sinensis*) la variété dominante est Thomson, puis Washington Navels et la Clémentine.
- **L'olivier** (*Olea europea sativa*) dont la Ségoise et la Sevillane sont les variétés les plus fréquentées,
- **L'abricotier** (*Prunus armeniaca*) dominée par deux variétés Canino et Bullida,
- **Arbres rustiques** comme le grenadier (*Punica granatum*) et le figuier (*Ficus Carica*),



Figure 22. Principales cultures pérennes pratiqués dans la zone d'étude
(A : Oliveraies, B : Diversité d'arbres (olivier, abricotier et agrumes), C : Verger d'agrumes) Photos I. **Berkane, 2016**

- **Oléiculture** : Le verger oléicole, le plus important, est formé de vieilles et jeunes plantations, elles sont renommées pour la production d'olives de tables. La variété la plus représentée est la Sigoise pour les conserves ; viennent ensuite la Verdelle, la Sevillane et Chemlall, ces deux dernières sont destinées à la production de l'huile d'olive. La densité des arbres est faible (oléiculture en extensif), 70 -156 arbres/ha surtout pour les vieilles plantations (conduite en sec), la majorité des vergers d'oléiculture sont conduites en semi intensif et en irrigué, la densité des plants est de 204 à 208 plants/ha. On rencontre ce type de système dans les vergers aux vieilles plantations et nouvelles plantations entretenues. Les vergers d'oléiculture en intensif avec des écartements de plantation : 6mX5m, 6mX4m (330 à 416 plants/ha) sont régulièrement bien entretenus : préparation du sol, fertilisation, traitement phytosanitaire, irrigation par raies, bassins ou cuvettes et quelques vergers conduits en irrigation de goutte à goutte, taille et élagage tous les deux

ans. Le rendement est de 30 à 40 quintaux lorsque les irrigations sont conduites normalement mais les faibles disponibilités en eau des dernières années avec ses qualités médiocres ont sérieusement réduit ces rendements et les productions. Certaines plantations (29% des superficies irriguées ces dernières années) jugés trop vieilles et insuffisamment productives n'ont plus été irriguées et ont été délaissées. L'irrigation débute fin avril et se poursuit jusqu'en septembre. Les doses d'irrigations vont et oscillent pour l'irrigation gravitaire entre 6500 et 8000 m³ et celle en système localisée entre 3200 et 3600 m³. Les oliviers de la zone sont attaqués par la *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790).

- **Agrumiculture :** Les agrumes comprennent surtout de vieilles plantations dont le renouvellement partiel (environ 60 ha) reste à faire, mais cette opération est délicate sur les terres qui se sont salinisées, les jeunes plants étant beaucoup moins résistants que les arbres adultes. Le verger est très hétérogène et comprend outre de petites surfaces en clémentiniers et mandariniers, essentiellement des orangers de variétés diverses : Thomson, Navel, Washinton, Sanguines, Double fine, Hamlin, Portugaise. Les agrumes sont sensibles aux attaques de la *Ceratitits capitata*,. Wiedemann, 1824, de la mouche méditerranéenne des fruits. Les plus sensibles des agrumes sont les variétés précoces comme la clémentine et la Thomson. Les cochenilles (*Planococcus citri* Risso, 1813) attaquent les agrumes en général et surtout la clémentine. En pleine production, les vergers d'agrumes ont atteint dans la zone d'étude les rendements moyens de 70 à 120 qx/ha. De telles valeurs ne sont plus atteintes actuellement à la suite du vieillissement des plantations, de la salinité des sols et des sécheresses des dernières années. Selon l'ONID de l'Unité de Mina, les alimentations en eau des agrumes variés de 7300 à 10000 m³/ha.
- **Les arbres fruitiers divers :** Les autres espèces d'arbres fruitiers occupent une superficie très restreinte. On peut trouver les noyaux-pépins comme le pommier, le poirier, l'abricotier et le cognassier. Pourtant les pommiers sont une spécialité de la zone, mais la conséquence du déficit pluviométrique et la salinisation des terres, a sérieusement affecté la production d'un certain nombre d'espèce fruitière. Les rustiques ne représentent qu'un peu plus de 1% de la superficie totale consacrée à l'arboriculture. On rencontre des rangées d'arbres de figuier et de grenadier à intérieur ou autour des exploitations agricoles et des petits jardins familiaux, avec une production fruitière destinée à la consommation familiale et au marché. Dispersés dans les vergers arboricoles ou associe avec les cultures herbacées (quelques arbres dispersés dans les champs). Les rendements des noyaux-pépins se situent entre 70 et 100 qx/ha en pleine production. Les dotations en eau varient

suivant les années de 5500 à 9000 m³ (**ONID, Unité de la Mina**). Malgré les efforts consentis de l'état pour généraliser de l'utilisation des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau à la parcelle, le système traditionnel reste dominant et que 80% des exploitants pratiquent ce mode d'irrigation le moins efficace. Les attaques de la mineuse de feuilles sont importantes chez les pommiers et risquent de toucher 100% des arbres. Les arboriculteurs utilisent un engrais de fond PK (20 - 25) et un engrais d'entretien Urée 46% N avec une quantité moyenne de 4 à 6 quintaux/ha comme des amendements chimiques. D'après leur déclaration, ils utilisent moins fréquemment les amendements organiques (le fumier) sauf les exploitations agricoles qui pratiquent l'élevage ovin ou bovin.

Tableau 18. Rendements moyens en arboriculture

Cultures Arbres fruitiers	Rendements Qx/ha (moyenne sur 6 ans)	Rendements Qx/ha (moyenne sur 6 ans/national)
Oranger	120	104
Olivier	49	10
Pommier	80	60
Poirier	78	60
Abricotier	85	50
Cognassier	80	75
Figuier	15	24

Source : Enquête ASE & série B –MADR cité par **Berkane, 2016**

La commercialisation des fruits se fait aussi au recours aux filières de commercialisation suscité, mais la vente sur pied est largement prédominante (70%) par les exploitants surtout dans la classe des grandes exploitations ; ceci s'explique par le fait que ces exploitations sont essentiellement tournées vers l'arboriculture (agrumes en particulier), dont la récolte est exigeante en main d'œuvre. Les gros exploitants préfèrent traiter avec des mandataires, qui offrent des prix intéressants et réduit le risque d'une mauvaise récolte et le coût de la main d'œuvre et qui prennent aussi en charge récolte et commercialisation.

3.2.4. Le système d'élevage

3.2.4.1. Système « Elevage ovin »

La majorité du troupeau ovin de la zone et des régions centrales du pays est de descendance mixte avec peut-être une prédominance d'Ouled Djellal (**Mac Donald et al, 1991**). Les brebis adultes en bonne état sanitaire pèsent 50 kg ou plus tandis que les béliers, souvent excèdent les 70 kg. La caractéristique la plus marquante de cette race est sa très haute fécondité. Les agneaux sont souvent vendus à 6 mois quand ils ont atteint un poids de 20-30 kg. La reproduction est aléatoire et, en conséquent, tend à suivre un rythme naturel avec 70%

d'agnelage en automne et 30% au printemps. Les béliers sont constamment avec le troupeau et en général trop nombreux ; 1 bélier pour 10 brebis. On rencontre deux types d'élevage :

- **Elevage ovin sédentaire** : Dans la zone de la Mina, un grand nombre d'agriculteurs, qui pratiquent la céréaliculture et le maraîchage, ont des troupeaux qui paissent sur les résidus de cultures et les chaumes. Les béliers intègrent continuellement le troupeau et suivent un processus naturel de reproduction avec 70% des naissances en automne et 30% au printemps.
- **Elevage ovin nomade** : Les familles nomades tendent à arriver sur la zone d'étude au début de l'été et prennent en bail des pâturages sur les chaumes des parcelles céréalières de la zone de Mina. Les brebis ayant agnelé sont généralement gardées à l'abri la journée aussi, pour quelques jours, jusqu'à ce que les agneaux soient suffisamment forts pour suivre le troupeau. La stabulation en général consiste en un simple abri au toit de chaume qui donne de l'ombre aux agneaux avec un système d'approvisionnement en eau ou en aliments.

Concernant l'alimentation, le pâturage constitue la source principale de l'alimentation des ovins. On a moins tendance à cultiver les fourrages spécialement pour les ovins que pour les bovins, bien que les cultures hivernales constituent en fourrage et une quantité considérable de foin d'avoine/vesce qui aide le troupeau à passer les mois difficiles d'été (**Mac Donald et al ,1991**). Beaucoup de troupeau plus petits passent un temps considérable à paître à quelque distance de l'exploitation, d'habitude sous la surveillance d'un membre de la famille et c'est seulement en été que l'on trouve ces troupeaux sur les chaumes des céréales et autres terres en jachère. Toutes les ventes de moutons sur l'aire de la zone d'étude sont faites sur la base du poids vif, d'habitude sur les marchés des villes principales environnantes. Ces marchés sont hebdomadaires et attirent un grand nombre d'acheteurs des grandes villes qui livrent ou ne livrent pas directement aux abattoirs.

3.2.4.2. Système « Elevage bovin »

Constitué majoritairement de vache laitière. La race locale, la Brune de l'Atlas, est un animal petit, brun, du type Bos Taurus, à rendement laitier potentiel limité, et est généralement destiné à la production de viande bovine. Depuis plusieurs années, un nombre considérable de bovins Holstein/Frisonne a été importé de pays européens, ceux-ci sont les bovins les plus communs sur l'aire de la zone d'étude (**Mac Donald et al ,1991**). On trouve également des troupeaux bovins de type Montbéliard français, à usage double, appelés le Pie Rouge en Algérie, et considérés comme des bêtes laitières résistantes et bien adaptées. La sécheresse

prononcée des deux dernières décennies a réduit de façon considérable les quantités de fourrage dans la vallée et aussi la crainte de l'épidémie de la fièvre aphteuse.

- **Production laitière :** Au cours de note enquête mené sur les exploitations agricoles de la zone d'étude. La production laitière à grande échelle concerne 68% des grandes exploitations agricoles privée et des EAC. La majorité de ces exploitations adoptent des systèmes à « zéro-pâturage ». Concernant la traite, les plus grandes exploitations mécanisent leur traite. Une proportion substantielle de l'alimentation des bovins provient de pâtures le long des routes, des cours d'eau et des drains et sous les arbres (fruitiers ou brise-vent). Les systèmes d'alimentation à base de fourrage cultivé ne sont utilisés que sur peu d'unité qui a des cultures fourragères ou des quantités substantielles de résidus de culture disponible mais la majorité des producteurs de bétail utilise des aliments concentrés sous forme d'un mélange à base d'orge et soja ajouté à un mélange à base de vitamine/minéraux vendus sous forme de farine. La paille de l'avoine, du blé et de l'orge aussi sont utilisées mais à peu de valeur alimentaire. Le fourrage stocké essentiellement de foin composé de vesce-avoine est très insuffisant.
- **Production de viande :** Les génisses en surplus sont régulièrement vendues dans les bonnes années aux autres producteurs pour la production, mais les veaux et les vaches de réformes sont généralement vendues aux abattoirs.
- **Reproduction :** Il en existe deux types : le premier est traditionnel, les producteurs tendent à utiliser le troupeau voisin, des taureaux qui ne sont pas testés et en conséquence leur valeur de reproduction inconnue qui comporte un risque d'augmenter l'incidence des maladies. Le second qui est le plus répandu chez la majorité des producteurs, c'est l'insémination artificielle.

3.2.4.3. Autres Systèmes d'Élevage

- **Aviculture :** L'aviculture dans la zone d'étude est une activité en pleine expansion, surtout les effectifs des poulets de chair vu l'augmentation ces dernières années de capacité des unités avicoles en matière de poussins mais l'approvisionnement en aliments concentrés reste assez faible vu sa cherté dans les marchés. On trouve l'élevage domestique des poulets dans les petites exploitations auprès des ménages (dans des bergeries). Les dindes et les pintades existent aussi de façon non négligeable associant au élevage domestique des poulets.
- **Apiculture :** L'apiculture algérienne est pratiquée dans de nombreuses et vastes régions où la flore mellifère est abondante et variée. Elle est largement pratiquée dans les régions

Montagneuse, dans les plaines littorales, dans les plaines inférieures et dans les vallées dans les grands Oueds. En raison d'une exploitation insuffisante et routinière, elle n'arrive pas à satisfaire les besoins locaux. L'abeille d'Algérie, très proche de l'abeille noire d'Europe, robuste et bien acclimatée. Elle dispose d'une abondante flore mellifère spontanée et cultivée (**anonyme, 1958**). Dans notre région (la plaine de la Mina), parmi les espèces végétales qui forment la flore mellifère spontanée : le mélilot, le chardon et l'eucalyptus, ce dernier qui planté en bordure des voies routières, les berges des cours d'eau et dans les fermes, il produit un miel d'excellente qualité vu sa floraison estivale. Quant à la flore mellifère cultivée, on cite les rosacées de vergers : les agrumes (citrons divers), le néflier du Japon (*Eriobotrya Japonica* Lind), et parfois les fourrages (la luzerne). La diversité de la flore algérienne et la douceur relative du climat ménagent des miellées successives s'étendant sur l'année entière (chaque saison a une floraison particulière). Durant notre enquête agro socioéconomique de la zone d'étude, nous avons rencontrée seulement trois exploitations agricoles privées dans la commune d'Oued Djemaa qui pratiquent l'apiculture ; chacun possède au moyen 10 ruches à l'intérieur de leurs vergers d'agrumes. D'après l'entretien effectué, ils ont déclaré que les rendements de leurs ruches restent insignifiants et qui s'explique par le nombre trop restreint des ruches à cadres, le manque de spécialistes qualifiés (la technicité) dans l'apiculture moderne et des moyens financiers limités

- **Autres élevages** : Le seul autre élevage rencontré dans la zone d'étude, la cuniculiculture, mais seulement une petite exploitation qui possède quelques mères dans un élevage domestique à caractère traditionnel.

3.2.4.4. Elevages associés aux cultures

Ce type d'élevage est totalement intégré au système de production végétale, il valorise les résidus et fournit le fumier. Mais, moins de 30% des exploitants associent l'élevage aux cultures, on le rencontre généralement dans les petites et moyennes exploitations. Par ailleurs, il constitue une forme d'accumulation, dans la limite des disponibilités fourragères du jardin et offre une rente immédiate par la vente de surplus. Il offre également, plusieurs produits de subsistance familiale. Cet élevage peut être qualifié comme extensif, car ni la prolificité, ni l'engraissement rapide ne représentent un objectif principal. Ce qui est recherché est plutôt le maintien du troupeau par des renouvellements progressifs.

L'élevage associé aux cultures, est conduit auprès du ménage. Dans une bergerie composée d'un abri en construction, avec un air libre, les animaux ne sortent qu'occasionnellement. Les bêtes sont nourries principalement par les résidus de récolte, des

fourrages verts ou fanés, avec un appoint en aliment concentré (orge) pour les besoins physiologiques particuliers : fin de gestation, allaitement et quelquefois pour l'engraissement. L'eau est toujours disponible et régulièrement renouvelée, mais il n'y a pas de rationnement strict.

CHAPITRE III :
ETAT DES CONNAISSANCES SUR
LA GESTION DES RISQUES

CHAPITRE III : Etat des connaissances sur la gestion des risques

1. Mode d'exploitation de l'espace agricole

1.1. Foncier agricole

Dans la zone d'étude, il existe plusieurs genres de fonciers agricoles : la propriété privée, la propriété de domaine privé de l'état (EAC et EAI et bien d'état) et l'accession à la propriété foncière agricole « APFA ». Le premier type se rencontre dans les anciennes exploitations agricoles héritiers depuis l'époque coloniale, et d'autres que représentent 25% de l'ensemble des terres privées sont dénationalisées et restituées dans le cadre de la loi n°90-25 du 18/11/1990, portant orientation foncière. Le second concerne les terres des exploitations agricoles collectives et des exploitations agricoles individuelles (EAI- EAC) converties du droit de jouissance perpétuelle en droit de concession qui sont issues de la loi n° 10-03 du 15 aout 2010 fixant des conditions et modalités d'exploitation des terres agricoles du domaine privé de l'état régies par la loi n° 87-90 du 08 décembre 1987 déterminant le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixant les droits et obligations des producteurs. Le mode d'exploitation des terres agricoles est la concession. Cette concession est accordée aux membres des exploitations agricoles collectives et individuelles. L'exploitant concessionnaire a le droit d'exploiter des terres agricoles du domaine privé de l'état ainsi que les biens superficiaires (les constructions, les plantations et les infrastructures hydrauliques) y rattacher, sur la base d'un cahier de charges fixé par voie réglementaire, pour une durée maximale de quarante 40 ans renouvelable, moyennant le paiement d'une redevance annuelle (**J.O n° 50 du 09/12/1987 et J.O n° 47 du 18/08/2010**).

Le troisième type relatif à l'accession à la propriété foncière agricole (APFA) issue de la loi n° 83 - 18 du 13 août 1983 portait sur des terres relevant du domaine de l'État, situées en zone saharienne ou présentant des caractéristiques similaires – cas des régions steppiques – ainsi que sur les autres terres relevant du domaine public et susceptibles d'être utilisées, après mise en valeur, pour l'agriculture. Le transfert de propriété public-privé était assorti d'une condition résolutoire de cinq ans (sauf cas de force majeure) pour la mise en valeur de la terre, selon un programme élaboré par l'acquéreur et avalisé par l'administration (**J.O n° 1370 du 16/08/1983**). Ces dispositions sont toujours en vigueur et confortées par la loi d'orientation agricole de 2008.

Les exploitations agricoles se répartissent à peu près également dans la première classe de SAU totale (80,51% de moins de 10 ha), 12,08% de 10-20 ha, 5,30% de 20-50 ha) ; la classe de plus de 50 ha ne compte que 2,12% des exploitations. Le nombre des exploitations dont la taille est inférieure à 10 ha est important avec près de 80,51 du nombre total des exploitations

agricoles. Concernant la répartition des classes d'exploitations agricoles en fonction de la superficie. Elle s'est répartie comme suit : 48,83% de <10 ha, 19,06% de 10-20 ha, 15,57% de 20-50 ha et plus de 50 ha ne couvre que 16,54% de la superficie de la zone d'étude (**tab. 19**).

Tableau 19. Répartition des exploitations agricoles selon la classe de SAU

Nombre d'exploitations enquêtées avec superficies				
Classes	Nombre	%	Ha	%
< 10 ha	378	80,51%	1910	48,83%
10-20 ha	56	12,08%	745,48	19,06%
20-50 ha	24	5,30%	609	15,57%
> 50 ha	10	2,12%	647	16,54%
Total	472		3911,48	

1.2. Nature juridique des terres

Les terres qui révèlent du domaine public sont soit des EAC Exploitations ou plusieurs agriculteurs travaillent la même terre dans l'indivision ou des EAI, la terre appartient à l'état et un seul agriculteur la travaille.

La carte de répartition des exploitations agricoles par nature juridique illustrée dans la (**fig. 23**) représente une mosaïque d'exploitations agricoles. La répartition des superficies d'exploitations agricoles en fonction de la nature juridique. Elle s'est répartie comme suit : l'APFA représente 44,5% soit 1741 ha, le domaine privé de l'état (EAC, EAI et biens de l'état) couvrent une superficie de 1731,6 ha (44,3%), alors que la propriété privée évoque seulement 11,2% soit 439,4 ha de la superficie de la zone d'étude (**tab. 20**).

Tableau 20. Répartition des exploitations agricoles par nature juridique

Communes	EAC	EAI	PRIVE	APFA	ETAT	ESPACE URBANISE	TOTAL
Belacel Bouzagza	940,0	128,1	238,4	1080,0	67,3	61,4	2515,18
Matmar	236,3	/	100,0	660,6	/	14,5	1011,38
Relizane	333,4	26,5	101,0	/	/	/	460,92
Total	1509,7	154,6	439,4	1740,6	67,3	75,9	3987,48

Le tableau ci-dessus montre aussi que la propriété de domaine privé de l'état (EAC, EAI et biens de l'état) et l'APFA représentent 89% soit 3472,2 ha. Le reste appartient au secteur privé qui représente 11,2 % soit 439,4 ha de la superficie cadastrée.

Par commune, le domaine privé de l'état et l'APFA est dominante dans la commune de Belacel Bouzagza avec une superficie de 2215,4 ha soit 90,3 % (46,3% pour le domaine privé de l'état et 44% pour la l'APFA) de la superficie des exploitations agricoles enquêtée de la commune. Dans la commune de Matmar, l'APFA est prédominée avec une superficie de 660,6 ha soit 66,3% de la superficie totale des exploitations agricoles étudiée de la commune. Pour la

commune de Relizane, les EAC et EAI représentent une superficie de 359,9 ha soit 78 % de la zone d'étude de commune (**tab. 21**).

Tableau 21. Répartition des exploitations agricoles enquêtées par communes

Communes	Type d'exploitation agricole	Nombre	Superficie (ha)	Taille moyenne (ha/exp.)
Belacel Bouzagza	EAC	31	940,0	30,3
	EAI	10	128,1	12,8
	PRIVE	21	238,4	11,4
	APFA	214	1080,0	5,0
	BIEN de l'ETAT	4	67,3	16,8
	ESPACE URBANISE	4	61,4	15,4
Sous total Belacel		284	2515,2	91,7
Matmar	EAC	9	236,3	26,3
	EAI	/	/	/
	PRIVE	8	100,0	12,5
	APFA	136	660,6	4,9
	BIEN ETAT	/	/	/
	ESPACE URBANISE	1	14,5	14,5
Sous total Matmar		154	1011,4	58,1
Relizane	EAC	22	333,4	15,2
	EAI	3	26,5	8,8
	PRIVE	9	101,0	11,2
	APFA	/	/	/
	BIEN de l'ETAT	/	/	/
	ESPACE URBANISE	/	/	/
Sous total Relizane		34	460,9	35,2
Total zone d'étude		472	3987,48	185,07

Au cours de nos enquêtes effectuées dans la zone d'étude sur une superficie de 4000 ha, nous avons démontré que 20 % des enquêtés ont déclarés avoir des terres en indivision ; cette proportion est totalement rencontrée dans les EAC (les classes moyennes et grandes-exploitations) et que 18% des agriculteurs interrogés ont pris des terres en location ; cette proportion ne semble pas liée à la taille des exploitations.

La répartition des exploitations agricoles enquêtées selon la taille moyenne est identique dans les communes pour le type de l'APFA (une taille moyenne de 5 ha) même pour le secteur privé (une taille moyenne de 11,2 à 12,4 ha pour les propriétés privées).

Quant aux exploitations « EAC et EAI » (une taille moyenne 8,8 à 12,2 pour les EAI), par contre la taille moyenne des « EAC » est différente : très grande dans la commune de Belacel et Matmar avec une superficie moyenne de 30 ha et 15 ha dans les exploitations étudiées de la commune de Relizane (**tab. 21**).

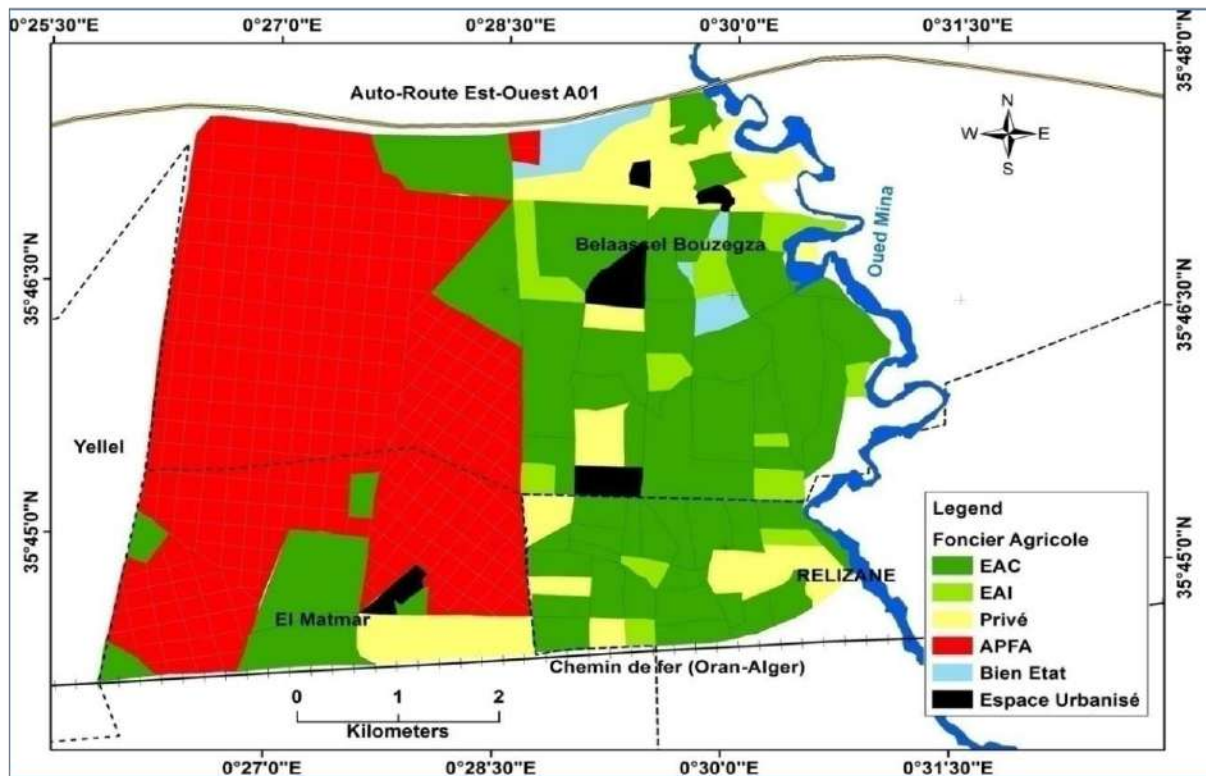


Figure 23. Carte de répartition des exploitations agricoles par nature juridique

2. L'utilisation de l'eau par l'agriculture

L'eau mobilisée pour l'irrigation provient principalement des eaux du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda et le captage des eaux d'une nappe superficielle salée. La mise en eau de ce barrage en 1978 avec une capacité de 225 Hm³ a permis l'exploitation du potentiel des eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina.

2.1. Qualité de l'eau d'irrigation

Les tableaux 22 et 23 montrent la salinité et la qualité de l'eau d'irrigation, au niveau de ce barrage, celle-ci se situe entre 1,28 et 2,02 dS/m (de 1990 à 2018) avec une moyenne générale de 1,47 dS/m (0,94g/l de sel). Ainsi, l'irrigation avec cette eau présente un risque important de salinisation secondaire sur les sols lourds à drainage déficient (fig. 23b). Le tableau 26 donne un aperçu sur la qualité de l'eau d'irrigation au niveau du barrage ainsi que le bilan ionique. Les résultats analytiques de quatre saisons de l'année 2018 montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre et elle est classée dans la catégorie de C3S1 selon ma classification de (USSS, 1954), elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse (ANRH, 2003 et 2018, ABH, 2018 et INSID, 2008 et 2018).

Tableau 22. Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda (Relizane)

Année	1990	1996	2000	2002	2008	2018
CEw en dS/m	1,35	1,28	1,59	1,3	2,02	1,25

(ANRH, ABH et INSID, 2018)

Tableau 23. Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda (Relizane)

Saison	Paramètres exprimant la qualité de l'eau											
	CE (dS/m à 25°C)	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	NO ₃	SAR	Qualité
Automne	1,26	7,5	4,5	3,2	7,0	0,2	5,5	7,0	2,3	0,1	3,55	C3S1
Hiver	1,09	7,8	4,0	3,6	6,0	0,2	4,4	7,1	2,2	0,2	3,06	C3S1
Printemps	1,19	7,8	4,7	2,7	6,5	0,2	4,9	6,9	2,3	0,1	3,37	C3S1
Été	1,29	7,9	4,6	2,9	7,2	0,3	6,1	5,7	2,5	0,1	3,71	C3S1

(ANRH et ABH et INSID, 2018)

Quant aux eaux de la nappe captée utilisée pour l'irrigation des cultures lors de l'étude effectuée par l'INSID en 2011 intitulée « salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la mina, les résultats de l'analyse de l'eau de 179 points d'eau (forage et puits) situés dans le périmètre irrigué de la Mina sont récapitulés dans le tableau qui suit :

Tableau 24. Résultats d'analyses de l'eau sur 179 points d'eau dans le périmètre de la Mina

Lieu	Analyses	pH	CE dS/m	Na+ meq/l	K+ meq/l	Ca++ meq/l	Mg++ meq/l	Cl- meq/l	SO ₄ ⁻⁻ meq/l	CO ₃ ⁻⁻ meq/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	SAR
Mina 2008	Moyenne	7,48	5,3	41,37	0,32	4,00	17,36	41,64	15,75	0,43	4,11	24,49
	Max	8,58	13,23	97,25	3,32	27,11	37,66	111	42,55	2,9	14,60	94,33
	Min	6,77	2,24	12,57	0,00	00	00	10	1,714	0	0,04	6,55

(INSID, 2008)

Le réseau d'irrigation mis en place depuis 1938 est constitué par des canaux à ciel ouvert de différents types. Des moyens financiers importants ont été mobilisés par les pouvoirs publics pour la réalisation de travaux de réhabilitation du réseau d'irrigation et de son extension vers les zones les plus éloignées du périmètre (fig. 25).

La zone d'étude (site pilote) située sur la rive droite du réseau d'irrigation dans la partie Est s'étend à gauche et à droite de la route nationale n°04 menant vers la ville de Chlef et comprend les environs de la localité de la ville d'Oued Djemaa. Les ressources en eaux souterraines sont représentées par l'existence d'une nappe salée à faible profondeur qui a fait que l'orientation vers l'utilisation de cette ressource n'ayant pas été retenue, La qualité de l'eau des différents points d'eau est médiocre à déconseillée pour l'irrigation (tab. 24).

Le mode d'irrigation diffère suivant le type de culture et la disponibilité de l'eau. On pratique l'irrigation localisée, l'arrosage par aspersion et le gravitaire. La dernière méthode reste dominante malgré les efforts consentis de l'état à travers le programme de l'économie de l'eau et la généralisation des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau à la parcelle, on la rencontre dans l'irrigation des vergers d'arboricoles. La technique d'aspersion commence à se développer

avec l'introduction de la culture de pomme de terre dans cette zone et aussi en assolement avec les céréales ou les cultures fourragères (le sorgho et la luzerne) mais elle est encore largement pratiquée pour les cultures de plein champ (**fig. 23a**). L'irrigation localisée est adoptée dans les plantations fruitières et les cultures de plein champ sous paillage comme le melon et la pastèque, par économie du travail et de l'eau.



Figure 23a. Modes d'irrigation (A : Gravitaire ; B : Aspersion et C : Goutte à Goutte)

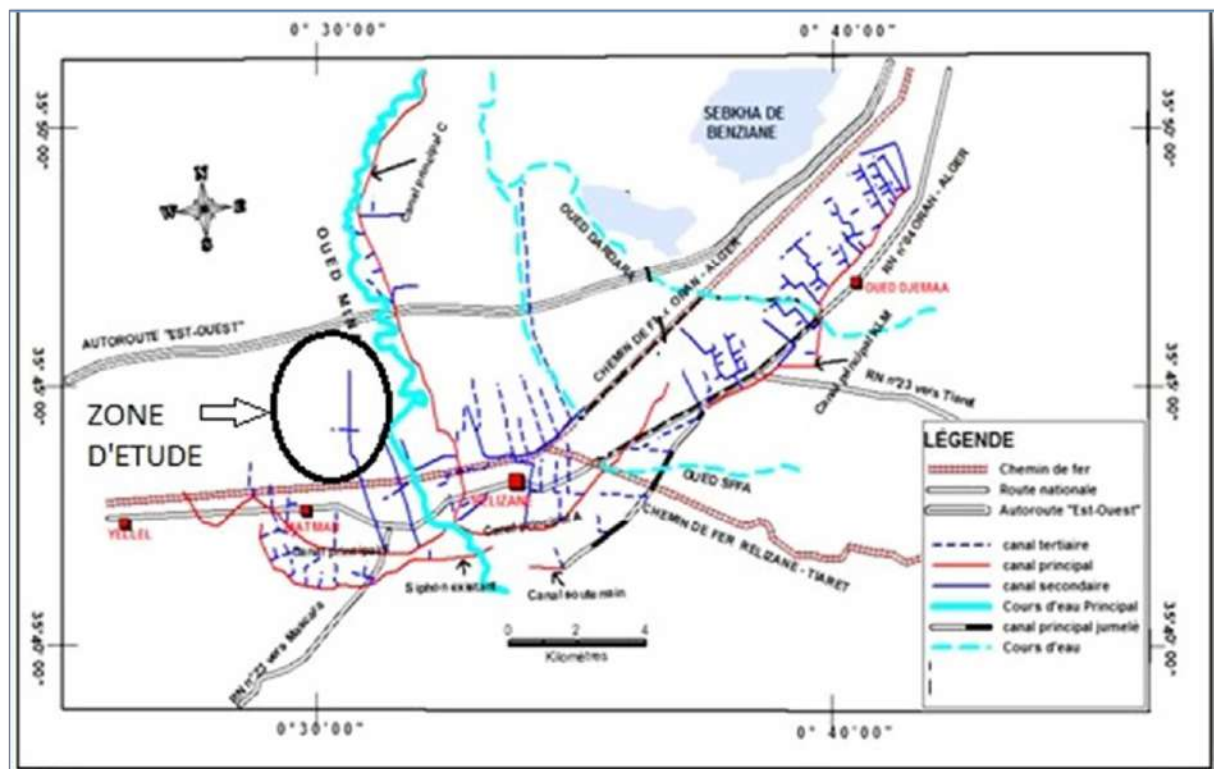


Figure 24. Carte du réseau d'irrigation du périmètre irrigué de la Mina (ABH Cheliff-Zahrez)

3. L'aménagement de l'espace agricole

Au cours de l'enquête effectuée dans les exploitations agricoles et les entretiens avec les agriculteurs, le nombre de points d'eau forés (forages et puits) destinés à l'irrigation est 18 forages et 28 puits affectés pour un nombre de 46 exploitations agricoles sur 466 exploitations enquêtées (**tab. 25**). Ces points d'eau avec une qualité de l'eau médiocre à déconseillée pour l'irrigation (due à la présence élevée de sels) sont prélevés à partir des nappes phréatiques dont

la profondeur varie de 60 à 120 m pour les forages et moins de 50 m pour les puits. Ils sont équipés par un système de pompage et de stockage de l'eau (pompe électrogène ou immergée et bassin d'accumulation) et par un réseau d'irrigation comportant différents types de conduites : conduite d'amenée, kits d'aspersion, installation «goutte à goutte». La superficie irriguée à partir des eaux souterraines ne représente que 218 ha (soit 62% de la superficie irriguée), le reste soit 38% (134 ha) sont irrigués à partir des eaux du barrage de Sidi M'hamed Benaouda (grand périmètre irrigué de la Mina).

Concernant la régulation et le stockage des eaux pour l'irrigation, un nombre de 21 bassins d'accumulation de l'eau a été identifié soit un bassin pour une exploitation agricole. Plus de 75 % du réseau de drainage de la zone d'étude est en état défectueux et qui nécessite un curage des drains (**fig. 23b**).

Tableau 25. Ouvrages de mobilisation et régulation des ressources hydriques pour l'irrigation

Communes	Forages		Puits		Bassins	
	Nbre	Sup (ha)	Nbre	Sup (ha)	Nbre	Sup (ha)
Belacel	8	56	14	50	8	6
Matmar	7	40	7	28	7	4
Relizane	3	17	7	27	6	6
Site pilote d'étude	18	113	28	105	21	16



Figure 23b. Drains en état défectueux nécessitant un curage (Photos Berkane ; 2019)

3.1. Bâtiments d'élevage

Depuis le lancement de PNDA en 2000 et les programme de développement et la modernisation des exploitations agricoles dans la filière de l'élevage et principalement l'investissement dans la réalisation et la réhabilitation des infrastructures d'élevage. Malgré les programmes de l'état, l'adhésion des agriculteurs dans le développement de l'élevage reste modeste. Le tableau suivant montre que la zone d'étude est dominée par l'élevage qui se traduit par le nombre de bâtiments d'élevage (grands et petits élevage). Pour l'aviculture, la

prédominance de poulaillers destinées à élever les poulets de chair et dindes (9 unités). Pour le gros élevage (bovin et ovin) compte 31 unités (étables, hangars, etc.).

Tableau 26. Bâtiments d'élevage

Communes	Infrastructures d'élevage		
	Poulaillers (Poulets de chairs et dindes)	Poulaillers (Poules pondeuses)	Etables et Hangars d'élevage
Belacel	3	/	12
Matmar	5	1	10
Relizane	2	1	9
Site pilote d'étude	9	2	31

3.2. Les brises vents, les haies et les alignements

La plaine de la Mina, cet espace naturel des régions arides et semi-arides est un lieu de fortes contraintes et sont réputés pour être soumis à des vents forts, secs (sirocco en été) et à une évaporation importante (plus de 1500 mm). Les caractéristiques climatiques et édaphiques (érosion, salinité, déclin de la fertilité des sols) constituent un handicap majeur pour le développement rural durable et harmonieux de cet espace. Pour la levée de ces obstacles, il existe des solutions et des mesures d'accompagnement adéquates notamment la protection des parcelles agricoles par des rideaux biologiques vivaces (haies brises vent) à usage multiple. La technique de rideaux biologiques vivaces/ brise-vent, constitue une étape essentielle dans la protection des parcelles agricoles contre les vents desséchants. Cette technique permet, tout d'abord d'atténuer la vélocité des vents violents, ensuite de réduire l'évapotranspiration et enfin d'assurer une production viable, constante et durable. Les expérimentations et les essais menés depuis plusieurs années, par l'Institut national de Recherche Forestière, dans les différents sites des régions arides et semi-arides notent que l'utilisation des brise-vents composites est performante et productive par rapport aux brises vents classiques (casuarina, cyprès) utilisés dans le nord du pays (plaines littorales, plaines intérieures) (INRF, 2012).

- Dans le diagnostic de l'occupation du sol et les enquêtes effectués dans la zone d'étude d'une superficie totale de 4000 ha. On a distingué deux zones :
- Des exploitations agricoles bien délimitées par des plantations de brise vent dans un état bien aménagé et entretenu sont localisées partie sud de la zone limitrophe avec le chemin de fer (**fig. 23c**) ;
- Des exploitations agricoles localisées dans partie nord de la zone dont la plupart des rideaux biologiques dans un état dégradé, d'autres sont dépourvues de brises vent. Le climat rude caractérisé par un déficit hydrique important, une période de sécheresse

saisonnière prolongée (mi-mars à mi- octobre), une menace de salinité des sols et le facteur anthropique qui se traduit par le déboisement, les incendies, l'abandon des paysans de l'entretien, la non régénération des plantations, Tous ces facteurs ont accentué la dégradation de la biodiversité des rideaux biologiques (**fig. 23c**).

Ces rideaux biologiques vivaces sont composés par deux espèces principales : le casuarina et le cyprès vert, ce dernier qui occupe la majorité des plantations de brise vent de la zone d'étude (80% de brise vent) ont été utilisées et héritées depuis l'époque coloniale pour protéger les cultures contre la vitesse du vent desséchant et délimiter les vergers arboricoles.

A ce titre, les brise-vent constituent les mesures d'accompagnements les plus adéquates dans la protection et la préservation des exploitations agricoles, Compte tenu de ses effets, nous pouvons résumer le rôle d'un brise-vent dans :

- La protection des cultures contre les effets mécaniques du vent ;
- La création d'un microclimat par des modifications thermiques et hydriques ;
- La stabilité des sols,
- La délimitation et l'identification des exploitations agricoles ;
- La production de bois à l'issue d'éventuelles exploitations ;
- L'augmentation des surfaces boisées,
- La réduction de l'évapotranspiration potentielle des surfaces protégées ;
- La reconstitution des systèmes de protection dégradés.

Exceptionnellement, le brise-vent agit négativement sur les cultures par :

- L'aggravation des risques de gel par vent faible ;
- L'accentuation des risques d'échaudage (brûlures) en conditions de sécheresse ;
- La création de tourbillons, en cas de brise-vent imperméable, affectant les cultures.

Suite aux enquêtes de terrain effectuées pour quantifier le volume de rideaux biologiques vivaces, le bilan fait ressortir un volume total de 50 ha équivalent à 45 km linéaire seulement pour le site pilote représente près de 3% seulement de la superficie. Ce volume reste très insuffisant si l'on considère la surface agricole utile qui est près de 1.736 ha équipé en réseau d'irrigation.

D'un point de vue modalités de réalisation, la fourniture et l'installation de plants sont prises en charge par le bénéficiaire. Dans le cadre de plan national du développement agricole (PNDA), mise en œuvre depuis septembre 2000. Dans l'espoir d'aboutir à un développement durable, les objectifs du PNDA convergent principalement vers la restructuration du territoire agricole et le développement qualitatif et quantitatif de la production. La nouvelle stratégie du

secteur repose sur le principe central suivant « Tout acte agricole inscrit et devant être exécuté dans le cadre du PNDA doit être économiquement viable, écologiquement durable et socialement acceptable » (MADR, 2000). Et ses programmes de développement des exploitations agricoles et des unités de valorisation de la production agricoles financés à 100% par le Fonds National de Régulation et de Développement Agricole (FNRDA), toutes les actions de plantation à travers la réhabilitation du patrimoine arboricole (création de nouveaux vergers ou renouvellement des vieilles plantations doivent au préalable instaurés par la mise en place d'un brise vent. Cette forme d'assistance gratuite qui constitue selon l'Etat un encouragement de sa part envers le fellah bénéficiaire pour d'étendre les superficies de culture pérenne, a engendré en revanche une situation de négligence de la part de certains exploitants dans la prise en charge des actions qui suivent notamment l'action de brise vent. Devant cet état de fait, la Direction des services agricoles a instauré un moyen administratif engageant le bénéficiaire par écrit à assurer toutes les actions de plantation (arbres fruitiers et brise vent) restantes dans le but d'assurer la réussite et la pérennité des plantations.

Le taux de réussite varie d'une exploitation agricole à l'autre selon le bénéficiaire qui est chargé de toutes les phases de réalisation. Dans l'ensemble, selon la DSA, le taux moyen est évalué à 60 %. Les effets aérodynamiques et microclimatiques qu'exerce le brise-vent sur les cultures dépendent de sa structure, sa porosité, sa forme, ses dimensions en plus de l'espèce utilisée.

Pour la wilaya en générale et la plaine en particulier, le but étant l'installation de rideaux biologiques pour la protection des cultures contre les actions néfastes du vent et par conséquent la diminution de l'évapotranspiration, la séparation des propriétés et la protection contre l'intrusion et aussi pour l'embellissement des paysages agricoles.

Pour la densité de plantation des brises vents, nous avons enregistré sur terrain des intervalles inférieurs à 35 cm entre les plants, sachant que l'écartement entre les plants détermine la porosité recherchée du brise-vent (perméable, semi perméable ou imperméable) qui doit répondre aux exigences du milieu sur la base d'une étude mais dans les normes de la modalité d'installation préconisée par les services agricole et forestiers est de 100 plants /100 ml soit une équidistance de 1m. Selon **Guyot (1989)** la porosité optimale est de l'ordre de 40 % pour un brise-vent d'une seule rangée. Les seules espèces utilisées sont le casuarina et le cyprès (principalement *Cupressus sempervirens*) conformément à la demande des fellahs bénéficiaires, et selon la disponibilité en pépinière. L'essence du casuarina est très demandée par les agriculteurs car sa croissance rapide intéresse le fellah comparativement avec le cyprès.

D'autres espèces sont utilisées par les fellahs comme brise-vent tel que : l'olivier de bohème, le jujubier, le *Tamarix aphylla*, dont le comportement, la réussite et l'efficacité sont très variables d'une exploitation à l'autre. Cette diversification est donc recommandée, contrairement à un brise-vent monospécifique qui présente un danger permanent dans le cas d'une attaque parasitaire.



Figure 23c. Espèces utilisées comme brise-vent et leur état de dégradation dans la zone d'étude partie Oued Djemaa (Photos I. Berkane, 2016)

A, B & C : Principales espèces (*Casuarina equisetifolia*, *Cupressus sempervirens*, *Tamarix aphylla*, *Acacia cyanophylla*, *Atriplex halimus*, *Zizifus lotus* ; **D, E, & F :** Détérioration des brise-vent par manque d'entretien

3.3. Alignements et clôtures

Plantation d'alignement en bords des axes routiers font partie de notre paysage routier. Ces alignements contribuent à insérer une infrastructure routière dans le paysage. Leurs fonctions sont multiples : ornementales (ombrage pour les voyageurs, embellissements), et parfois économique (bois d'œuvre et chauffage) et aussi contribuent au drainage de la chaussée.

Cette opération a été initiée par le secteur des travaux publics, et parfois entamée par l'APC ou le secteur des forêts où diverses essences ont été introduites. Dans le cadre du programme de paysagerie et l'embellissement des principales voies routières, la conservation des forêts a exigé les entreprises retenues pour ces projets de reconvertir d'une petite quantité de plants de la bande verte en quantité de plants d'alignement. Chaque entreprise est tenue d'assurer la plantation du tronçon routier de proximité. On a enregistré entre les arbres d'alignements une équidistance de 7 m environ soit 142 plants/km et une distance de 3 à 3,5 m entre la rangée d'arbres et la chaussée.

Plantées de manière linéaire et régulière le long des routes, et des rues, ce type de plantation a connu l'introduction de diverses espèces dont principalement l'Eucalyptus, le Robinier (faux Acacia), le Tamarix et parfois le fucus.

Sur la RN 04, on rencontre quelques discontinuités de l'alignement, ceci se traduit par : ces plantations d'alignements sont croisées avec les plantations des brise-vent dans les points où la distance est étroite entre les haies brise-vent (les parcelles agricoles) et le bord de la chaussée et parfois par les échecs des plantations dus essentiellement au pacage qui demeure une menace redoutable pour toute forme de plantation ou la négligence de suivre les travaux d'entretien. L'élaboration d'un programme de plantation d'alignement basé sur un choix judicieux des essences et fixant les modalités les plus adéquates pour la réalisation et la prise en charge des plantations et aussi prenant en considération la proximité des plantations et de la route (minimiser les dégâts des accidents sur la route et les arbres).

La véritable clôture utilisée par les exploitants est formée par des lignes de branches d'arbres secs de cyprès et jujubier et palmes sèches (*Zarb*) à hauteur de 2.5 m qui marquent la limite de propriété. Ce sont des obstacles aux animaux et la protection contre l'intrusion des parcelles. Et parfois y utilise une clôture vive ; le brise vent comme une clôture (haies brise-vent). L'agriculteur peut aussi implanter un mur de clôture d'une hauteur de 3 m (1,50 m bâti et le reste en grillage ou Zimmerman) après une autorisation de permis de construire. Plusieurs lignes de ce genre existent à l'intérieur du jardin, des vergers arboricoles et les champs de cultures maraîchères. Elles forment des cloisons qui protègent les cultures et les animaux.

4. Contraintes du développement agricole de plaine

4.1. Un contexte climatique toujours incertain

Le contexte climatique se caractérise par une diminution des hauteurs d'eau précipitée et un raccourcissement des saisons, en comparaison avec les observations de deux périodes étudiées anciennes de 1913-1938 « recueil météorologique de **Seltzer (1946)** » et récente (1990- 2020) fournie par l'Office National de la Météorologie (ONM), l'ABH et l'ANRH. La comparaison des données de deux périodes anciennes et récentes révèle une notable différence. Une différence qui se traduit par une nette tendance vers un cycle de sécheresse caractérisée par un cycle long des mois secs (mi-mars jusqu'à mi-octobre). D'après la valeur de l'indice de sécheresse « **Is** » calculée pour la zone d'étude qui est de 0,40 pour la période Ancienne (1913-1938) et de 0,23 pour celle de la période Récente (1987-2009). Ces faibles valeurs confirment la xéricité de la saison sèche et la rareté des pluies estivales.

On peut résumer l'aridité du climat de la zone comme suit :

- Une séquence sèche bien accusée pour la période s'étalant du mois de mi-mars jusqu'au mois de mi-octobre ;
- Une diminution de 15 % (35 mm) des précipitations au cours de la période de 1913 à 2020 ;
- Une augmentation de la température moyenne de 1.6 C° au cours de la même période,
- Des épisodes de fortes chaleurs ont été enregistrés ces dernières années (une moyenne de 43 °C en juillet) ;
- Des rendements agricoles fortement perturbés par les risques climatiques ;
- Une sécheresse latente accélère la dégradation des ressources naturelles (la salinité du sol et de l'eau), la diminution de remplissage des barrages et rabattement de niveau des nappes d'eaux souterraines ;

4.2. Dégradation continue et alarmante des sols

Tous les sols de la plaine de la Mina sont constitués d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine (argile-limon), potentiellement salinisables. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité (**ANRH, 2003**). Selon l'étude menée par **l'INSID (2008)**, les sols affectés par une salinité supérieure à 2 dS.m⁻¹, représentent 75 % de la superficie sur les 6000 hectares étudiés, au niveau du périmètre irrigué de la Mina, avec la présence d'un taux de calcaire appréciable. La profondeur des sols est de 1 à 1,5 m en moyenne.

Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (**Ghoul,**

1974 ; Ghoul et Peter, 1974). Les sols présentent, à des degrés divers, de fortes teneurs en particules fines liées à l'origine des alluviaux, des caractères vertiques, des teneurs en sels élevées et des tâches d'excès d'eau dans le profil. Les éléments fins dérivés des marnes ou argile tertiaire confèrent au sol du périmètre une cohésion et une compacité excessives.

Le système de production intensif (cas des cultures maraîchères) et le mode d'exploitation irrationnelle des terres (labour excessif), fertilisation chimique et faible taux de MO conjugué à la persistance de la sécheresse saisonnière accentuée perturbent les écosystèmes de la plaine. La conséquence la plus caractéristique est de façon pratique, une baisse continue de la productivité des terres qui est la traduction d'un processus complexe de détérioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Dans notre agrosystème, on trouve cinq mécanismes majeurs sont à l'origine de la dégradation des sols :

- Perte de sols par érosion (cas des berges de cours d'eau),
- Faible taux de matière organique (moyenne de 0,36 à 2,8 % de MO) et de l'activité biologique du sol,
- Dégradation, entre autres caractéristiques physiques, de la structure du sol due au faible taux de MO, la présence élevée des sels,
- Réduction de la disponibilité des principaux éléments nutritifs (surtout N, P) et des oligoéléments, et l'augmentation de la toxicité, due à la salinité.

4.2.1. Des sols menacés par la salinité

La salinisation des sols, qui est à la fois un problème agricole et environnemental, a des conséquences sur les propriétés physico-chimiques des sols qui se traduisent par la présence des sols salés à structures non dégradées, mais aussi des sols salés dégradés (**Qadir et Oster, 2004**).

Selon l'étude du projet « salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina (Relizane, Algérie) établi en 2012 par l'INSID a montré que les sols affectés par la salinité occupent une superficie relativement importante. Il ressort de cette répartition des classes de salinité que les sols affectés par la salinité représentent 75 % de la superficie totale. Ce qui affecte considérablement les potentialités de production agricoles (**fig. 23d**).



Figure 23d. Impacts de l'utilisation des eaux salées dans l'irrigation des sols

A & B : Remontée des sels par capillarité et apparition des taches blanchâtres de à la surface du sol

C : Terrains abandonnés avec développement des espèces halophiles

4.3. La dégradation de la biodiversité

L'agriculture contribue à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, mais elle est aussi l'un des principaux moteurs de la perte de la biodiversité. Les agriculteurs et les producteurs agricoles sont des gardiens de la biodiversité agricole et ils possèdent les connaissances nécessaires pour la gérer et la maintenir (SCDV, 2008).

L'analyse de la biodiversité dans la zone d'étude a été effectuée selon une approche écosystémique, le secrétariat de la convention sur la diversité biologique (SCDV) lors de sa journée internationale de la biodiversité biologique en 22 mai 2008 sur le slogan « **biodiversité et agriculture - protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire** » a défini l'approche éco-systémique « L'approche éco-systémique est une stratégie de gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources vivantes qui favorise la conservation et l'utilisation durable d'une manière équitable. Elle est basée sur l'application de méthodes scientifiques appropriées portant sur des niveaux d'organisation biologique qui englobent les processus essentiels, les fonctions et les interactions entre les organismes et leur environnement. Elle reconnaît que les êtres humains, avec leur diversité culturelle, font partie intégrante des écosystèmes ».

La plaine de la Mina, objet de notre étude constitue une entité géographique qui se distingue par des contraintes agro-écologiques ayant des répercussions sur la vie socio-économique des populations. Ces contraintes sont essentiellement :

- Un climat toujours incertain à tendance aride avec une diminution des précipitations, une fluctuation des précipitations saisonnières, annuelles et interannuelles, une séquence de sécheresse saisonnière prolongée, une évapotranspiration importante (plus de 1500 mm) et de fortes vagues de chaleur en été.
- Une tendance à la torrencialité des précipitations se traduisant par une intensité assez forte avec ses conséquences sur la végétation et le sol ;

- Des conditions édaphiques défavorables des sols (des sols à texture fine à moyenne sont plus argileux et souvent engorgés d'eau dans les dépressions. Ils sont dépourvus de la matière organique.) qui touchent 75% de la superficie étudiée se traduisent par une salinité très importante et une détérioration de la fertilité des sols (faible taux de MO et éléments nutritifs comme le N et P) avec ses conséquences sur la végétation et la production agricole ;
- Une rupture de l'équilibre écologique encouragée par les aléas tant climatiques (sécheresse saisonnière accentuée) qu'édaphique (dégradation des sols) auxquels doit s'ajouter une occupation du sol en inadéquation (prédominance de système de monoculture) avec les potentialités ;
- Des ressources en eau superficielles (barrage, Oued) de qualité moyenne à médiocre, autres souterraines de mauvaise qualité et déconseillé pour l'irrigation à cause de fort taux de salinité et un réseau hydrographique charrient tous des eaux saumâtres par suite de l'existence de sources salées et du lessivage des terrains salins de l'amont.
- Une vocation agricole imposée par les caractéristiques agro-pédo-écologiques du terrain mais avec une prédominance de l'agriculture conventionnelle non durable ;
- Des formations de boisement (les rideaux biologiques vivaces) assez dégradées dans le côté Ouest de site pilote avec dominance des formations de deux essences principales (le cyprès vert et le Casuarina) ;
- L'utilisation intensive des intrants chimiques de synthèse surtout pour les cultures maraîchères et son impact sur le sol et la nappe phréatique ;
- Des pratiques culturales non restituantes de la fertilité du sol (moins d'assolement) et surtout le non-respect de la jachère travaillée et le précédent cultural ;
- Le processus d'intensification de l'agriculture conventionnelle (cas de maraîchage) se fonde sur des principes diamétralement opposés à la biodiversité. A l'échelle des parcelles cultivées le labour profond excessif, les produits phytosanitaires et la fertilisation ont des effets négatifs sur la biodiversité.
- L'élevage reste une activité présente dans la plaine mais non associé aux cultures pour la complémentarité agropastorale (agriculture-élevage). Vu la potentialité agropastorale de la zone, il est possible d'améliorer les potentialités par l'association des cultures à l'élevage et même aussi avec la sylviculture à partir des programmes de boisement et plantation des arbres fruitiers et forestiers ;

- Une production agricole perturbée par des services écosystémiques fragiles. Mais on peut améliorer la situation par des services qui contribuent positivement à l'augmentation et la diversification de la production agricole (ex : Captation et conversion d'éléments nutritifs, cas des bactéries fixatrices d'azote) ;
- Une dégradation du potentiel écologique a pour origine principalement la salinisation, perte de fertilité du sol et la dégradation de la biodiversité, etc., qui entravent la mise en place d'une stratégie d'aménagement rural durable basée sur l'introduction des systèmes agroforestiers pour la conservation et la durabilité de la nature de ce territoire agricole.

CHAPITRE IV :
TYPOLOGIE DES RISQUES
AGRO-ECOLOGIQUES

CHAPITRE IV : Typologie des risques agro écologiques

1. Notion du risque

Lorsque on cherche dans le dictionnaire « Petit robert » « Le risque est l'éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage ; par extension, [le risque est un] événement contre la survenance duquel on s'assure ».

La directive n° 96/82 du Conseil de l'Europe du 9 décembre 1996 définit le risque comme une « probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées »

Afnor (2003) définit le risque comme est un « événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet ». Par ailleurs, le risque, présenté comme un événement, a un caractère instantané. Il est donc caractérisé par deux facteurs prépondérants : la possibilité d'occurrence et la mesure des conséquences.

Il existe plusieurs manières de classer les risques. En adoptons la typologie suivant la fréquence et niveau de gravité (**Bouazabia et Boudjedra, 2007**).

Selon **Benabdeli et Moulay (2013)**, la notion de risque en milieu agricole est le produit de l'aléa induit par la vulnérabilité de l'activité humaine. Le danger réside essentiellement dans les techniques d'exploitation des terres agricoles ignorant souvent leur vulnérabilité. La situation dangereuse est induite à plus de 75% par la présence de l'homme directement ou indirectement (facteur de risque) dans la zone de danger (objet du risque).

Il s'agit de classer par ordre d'importance la vulnérabilité et ensuite analyser les situations à risque, il s'agit alors de développer une cartographie de ses risques, pour cela l'analyse du risque s'appuie sur deux variables : gravité et fréquence.

- **Fréquence ou probabilité** : La fréquence F se mesure en termes de probabilité d'occurrence ou de réalisation de la menace.
- **Facteur G** (gravité ou impact) : La gravité G se mesure en termes d'impact ou de conséquence des effets de la réalisation de la menace.

La valeur d'un risque s'exprime donc par le produit des deux facteurs : $R = F \times G$

Pour la criticité, il s'agit là de la partie quantitative de l'étude où il est recommandé de noter :

- la gravité des effets associés à chaque mode de défaillance ;
- la fréquence d'apparition de chaque mode de défaillance ;
- la probabilité de ne pas détecter le mode de défaillance ;
- la criticité C se définit alors comme le produit des trois facteurs : $C = G \times F \times D$

2. Notion d'agroécologie

2.1. Histoire de l'évolution du concept

Le terme « agroécologie » est apparu pour la première fois dans la littérature scientifique dans les années 1930 (**Bersin, 1928 et 1930**). Jusqu'aux années 60, l'agroécologie consistait uniquement en une discipline scientifique en lien avec la production agricole et la protection des plantes. Puis, différentes branches de l'agroécologie se sont développées faisant suite aux mouvements écologistes et hostiles à l'agriculture industrielle nés dans les années 60, notamment en Amérique latine où l'agroécologie a favorisé la naissance des premiers mouvements agro écologiques dans les années 1990. L'agroécologie en tant qu'ensemble de pratiques agricoles est née dans les années 80 et s'est rapidement trouvée mêlée à ces mouvements sociaux émergents. Ainsi, ces dernières décennies, le concept a englobé petit à petit de nouvelles dimensions environnementales, sociales, économiques, éthiques en lien avec le développement (**Wezel et al., 2009**).

2.2. L'agroécologie

Selon les scientifiques spécialistes de l'agroécologie sur le continent américain comme Miguel Altieri, Steve Gliessman, Richard Francis, dans les années 1970, l'agroécologie résulte de la fusion de deux disciplines scientifiques, l'agronomie et l'écologie. Il s'agit à la fois d'une science - l'agroécologie est l'application de la science écologique à l'étude, à la conception et à la gestion d'agroécosystèmes durables, et d'un ensemble de pratiques. L'agroécologie recherche, au travers de pratiques diversifiées à optimiser les agroécosystèmes (écosystèmes transformés par l'homme) en imitant les processus naturels favorisant ainsi des interactions et synergies biologiques bénéfiques entre ses composantes (**Altieri, 1991 et Gliessman, 1998**). Elle les amplifie tout en visant à diminuer les pressions sur l'environnement (ex : réduire les émissions de gaz à effet de serre, limiter au maximum le recours aux engrais de synthèse et aux produits phytosanitaires, etc.) et à préserver les ressources naturelles (eau, énergie, éléments minéraux, etc.).

Il s'agit d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement. Elle permet d'obtenir les conditions les plus favorables pour la croissance des végétaux, notamment en gérant la matière organique, en augmentant l'activité biotique du sol et en assurant le renouvellement de l'écosystème. Par ailleurs, pour certains auteurs et dans certaines zones géographiques, l'agroécologie est devenue un mouvement social (**Griffon, et al., 2011**).

L'agroécologie ne peut pas être exclusivement définie comme une science ni comme un mouvement social, ni même encore comme une approche agricole. Il s'agit plutôt d'un concept

qui se situe au croisement de ces trois dimensions (Peano et al., 2015). Bien que les travaux scientifiques dédiés à ce sujet se soient considérablement multipliés ces dernières années (Wezel & Soldat, 2009 et Schaller, 2013) et malgré la légitimation croissante de l'agroécologie au niveau international, elle est encore aujourd'hui trop souvent perçue comme un ensemble de pratiques qui peuvent seulement être appliquées dans des contextes déterminés et qu'en tant que tel, elle ne peut contribuer au développement de la durabilité au niveau global.

3. Typologie des risques agro écologiques

L'identification des risques sources de dégradation et dysfonctionnement des systèmes agraires dans l'espace agricole, quel que soit sa composition, sa localisation, ses potentialités et son stade de dégradation, peut être dans un premier temps identifiée par les principaux indices de perturbation qui constituent les causes de défaillance de l'agrosystème (complète, partielle ou intermittente) qui permet de comprendre les modes de défaillance qui renseignent sur les effets de défaillance. Il sera possible ensuite de corriger toutes les anomalies constatées pour opter sur une stratégie de réhabilitation et de gestion durable de cet espace agricole.

Les principaux dangers source de risque dans le secteur agricole se résument en trois aléas (Benabdeli et Moulay, 2013) :

- L'environnement humain et son impact sur l'espace agricole,
- La structure et l'utilisation spatiotemporelle de l'espace agricole et
- L'absence de gestion durable prenant en charge la durabilité de cet agrosystème

Dans l'identification des risques, tout en permettant de viser les différents dangers potentiels, il est possible d'identifier les risques avec leur degré de probabilité et leurs effets sur l'agroécosystème.

Au cours de notre enquête agro-socioéconomique qui permet de diagnostiquer les systèmes agraires et l'état de connaissance de la gestion de l'espace agricole ainsi que la recherche bibliographique effectuée nous a mené à une identification de source de dangers et de risques qui dépend de quatre causes (tab. 27) :

Tableau 27. Identification de source de dangers et de risques	
Organisationnelles	Techniques
<ul style="list-style-type: none"> • Identification du foncier agricole et son apurement • Stratégie de gestion durable de l'espace agricole • Gestion moderne des exploitations agricoles • Financement des exploitations agricoles • Formation et encadrement continus 	<ul style="list-style-type: none"> • Potentialités édaphiques • Gestion durable de ces espaces • Techniques d'exploitation • Qualité du plan de culture • Maîtrise des techniques culturales • Qualité des eaux d'irrigation et Maîtrise des besoins en eau • Maîtrise des amendements et traitements
Naturelles	Politiques et gouvernance
<ul style="list-style-type: none"> • Diminution des précipitations (sécheresse) • Augmentation des températures • Dégradation des sols (salinisation) • Dynamique régressive de la biologie des sols 	<ul style="list-style-type: none"> • Avenir du foncier agricole • Modalités de gestion • Exploitation de l'eau • Subventions

3.1. Risque de sécheresse

Le climat de la planète continue à changer à des rythmes qui sont projetées pour être sans précédent dans la récente histoire de l'humanité. Les rapports d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques (GEICC) suggèrent une augmentation globale de la température moyenne de la surface de la terre, comprise entre 1,4 et 5,8 °C de l'an 2000 jusqu'à 2100 (**Mrabet et Moussadek, 2012**).

Dans la plus grande partie de l'Afrique, la sécheresse est la calamité climatique la plus fréquente. L'Algérie, et surtout l'Ouest du pays, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, pendant les années 40 et les années 70 jusqu'à nos jours (**Meddi, 2003**).

La sécheresse est un phénomène normal et récurrent du climat. Elle diffère des autres catastrophes par le fait qu'elle s'installe lentement et se développe au cours des mois et voire même des années. Elle affecte des espaces assez larges. Cependant, ses caractéristiques varient d'une région à une autre. Néanmoins, il ne faut pas confondre l'aridité et la sécheresse. Toutefois, lorsque ce déficit est systématique, on parle d'aridité qui est une caractéristique climatique d'une zone donnée ; c'est la situation permanente de faibles précipitations annuelles ou saisonnières (**Lain, 2005**). La sécheresse par contre, est une situation temporaire du manque de pluie.

Hors de ces zones désertiques ou arides, la sécheresse est plutôt ressentie comme un épisode, et classée par les climatologues dans la catégorie des événements extrêmes. Elle se définira alors par l'intensité de sa déviation par rapport aux valeurs moyennes ou normales de

pluviométrie avec des éléments quantitatifs sur sa durée, sa période d'occurrence et son extension géographique (WMO, 2006).

La sécheresse est parmi les catastrophes naturelles les plus complexes et son début et sa fin ainsi que sa sévérité sont souvent difficiles à déterminer. Comme pour les autres catastrophes, les impacts de la sécheresse touchent différents secteurs, économiques, sociaux et environnementaux.

La sécheresse comprend à la fois une composante naturelle et une autre sociale. Dans chaque région, le risque qui lui est associé est le produit de l'exposition à l'aléa (i.e. probabilité d'occurrence à différents niveaux de sévérité) et de la vulnérabilité de la société à l'évènement.

A l'heure actuelle, aussi bien au niveau mondial que régional, la caractérisation de la sécheresse en tant qu'évènement extrême est limitée à la durée des épisodes (nombre de jours consécutifs sans pluie). Cette mesure reste assez peu informative lorsqu'on veut analyser les conséquences sur l'agriculture. Un exemple de caractérisation plus complète du point de vue climatologique est présenté dans un rapport récent de l'université Columbia de New York pour la banque mondiale, qui a proposé une cartographie des risques de pertes économiques liés à la sécheresse à partir des données climatiques de la période 1980-2000. Le critère climatologique retenu est la fréquence d'épisodes avec 3 mois consécutifs de pluviométrie inférieure à 50% de la normale.

La sécheresse doit être considérée comme un état plutôt relatif qu'absolu. Elle se produit aussi bien dans des zones à fortes précipitations que dans des zones à faibles précipitations, et sous presque tous les climats. Les scientifiques, les dirigeants et le grand public l'associent souvent aux régions arides, semi-arides ou subhumides, alors qu'elle sévit en réalité dans la plupart des pays, dans les régions sèches comme dans les régions humides.

La sécheresse fait partie du climat, même si son étendue et son intensité varient à une échelle de temps saisonnière ou annuelle. Dans beaucoup de pays, et notamment en Australie, en Chine, aux États-Unis d'Amérique et en Inde, la sécheresse s'installe chaque année sur une partie du territoire (WMO, 2006).

De manière générale, une sécheresse peut être définie par un déficit anormal en eau dans une ou plusieurs parties du cycle hydrologique (Joetzje, 2012 et 2014). En fonction de la référence prise, on définit couramment trois types de sécheresses :

- **Sécheresse météorologique** : (*Précipitations*) évènement climatique extrême caractérisé par des précipitations inférieures à la normale sur une période qui peut varier du mois à l'année, voire dans certain cas, à plusieurs années. Les sécheresses météorologiques sont souvent déclenchées par des anomalies persistantes de grande échelle des températures

de surface de la mer. En effet, l'océan représente une composante lente du système climatique pouvant influencer l'atmosphère à des échelles plus ou moins longues.

- **Sécheresse agronomique** : (*Humidité des sols*) est caractérisée par une période où les sols sont secs. Ce qui peut être causé par des précipitations moyennes inférieures à la normale, ou moins fréquentes mais plus intenses, une évapotranspiration plus élevée, ou encore par des ruissellements plus importants.
- **Sécheresse hydrologique** : (*Réservoirs et débits*) repose sur la quantité d'eau dans les réservoirs. On parle de sécheresse hydrologique lorsque ceux-ci ne sont pas reconstitués (Dai, 2011).

C'est souvent le dernier type de sécheresse qui est observé en raison de l'importance de l'inertie du système, notamment en présence d'aquifère.

Ces trois types de sécheresse sont évidemment liés. Les sécheresses météorologiques déclenchent souvent des sécheresses agronomiques et qui peuvent être suivies par des sécheresses hydrologiques. Cependant d'autres facteurs comme des précipitations moins intenses mais plus fréquentes, une érosion importante, une mauvaise gestion des ressources en eau peuvent aussi causer ou amplifier ces sécheresses (Dai, 2011).

Une sécheresse se caractérise par son intensité, sa durée et l'étendue spatiale affectée. L'intensité se mesure par l'écart à la normale d'un ou plusieurs paramètres (précipitations, niveaux des réservoirs, humidité des sols, indicateurs de sécheresses). Étant donné que les sécheresses se définissent de manière relative par rapport à l'état normal, c'est un phénomène qui concerne le globe dans sa totalité, même dans les zones humides (Dai, 2011). La durée d'une sécheresse peut s'étaler du mois à plusieurs dizaines d'années pour les cas les plus extrêmes. C'est la raison pour laquelle nous avons travaillé avec des variables mensuelles et des indices multi-échelles. De même l'étendue spatiale peut varier de l'échelle du département au continent. En raison de la complexité de ce phénomène, la définition d'indicateurs est nécessaire pour suivre et étudier les sécheresses.

3.2. Risque de salinité des sols

3.2.1. Définition

La salinisation est l'accumulation des sels solubles (plus solubles que le gypse) à la surface du sol et dans la zone racinaire (Mermoud, 2006). Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions Na^+ , Mg^{++} , Ca^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- et CO_3^{--}) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (USSSL, 1954).

Les sols salés sont formés à partir de trois processus physico-chimiques qui sont la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation (**Montoroi, 1997**).

La conductivité, inverse d'une résistivité (en ohms), a longtemps été exprimée en mhos (en inversant l'ordre des lettres). Dans le système international, on se réfère désormais au Siemens (S), et à ses subdivisions (milli = m et micro = μ), pour exprimer une conductivité électrique (**FAO, 1988**) soit :

- $1\text{dS/m} = 1\text{mS/cm} = 1\text{mmhos/cm} = 0.1\text{ S/m} = 1000\ \mu\text{S/cm}$ ou
- $1\text{mmol (+) / l} = 10 \times \text{CE}$ (CE en dS/m) quand elle est exprimée en mmol (+) / l

Pour l'eau d'irrigation et les extraits de sol dans la gamme 0,1-5 dS / m : Conductivité en pression osmotique en bars : $\text{PO} = 0,36 \times \text{CE}$ (CE en dS / m)

Par contre, pour les extraits du sol dans la gamme de 3 à 30 dS / m, la Conductivité est exprimée en mg / l :

- $\text{mg / l} = 0,64 \times \text{CE} \times 10^3$, ou (CE en dS / m) ou
- $\text{mg / l} = 640 \times \text{CE}$

Pour les eaux et extraits de sol ayant une conductivité jusqu'à 5 dS / m, on opte généralement pour le mmol / litre (analyse chimique) en mg / l ou bien on le multiplie pour chaque ion par son poids moléculaire pour obtenir la somme.

3.2.2. La salinisation dans le monde et en Algérie

Selon les estimations les plus récentes de la FAO, la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (**Legros, 2009**). La plupart de ces terres affectées par le sel sont situées dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et du Sud de l'Asie (**FAO, 2006**). Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au Proche Orient (Egypte, Tunisie) et Moyen Orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie centrale (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine (**Marlet et Job, 2006**). Dans les pays du Maghreb, les dommages de la salinisation sont connus, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation (**Djili et al., 2003**).

En Algérie, selon les travaux de (**Halitim, 1973 et 1985 et Houerou (1993)**), les sols salés occupent de grandes étendues environs 3,2 millions d'hectares de la superficie totale et près de 10-15 % de terres irriguées sont concernées par ces problèmes. On estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables et que la plupart de ces sols sont situés en région aride et semi-aride mais aussi sous bioclimat subhumide. Selon **Djili (2000)**, les sols salés sont

aussi localisés au Nord qu'au Sud algérien et s'expriment mieux entre les isohyètes 450 mm qui semblent être la limite supérieure des sols fortement sodiques bien que le problème d'alcalinisation selon **Daoud et Halitim (1994)** ne se pose plus.

Selon les travaux de **l'INSID (2008)**, la salinité est observée dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra, Sig et Maghnia), dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zahrez Gharbi et Chergui, etc.) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc.).

Les sels les plus fréquents, dans les régions arides et semi- arides, sont surtout les chlorures, les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (**Halitim, 1988**). Les problèmes de salure des sols sont importants sur la Mina (problème de lessivage et de drainage) du fait du manque d'eau.

En effet, la plaine de la Mina est particulièrement touchée par le problème de la salinisation. On définit en général deux types de salinisation, la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

a. **La salinisation primaire** : Elle résulte de la présence initiale de sels dans le sol ou dans la nappe phréatique et peut affecter des milieux naturels sans qu'il y ait intervention directe de l'homme. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques ou magnésiques conduit à des sels souvent solubles, en particulier les chlorures, les sulfates, les carbonates, les bicarbonates et parfois les silicates de ces métaux (**Zahow et Amrhein, 1992**). Selon **Aubert (1975)** et de façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire. (**Benchetrit, 1956**).

b. **La salinisation secondaire** : C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau d'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels (**FAO, 2006**). Un excès d'eau entraîne la remontée d'une nappe phréatique salée, tandis qu'un manque d'eau provoque une lixiviation insuffisante des sels (**Boivin et al., 2002**). Les sols affectés par la salinisation secondaire est de 20% à 50% des terres irriguées en Algérie (**Douaoui et Hartani, 2007**).

Selon l'étude de l'INSID en 2011 intitulé « salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina » sur une superficie totale étudiée de 6000 ha a montré que les sols affectés par la

salinité occupent une superficie relativement importante que représentent 75 % de la superficie totale.

3.2.3. Effets néfastes de la salinité sur les sols et les plantes

L'accumulation des sels dans les sols est un grave problème environnemental menaçant les processus physiologiques de la plante et la fertilité des sols.

Sur les sols, elle favorise la dispersion de l'argile et par conséquent l'instabilité structurale, forme une croûte sur surface qui favorise l'effet de battance en déclenchant l'érosion hydrique, contribue à réduire l'infiltration des sols qui conduit à son hydromorphie (**Douaoui *et al.*, 2004**), disperse les agrégats du sol (réduction de la perméabilité, la porosité et le tassement), complique les travaux de labour et l'enracinement des plantes et augmente l'asphyxie du sol en résultant d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes.

Sur les cultures, elle diminue la capacité de la plante à utiliser l'eau dont elle a besoin, au risque de la soumettre à une sécheresse conditionnée (**Halitim, 1988**). Ce qui est à l'origine des déséquilibres nutritionnels observés chez les plantes et la baisse considérable des rendements tout en contribuant à la stérilité des sols et la dégradation de toute couverture végétale y compris de plantes halophytes.

CHAPITRE V :
EVALUATION DES IMPACTS DES
RISQUES AGRO-ECOLOGIQUES

CHAPITRE V. Evaluation des impacts des risques agro-écologiques

1. Contexte climatique toujours incertain

1.1. Évolution des précipitations

L'étude de l'évolution des pluviométries concerne la comparaison de trois périodes : une période très ancienne correspondant à la série de données de Seltzer (1913-1938) de stations limitrophes de la wilaya de Relizane portant sur sept (07) stations : Relizane, Ammi Moussa, Chlef, Ténès, Tiaret, Mascara, Mostaganem, Tissemsilt et Teniet-El-Haad (**tab. 28**). Ces données ont été obtenues à partir du recueil météorologique de Seltzer (1946). Pour la période (1968-2020), les caractéristiques principales des séries de données pluviométriques des stations étudiées sur une période de 53 années d'observation ont été fournies par l'ONM (Office National de Météorologie), l'ABH (Agence Nationale Hydrographique de Cheliff-Zahrez) et l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) récapitulées dans le **tableau 29**.

Tableau 28. Données pluviométriques annuelles de Seltzer (période :1913-1938)

Station		Coordonnées géographiques (degré décimal)		Altitude (m)	Pluviométrie Moyenne (mm)
N°	Nom	Longitude	Latitude		
01	Relizane (48)	0,56000	35,74667	79	325
02	Ammi Moussa (48)	1,11905	35,86388	230	429
03	Chlef (02)	1,35000	36,16000	134	400
04	Ténès (02)	1,30000	36,51667	56	545
05	Tiaret (14)	1,33333	35,38333	970	622
06	Mascara (29)	0,12333	35,40000	590	511
07	Mostaganem (27)	0,10000	35,91667	26	378
08	Tissemsilt (38)	1,81167	35,60750	865	429
09	Teniet-El-Had (38)	2,02889	35,87083	1140	628

Tableau 29. Données pluviométriques annuelles des postes climatologiques de la W. de Relizane (1968-2020)

Station		Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Données pluviométriques				
N°	Nom	Longitude	Latitude		Min	Max	Moy	Ecart	CV
01	Saaidia	01° 20' 16.01"	35° 53' 53.26"	1000	329,7	952,9	536,0	148,67	27,74
02	Ouarizane Vilage	00° 54' 00.19"	36° 02' 39.46"	60	75,20	604,6	315,5	124,50	39,45
03	Merdja El Amel	00° 56' 43.57"	36° 00' 01.52"	62	134,1	511,9	275,4	84,80	30,78
04	Ammi Moussa	01° 07' 08.57"	35° 51' 49.96"	140	192,8	535,4	342,4	96,14	28,07
05	Guergar	00° 57' 40.73"	35° 57' 34.32"	90	154,8	430,3	293,9	66,62	22,67
06	Kenanda Ferme	00° 49' 20.33"	35° 38' 49.99"	590	102,9	707,8	314,4	140,65	44,73
07	Ouled Ayche	00° 57' 49.26"	35° 49' 33.98"	281	115,4	400,8	270,9	85,20	31,45
08	Mendes	00° 51' 55.35"	35° 38' 54.02"	473	187,6	615,8	396,3	113,52	28,64
09	El Hamadna Inra	00° 45' 27.57"	35° 55' 11.58"	491	125,3	462,9	279,7	95,03	33,97
10	Domaine Sidi	00° 40' 50.31"	35° 59' 02.37"	55	150,9	422,3	268,7	73,47	27,34
11	Hassasna	00° 45' 07.93"	35° 55' 31.39"	50	215,6	461,6	327,1	67,43	20,61
12	Sidi Med Ben Aouda	00° 35' 19.95"	35° 34' 35.05"	145	141,4	401,3	227,5	55,50	24,39
13	Oued El Djemaa	00° 39' 11.78"	35° 46' 35.62"	75	166,3	490,0	312,3	80,02	25,62

14	Saline Oued Djemaa	00° 39' 20.66"	35° 49' 52.18"	60	117,1	402,1	249,0	65,96	26,49
15	ANRH_ Relizane	00° 32' 10.91"	35° 45' 29.12"	81	161,2	386,9	266,0	59,30	22,29
16	El Matmar DRS	00° 29' 17.84"	35° 43' 13.48"	73	115,8	356,3	247,2	61,54	24,90
17	L'hillil	00° 21' 30.32"	35° 43' 04.58"	135	126,6	478,0	308,4	86,81	28,15
18	Sidi M'hamed Ben Ali	00° 50' 47.85"	36° 08' 41.75"	483	172,4	531,4	359,6	97,07	26,99
19	ONM_Relizane	00° 33' 36.00"	35° 44' 48.00"	79	124,6	470,0	299,0	79,25	26,50

L'analyse des caractéristiques de ces séries pluviométriques de 19 stations montre qu'elles sont relativement dissymétriques. On note une différence significative entre les paramètres de position (moyenne). L'écart entre le minimum (75,2 et 329,7 mm) et le maximum (356,3 et 952,96 mm) est très important avec une moyenne de pluviosité variant entre 227,57 et 536 mm dans les différentes zones agrologiques de la wilaya de Relizane. Les valeurs du coefficient de variation (CV %) annuelle pour les séries de précipitations qui oscillent entre 20,61 et 44,73 % se caractérise par une forte fluctuation. Ce paramètre statistique permet d'apprécier le degré de variabilité dans une série et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. En se fondant sur les données observées au niveau des différentes stations, on peut remarquer les irrégularités des précipitations et leurs tendances à la baisse à l'intérieur de la zone d'étude et la translation des isohyètes d'Ouest et du Centre la wilaya (basses plaines) en direction Est (Nord-Est et Sud-Est) les monts et les massifs.

1.2. Caractérisation de la sécheresse

1.2.1. Les indicateurs de sécheresse

La sécheresse est un phénomène normal qui peut survenir sous n'importe quel climat n'importe où dans le monde, même dans les déserts et les forêts tropicales. Les sécheresses se classent parmi les dangers naturels les plus coûteux d'une année sur l'autre ; elles ont des conséquences considérables et étendues, qui touchent en même temps une multitude de secteurs économiques et une large population. C'est peut-être le danger naturel qui se prête le mieux à la surveillance car le phénomène est lent à s'installer, ce qui donne le temps d'observer l'évolution des précipitations, des températures et de l'état général des réserves d'eaux superficielles et souterraines dans le secteur menacé. Le suivi des sécheresses fait fréquemment appel à des indicateurs ou des indices qui varient selon la région et la saison (WMO, 2016).

Depuis les années 1960, une palette d'indicateurs de sécheresse a été proposée, vérifiée et étudiée par la communauté scientifique. Chaque indicateur présente ses forces, ses faiblesses et son degré de complexité.

Les météorologues et les climatologues ont mis au point partout dans le monde de nombreux indices de sécheresse, allant des plus simples, notamment le pourcentage de la normale des précipitations ou les centiles de précipitations, aux plus complexes, tel que l'indice de sécheresse

de Palmer en 1965 (Palmer Drought Severity Index) calculé à partir d'un bilan d'eau simplifié qui est largement utilisé et notamment aux États Unis (Heim, 2002) Cependant, l'indice de Palmer ne propose pas d'échelle de temps explicite permettant de mesurer aussi bien des sécheresses courtes que des sécheresses longues (Alley 1984, Gutmann et al., 1992). Aux États-Unis d'Amérique, des spécialistes de la question ont pris conscience du fait qu'un indice devait être simple, facile à calculer et statistiquement adapté et significatif. De plus, la compréhension des différents effets que peuvent avoir des déficits de précipitations sur les eaux souterraines, sur le volume stocké dans les réservoirs, sur l'humidité du sol, sur le manteau neigeux et sur l'écoulement des cours d'eau, a conduit les scientifiques américains McKee, Doesken et Kleist à mettre au point, en 1993, l'indice des précipitations normalisé (SPI) en anglais Standardized Precipitation Index (SPI).

1.2.1.1. Standardized Precipitation Index (SPI)

Le résultat des recherches et des travaux effectués en 1992 au Colorado State University, États-Unis, par McKee et al, qui sont présentés pour la première fois à la 8e Conférence sur la climatologie appliquée, tenue en janvier 1993. L'indice se fonde sur le fait qu'il s'appuie sur les relations entre la sécheresse et la fréquence, la durée et les échelles de temps.

Le Standardized Precipitation Index (SPI) de McKee et al., 1993 et 1995, est un principal indice de sécheresse météorologique de référence recommandé par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) en 2009 que les pays devraient utiliser pour faciliter le suivi et la surveillance des sécheresses et la gestion des risques liés au climat (Hayes, 2011). En identifiant le SPI comme un indice à large usage, l'OMM a orienté les pays qui tentaient d'établir un niveau d'alerte précoce à la sécheresse.

En outre, il a été démontré à plusieurs reprises que le SPI était plus adapté que le PDSI pour l'étude des sécheresses (Guttman, 1998 ; Keyantash, 2002 ; Wu et al., 2006 ; Khan et al., 2008 et Naresh Kumar et al., 2009). Le SPI est un indicateur mensuel normalisé, qui repose sur la probabilité que surviennent des précipitations (P), quel que soit le laps de temps considéré.

L'indice SPI est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs (tab. 30). Le programme de calcul de l'indice s'exécute aussi bien dans un environnement Windows que sous UNIX.

Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale (Guttman, 1994),

1.2.1.1.1. Description de SPI

L'indice SPI (Mckee *et al.*, 1993 et 1995) est fondé sur la probabilité des précipitations sur un laps de temps donné et cela à différents pas de temps $n=1, 2, 3, 6, 12$ et 24 mois voire même 48 mois (Guttman, 1999). La probabilité des précipitations observées E transformée en un indice qui sert aussi bien à l'expérimentation qu'à l'exploitation dans plus de 70 pays (tab. 30).

Les responsables de la planification en matière de sécheresse sont nombreux à apprécier la souplesse d'utilisation de l'indice SPI. Ce dernier est utilisé aussi dans divers instituts de recherche, des universités et des services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier, dans le cadre d'activités de suivi de la sécheresse et d'alerte précoce dans le domaine.

Le SPI est un indicateur qui peut être calculé à différents pas de temps. Le nombre de mois à prendre en compte E fonction des besoins de l'utilisateur. Des durées courtes seront importantes pour des études agronomiques alors que des durées plus longues seront plus adaptées à des problématiques hydrologiques (Guttman, 1999).

Les précipitations représentent le seul paramètre dont il faut disposer. Il est possible de calculer l'indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité. Il est moins complexe que bien d'autres indices et notamment l'indice de sécheresse de Palmer. Par contre, cet indice ne permet de quantifier que le déficit des précipitations ; les valeurs basées sur des données préliminaires peuvent changer et les valeurs varient si la durée de la période des relevés s'allonge.

La procédure de détermination du SPI passe par les étapes suivantes :

- Détermination de la fonction de probabilité d'une longue série des précipitations à une échelle de temps donnée ;
- Calcul de la probabilité cumulée de la série considérée ;
- Normalisation des précipitations pour que les valeurs de SPI suivent une loi normale centrée réduite avec une moyenne de 0 et un écart type de 1. Les valeurs positives correspondent aux précipitations supérieures à la médiane et celles inférieures à la médiane ont des valeurs négatives.

1.2.1.1.2. Méthode de calcul

Le SPI se calcule à partir des précipitations mensuelles moyennes (mm.jour¹), et cela à différents pas de temps $n=1, 2, 3, 6, 12$ et 24 mois. Le SPI est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{SPI} = (\text{P}_i - \text{P}_m) / \sigma$$

Avec :

P_i = Précipitations de l'année i à une échelle de temps donnée (1 mois, 3 mois, 6 mois, 12 mois),

P_m = Précipitations moyennes d'une longue série de données

σ = Ecart type.

Pour calculer le SPI, il faut au moins des relevés mensuels des précipitations sur 20 à 30 ans et de préférence 50 à 60 ans (**Guttman, 1994**). Le calcul de cet indice permet d'anticiper la sécheresse et aide à déterminer la gravité de la sécheresse (**Tsakiris et al., 2007**) selon différentes classes (**tab. 30**).

Plusieurs programmes sont adoptés pour faire calculer le SPI comme un programme en « Fortran_77 » et un programme exécutable « spi_sl_6.exe » disponible en ligne (**Guttman 1999**) ou calculer à l'aide « Cran. R package= SPEI ». Nous avons calculé les différents SPI à l'aide « Cran. R version 4.0.3 package = SPEI » téléchargeable gratuitement sur web (Download R for Windows : <https://cran.r-project.org/>)

Les différentes classes de sévérité proposées par Mckee en 1993 en utilisant le nombre d'écart type peuvent être définies arbitrairement par Mckee. Il a distingué quatre catégories de sécheresse : légère, modérée, sévère et extrême, la valeur seuil de SPI pour la catégorie de sécheresse légère étant égale à $SPI = 0$ (**tab. 30**). Dans cette classification, toutes les valeurs négatives de SPI sont prises pour indiquer l'apparition de la sécheresse ; cela signifie que dans 50% des cas, la sécheresse est présente (**Agnew, 2000**).

Tableau 30. Classes de sévérité de sécheresse selon (**Mckee et al., 1993**)

Valeurs de l'indice SPI	Type de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

En prenant en considération les caractéristiques climatiques de notre zone d'étude, plusieurs classifications de SPI ont été proposés par différents auteurs : **Vermes, 1998 ; Lloyd-Hugues 2002 et Łabędzki, 2007**. Concernant la région méditerranéenne, **Aghrab (2003)** lors de ses études menées au Maroc, a modifié la classification générale de SPI proposé par **Mckee 1993**, en tenant compte des spécificités du climat marocain, et a proposé un SPI corrigé, mieux adapté aux conditions de l'Afrique du Nord (**Aghrab, 2003**), étant donné le même type du climat méditerranéen de l'Algérie et le Maroc. Pour évaluation la sécheresse dans notre zone d'étude, nous avons utilisé la classification des périodes sèches présentée dans le tableau 31. Cette méthode propose de classer les années en fonction des valeurs de SPI.

Tableau 31 : Classification de SPI et de catégories de sécheresse

Indice SPI	Catégorie	Classe	Probabilité	Référence
0 à -0,99	Légère sécheresse	S1	0,330	(McKee et al., 1993, 1995)
-1,00 à -1,49	Sécheresse modérée	S2	0,100	
-1,5 à -1,99	Sécheresse Sévère	S3	0,050	
≤ -2,0	Sécheresse extrême	S4	0,020	
0,30 à -0,30	Proche à la normale	S1	0,189	(Aghrab, 2003)
-0,31 à -0,99	Sécheresse modérée	S2	0,242	
-1,00 à -1,99	Sécheresse Sévère	S3	0,136	
≤ - 2.00	Sécheresse extrême	S4	0,023	

Le nombre de mois N_i dans chaque classe de catégorie (sévérité) de la sécheresse selon le tableau 31 a été calculé pour les périodes de 3, 6, 12, 24 et 48 mois. Ensuite, le nombre de sécheresses par 100 ans a été calculé comme suit :

$$N_{i,100} = \frac{N_i}{i \cdot n} * 100 \quad \text{Où :}$$

$N_{i,100}$: nombre de sécheresses sur 100 ans pour une échelle de temps i ;

N_i : nombre du mois de sécheresse pour une échelle de temps i dans la série de n années

i : échelle de temps (= 3, 6, 12, 24, 48 mois) ;

n : nombre d'années d'observation (= 53).

L'analyse des sécheresses a été réalisée en utilisant l'enregistrement des précipitations mensuelles de 1968 à 2020 (53 ans d'observation) de la station météo de Relizane.

Le SPI calculé pour chaque mois de cette série d'années à des échelles de temps de 3, 6, 12, 24 et 48 mois. À cette fin, pour chaque mois de l'année civile, la nouvelle série a été créée avec les éléments égaux aux sommes mobiles des précipitations correspondantes. Par exemple, le SPI de 3 mois calculé pour juin 1999 a utilisé le total des précipitations d'avril 1999 à juin 1999 pour calculer l'indice. De même, le SPI sur 12 mois pour juin 1999 a utilisé le total des précipitations de juillet 1998 à juin 1999.

Dans cette étude, un SPI de 3 et 6 mois est utilisé pour identifier une sécheresse à court terme ou saisonnière, un SPI de 12 mois pour une sécheresse à moyen terme, et un SPI de 24 et 48 mois pour identifier une sécheresse à longue durée. Les SPI sur des périodes plus courtes caractérisent les épisodes de sécheresse affectant l'agriculture (stress de l'humidité du sol, réduction du rendement des cultures), tandis que les SPI sur des périodes plus longues sont plus adaptés aux vulnérabilités liées aux ressources en eau (stockage dans les barrages, cours d'eau et niveaux des eaux souterraines).

1.2.1.2. Le pourcentage de l'indice des précipitations à la normale PNI (%)

Nommé aussi le rapport à la normale des précipitations. Cet indicateur mesure le rapport à la normale des précipitations qui représente le pourcentage de l'écart des précipitations d'une période par rapport à la normale historique de cette période. La normale est généralement la moyenne des précipitations totales sur la période, calculée à partir d'environ 30 ans de données (Layelmam, 2008). Il est très simple à utiliser à l'échelle locale ou régionale pour des périodes de temps variant de 1 mois à quelques mois, voire même une année, néanmoins, cette méthode n'est pas adaptée dans les cas où la disparité spatiale et temporelle des précipitations sont trop importantes (Layelmam, 2008 et OSS, 2009).

Cet indice est également connu sous le nom d'indice de déficit pluviométrique, il permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession. Il s'agit d'exprimer par :

$$\text{PNI (\%)} = (\text{Pi} / \text{Pm}) * 100 \quad \text{où :}$$

Pi : précipitation totale d'une période (mm)

Pm : précipitation moyenne historique d'une période (mm)

Ce rapport permet une estimation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale : Une année est classifiée comme sèche si la pluviométrie se situe au-dessous de la normale ; c'est-à-dire lorsque le RN est inférieur à 110 % (Rognon, 1997).

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale) c'est l'écart proportionnel à la moyenne. Il s'exprime par la formule suivante :

$$\text{IDP (\%)} = (\text{Pi} - \text{Pm}) / \text{Pm} \times 100 \quad \text{Où :}$$

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage).

Pi : Précipitations annuelles (en mm).

Pm : Précipitations moyennes (en mm).

Une année est considérée comme sèche lorsque cet indice est négatif et humide lorsqu'il est positif. Le cumul de l'indice du pourcentage de l'écart par rapport à la normale pour les années successives permet d'identifier les grandes tendances sans en tenant compte des petites fluctuations d'une année à l'autre. Lorsque la somme des indices augmente, c'est une tendance humide, dans le cas contraire la tendance est sèche (Jouilil et al., 2013) (tab. 32).

Tableau 32. Classes de gravité de la sécheresse selon le PNI

Intensité de la sécheresse	PNI (%)
Sécheresse légère ou Proche à la normale	80 - 110
Sécheresse modérée	60 - 80
sécheresse Sévère	40 - 60
Sécheresse extrême	<40

1.2.2. Evaluation des sécheresses 1968-2020

1.2.2.1. Intensité des séquences de sécheresse

L'intensité de la sécheresse reflète l'ampleur du déficit des précipitations. Elle peut être évaluée à l'aide des valeurs du SPI. Dans le cadre de notre étude, la valeur extrême du SPI a été considérée comme valeur de référence de la sévérité de la sécheresse.

La série chronologique des valeurs mensuelles de SPI pour chaque échelle de temps (3, 6, 12, 24 et 48 mois) de la période 1968-2020 (53 ans d'observation) de la station de Relizane est présentée dans la **figure 25**. Les valeurs négatives sont indiquées en rouge et positives en bleu, et correspondent respectivement à des périodes sèches et humides.

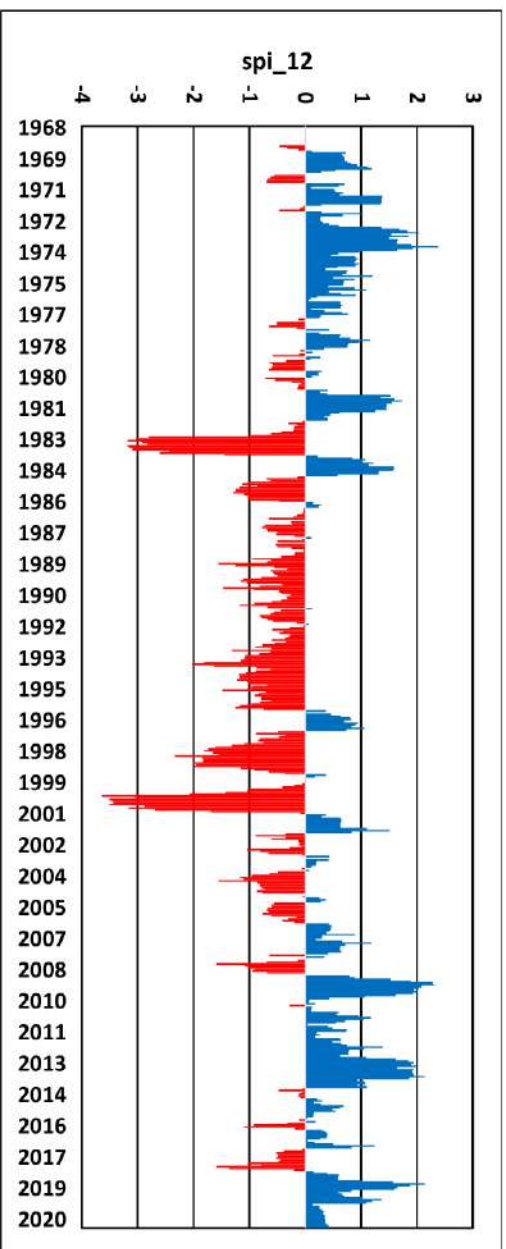
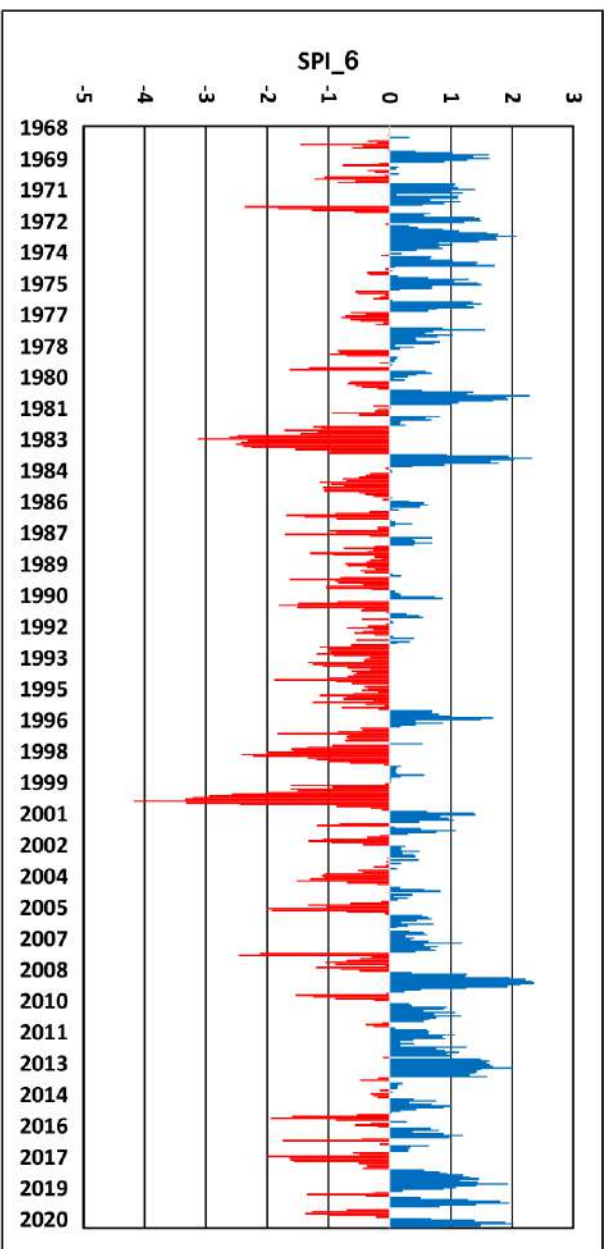
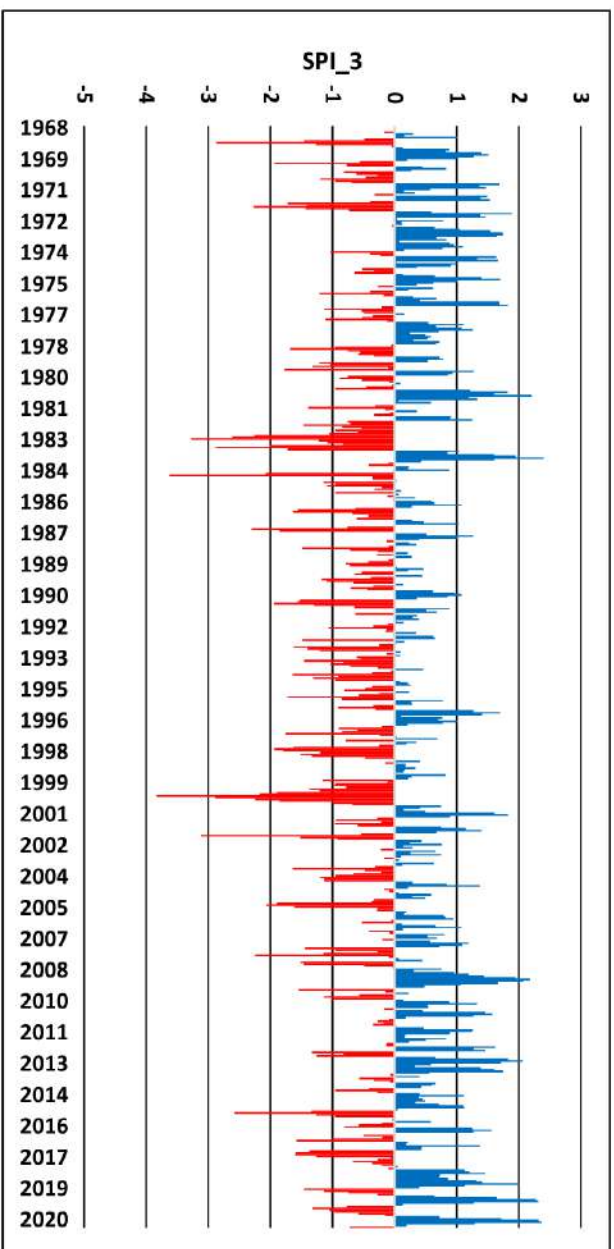
Les épisodes de sécheresse changent en fonction de l'échelle de temps. Lorsque l'échelle de temps est petite, le SPI se déplace fréquemment au-dessus et au-dessous de zéro. Pour les échelles de temps plus longues, le SPI change lentement en raison des changements dans les précipitations. Les périodes avec un SPI négatif sont plus fréquentes et plus longues. Sur une échelle de 24 et 48 mois, les épisodes de sécheresse sont plus concentrés et durent plus longtemps et sont plus observés dans la période de 1983 à 2007 que dans les épisodes de sécheresse de 3 mois qui sont plus dispersés où ils sont plus fréquents et durent moins longtemps. C'est la particularité observée dans de nombreux autres régions du monde citée par différents auteurs : **McKee et al., (1993)** pour Fort Collins, Colorado, États-Unis, **Szalai & Szinell (2000)** pour Szarvas en Hongrie, **Aghrab (2003)** dans le bassin méditerranéen au Maroc et l'Espagne, et **Leszek Labedzki (2007)** au centre de la Pologne.

1.2.2.1.1. Valeurs SPI

- **SPI de 24 et 48 mois** : Le SPI de échelles de temps 24 et 48 mois et plus, ils reflètent la tendance à long terme. Ils sont généralement liés aux écoulements dans les cours d'eau, aux taux de remplissage des réservoirs et même aux niveaux l'alimentation des nappes d'eau souterraines (**Guttman, 1999 ; Khan et al., 2008**). Ces échelles du temps sont mieux adaptées à la détection des événements de sécheresses historiquement importantes. Des épisodes de sécheresse extrême de 24 mois sont observés dans les années 1983, 1998 et en 2000 ($SPI_{24} < -2,0$) alors que les épisodes de sécheresses sévères sont s'installées dans les trois décennies 1980, 1990 et la moitié de 2000 où la valeur de SPI selon la classification de **McKee et al., (1993, 1995)** varie entre (-1,5 à -1,99) et celle d'**Aghrab (2003)** qui oscille entre (-1,00 à -1,99) (**tab. 31**). Pour le SPI- 48 mois, la sécheresse s'est déclenchée au début des années 1980 avec de longues périodes successives sèches et mettre fin à la fin de 2008 où les grandes sécheresses sévères à extrêmes ($SPI_{48} = < - 1.0$) sont débutées en 1985 pour atteindre son agressivité à l'année 2000 qui a connu des déficits élevés avec une valeur la

plus faible de SPI (= -2,32) observée à la fin du mois de mois d'août. Donc les sécheresses extrêmes qui ont duré quatre ans (SPI48 <-2.0) ont été déterminées pour le mois d'avril à novembre 2000 (**fig. 25**). Cette séquence sévèrement sèche et prolongée qui a duré 23 ans (1985 à 2008) touchant la plaine de la Mina et même toute la région du Nord-Ouest du pays a engendré une baisse sans cesse croissante des ressources en eau superficielles et souterraines et qui génère un grave problème d'ordre agroenvironnemental et socio-économique, qui s'est traduite par une pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (pénuries d'approvisionnement en eau potable, l'agriculture irriguée et l'industrie consommatrice d'eau) (**Meddi et Hubert, 2003 ; Khaldi, 2005 ; Ghenim et Megnounif, 2013 et Bouguerra et Benslimane, 2017**).

- **SPI de 3, 6 et 12 mois :** Des périodes courtes montrent de près les fréquentes variations saisonnières et interannuelles des précipitations, ce qui donne un très fort nombre d'événements. Sur une échelle de temps de 12 mois (SPI-12), les sécheresses les plus graves extrêmes ont été identifiées aux plusieurs années (1982, 1983, 1993, 1998 et 2000) où la valeur de SPI < -2.0. Les déficits les plus élevés avec une valeur la plus faible de SPI (-3,64 à -3,00) observée à la fin de plusieurs mois des années 1983 et 2000 où la valeur Pic (SPI = -3,64) est enregistrée à la fin mars de 2000. Des sécheresses extrêmes de courte durée (SPI3 et SPI6) se sont souvent produites au cours de la période 1971-2017. En référant aux classification de sévérité de sécheresse selon **Mckee et al., (1993)** et **Aghrab (2003)**, les sécheresses sévères (SPI < - 2,0) sont déclenchées dans de plusieurs années (1971,1982, 1983, 1998, 2000, 2005, 2007 et 2017) alors que les années 1983 et 2000 restaient les plus graves et extrêmes de la série historique qui persistent de plusieurs mois (6 mois) qu'a des répercussions néfastes sur le secteur d'agriculture. La sécheresse la plus extrême d'une durée de 3 mois (SPI-3) et même pour 6 mois (SPI-6) a été observée à la fin du mois de juin 2000 (SPI3 = - 4,18) et cette valeur restait le SPI le plus bas pour toutes les échelles de temps analysées.



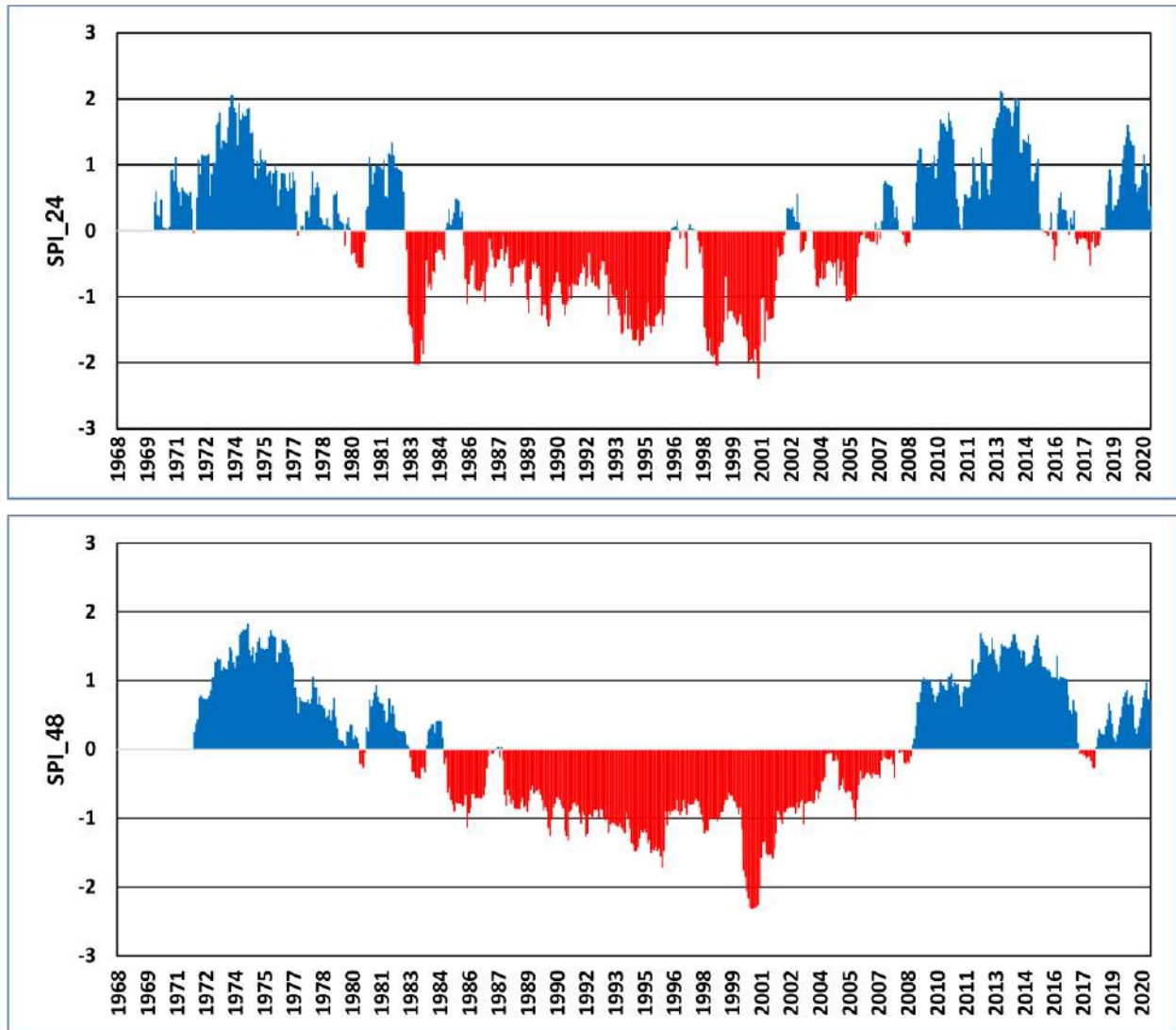


Figure 25. SPI de 3, 6, 12, 24 et 48 mois pour chaque mois de la période 1968-2020 à la station météo de Relizane

Tableau 33. Nombre de mois de classes de sécheresse calculées avec le SPI pour des périodes de 3, 6, 12, 24 et 48 mois

Classes de sévérité de sécheresse		Nombre de mois de classes de sécheresse									
		Echelle du temps (mois) / fréquence (%)									
		3	(%)	6	(%)	12	(%)	24	(%)	48	(%)
Mckee et al., 1993, 1995	N	331	52,04	333	52,36	336	52,83	334	52,52	326	51,26
	S1	203	31,92	208	32,70	214	33,65	199	31,29	228	35,85
	S2	54	8,49	46	7,23	46	7,23	64	10,06	62	9,75
	S3	30	4,72	26	4,09	17	2,67	32	5,03	12	1,89
	S4	18	2,83	23	3,62	23	3,62	7	1,10	8	1,26
	Total	305	47,96	303	47,64	300	47,17	302	47,48	310	48,74
Aghrab, 2003	N	242	38,05	248	38,99	262	41,19	260	40,88	286	44,97
	S1	169	26,57	158	24,84	141	22,17	146	22,96	94	14,78
	S2	123	19,34	135	21,23	147	23,11	127	19,97	174	27,36
	S3	84	13,21	72	11,32	63	9,91	96	15,09	74	11,64
	S4	18	2,83	23	3,62	23	3,62	7	1,10	8	1,26
	Total	394	61,95	388	61,01	374	58,81	376	59,12	350	55,03

NB : N (pas sécheresse), **S1** (Légère sécheresse ou proche à la normale), **S2** (Sécheresse modérée), **S3** (Sécheresse Sévère) et **S4** (Sécheresse extrême).

Tableau 34. Nombre de sécheresses pour 100 ans selon les catégories de sécheresse pour des périodes de 3, 6, 12, 24 et 48 mois

Classes de sévérité de sécheresse		Echelle du temps (mois)				
		3	6	12	24	48
Mckee <i>et al.</i> , 1993, 1995	S1	128	65	34	16	9
	S2	34	14	7	5	2
	S3	19	8	3	3	1
	S4	11	7	4	1	1
	Total Sécheresse (S2+S3+S4)	64	29	14	9	4
Aghrab, 2003	S1	106	50	22	11	4
	S2	77	42	23	10	7
	S3	53	23	10	8	3
	S4	11	7	4	1	0
	Total Sécheresse (S2+S3+S4)	141	72	37	19	10

L'analyse des tableaux 33 et 34 révèle que les caractéristiques des épisodes de sécheresse pour différentes échelles de temps (3, 6, 12, 24 et 48 mois) sont plus facilement visibles lorsque l'on analyse le nombre de mois (**tab. 33**) au cours desquels un épisode de sécheresse est identifié selon la classification du tableau 30, et le nombre de sécheresses en 100 ans pour différentes échelles de temps (**tab. 34**).

On peut observer que l'occurrence des mois au cours desquels la sécheresse est détectée dans toutes les classes de gravité est presque égale pour différentes échelles de temps et correspond à environ 30 % du temps total analysé. La fréquence des mois avec des sécheresses extrêmes s'élève à 1,3 % pour SPI de 48 mois, 1,1% pour SPI de 24 mois, 1,1% pour SPI de 12 mois et 3,6 % pour SPI de 6 et 12 mois alors que pour le SPI de 3 mois est 2,8%. Selon la classification de **Mckee et al.**, (1993, 1995), la plus grande fréquence de mois est observée dans la classe des sécheresses légères (**S1**) (31,3-35,8%) alors que pour **Aghrab (2003)** est classée dans la catégorie sécheresses modérées (**S2**) avec une fréquence de (19,3-27,4 %). L'échelle de temps de SPI à court terme est plus dispersée et change rapidement, tandis que les valeurs de SPI à long terme sont concentrées dans la série des mois consécutifs d'une année ou des années suivantes (par exemple 1993-1996 et 1998-2001) (**fig. 25**).

Selon l'équation (1) en convertissant le nombre de mois (N_i) en nombre de sécheresses en 100 ans ($N_{i,100}$) et en référant aux classes de catégories de sécheresse établies par **Aghrab (2003)** en prend en considération les classes (S2, S3 et S4) qui correspondent respectivement aux (Sécheresse modérée, Sécheresse Sévère, et Sécheresse extrême), on peut s'attendre à environ 140

sécheresses d'une durée de 3 mois, 72 sécheresses de 6 mois, 37 sécheresses de 12 mois, 20 sécheresses de 24 mois et 10 sécheresses de 48 mois par 100 ans (**tab. 34**).

Les résultats obtenus cités au ci-dessus, à l'aide de calcul et l'analyse de SPI, donnent des caractéristiques très précieuses du climat local dans la plaine de la Mina. Supposant depuis un temps que cette zone du Nord-Ouest du territoire algérien connaît de fréquentes sécheresses, mais seul le SPI (principal indice de sécheresse météorologique de référence recommandé par l'OMM) calculé pour différentes échéances donne l'opportunité d'illustrer la relation entre le nombre de mois avec les sécheresses pour différentes échelles de temps, de fréquence et de durée.

1.2.2.1.2. Valeurs de PNI (%) et IDP (%)

La figure 26 montre que les années les plus humides avec des valeurs plus élevée de PNI de 145 à 157 % sont enregistrées dans les années 1972, 1973, 1980, 2012 et 2018 ainsi le calcul de cet indice visualise 18 années humides (pas de sécheresse) dont le PNI > 110%. Quant à l'évaluation de sévérité de sécheresse, la valeur la plus faible de PNI est concernée dans la série chronologique de 53 ans avec une valeur de 41,67 % pour l'année 1982. Ainsi, l'indice (PNI) d'une valeur < 110% prend la gamme de sécheresse sévère et modérément à proche à la normale et sont répartis comme suit :

- Sécheresse sévère (40-60 %) : 1982 et 1997
- Sécheresse modérée (60-80 %) : 12 années (1985, 1989, 1990, 1992 à 1995, 1998 à 2000, 2017 et 2020)
- Proche à la normale (80-110 %) : 21 années (1968 à 1971, 1977 à 1979, 1981, 1984, 1986 à 1988, 1991, 2002 à 2007, 2014, 2015 et 2019)

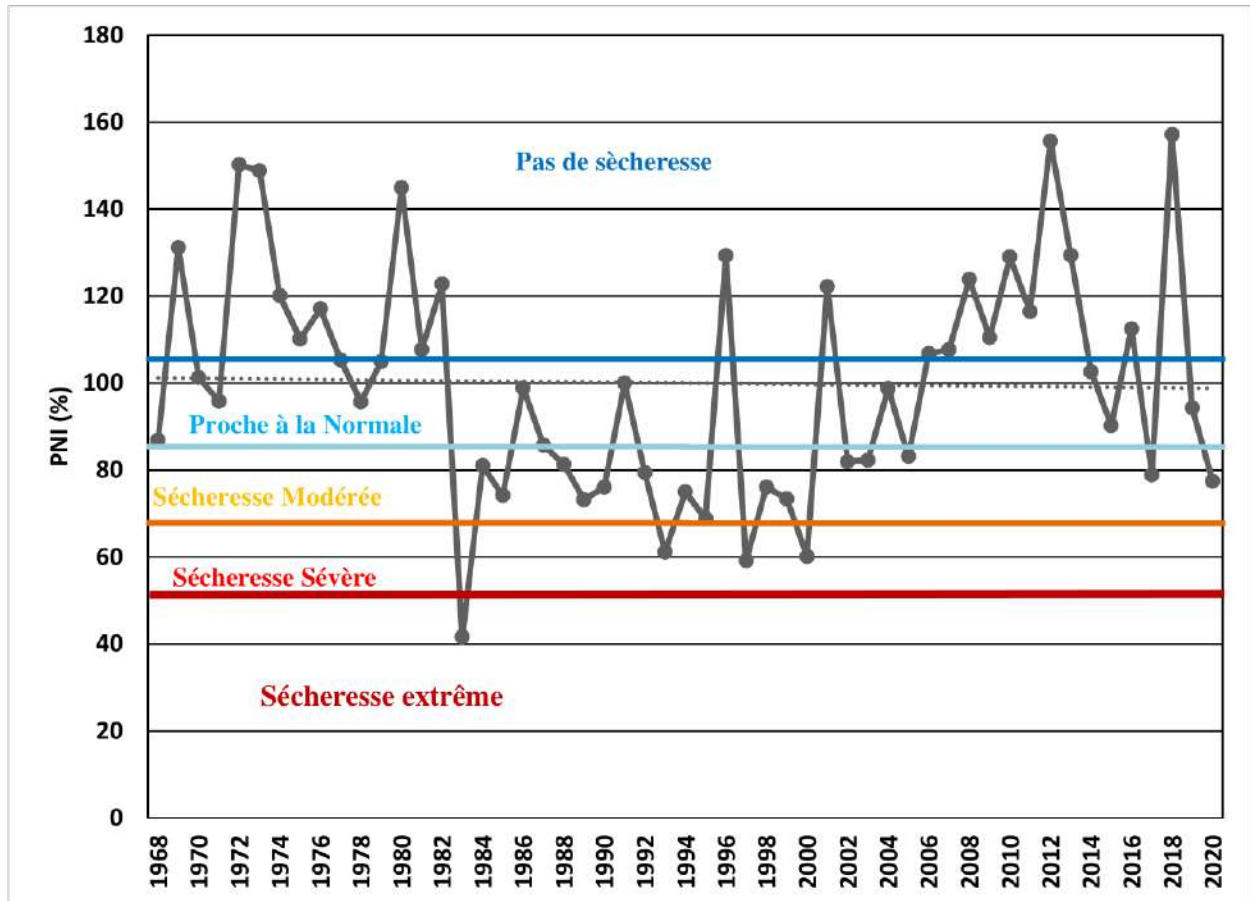


Figure 26. La série chronologique du PNI (%) pour la station de la zone d'étude (1968-2020)

Quant à l'indice de l'écart pluviométrique à la normale, les données pluviométriques enregistrées sur la station de la zone d'étude (1968-2020), caractérise une situation principalement dominée par une sécheresse modérée et, dans une moindre mesure, une sécheresse sévère (**tab. 35**). Dans notre zone d'étude les années de sécheresse extrême sont presque rares, elles sont proche à l'extrême et observées seulement dans l'année de 1982 qui considérée l'année la plus déficitaire de toute la période d'observation (**fig. 26**).

À l'échelle temporelle, les précipitations normalisées qui indique le caractère encore irrégulier des précipitations, met néanmoins en évidence les épisodes humides et secs. Pour toutes les stations, les tendances de la sécheresse ont a été sensiblement plus importante au cours des dernières décennies (1983 à 2005) (**fig. 26**). C'est presque la même caractéristique observée dans de nombreuses régions du Nord de l'Algérie citée par différents auteurs : **Bouguerra, (2017)** et **Ladji et al., (2019)**.

Il ressort de cette analyse que les décennies 1969-1982 et 2006-2014 sont en surplus. Les deux dernières décennies 1983 à 2005 semble être déficitaires.

Tableau 35 : Fréquence des différentes classes de sécheresse (N= 53 ans)

Classe de sécheresse	SL ou PN	SM	SS	SE	Années de sécheresse
Nombre d'années	14	12	2	-	28
%	26,42	22,64	3,77	-	52,83

NB : SL ou PN : Sécheresse Légère ou Proche à la Normale ; SM : Sécheresse Modérée ; SS : Sécheresse Sévère ; SE : Sécheresse Extrême.

Le pourcentage maximum d'années de sécheresse enregistré est de 53% dont 23% des années de sécheresse modérée et 04% d'années de la sécheresse sévère. Les séquences sèches sont nettement légèrement longues que les séquences humides (**tab.35**). Les sécheresses les plus persistantes se sont produites sur les 25 dernières années, consistant en trois, quatre, cinq et six ans.

Les déficits enregistrés au cours des années de sécheresse sévère (1983-2005) a atteint 59% en 1983 (**fig. 27**). Le pic de sécheresse de 1983 est considéré comme extrême pour toute la zone d'étude et même pour les régions du Centre et l'Ouest du pays voire même tout le Nord du territoire national et a provoqué des déficits pluviométriques très importants qui influent sur les ressources en eau avec un déficit moyen de 58%.

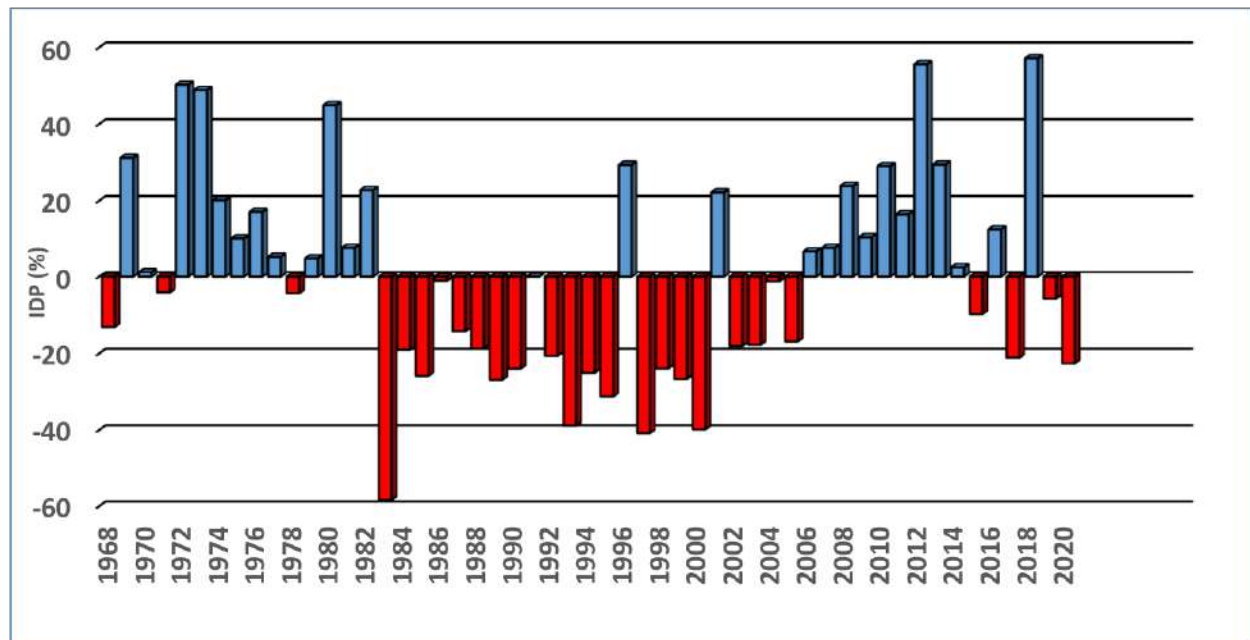


Figure 27. Indice d'écart des précipitations à la normale IDP (%) pour la station de la zone d'étude (1968-2020)

1.2.2.2. Risque de sécheresse en céréaliculture pluviale

L'agriculture algérienne est presque totalement dépendre de la pluviométrie dont la quantité varie selon les zones et les campagnes agricoles. La céréaliculture réalisée dans les différentes zones bioclimatiques pluviales (Nord du pays) est exposée aux fortes irrégularités et fluctuations interannuelles de précipitations. La production de céréales en Algérie ne répond plus aux besoins de la population. Conduite de manière extensive et dans des conditions pluviales, elle ne produit qu'un quart des besoins actuels, estimés à 80 millions de quintaux. Les rendements de la culture sont relativement faibles, avec 7 quintaux à l'hectare en moyenne, est principalement attribué au déficit pluviométrique (**Smadhi et al., 2009**).

La sécheresse agricole n'est pas seulement une insuffisance de pluviométrie pendant une période de temps donnée, mais un manque d'eau sur une période suffisamment longue pour être ressentie par la culture. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (**Mckay, 1985 in Bootsma et al., 1996**).

1.2.2.2.1. Impact du déficit hydrique sur le rendement des céréales

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Le déficit hydrique précoce affecte la première phase de croissance du végétal (semis – tallage) en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debaeke et al., 1996**).

Le rendement en grains chez les céréales dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (**Triboï, 1990**). L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient. Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des tailles et la baisse du nombre de grains par épi. À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (**Debaeke et al., 1996**).

Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (**Triboï, 1990**). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement. Ainsi, le risque de stress hydrique est-il possible presque durant tout le cycle biologique de la céréale. Par ailleurs et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter le stress hydrique (**Gate, 1995**). Alors que le rendement potentiel des cultures est réalisé en conditions de non stress (**Blum, 2005**).

1.2.2.2.2. Evaluation du risque de sécheresse en céréaliculture pluviale

L'analyse de la sécheresse agricole s'est basée sur l'exploitation des données historiques de la pluviométrie par le calcul de l'indice SPI à courte durée (1, 3, 6 mois) en vue de générer des normes statistiques de référence ou des probabilités d'occurrence d'une classe de sécheresse.

Pour les céréales d'hiver de la zone d'étude, la période de croissance se situe entre novembre et mai. A ce propos, nous avons suivi la méthode d'évaluation du risque de la sécheresse en agriculture proposée par la Conférence des Nations Unies pour le Commerce et le Développement (CNUCED) qui a été adopté par les travaux de l'équipe mixte de scientifiques et d'assureurs coordonnée par **Chiguer en 2008** « conception d'un modèle de gestion du risque sécheresse, cas des céréales, le Standardized Precipitation Index (SPI) comme méthode de base pour l'élaboration de l'assurance indexée ».

Beaucoup d'expériences dans le domaine de l'évaluation de l'impact du risque sécheresse dans le secteur de l'agriculture et dans le but d'une conception d'un modèle de surveillance et d'alerte précoce à la sécheresse comme :

- **Aux Etats Unis**, depuis 2002, disposant, d'un système consacré à la caractérisation et au suivi et de surveillance de la sécheresse couvrant toutes les zones qui sont les plus exposées à ce phénomène. : National Drought Mitigation Center (NDMC), Climate Prediction Center (CPC) National et Climatic Data Center (NCDC) sont les Organismes impliqués dans ce domaine. Basé sur le calcul de l'indice SPI à court, à moyen et à long terme (3, 6, 12 et 24 mois), c'est un système d'alerte précoce à la sécheresse comme les autres outils utilisés en vigueur dans d'autres pays.
- **En Chine**, s'est intéressée à la surveillance et au suivi de la sécheresse sur toutes les provinces chinoises. Le dispositif adopté a été mis au point de 1995 à 1999, puis mis en exploitation sur une base journalière par le Centre Climatique de Beijing, relevant de l'Administration Météorologique chinoise soutenu par le Centre Satellitaire de l'Administration Météorologique Chinoise. Le système national de suivi et d'annonce précoce de la sécheresse repose essentiellement sur le calcul SPI que le Centre climatologique de Beijing a élaboré en se fondant sur sa longue expérience en matière de suivi de la sécheresse et d'évaluation de ses impacts sur l'agriculture.
- **En Argentine** : Grâce à son Service Météorologique National (SMN), l'Argentine s'est dotée d'un mécanisme destiné à quantifier les déficits et aussi les excès pluviométriques à plusieurs échelles temporaires et ce, afin de surveiller l'occurrence et la durée des périodes sèches et des périodes humides dans la région Pampéenne connue par son humidité.

- **En Espagne** : en 2002, elle a rejoint, les pays qui se sont dotés d'un système conçu pour la caractérisation et le suivi de la sécheresse sur l'ensemble de la péninsule ibérique. C'est le Centre d'Études et d'Expérimentation des Travaux Publics (CEDEX), relevant du ministère de l'Environnement, et du Milieu Rural et Maritime du Royaume Espagnol, aidé par le Système d'Indicateurs de l'État Hydrologique (SIEH), qui s'est chargé de la mise en place de cette innovation. La caractérisation et le suivi de la sécheresse dans la Péninsule Ibérique se font à travers l'élaboration de séries de cartes du SPI, de 3, 6, 12, 24 et 48 mois.
- **Au Sénégal** : Basé sur l'utilisation de la télédétection et des SIG pour la localisation des zones affectées par la sécheresse, le système sénégalais est intégré au dispositif national de suivi de la campagne agricole et pastorale du Sénégal depuis la campagne 2000 et concerne l'ensemble des régions agricoles et parcours. C'est un dispositif qui s'articule autour de trois composantes principales : l'analyse de la phase initiale de la saison des pluies pour déterminer les conditions d'installation des cultures, analyse qui s'appuie sur un modèle agro-météorologique qui utilise l'estimation des pluies dérivées des données Meteosat, la détermination des anomalies dans la distribution des précipitations par l'utilisation du SPI, indice qui est calculé à partir des données pluviométriques des stations météorologiques du Service Météorologique du Sénégal, et le suivi de la croissance de la végétation par l'utilisation d'une série d'indices : Vegetation Condition Index (VCI) et Indice de Croissance Normalisée (ICN), dérivés des images S10 Spot Vegetation.
- **Au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)** : à l'aide de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2013, et dans le cadre du projet « Système maghrébin d'alerte précoce à la sécheresse » (SMAS) et au vu de ses acquis au niveau régional que l'on peut entrevoir la mise en place d'un système d'alerte précoce à la sécheresse (SAPS) opérationnel comme outil d'aide à la décision et au développement durable. Enfin, Il faut rappeler que le SAPS se veut un organe qui met à la disposition des décideurs (nationaux, régionaux et internationaux) les informations nécessaires à la précision du risque conjoncturel de sécheresse. Les mesures qui en découlent visent à atténuer l'impact de la sécheresse.

Pour déterminer le degré de sévérité de la sécheresse sur la productivité des céréales d'hiver, nous avons tout d'abord collecter des données - une série historique de rendements moyens de céréales d'hiver dans la plaine de la Mina (1987-2020) fournies par la DSA (Direction des services agricoles) et la DSASI (Directions des Services Statistiques Agricole du Systèmes d'Information) du Ministère de l'Agriculture et Développement Rural.

Ainsi pour procéder le calcul du SPI, il faut disposer de données de précipitations mensuelles de la même série historique des campagne agricoles, fournies par l'ONM désignée dans la zone d'étude.

Les résultats ainsi que les analyses statistiques de la série historique de rendements moyens de céréales d'hiver et les valeurs calculées de l'indice de sécheresse SPI-3 mois { novembre-janvier et février-avril } et SPI-6 mois { novembre - avril } sont répertoriées dans le tableau 36.

En adoptant la méthode (corrélation SPI/rendement) pour déterminer la période de la plus grande vulnérabilité de la culture de céréale en cas de sécheresse est celle où la corrélation SPI/rendements est la plus importante, aussi les différentes corrélations effectuées SPI/rendement pour les trois périodes vulnérables associées aux phases de croissances correspondent aux périodes "levée – tallage – montaison " et "épiaison – floraison – maturité "(ayant une plus grande corrélation (SPI/Rendement) dans la zone d'étude est présentée dans le tableau 35:

Tableau 36. Résultats statistiques des différents paramètres calculés (pluies cumulées, SPI et rendements moyen des céréales) de la période 1987 à 2020

Paramètres Statistiques	Rendement moyen céréales (Qx/ha)	Pluies cumulées (mm)			Valeurs de SPI		
		6 mois (Nov-Avr)	3 mois (Nov-Jan)	3 mois (Fév-Avr)	6 mois (Nov-Avr)	3 mois (Nov-Jan)	3 mois (Fév-Avr)
Min.	2,65	51,00	38,40	12,60	-3,22	-3,11	-2,90
Max.	20,59	419,19	259,67	202,00	2,14	2,07	1,62
Moy.	8,35	216,03	117,64	98,39	-0,12	-0,14	-0,12
Ecart Type	4,47	80,39	51,95	50,07	1,10	1,12	1,02
CV%	53,56	37,21	44,16	50,89	-910,32	-791,54	-818,10

Le tableau 36 présente les différentes valeurs et des paramètres calculés et leur analyse statistique. L'analyse statistique de la série historique (1987 à 2020) des pluies cumulées pour les trois périodes : 3 mois { Novembre-Janvier ; Février-Avril } et 6 mois { Novembre-Avril } révèle une très forte variabilité d'une année à l'autre avec un coefficient de 50,9 % avec aussi un écart important entre les valeurs minimales (12,6 ; 38,4 et 51 mm) et maximales (202 ; 259,67 et 419,19 mm) qui correspondent respectivement aux périodes : 3 mois { Novembre-Janvier } ; 3 mois { Février-Avril } et 6 mois { Novembre-Avril } (**tab. 36**). Sur les 34 années d'observation considérées, les pluviosités de 6 mois qui correspondent aux besoins du cycle de croissance de la culture de céréales ont varié de 52 mm (en 1999-2000) à 419 mm (en 2008-2009). Pour les deux phases du développement du végétal de 3 mois (Novembre-janvier et Février-avril), les quantités de pluies tombées varient respectivement entre 38 mm et 13 mm (en 1999-2000) à 260 mm (en

2008-2009) et 202 mm (en 2011-2012) (**fig. 28**). On peut remarquer une dispersion, irrégularité et fluctuation des précipitations enregistrées.

Quant aux rendements enregistrés au cours de la même période étudiée, des rendements moyens des céréales cultivées dans la zone d'étude montrent qu'elles sont paramètres de position (moyenne). L'écart est important entre le minimum (2,65 qx/ha) enregistré dans la campagne agricole (1999/2000), la moins pluvieuse avec seulement 106 mm et le maximum (20,59 qx/ha) en (2008/2009) avec une pluviosité de 502 mm (**tab. 36**). Le coefficient de variation pour les rendements se caractérise par une fluctuation moyenne de l'ordre de 53,5%. Il permet d'apprécier le degré de variabilité dans une série et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. En se fondant sur les données collectées au niveau des différentes campagnes céréalières, on peut remarquer des fluctuations de la productivité des céréales (**fig. 28**).

Pour les valeurs de SPI-3 mois {Novembre-Janvier et Février-Avril} et SPI 6 mois {Novembre-Avril} calculées associées respectivement aux différentes phases de croissances qui correspondent aux périodes " levée – tallage – montaison " et « épiaison – floraison – maturité ». Le résultat montre l'écart entre le minimum (-3,22) et le maximum (2,14) est très important avec une trop forte variabilité de coefficient de variation, ce qu'explique que cette variable est trop dispersée (**tab. 36 ; fig. 29**).

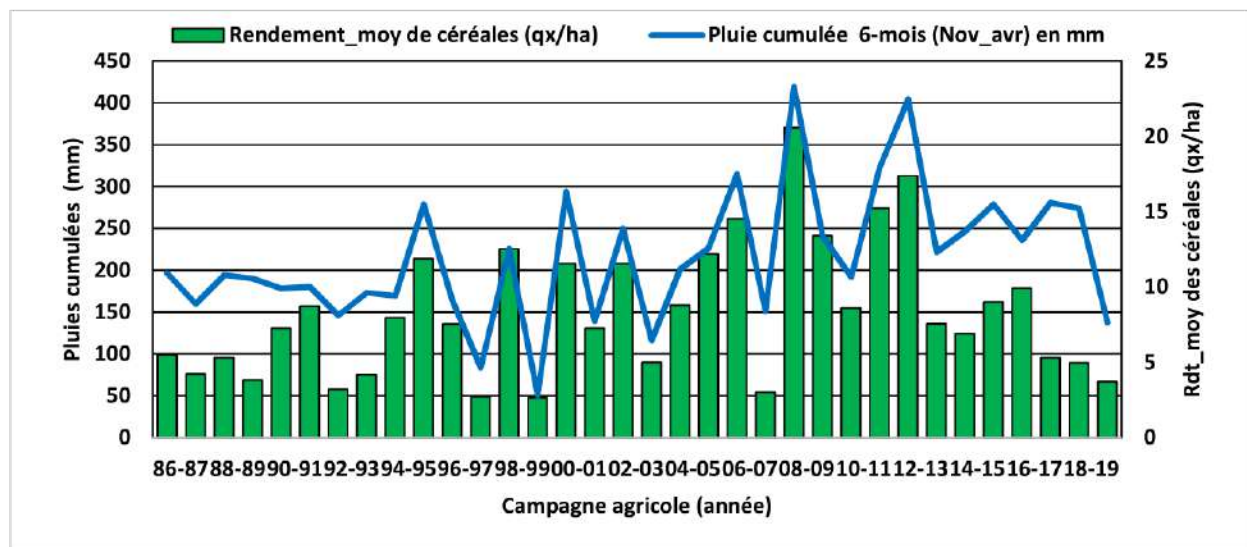


Figure 28. Rendements des céréales (qx/ha) en fonction de pluies cumulées 6-mois (Novembre à Avril)

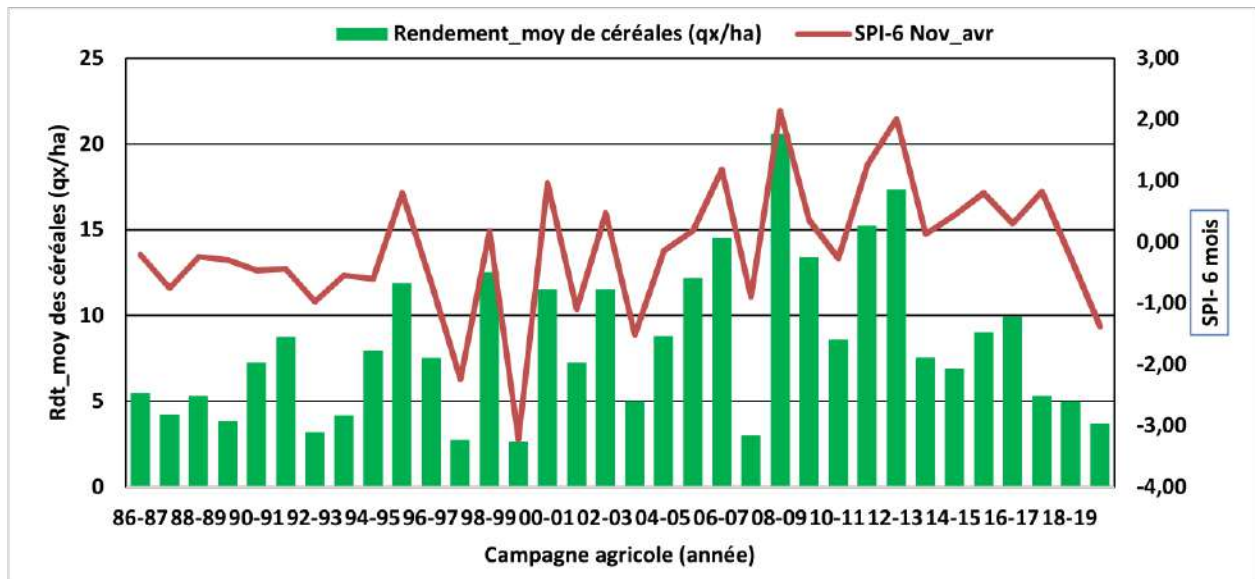


Figure 29. Rendements des céréales en fonction de SPI 6-mois (Novembre à Avril)

1.2.2.2.1. Analyses des corrélations

Les résultats de corrélation des paramètres étudiés (pluies cumulées, SPI et rendements moyens des céréales) sont donnés dans le tableau 37. Cette corrélation permet de mettre en évidence les éventuelles relations entre deux paramètres à un niveau de signification $P < 5\%$. Le tableau 37 révèle une corrélation très significative et positive ($0,645 \leq r \leq 0,828, p < 0,001$) entre la productivité des céréales et les pluies cumulées (rendement/ pluies) de trois périodes 3-mois et 6-mois. De nombreux résultats d'étude dans les pays du Maghreb confirment ces résultats (Douguedroit et al., 1998 ; Feki et Douguedroit, 2003 ; Jlibene M et Balaghi R., 2009 et Hellal et al., 2014).

Pour la relation qui existe entre les valeurs de SPI (3-mois et 6-mois) et les rendements des céréales, la corrélation est très significative et positive ($0,521 \leq r \leq 0,815, p < 0,001$).

Tableau 37. Pearson's Corrélation de paramètres calculés (pluies cumulées, SPI et rendements moyen des céréales) de la période 1987 à 2020

Paramètres Statistiques		Rendement moyen des céréales (Qx/ha)	Pluies cumulées (mm)			Valeurs de SPI		
			6 mois (Nov-Avr)	3 mois (Nov-Jan)	3 mois (Fév-Avr)	6 mois (Nov-Avr)	3 mois (Nov-Jan)	3 mois (Fév-Avr)
	Rdt_ céréales	1	0,828**	0,660**	0,645**	0,815**	0,521**	0,642**
Pluies cumulées (mm)	6 mois (Nov-Avr)		1	0,797**	0,779**	0,966**	0,605**	0,757**
	3 mois (Nov-Jan)			1	0,242	0,745**	0,672**	0,243
	3 mois (Fév-Avr)				1	0,778**	0,273	0,964**
Valeurs de SPI	6 mois (Nov-Avr)				1	0,668**	0,805**	
	3 mois (Nov-Jan)					1	0,330	
	3 mois (Fév-Avr)						1	

** Correlation is significant at P value $< 0,01$ (bilateral).

En référant à la méthode pour déterminer la période de la plus grande vulnérabilité de la culture de céréale en cas de sécheresse est celle où la corrélation SPI/rendements est la plus importante ; le résultat des différentes corrélations effectuées (SPI/rendement) pour les trois périodes vulnérables associées aux phases de croissances correspondent aux périodes "levée – tallage – montaison " et "épiaison – floraison – maturité " révèlent que la période la plus vulnérable à la sécheresse ayant une plus grande corrélation (SPI/Rendement) c'est toute la période de croissance de la culture de 6 mois {Novembre -Avril} avec une corrélation ($r = 0,815$ avec $p < 0.001$) (**fig. 31**). Les travaux menés en 2008, de faisabilité d'une assurance sécheresse indiciaire dans le cadre d'un projet d'assistance technique au Maroc, mis en œuvre par le CNUCED, avec le CARC et avec le soutien financier du Gouvernement Espagnol utilisant le SPI comme prédicteur des rendements céréaliers ont trouvés des corrélations très significatives entre les deux variables (SPI/rendements céréales). Les études réalisées dans les zones arides et semi-arides du Maghreb dénoncent le plus souvent l'insuffisance de la production des céréales au facteur pluviométrique (**Zaoui et Bensaid, 2007 ; Hellal et al., 2014**).

Pour la vulnérabilité saisonnière de la production céréalière au déficit pluviométrique, la phase de croissance s'étalant de l'épiaison à la maturité, elle est la plus vulnérable par rapport à la première période 3-mois "levée – tallage – montaison " avec une corrélation ($r = 0,642$ avec $p < 0.001$) (**fig. 31**) ; parce qu'il influe considérablement sur le rendement en grains chez les céréales qui dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² et par conséquent sur le poids de mille grains (PMG), aussi au cours de la période de remplissage des grains et dans des conditions de températures élevées accompagnées avec le manque d'eau a eu pour conséquence une réduction de la taille des grains, réduisant par conséquent le rendement (**Engleddow et Wadham, 1923 ; Triboï, 1990 et Debaeke et al., 1996**). Alors que le déficit pluviométrique précoce au début de cycle de croissance du végétal prolongé sur trois mois de novembre au février influence sur la phase de tallage et de montaison et limite le nombre de tallage par pied et par la suite sur les rendements et la production des céréales (**Debaeke et al., 1996**).

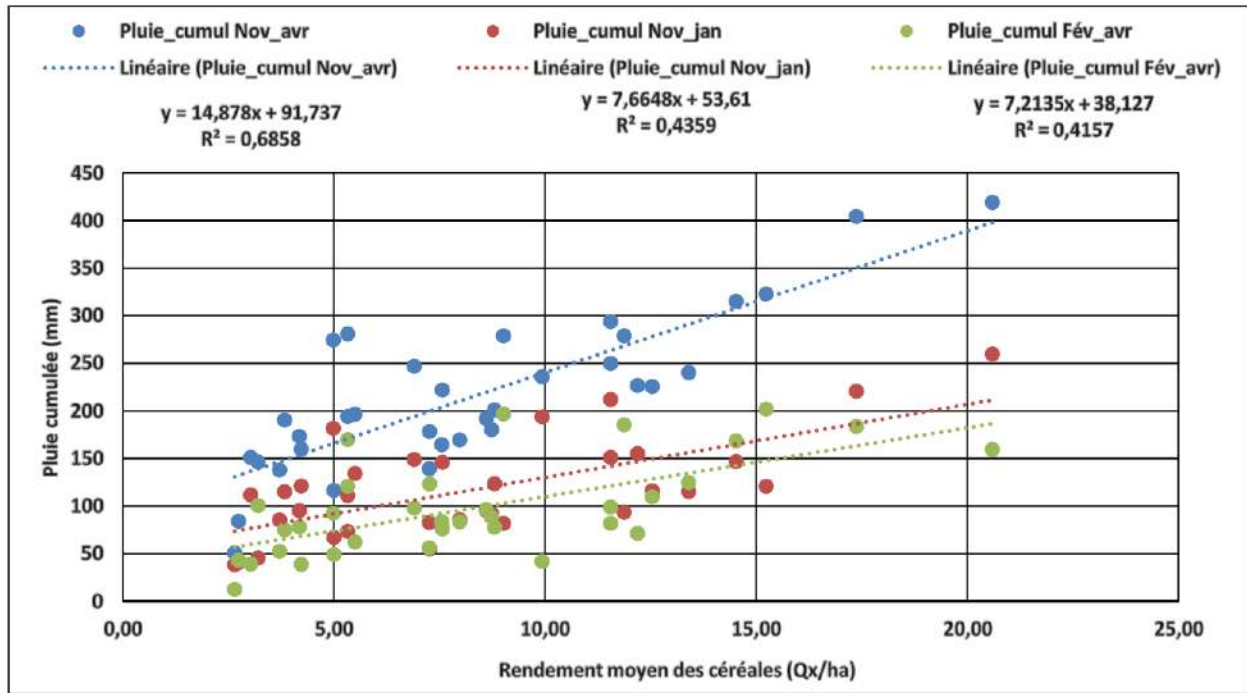


Figure 30 : Corrélations entre (pluie cumulée 3 et 6-mois / Rendement des céréales)

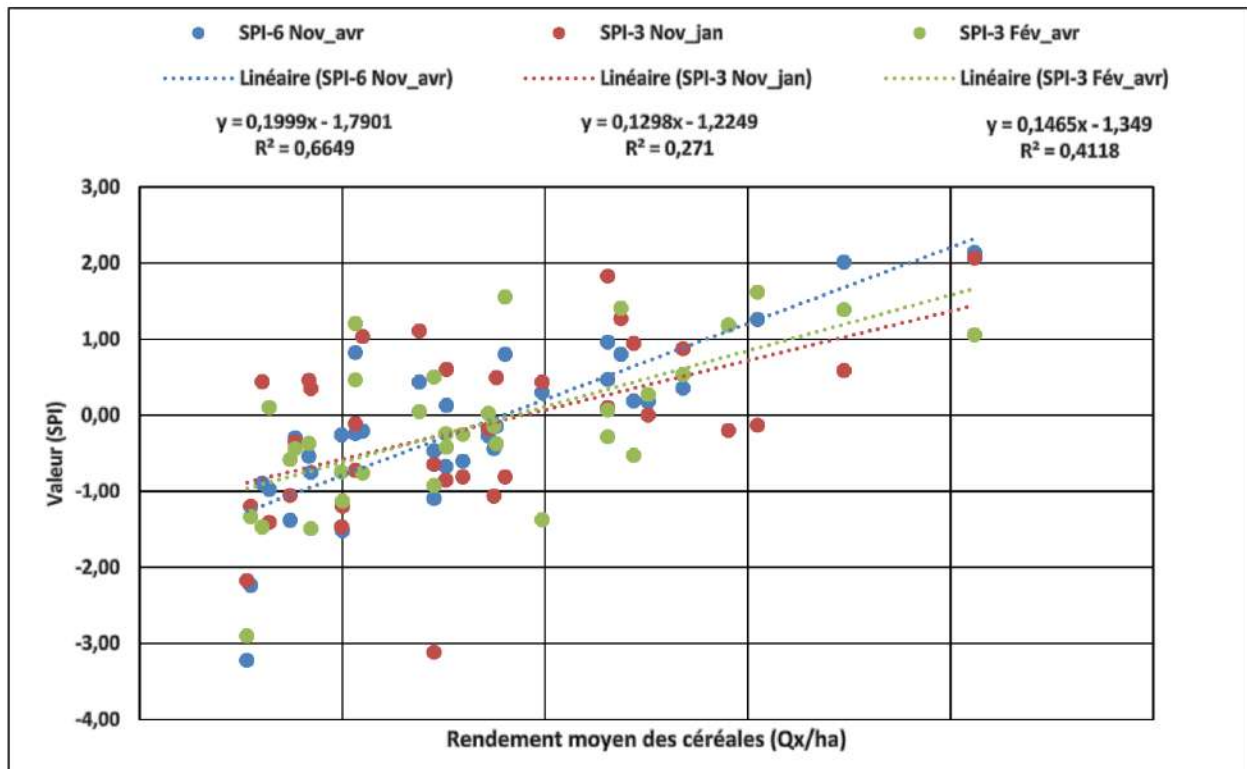


Figure 31. Corrélations entre (SPI 3 et 6-mois / Rendement des céréales).

2. Evaluation du risque de la salinité des sols

2.1. Méthodes d'évaluation de la salinité des sols

Les méthodes de laboratoire et les méthodes géophysiques non destructives sont les méthodes universelles les plus utilisées pour évaluer la salinité des sols (Corwin et Lesch, 2003),

la premières sont basées sur la mesure de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée ou l'extrait dilué des sols alors que la seconde sont basées pour la mesure de la conductivité électrique apparente du sol (CEa) à travers la résistivité électrique en utilisant le dispositif de Wernner, par induction électromagnétique EM et par des capteurs time-domain reflectometry (TDR).

2.2. La zone d'étude

L'étude s'est déroulée au niveau d'une zone agricole, située dans une zone salée de la plaine de Relizane, à environ 5 km à l'Ouest de la chef-lieu de la wilaya de Relizane. Un espace agricole d'une superficie de 4000 ha. Elle est limitée au Nord par l'autoroute Est-Ouest (A01) et au sud par le chemin de fer (Oran-Alger) et à l'Est par Oued Mina. Les coordonnées de la zone d'étude, (fuseau 31, Longitude / Latitude (WGS 84) de l'hémisphère Nord) se situent entre les longitudes 0°26'1.60"E et 0°31'9.96"E et entre les latitudes 35°44'8.06"N et 35°47'42.59"N (**fig. 32**)

Dans le cadre de l'évaluation du risque de la salinité des sols, la démarche adoptée comporte des étapes importantes :

- Analyse des documents de base
- La prospection de terrain
- Les analyses de laboratoire,
- Le traitement des données et enfin
- La restitution cartographique.

2.2.1. Analyse des documents de base

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles ainsi que les études réalisées dans la zone d'étude. Elle concerne :

- L'étude sur la caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (**INSID, 2011**).
- La carte géologique (échelle 1/50.000),
- L'étude sur le suivi et modélisation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué de la Mina (**ANRH, 2003**) et l'étude agro-pédologique des extensions du périmètre de la Mina (**Ghoul, 1974**).

Pour évaluer la répartition spatiale et le risque de la salinité au niveau de la zone d'étude, nous avons adopté la méthodologie développée par **Corwin et Lesch (2003)** :

- Mesure de la conductivité électrique apparente du sol (CEa) sur terrain en position horizontal et vertical en utilisant l'EM38 de type Géonics Ltd (Ontario, Canada) - cet appareil léger est

très pratique et s'utilise in situ sans perturber le sol dès son contact avec le sol (Mc Neill, 1980), et géoréférenciers à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de type Garmin

- Prélèvement des échantillons du sol selon la variation des lectures de l'EM38 ;
- Détermination de l'influence des propriétés du sol sur la conductivité électrique apparente du sol CEa pour l'étalonnage de la conductivité électrique de l'extrait saturée CEps;

La technique d'utilisation de l'induction électromagnétique (EM) pour mesurer la conductivité électrique apparente du sol sur terrain a été largement utilisée dans les domaines géologique et hydrogéologique (Belluigui, 1948 ; Wait, 1957, 1955, 1982 cités par Nogués et al., 2006), les prospections des métaux et l'exploration industrielle du pétrole (Frischknecht, 1966 cité par Nogués et al., 2006).

Dans le domaine de l'agriculture, De Jong et al (1979) ont utilisé le premier instrument non destructif (Nogués et al., 2006). Aujourd'hui, cette technique est très utilisée dans la l'étude de certaines paramètres physiques et chimiques (la salinité, l'humidité, la teneur en argile, la CEC, la nature d'argile, la taille et la distribution des pores dans le sol et la température). Ainsi que dans l'agriculture de précision (Corwin et Lesch, 2003 ; Corwin et al., 2003 cités par Robinson et al., 2004).

2.2.2. Mesures de l'EM38 et prélèvement d'échantillons de sol

Vu la grande étendue de la zone d'étude et la topographie plane et uniforme, la prise des lectures de l'EM38 de la conductivité électromagnétique (CEa) a été mesurée selon un échantillonnage systématique pour 260 points avec un maillage de 400 m*400 m (fig. 32) en position horizontale [0 à 75 cm (EMh)] et en position verticale [0 à 150 cm (EMv)] à l'aide d'un GPS (global positioning system) selon le système WGS 84 (JOB and al., 1990). La campagne de mesures et des prélèvements s'est déroulée entre avril et juin 2019. L'application de cette technique dans la caractérisation spatiale de la salinité est largement développée en agriculture de précision (Cameron et al., 1981 ; Lesch et al., 1995 ; Triantafilis et al., 2001 ; Corwin et al., 2003 ; Corwin et Lesch, 2005 ; Nogués et al., 2006). Pour calibrer les données de mesures de l'EM38, 34 profils du sol à une profondeur de 75 cm ont été réalisés afin de représenter spatialement toute la zone d'étude. Cette profondeur se justifie par sa forte représentativité de la couche de sol explorée par les racines des cultures et qui peut être exposée aux risques de la remontée des sels par capillarité (En hiver par la remontée d'une nappe généralement de mauvaise qualité, et en été par un rabattement qui laissent apparaître des couches de sels au niveau de la zoneracinaire qui empêche le développement des végétaux).

A l'aide d'une tarière, nous avons effectués 34 sondages réalisés (fig. 32) à trois niveaux de

profondeur, 0 à 25 cm ; 25 à 50 cm et 50 à 75 cm. Au total, 105 échantillons du sol ont été prélevés. L'implantation des profils est faite en fonction de la variation des lectures de l'EM38. Ceci permet de mettre en évidence la présence ou non d'une relation spatiale qui pourrait exister entre les paramètres pédologiques et les mesures de l'EM38.

Les échantillons du sol ont été codés et mis dans des sachets en plastique hermétiques bien fermés suivis d'analyses. Vu la profondeur d'investigation de l'EM38 jusqu'à 1,50 m, seules les mesures (EMh) ont été prises en considération, L'épaisseur (0 à 75 cm) correspond bien au volume du sol prospecté par l'EM38 en mode horizontal où les premiers 50 cm de sol donneront une réponse relative plus grande que les couches profondes, Par ailleurs, la meilleure période d'effectuer les mesures EM38 et l'échantillonnage E après la période pluvieuse ou des irrigations qui homogénéisent les profils hydriques des sols (Job *et al.*, 1990).



EM 38 en position verticale

EM 38 en position horizontale

Sondages réalisés à la tarière

Photo 03. Mesures de l'EM38 et prélèvement d'échantillons de sol

2.2.3. Analyse au laboratoire

Une fois les échantillons du sol séchés, broyés et passés sur des tamis à maille carrée de 2 mm, nous avons procédé aux mesures des paramètres des échantillons du sol en utilisant la procédure des méthodes standards utilisées (tab. 38).

Tableau 38. Paramètres physico-chimiques du sol et les méthodes utilisées

	Paramètres	Méthodes	Paramètres	Méthodes
Sol	Granulométrie	Robinson's pipette method	Humidité (%)	Oven Drying Method
	Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (Ceps) in dS/m at 25°C	US Salinity Laboratory (Richards, 1954) Systronic Conductivity Meter/	Calcaire total (%)	Bernard calcimeter
	Potentiel hydrogène (pH)	pH-meter (ratio soil – water 1/2,5)	Matière organique (%)	Ane method - The formula (OM% = C *1,72)

L'influence de quelques paramètres du sol tels que la CEps, le pH, la matière organique, la granulométrie, le calcaire total et l'humidité pondérale sur la variation de l'induction

électromagnétique est nécessaire afin d'évaluer spatialement la salinité du sol (Corwin et al, 2006).

2.2.3.1. Mode opératoire des analyses du sol

- **La conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (CEps) :** La méthode de détermination de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (CEps) a été développée et mise au point par les scientifiques de l'US. salinity Laboratory, 1954. Pour extraire les sels, on amène le sol préalablement séché à saturation par malaxage avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre le point de saturation. Cette méthode nous permet de se rapprocher d'une réalité agronomique, la teneur en eau dans le sol étant à proximité de la solution du sol qui est plus efficiente et disponible pour la plante et de mieux estimer les effets de la salinité sur sa croissance (Khorsandi and Yazdi, 2011).
- **La granulométrie :** L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale de sédimentation par la pipete de Robinson. Elle consiste à déterminer la texture du sol conformément à la norme internationale de normalisation en séparant les fractions granulométriques de la terre fine (diamètre des particules < 2 mm) et qui sont : les argiles (< 2 µm), les limons fins (2 à 20 µm) et grossiers (20 à 50 µm), les sables fins (50 à 200 µm) et grossiers (0,2 à 2 mm).
- **Le pH :** L'échantillon du sol est mis dans un bécher et on ajoute de l'eau distillée avec un rapport sol/eau = 1/2,5. Après agitation, on note la valeur du pH à l'aide du pH mètre à 25°C.
- **Le calcaire total :** Le taux de carbonate de calcium (CaCO₃) dans le sol est déterminée par la méthode volumétrique par le Calcimètre de Bernard.
- **La matière organique :** Le taux de la matière organique est déterminé par la méthode ANNE qui mesure le pourcentage de carbone organique dans l'échantillon du sol par oxydation à chaud avec l'acide sulfurique. Par la suite on déduit la teneur en matière organique : % MO = Carbone C*1.72
- **L'humidité du sol :** L'humidité pondérale du sol est le rapport de l'eau contenue dans un échantillon du sol au poids du même échantillon après dessiccation (%) à l'étuve à 105°C pendant 24 h. La différence entre les deux poids (avant et après le séchage) exprime la teneur en eau contenant dans les échantillons du sol : $H_p = M_e/M_s$ Avec :
 H_p : humidité pondérale (%),
 M_e : poids d'eau contenu dans un échantillon de sol (gramme),
 M_s : poids de l'échantillon sec (gramme).



Photo 04. Appareillages d'analyse du sol

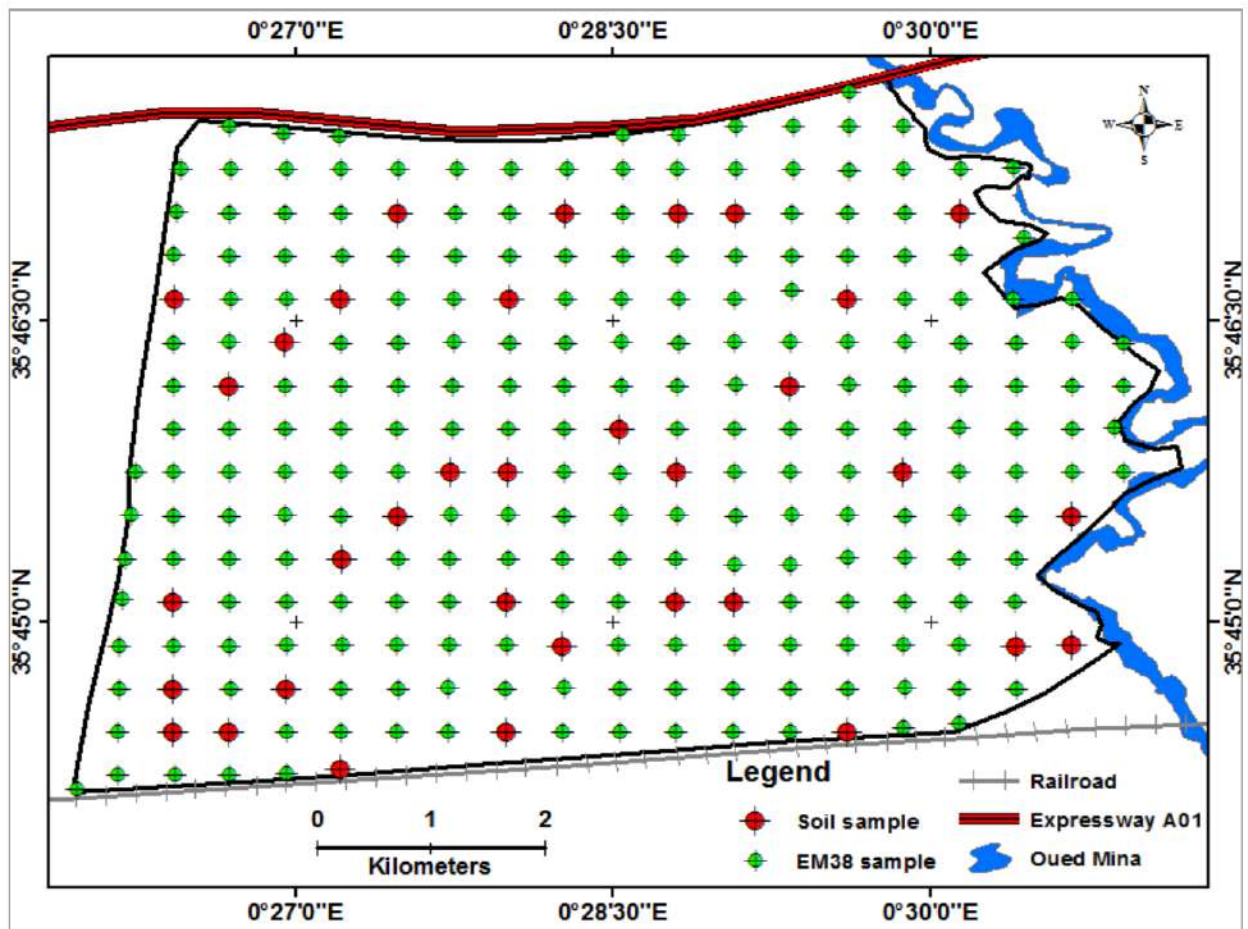


Figure. 32. Plan d'échantillonnage des points de lectures de l'EM38 et prélèvements du sol.

2.2.4. Analyses statistiques

L'analyse statistique univariée et multivariée des paramètres des échantillons de sol a été réalisée en utilisant le logiciel IBM SPSS Statistics Base 22.0 avec Microsoft Excel 2007.

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour appuyer l'interprétation des variables en tenant compte de la corrélation et de la localisation des échantillons. Par la suite, nous avons utilisé

les régressions linéaires qui ont servies à réaliser un étalonnage des mesures électromagnétiques et répondre ainsi à notre objectif.

En statistique descriptive, il est possible de décrire la variabilité spatiale d'une propriété mesurée en un grand nombre de points dans un espace à partir de descripteurs tels que le minimum, maximum, moyenne, écart-type, variance et coefficient de variation (CV), en utilisant à l'interprétation des variables en tenant compte de la corrélation et de la localisation des échantillons et par la suite la réalisation un étalonnage des lecture EM en fonction des valeurs de la CEps à travers l'établissement des équations de régressions linéaires.

En utilisant souvent pour comparer l'intensité de la variation des propriétés physico-chimiques du sol. La classification du coefficient de variation (CV) cité dans tableau 39 a été proposée par **Nolin et al., 1992** pour décrire et étudier la variabilité des propriétés des sols.

Tableau 39. Classes d'intensité du coefficient de variabilité (**Nolin et al., 1992**)

Intensité de la variabilité	Coefficient de variabilité (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Élevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	≥100

2.2.5. Régression linéaire et corrélation

Si une relation suffisamment importante se confirme entre X et Y, on peut poursuivre l'analyse en effectuant une régression. Une régression est l'estimation de l'équation de la relation existant entre les variables X et Y. Cette relation peut être linéaire ou non. Dans le cas du modèle linéaire l'équation de la régression est :

$$\text{Modèle linéaire : } Y = a + bX$$

Lors de l'établissement d'une équation de régression, le coefficient de détermination (R^2) détermine à quel point l'équation de régression est adaptée pour décrire la distribution des points. Si R^2 est nul, cela signifie que l'équation de la droite de régression détermine 0% de la distribution des points. Cela signifie que le modèle mathématique utilisé n'explique absolument pas la distribution des points. Si R^2 vaut 1, cela signifie que l'équation de la droite de régression est capable de déterminer 100% de la distribution des points. Cela signifie que le modèle mathématique utilisé, ainsi que les paramètres a et b calculés sont ceux qui déterminent la distribution des points.

Plus le coefficient de détermination se rapproche de 0, plus le nuage de points est diffus autour de la droite de régression. Au contraire, plus R^2 tend vers 1, plus le nuage de points se

rapproche de la droite de régression. Quand les points sont exactement alignés sur la droite de régression, $R^2 = 1$ donc : $0 \leq R^2 \leq 1$

2.2.5.1. Équation d'étalonnage des mesures de (CEMh)

De nombreuses études menées aux USA, Canada, Australie, Inde et en Afrique du Sud sur l'étalonnage des lectures de la conductivité électromagnétique données par l'appareil EM38, par rapport à la norme de salinité de l'extrait saturé, telle que déterminée en laboratoire et détermination des équations de régressions linéaires simples et multiples pour différents profils de sol dont les modèles de calibration ont été développés dans les situations où la salinité du sol est le facteur dominant affectant la lecture de CEM (Corwin and al 1989 ; Rhoades et al 1999 ; McKenzie et al., 1989 ; Slavich and Petterson, 1989 ; Heath et al., 1999 ; Johnston et al., 1997 ; Norman, 1990a et Vlotman, 2000).

L'étalonnage permet de transformer les mesures de CEMh en fonction des valeurs de la CEps relatives aux échantillons de sols prélevés de 34 sondages. Il se fait par établissement des équations de régressions linéaires simples. Pour une même épaisseur de sol (0-75cm), la corrélation entre les valeurs de CEMh (ECa) et celles de (CEps) donne une équation de type (Vlotman, 2000):

$$EC_{e(0-zcm)} = \pm c \pm a * EC_{a(0-zcm)} \quad \text{où :}$$

- $EC_{e(0-zcm)}$: Conductivité électrique (salinité) de l'extrait de pâte saturée d'un sol échantillonné à une profondeur de 0 à z cm (dS / m) ; même profondeur CEps (0-75cm)
- $EC_{a(0-zcm)}$: la conductivité apparente moyenne du sol sur une profondeur de sol de 0 à z cm (dS / m) ; dans notre étude la CEMh (0-75cm)
- a : pente de la relation ;
- c : constante.

2.3. Résultats et discussions

2.3.1. Analyse statistique des paramètres du sol

Les résultats révèlent que la conductivité électrique des extraits de pâte saturée (Ceps) moyenne des échantillons du sol (0 à 75 cm) se situe entre 1,35 et 28,42 dS/m et une moyenne de 12,06 dS/m avec une forte variabilité de 57,80 % (tab. 40). Cette large gamme de valeurs de salinité signifie que la zone étudiée est très hétérogène pour ce paramètre. Ce qui confirme donc la forte amplitude de distribution pédologique de la CEps.

Les coefficients de variation (CV) des paramètres étudiés (tab. 40) sont très faibles pour le pH et le calcaire total (2,24 et 11,5%) qui sont les variables du sol les plus homogènes dans la zone d'étude. Par contre, la Ceps, et les mesures de CEMh, CEMv et l'humidité sont les variables du sol les plus dispersées compte tenu des valeurs très élevées de CV (50 à 69 %). Les paramètres

liés aux constituants du sol (la Matière organique, l'argile, le limon, le sable) varient modérément dans l'espace, leur CV varie de 23,30 % le limon fin à 34,80 % pour le sable.

Les résultats figurant dans le tableau 40 montre aussi que toutes les lectures de l'EM38 se caractérisent par un grand écart entre les valeurs minimales et les valeurs maximales qui se situent entre 44 et 779 dS/m pour la CEMv et entre 30 et 655 dS/m pour la CEMh. Ces valeurs de l'EM38 révèlent une grande hétérogénéité de la conductivité électromagnétique apparente dans la zone d'étude. Cette forte variation spatiale de ces mesures est justifiée par les fortes valeurs de leur (CV) qui se situent entre 66 et 69%. La moyenne des mesures de l'EM38 en mode horizontal (CEMh) est inférieure à celle en mode vertical (CEMv), la valeur du rapport [CEMh / CEMv] est 0,77 ($\leq 1,05$), ce qui traduit une augmentation de la salinité en profondeur avec un profil descendant et lessivé (Corwin et Rhoades, 1990 ; Norman, 1990b ; Heath et al., 1999 ; Nogués et al., 2006). Dans notre zone d'étude semi-aride, nous avons assisté à deux phénomènes, l'un après la période humide qui est la période de notre échantillonnage (avril-juin) une accumulation de la salinité en profondeur (lessivage) ou l'irrigation la des eaux de mauvaise qualité et l'autre une augmentation des sels dans les couches superficielles due à la remonté des eaux de la nappe sous l'effet de la pression capillaire et l'évapotranspiration durant la période sèche.

Tableau 40. Statistiques de différents paramètres du sol (profondeur 0-75 cm)

Paramètres Statistiques	CEMh (dS.m ⁻¹)	CEMv (dS.m ⁻¹)	Ceps (dS.m ⁻¹)	pH	Matière organique (%)	Calcaire total (%)	Humidité (%)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Number	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Min.	30,00	44,00	1,35	7,66	1,05	13,02	3,61	10,32	16,00	9,98
Max.	655,00	779,00	28,42	8,47	4,38	23,48	36,78	56,65	41,50	52,65
Mean.	280,76	374,88	12,06	8,11	2,69	19,41	19,22	37,95	28,75	33,30
Median.	268,50	408,00	11,74	2,61	8,12	2,56	19,70	20,76	39,33	30,00
Std.Dev.	192,92	245,86	7,60	0,18	0,89	2,24	9,44	11,39	6,70	11,59
Variance	37217,22	60449,50	57,80	3,35	0,03	0,79	5,02	89,14	129,77	44,86
CV%	68,71	65,58	57,80	2,24	32,99	11,54	49,12	30,01	23,30	34,80

L'analyse granulométrique montre que la distribution des pourcentages des fractions (argile, limon et sable) des échantillons du sol effectué sur 34 sondages sur le triangle des textures de 12 classes USDA (1954) est illustrée dans la fig. 33 et montre que 75% des échantillons ont des textures fines (argileuses et argileux-limoneuses).

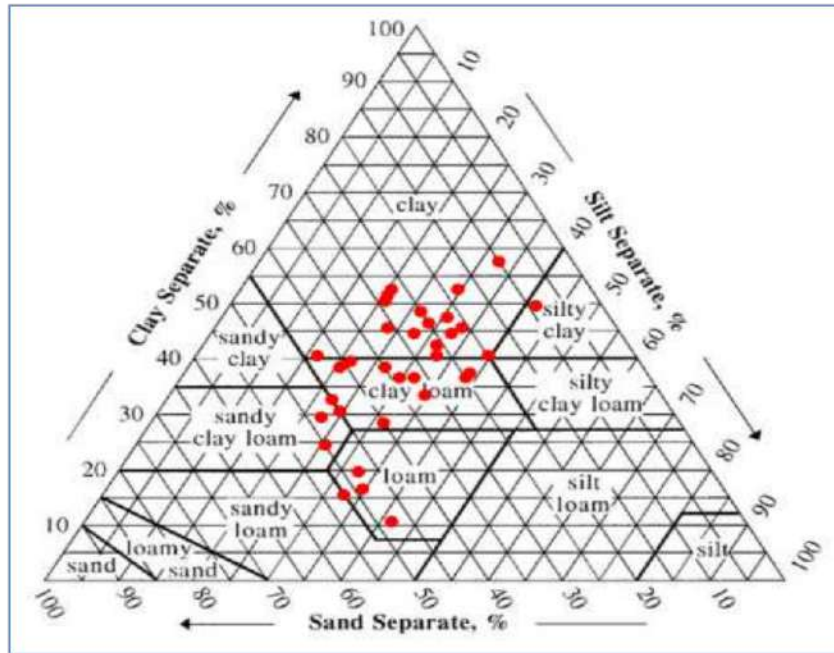


Figure. 33. Triangle des textures USDA (1954)

Pour évaluer la distribution des valeurs des paramètres dans la zone d'étude, nous avons calculé les fréquences pour chaque paramètre étudié.

Les résultats de l'analyse statistique ont permis de caractériser les variables du sol. Pour le pH, il est montré que le sol de la zone d'étude est dominant par la classe des pH basiques ($7,5 < \text{pH} < 8,5$) qui représente 100% des prélèvements (**fig. 34**). Le pH basique des échantillons analysés varie entre 7,66 et 8,45. ces valeurs du pH confirment le caractère alcalin des sols de la zone d'étude (plaine de la Mina).

Le même résultat trouvé pour le taux de calcaire total (CT) avec une seule classe de qui est modéré ($10\% < \text{CaCO}_3 < 25\%$). Les valeurs de CT oscille entre 13% et 23,5%, ce qui est dû probablement de la décarbonatation sous l'effet de l'irrigation.

Quant à la MO, les résultats ont montré que la classe de la teneur moyenne (2 à 4%) est la plus représentée dans la zone d'étude (68% des échantillons) et 11% pour la classe de taux élevée ($> 4\%$) (**fig. 34**). Ce taux de MO moyen est généralement accumulé au niveau de la couche superficielle du sol (0 - 30 cm) utilisé par le système racinaire de la plupart des cultures herbacées telles que les cultures céréalières et maraîchères et décroissant en profondeur.

La texture fine (argileuses et argileux-limoneuses) caractérise la majorité des échantillons (75%) dont la moitié soit 50% des échantillons a une texture argileuse (**fig. 34**). Cette texture donne au sol caractère du risque potentiel de salinisation sous l'effet de la remonté de la nappe d'eau déjà salée et de la pression capillaire.

La répartition spatiale des échantillons du sol de 34 profils effectués selon la classification

de salinité de l'USDA (1954) démontre une dominance des échantillons très salins à extrêmes salines (CEps de 8 à 16 dS/m et > 16 dS/m) avec une fréquence de 67% réparties respectivement 35% et 32%. Les échantillons modérément salines (4 à 8 dS/m) représentent 9% alors que la classe non salé et peu salé (CEps < 4 dS/m.) représente 24%. Ces résultats montrent que les sols très salins à extrêmes salines sont plus dominants et présentent un risque potentiel très élevé sur les agroécosystèmes d'une part et d'autre part augmente la salinisation à moyen et à long terme engendré par la présence d'une texture fine et une nappe d'eau de surface généralement de mauvaise qualité.

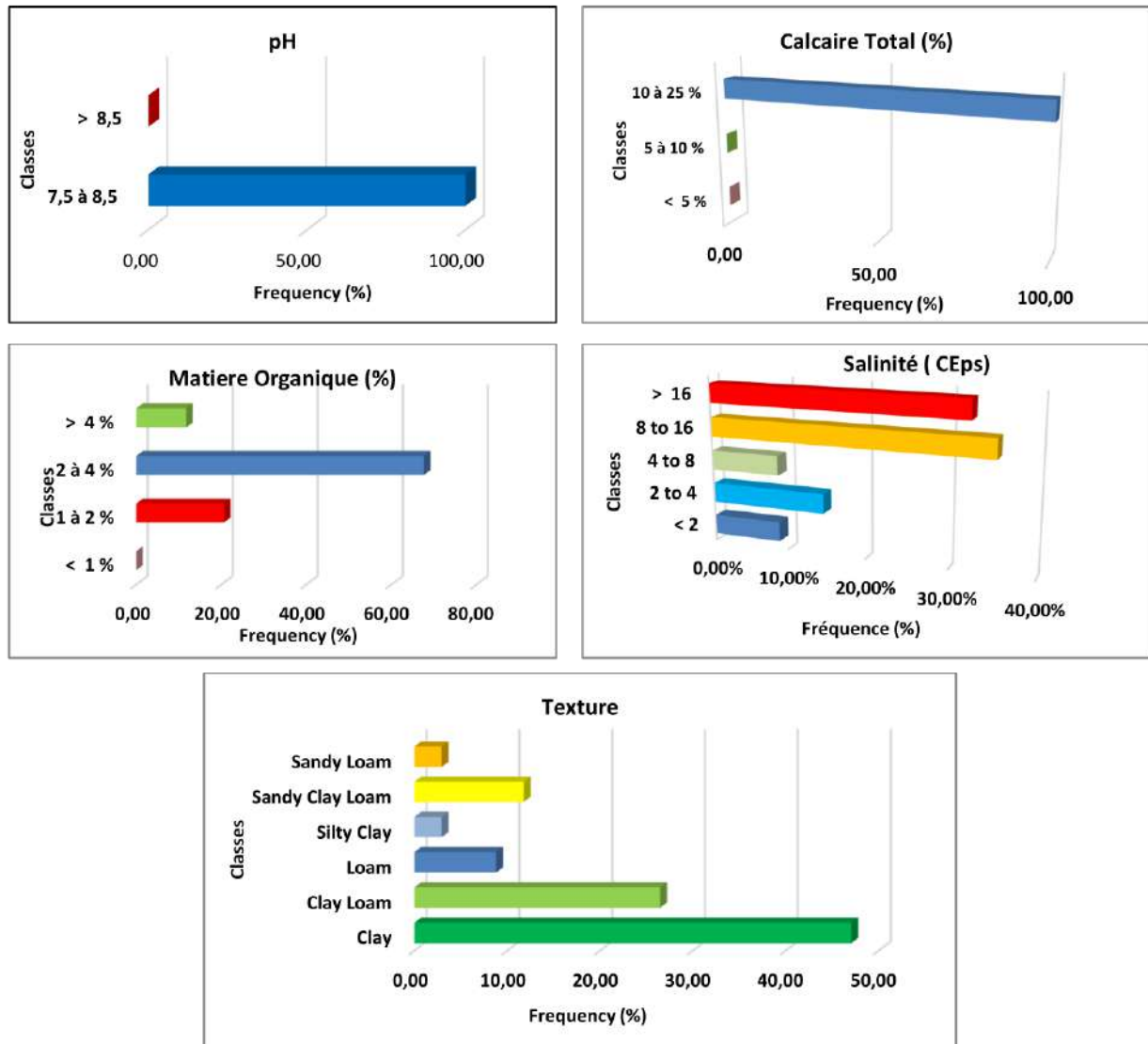


Figure. 34. Fréquence des paramètres des échantillons de sol

2.3.2. Analyse des corrélations

Les résultats des corrélations sont donnés dans le **tableau 41**. Cette corrélation permet de mettre en évidence les éventuelles relations entre deux paramètres du sol à un niveau de signification $P < 5\%$. Le tableau 41 révèle une corrélation très hautement significative et positive

($0,589 \leq r \leq 0,975$, $p < 0,001$) de la CEMh et la CEps avec la CEMv, % Humidité et l'argile. De nombreux résultats d'étude confirment ces résultats (Nehmdahl et Greve, 2001 ; Bronson et al., 2005 ; Nogués et al., 2006 ; Corwin et al., 2006 ; Abdelhafid, 2010 ; Gacem, 2015). Pour la Matière organique, le pH et le sable la corrélation avec CEMh et CEps est négative et significative ($-0,64 \leq r \leq -0,35$; $P\text{-value} < 0,05$) (Nolin et al., 2002 ; Corwin et al., 2006).

Tableau 41. Matrice de corrélation de Pearson pour différents paramètres du sol (test bilatéral)

	CEMh	CEMv	CEps	pH	Matière organique	Calcaire total	Humidité	Argile	Limon	Sable
CEMh	1									
CEMv	0,975**	1								
Ceps	0,896**	0,852**	1							
pH	-0,351*	-0,299	-0,348*	1						
Matière organique	-0,642**	-0,591**	-0,627**	0,250	1					
Calcaire total	-0,051	0,008	-0,188	-0,004	-0,122	1				
Humidité	0,797**	0,812**	0,633**	-0,369*	-0,492**	0,033	1			
Argile	0,621**	0,624**	0,589**	-0,306	-0,564**	-0,192	0,763**	1		
Limon	-0,174	-0,178	-0,239	-0,333	0,218	0,358*	-0,008	-0,264	1	
Sable	-0,510**	-0,510**	-0,441**	0,494**	0,428*	-0,018	-0,745**	-0,830**	-0,318	1

* Correlation is significant at P value $< 0,05$

** Correlation is significant at P value $< 0,01$

L'analyse en composantes principales (ACP) permet de traiter conjointement les variables indépendamment ainsi que les individus en détectant la composition des relations entre ces variables. Le tableau 42 illustre la projection perpendiculaire des vecteurs variables sur les axes principaux. Les valeurs propres représentent la variation des individus (variables) sur ces axes exprimés en pourcentage des valeurs propres totales

Tableau 42. Valeurs propres et pourcentages des axes principaux

Composante (Axe)	Valeurs propres	% de la variance	% cumulé
1	5,936	53,963	53,963
2	1,782	16,200	70,163
3	1,070	9,730	79,893

Les deux premiers axes principaux ont des valeurs propres égales respectivement à 5,936 et 1,782 et qui expliquent 70,16 % de la variation totale de variance. Dans ce cas, nous avons retenu donc seulement les deux premiers axes. Le cercle de corrélation permet d'afficher les variables corrélées entre elles et par conséquent leurs différences et rapports. La figure 35 montre une forte relation entre les mesures de EM38 (CEMh et CEMv), la CEps, l'argile, et l'humidité, Alors que, les paramètres du sol la MO, le pH et le sable sont fortement opposés aux paramètres de mesure de la salinité EM38 (CEMh et CEMv), la CEps.

L'analyse (ACP), par son traitement multiparamétrique a permis de mettre en évidence les interactions entre l'ensemble des variables du sol, y compris les valeurs de l'EM38. En effet, la projection de toutes les variables dans l'espace factoriel décrit par l'ACP est exprimée par le

coefficient de corrélation (r) de chacune de ces variables. La valeur de ce coefficient représente la part de la variation expliquée par une composante principale. Les résultats de cette analyse ont révélé que les variables CEMh, CEMv, CEps, Humidité, argiles ont corrélées positivement sur l'axe de composant 1 et s'opposent aux matière organique, sable et pH. Les variables CEMh, CEMv, CEps, Humidité, argile sont les mieux représentées sur ce plan. Cet axe représente la composante de la salinité (Fig. 35).

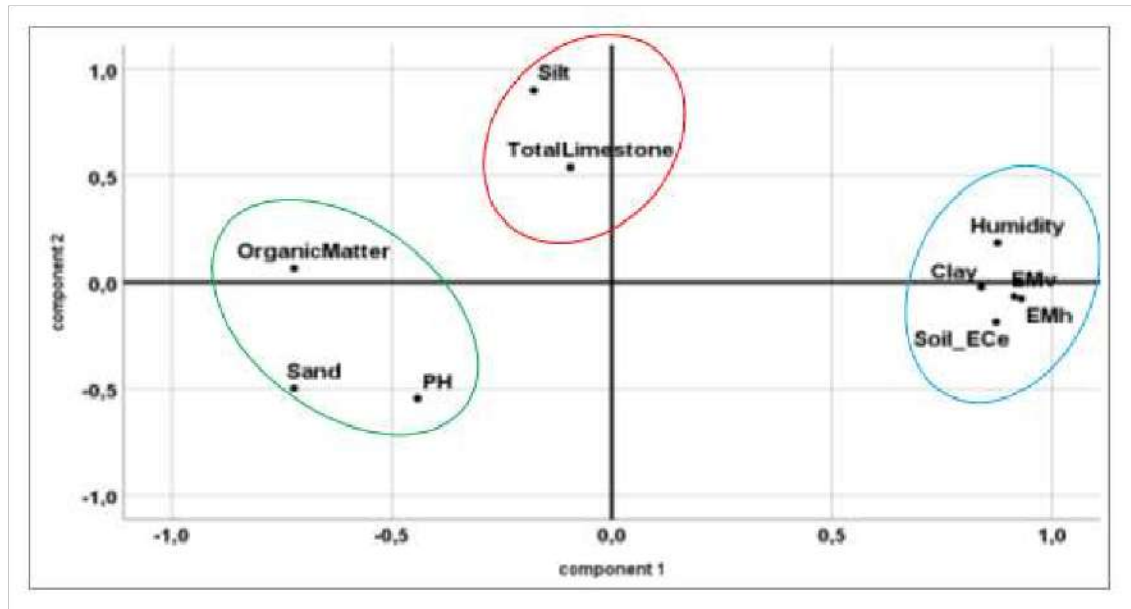


Figure 35. ACP des données des paramètres du sol, projection des variables dans le plan (1 et 2)

2.3.3. Estimation de CEps à partir des mesures CEMh

Les régressions simples, nous a permet de rechercher l'équation de transformer les lectures de l'EM38 en mode horizontal (CEMh) en conductivité électrique des extraits de pâtes saturées (CEps) du sol à une profondeur (0 à 75 cm). Les mesures horizontales(CEMh) qui donnent une réponse maximale à une profondeur de 0,75 cm seront étalonnées aux CEps.

L'étalonnage se base sur l'utilisation de la régression simple pour trouver une relation statistique entre les mesures CEMh et les valeurs de la CEps moyenne (0-75cm). La corrélation est réalisée à un niveau de signification $p < 0,05$. Elle a permis d'aboutir à la relation linéaire suivante : $CEps = 0,0353 * CEMh + 2,1548$ avec $R^2 = 0,80$; $p < 0,001$ (fig. 36)

D'après ce résultat trouvé de l'équation de la régression linéaire, il s'avère que le coefficient de détermination R^2 donné par l'équation est très hautement significatifs ($p < 0,001$). Donc, la CEps est le facteur dominant responsable de la variation de la CEMh (Banerjee et al., 1998 ; Abdelhafid, 2010 ; Gacem, 2015). De ce fait, nous avons obtenu 34 valeurs de la conductivité électrique CEps estimée par l'équation de la régression simple.

Le résultat des paramètres statistiques descriptifs de la CEps (0-75 cm) calculée pour un nombre de mesures de 260 emplacements de CEMh et les différentes classes de la salinité du sol (CEps (0-75 cm) calculées en dS.m⁻¹) (USSSL, 1954) donné dans le tableau. 43.

Tableau 43. Statistiques de CEMv, CEMh , CEps (dS.m⁻¹) calculées sur différentes classes de salinité du sol

	Paramètres	CEMv (dS.m ⁻¹)	CEMh (dS.m ⁻¹)	CEps (dS.m ⁻¹) calculées		
	Number	260	260	260		
	Min.	44,00	30,00	3,21		
	Max.	796,00	691,00	26,55		
	Mean	330,12	253,39	11,10		
	Std.Dev.	213,32	173,01	6,11		
	CV%	64,62	68,28	55,02		
Profondeur(cm)	Nombre	Classes de salinité du sol en fonction de CEps (dS.m-1) calculées				
		non salins	légèrement salins	salins	Très salin	extrêmement salins
		< 2	2 to 4	4 to 8	8 to 16	16 to 26
0 to 75	260	-	20	92	87	61
		0,00 %	7,69 %	35,38 %	33,46 %	23,46 %

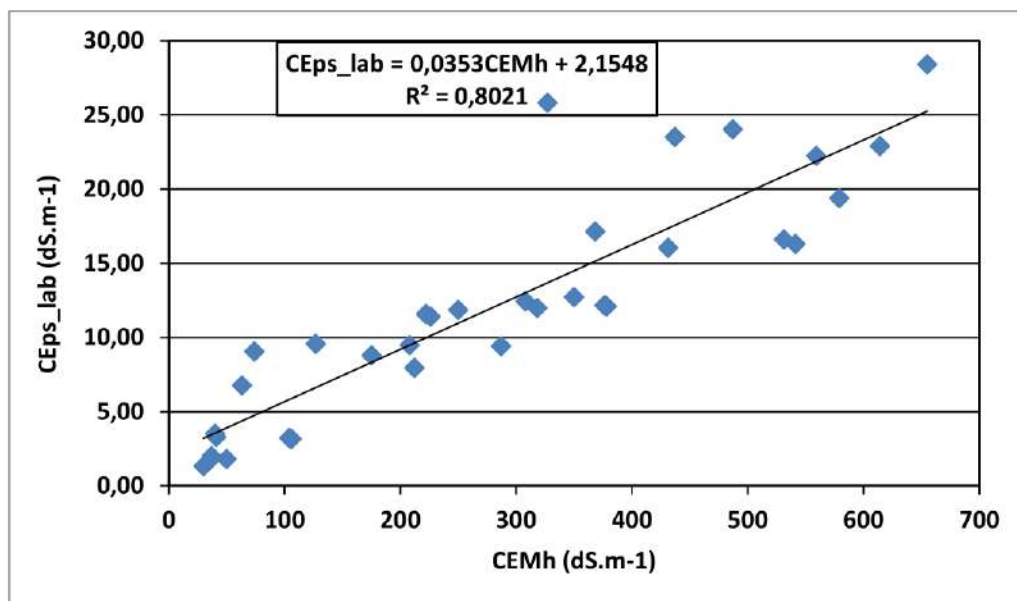


Figure 36. Corrélation entre CEps et CEMh

3. Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation est un élément essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la qualité et la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Pour déterminer la qualité requise de l'eau à des fins d'irrigation, cinq (05) principaux critères ou conditions ont été dégagés (**Couture, 2004**) :

- pH : de l'eau d'irrigation
- Salinité : contenu total en sels solubles.
- Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- Alcalinité et dureté : concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques

3.1. Echantillonnage

La méthode de base de prélèvement des échantillons d'eau a été adoptée selon la technique de **Rechard Lee (1980)**, Des échantillons ont été prélevés à différents endroits tôt le matin pour éviter la contamination par les utilisateurs. Des échantillons d'eau de différents puits creusés, utilisés par les agriculteurs de la zone d'étude à des fins d'irrigation ont été collectés et couvrant toute la zone d'étude. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en matière plastique d'un (01) litre, qui doivent être au préalable lavés et rincés soigneusement par les eaux prélevées, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent dans le laboratoire d'institut national des sols, d'irrigation et du drainage (INSID) dans la wilaya de Relizane. Le nombre total d'échantillons est de quarante (40). L'emplacement des échantillons d'eau a été reporté sur la carte (**fig. 37**) A chaque prélèvement le p^{H} et la conductivité électrique de l'eau ont été mesurés in situ. Les analyses de différents paramètres physico-chimiques ont été réalisées selon les méthodes utilisées standards préconisées par les normes **AFNOR (1994)** et **American Public Health Association (APHA, 1998)** et par **Rodier (2005)**. (**tab. 44**).

Tableau 44 : Paramètres physico-chimiques de l'eau et leurs méthodes utilisées.

	Paramètres	Méthodes	Paramètres	Méthodes
Eau	Potentiel hydrogène (pH)	Systronics pH meter/pH meter portable	Chloride (Cl^-)	Argentometric titration
	Conductivité Electrique (ECw) en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Systronic Conductivity Meter/portable conductivity meter	Bicarbonate (HCO_3^-) et carbonate (CO_3^{2-})	Titration with H_2SO_4
	sodium and potassium ($\text{Na}^+ \text{K}^+$)	Atomic absorption spectrometer	Sulfate (SO_4^{2-})	Turbidimetric Method
	Calcium, magnésium, ($\text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$)	EDTA titration	Total dissolved solids (TDS) Hardness Total (TH)	Calculation

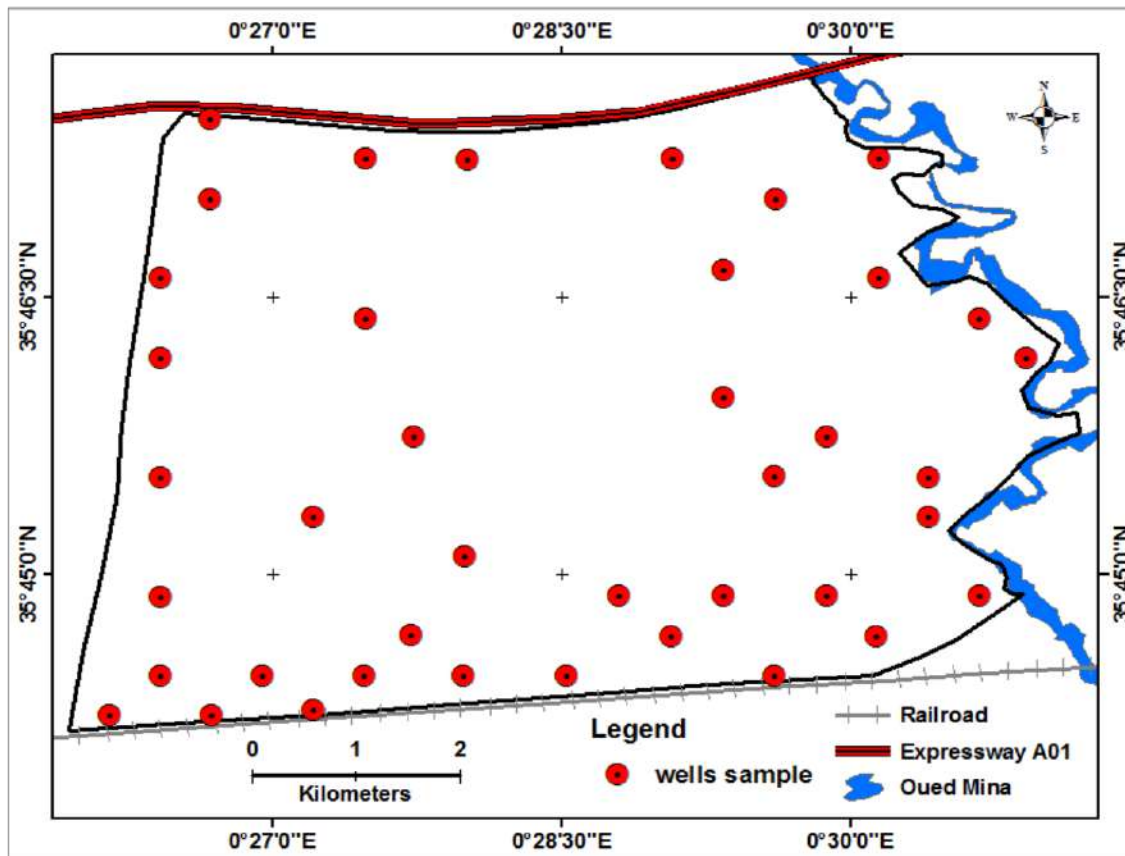


Figure 37. Emplacement des points d'eau utilisée pour l'irrigation dans la zone d'étude

3.2. Mode opératoire de l'analyse de l'eau

3.2.1. Le pH

Il permet de déterminer l'acidité d'une eau ; à l'aide d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode verre-calomel, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 4 nous avons procédé à la mesure directement *in situ*. On utilise cette valeur du pH pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates).

3.2.2. La conductivité électrique (ECw)

Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. *In situ* à l'aide d'un conductimètre de terrain (portable conductivity meter) et au laboratoire à l'aide d'un conductimètre (Systronic Conductivity Meter) Cette méthode délicate de mesure est très importante car elle donne directement une évaluation de la minéralisation totale. La (ECw) est naturellement influencée par le pH, la valence des ions et leur degré d'ionisation.

3.2.3. Dosage des cations

3.2.3.1. Carbonates et bicarbonates

Le dosage des carbonates et bicarbonates se fait suivant une méthode titrimétrique très répandue : un aliquote de l'eau est titré avec un acide (H_2SO_4 ou HCl) à faible concentration (0.1N)

en présence successivement de phénolphtaléine (indicateurs des carbonates) et du méthyle orange (indicateur des bicarbonates).

3.2.3.2. Les chlorures

Nous avons procédé à la mesure des ions de chlorures (Cl^-) en suivant la méthode habituelle : la méthode volumétrique de Mohr (la méthode de titrage des chlorures), elle consiste en un dosage argentimétrique des ions chlorures par le nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (K_2CrO_4). Les chlorures sont totalement précipités par l'argent (AgCl_2). La fin de la titration est marquée par l'indicateur chromate (K_2CrO_4) qui forme un précipité rouge (Ag_2CrO_4) avec l'argent en excès.

3.2.3.3. Les sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum stabilisé (Cl Ba) (Méthode turbidimétrique) : $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4$ on agite 2 à 3 fois, après 15 secondes, on agite encore une fois et on fait la lecture au spectrophotomètre à 650 nm. Pour 39 ml la courbe donne directement la teneur en SO_4^{2-} en mg/l.

3.2.4. Dosage des cations

3.2.4.1. Le Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+})

La méthode classique de détermination du calcium et d'autres cations comme Magnésium appropriés est titrage avec une solution standardisée d'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA).

3.2.4.2. Le Sodium (Na^+) et le Potassium (K^+) :

Le dosage de ces deux cations est déterminé directement par Spectromètre d'absorption atomique. Les valeurs des paramètres (EC_w ; CO_3^{2-} ; HCO_3^- ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ et K^+), trouvées nous permettent de calculer les paramètres clés de la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation.



Conductivimètre



Atomic absorption spectrometer

Photo 05. Appareils d'analyse de l'eau

3.3. Classification de la qualité de l'eau d'irrigation

Pour évaluer l'aptitude des eaux souterraines à des fins d'irrigation, les paramètres de qualité de l'irrigation suivants : le risque de salinité (EC_w), le total des sels dissous (TDS), le Sodium Adsorption Ratio (SAR), la Dureté totale (TH), Le pourcentage de Na ($Na\%$), Le carbonate de sodium résiduel (RSC) et l'indice de perméabilité (PI) ont été utilisés dans cette étude pour évaluer l'aptitude de l'eau pour l'irrigation des cultures dans la zone d'étude.

3.3.1. Total des sels dissous (TDS)

C'est un paramètre physique très important, car il traduit le degré de minéralisation des eaux. Afin de déterminer la concentration totale des sels solubles dans l'eau (Total dissolved solids ou (TDS), on applique la relation suivante (1):

$$\text{TDS (mg/l)} = \text{EC } (\mu\text{S/cm}) * 0,64 \quad (\text{Brown and al., 1970}), \quad (1)$$

Le tableau ci-dessous répertorie la classification de qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur le TDS.

Tableau 45. Classification de qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur le TDS.

Index	Classification Range	Suitability for irrigation	References
TDS (mg/l)	< 500	Desirable for drinking	Davis and DeWiest (1966)
	500–1000	Permissible for drinking	
	1000–3000	Useful for irrigation	
	> 3000	Unfit for irrigation	
	<1000	Fresh	Freeze and Cherry (1979)
	1000–10000	Brackish	
	10000 - 10000	Saline	
	>10000	Brine	

3.3.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en sodium (Na^+). On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Adsorption Ratio), et calculé par la formule (2)

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2} \quad (\text{Richards, 1954}) \quad (2)$$

Tableau 46. Classification de la qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur le risque de salinité (ECw) et SAR

Index / classification	Range	Suitability for irrigation	References	
Salinity hazard (ECw) in (µS/cm)	< 250	C1 - Excellent or low	Freeze and Cherry (1979)	
	250–750	C2 - Good or medium		
	750–2250	C3 - Permissible or high		
	>2250	C4 - Unsuitable or very high		
	SAR	< 250	C1 - Excellent or low	Durand (1958)
		250–750	C2 - Good or medium	
		750–2250	C3 - Permissible or high	
		2250-5000	C4 - Unsuitable or very high	
>5000		C5 - Excessive very high		
SAR	<10	S1 - Excellent	Richards (1954)	
	10–18	S2 - Good		
	18–26	S3 - Doubtful		
	>26	S4 - Unsuitable		

3.3.3. Le pourcentage de Na (Na%)

Le pourcentage de teneur en Na est un paramètre significatif utilisé pour évaluer l'aptitude des eaux souterraines à des fins d'irrigation (Wilcox, 1955). Le sodium mélangé à du carbonate peut conduire à la formation de sols alcalins, alors que le sodium mélangé avec le chlorure forme un sol salin. Le pourcentage de Na (Na%) est calculé par de l'équation (3).

$$\text{Na \%} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) * 100 / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \quad (\text{Wilcox 1955}) \quad (3)$$

Tableau 47 : Qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur Na%

Index / classification	Range	Suitability for irrigation	Reference
Na %	<20	Excellent	Wilcox (1955)
	20–40	Good	
	40–60	Permissible	
	60–80	Doubtful	
	>80	Unsuitable	

3.3.4. Dureté totale (TH)

La dureté d'une eau ou « Hardness Total » (TH) est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium. L'origine du Ca^{2+} et Mg^{2+} est attribuée à la dissolution des roches calcaires et dolomitiques en présence de CO_2 provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol (Tardat-Henry & Beaudry, 1984). Elle est calculée par la formule (4) :

$$\text{TH (mg/l)} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) * 50 \quad (\text{Hem, 1985}) \quad (4)$$

3.3.5. Le carbonate de sodium résiduel (RSC)

Le carbonate de sodium résiduel ou « Residual sodium bicarbonate » (RSC) est un paramètre important utilisé pour évaluer l'adéquation de l'eau d'irrigation (Ragunath, 1987) et peut être calculé en utilisant la formule suivante (5) :

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (\text{Eaton, 1950}) \quad (5)$$

Tableau 48. Qualité de l'eau d'irrigation des eaux souterraines basée sur RSC

Index / classification	Range	Suitability for irrigation	References
RSC (meq/l)	<1,25	Safe	Eaton, 1950
	1,25–2,5	Moderate	
	>2,5	Unsuitable	

3.3.6. L'indice de perméabilité (PI)

L'indice de perméabilité ou Permeability index (PI) est également une méthode précieuse pour identifier l'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation. Cet indicateur a pour but de déterminer les effets de la concentration de Na, Ca, Mg et HCO₃ sur la perméabilité du sol au long terme. Doneen (1964) a classé les eaux d'irrigation en trois classes basé le (PI). Le PI est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\text{PI} = \text{Na} + [(\text{HCO}_3^- * 100)]^{1/2} / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ \quad (\text{Doneen 1964}) \quad (6)$$

Tous les ions sont exprimés en meq / L

3.4. Résultats et discussion

3.4.1. Analyse statistique des paramètres de qualité de l'eau

L'aptitude de l'eau à l'irrigation dépend également à ses constituants chimiques et certains paramètres de qualité. Les résultats des paramètres chimiques et des paramètres calculés des eaux (SAR, TDS, TH, RSC, %Na et PI) des puits sont présentés dans le **tab. 49**. La composition chimique moyenne des principaux ions est de l'ordre de Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > K⁺ et Cl⁻ > SO₄ > HCO₃, ce que signifie que le faciès chimique dominant de la nappe est celui des eaux Chlorurées sodiques (**tab. 49**). Le résultat montre que le p^H de l'eau est varié de 7,02 à 8,38 neutre à modérément alcaline. La Conductivité électrique dépasse la limite autorisée de 2500 µS/cm (Durand, 1958 ; Freeze and Cherry, 1979). Les valeurs de TDS varient entre 1433 à 9920 mg/L alors que le SAR qui varie de 6,51 et 26,96.

Tableau 49. Statistiques de différents paramètres analysés de l'eau souterraine (n = 40)

Paramètres	p ^H	EC	TDS	TH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Min.	7,0	2240,0	1433,6	93,1	9,6	0,4	0,4	0,0
Max.	8,4	15500,0	9920,0	3084,5	100,0	22,9	48,1	2,7
Average.	7,7	5989,8	3833,4	1053,0	46,3	6,2	14,9	0,6
Std.Dev.	0,3	3203,1	2050,0	711,0	24,3	4,7	11,4	0,8
CV%	4,0	53,5	53,5	67,5	52,5	75,8	76,7	123,6
Paramètres	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SAR	RSC	Na	PI
Min.	10,0	1,5	0,0	0,2	6,5	-60,7	47,3	47,4
Max.	193,0	38,1	1,2	13,6	27,0	2,1	92,2	96,2
Average	49,5	12,6	0,2	2,4	14,9	-18,5	69,9	71,2
Std.Dev.	35,2	8,5	0,2	2,8	5,8	14,1	9,3	9,7
CV%	71,2	67,8	103,1	119,9	39,0	76,1	13,3	13,7

Unit : EC en (µS/cm) - Tous les ions en (meq/l) - TDS, TH et RSC en (mg/L) - Na et PI en (%)

3.4.2. Analyse des corrélations

La matrice de corrélation de différentes variables est donnée dans le tableau 50 et révèle que de très fortes corrélations positive ($0,45 \leq r \leq 1,00$) de l'ECw avec TDS, Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺, SAR et TH et entre le Na avec les ions (Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻ et SO₄²⁻) et le SAR à un niveau de signification $P < 0,05$. Il y a une forte corrélation entre (CO₃²⁻ et HCO₃⁻). Presque tous les ions présentent une relation négative avec le pH.

Tableau 50. Matrice des corrélations de Pearson pour différents paramètres chimiques de l'eau souterraine (n = 40)

	pH	EC	TDS	TH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SAR
pH	1												
EC	-0,038	1											
TDS	-0,038	1,000**	1										
TH	0,041	0,545**	0,545**	1									
Na ⁺	0,160	0,793**	0,793**	0,733**	1								
Ca ²⁺	-0,112	0,266	0,266	0,702**	0,583**	1							
Mg ²⁺	0,096	0,569**	0,569**	0,957**	0,673**	0,465**	1						
K ⁺	0,337*	0,023	0,023	0,467**	0,346*	0,302	0,458**	1					
Cl ⁻	-0,078	0,854**	0,854**	0,547**	0,689**	0,338*	0,542**	0,046	1				
SO ₄ ²⁻	0,028	0,455**	0,455**	0,230	0,319*	0,059	0,261	-0,132	0,185	1			
CO ₃ ²⁻	0,062	0,147	0,147	-0,008	0,119	-0,220	0,079	0,009	-0,035	-0,083	1		
HCO ₃ ⁻	-0,003	0,233	0,233	0,168	0,165	-0,160	0,274	0,045	0,002	-0,095	0,759**	1	
SAR	0,182	0,576**	0,576**	0,109	0,702**	0,145	0,076	0,027	0,433**	0,258	0,107	0,031	1

* Correlation is significant at P value $< 0,05$ ** Correlation is significant at P value $< 0,01$

3.4.3. Qualité de l'eau d'irrigation

Le TDS, SAR, Na%, RSC, PI et le risque de salinité ont été utilisés dans cette étude pour évaluer l'aptitude de l'eau pour l'irrigation des cultures dans la zone d'étude (**tab. 51**)

Tableau 51. Résultats d'analyse et Classification de l'eau d'irrigation

Index /	Range	Suitability for irrigation	Number of	% Echantillon
TDS (mg/l)	< 500	Desirable for drinking	-	
	500–1,000	Permissible for drinking	-	
	1000–3000	Useful for irrigation	19	47,5
	> 3000	Unfit for irrigation	21	52,5
	<1000	Fresh	-	
	1000–10000	Brackish	40	100
	10000 - 10000	Saline	-	
	>10000	Brine	-	
SAR	<10	S1- Excellent	12	30
	10–18	S2-Good	13	32,5
	18–26	S3-Doubtful	13	32,5
	>26	S4-Unsuitable	02	5
Salinity hazard (ECw) in (µS/cm)	< 250	C1- Excellent or low	-	
	250–750	C2- Good or medium	-	
	750–2250	C3- Permissible or high	02	5
	>2250	C4- Unsuitable or very high	38	95
	< 250	C1- Excellent or low	-	
	250–750	C2- Good or medium	-	
	750–2250	C3- Permissible or high	02	5
	2250-5000	C4- Unsuitable or very high	38	45
>5000	C5- Excessive very high	20	50	
RSC (meq/l)	<1,25	Safe	39	97,5
	1,25–2,5	Moderate	01	2,5
	>2,5	Unsuitable	-	
Na %	<20	Excellent	-	
	20–40	Good	-	
	40–60	Permissible	04	10
	60–80	Doubtful	30	75
	>80	Unsuitable	06	15

3.4.3.1. Total des sels dissous (TDS)

La qualité de l'eau d'irrigation dépend de la quantité de sels dissous. La classification des eaux des puits est donnée dans le tableau 51. Le Total des sels dissous varie de 1434 à 9920 mg/l dans avec une moyenne de 3833 mg/l. Selon **Davis et DeWiE (1966)**, l'eau de 19 puits est considérée comme propre à l'irrigation (Useful for irrigation) alors que le reste soit 21 puits sont déconseillés (Unfit for irrigation). Mais selon la classification de **Freeze et Cherry (1979)**, toutes les eaux souterraines sont impropres à l'irrigation car le TDS est supérieur à (> 1000 mg/l, Brackish).

3.4.3.2. Conductivité électrique (ECw)

La conductivité électrique (ECw) représente la concentration générale des ions solubles dans l'eau classée en fonction des normes proposées par l'USSSL (**Freeze and Cherry 1979**). La

classification du risque de la salinité de l'eau pour l'irrigation est indiquée dans le tableau. 51. Les classes C1 et C2 sont considérées comme très bon pour l'irrigation et la classe C3 est autorisée tandis que la C4 et la classe C5 ($>5000 \mu\text{S}/\text{cm}$, excessive salinity) ajoutée par **Durand (1958)** sont déconseillées pour l'irrigation. Le résultat montre que la totalité des échantillons (38 puits) se trouvent dans la classe de salinité C4 et C5 déconseillés à l'irrigation (**fig. 38**), sauf que deux sont autorisés avec précaution.

3.4.3.3. Sodium adsorption ratio (SAR)

Un taux élevé de sodium dans les eaux souterraines s'adsorbe par les particules du sol, modifiant ainsi les propriétés du sol et réduisant également sa perméabilité (**Ayers et Westcot, 1985**). Selon **Richards (1954)**, l'eau ayant des valeurs SAR inférieure à 10 est considérée comme excellente, 10–18 est bonne, 18–26 est médiocre et au-dessus de 26 ne convient pas pour l'irrigation (**USDA 1954**). Le tableau 51 montre que 12 puits ont des valeurs $\text{SAR} < 10$ (S1) et 13 puits en classe (S2) peuvent être considérés comme aptes pour l'irrigation. Le reste des échantillons soit 13 puits classés en (S3) et 02 puits en classe (S4) sont déconseillés à des fins d'irrigation. Le diagramme de Riverside de USSL en combinant de la EC et du SAR permet de distinguer ce risque (**Richards 1954**). L'évaluation de l'eau à des fins d'irrigation met en évidence 04 classes de risque de salinité (C1 à C4) et 04 classes basées sur le danger de sodium (S1 à S4) sont représentées sur la **fig. 38**. Les puits sont répartis comme suit : C3-S3 (01 puits) ; C4-S2 (02 puits) ; C4-S3 (12 puits) ; C4-S4 (25 puits).

On se référant à l'interprétation des classes correspondant aux couples risques salins et risques alcalins, nous pouvons réaliser les constatations suivantes :

- C3-S3 et C4-S2 : eau présentant un fort risque de salinité et une alcalinité moyenne, c'est une eau de mauvaise qualité, elle est à utiliser avec beaucoup de précautions qu'aux sols bien drainés et des plantes tolérantes à la salinité et le lessivage est indispensable.
- C4-S3 : eau de très mauvaise qualité. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles
- C4-S4: eau déconseillée pour l'irrigation.

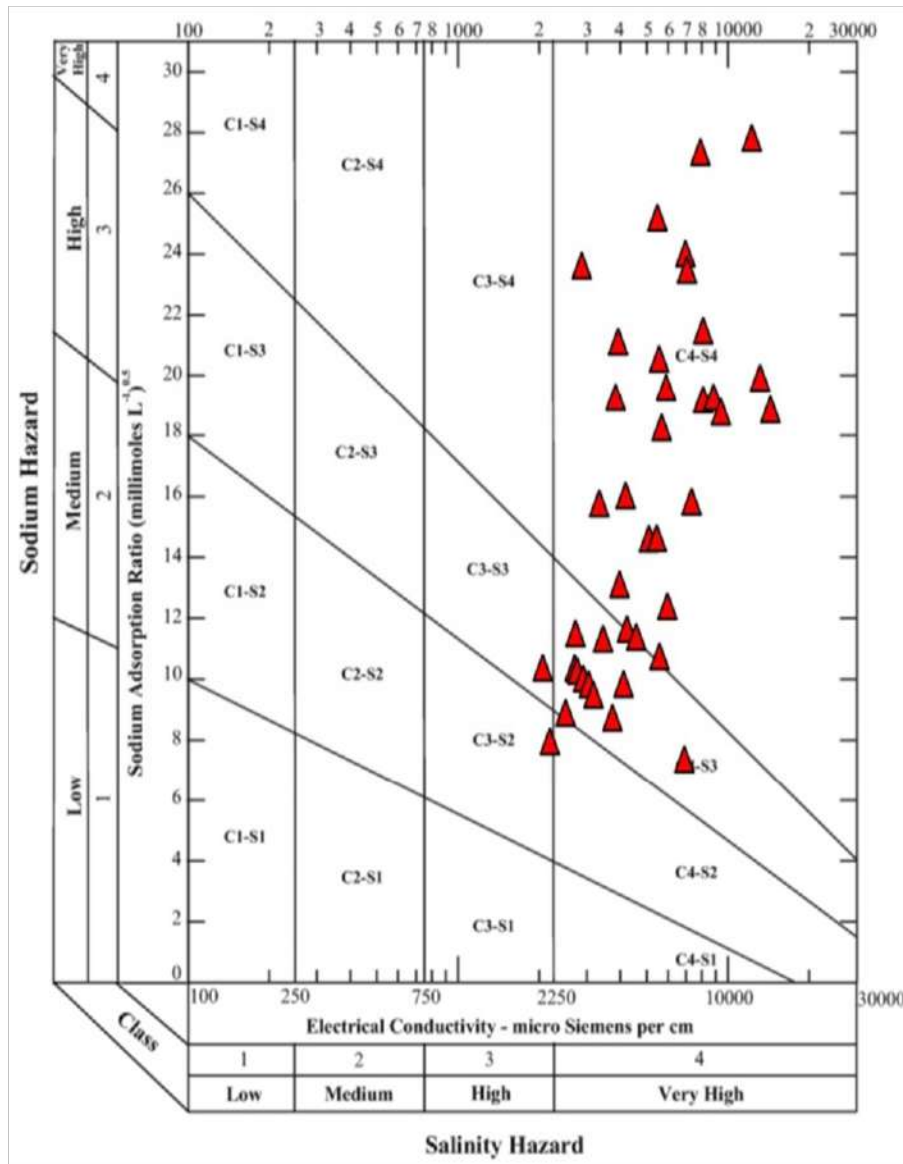


Figure. 38. Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur la CE et le SAR - Richards (1954)

3.4.3.4. Le pourcentage de Na (Na%)

Le sodium est considéré comme un paramètre important dans l'eau d'irrigation car il diminue la fertilité du sol sous un climat sec et un drainage déficient empêché par une forte évaporation (Richard et al., 1954). Selon le tableau 51, la classification de Wilcox (1955) suggère que les eaux de 40 puits sont réparties en 3 classes : 4 admissibles (10%), 30 médiocres (75%) et 6 mauvaises (15%). La combinaison de la (ECw) et le (Na%), nous a permis d'élaborer le diagramme de Wilcox (1955). Il en ressort de ce diagramme que les eaux des puits sont classées dans la catégorie des eaux médiocres aux mauvaises donc déconseillées pour l'irrigation (fig. 39).

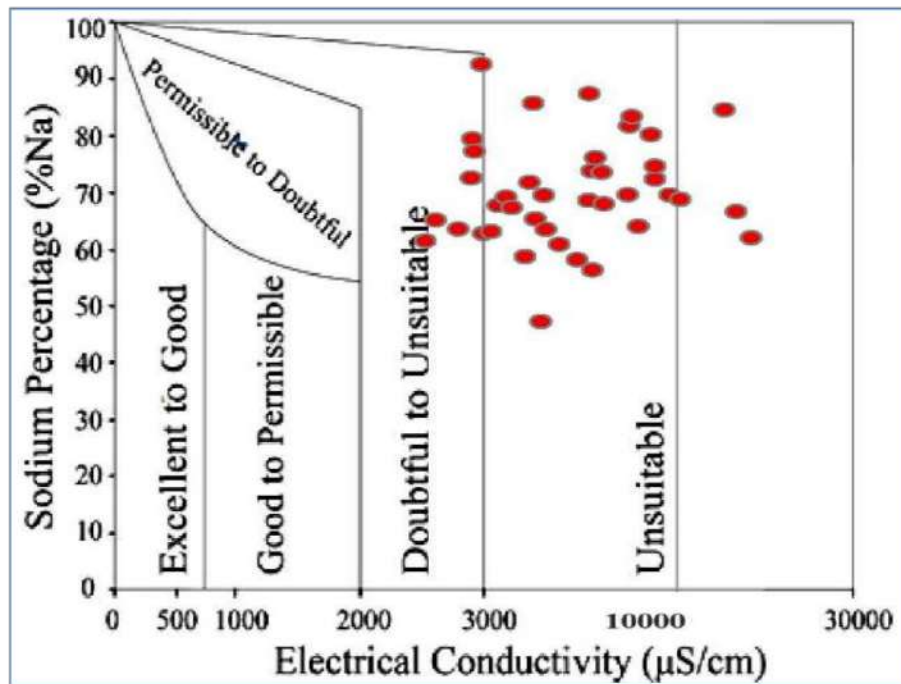


Figure. 39. Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur ECw et Na %, Wilcox (1955)

3.4.3.5. Le carbonate de sodium résiduel (RSC)

Il se réfère à l'alcalinité résiduelle. Une valeur élevée de RSC entraîne une augmentation de l'adsorption de Na^+ dans le sol ce qui réduit la perméabilité du sol et ne favorise pas la croissance des plantes (Rao, 2012). La classification de l'eau sur la base du RSC est donnée dans tableau 51. Les valeurs du RSC sont inférieurs à 1,25 meq/l et classées comme aptes pour l'irrigation.

3.4.3.6. Permeability index (PI)

L'indice de perméabilité est un indicateur d'adéquation de l'eau pour l'irrigation. L'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation avec une forte concentration du sel a des effets néfastes sur la perméabilité du sol. Selon Doneen (1964), l'indice de perméabilité (PI) est classé en trois catégories : classe I (> 75%, l'eau est bonne pour l'irrigation), classe II (25–75%, l'eau est admissible sous certaines conditions) et classe III (<25%, l'eau n'est plus utilisable). L'eau des classes I et II est recommandée pour l'irrigation. La combinaison de PI (%) et la concentration totale (meq/l) nous a permis d'élaborer le diagramme de Doneen (1964) Il en ressort que les eaux sont classées dans la classe I (50%) et 50% pour la classe II (fig. 40).

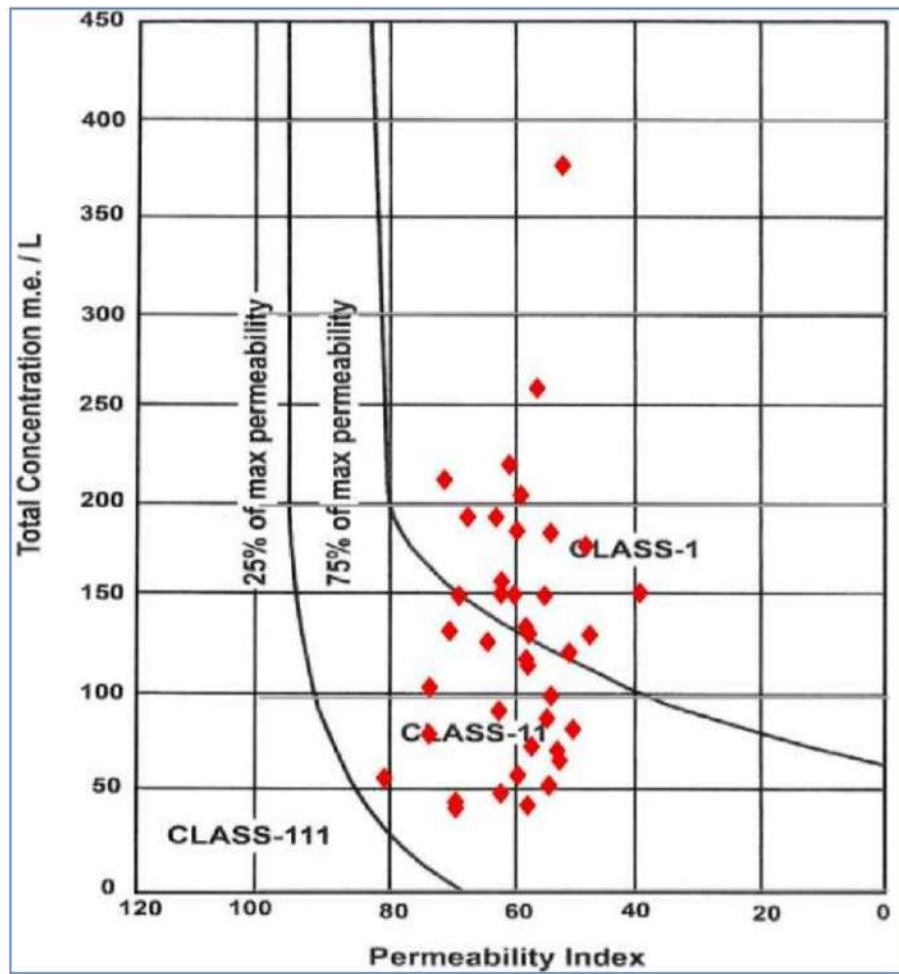


Figure 40. Adéquation de l'eau d'irrigation basée sur PI et la concentration totale d'ions
Doneen (1964)

CHAPITRE VI :
CARTOGRAPHIE DES RISQUES
AGRO-ECOLOGIQUES

CHAPITRE VI : Cartographie des risques agro écologiques

Introduction

De nos jours, les problématiques agro-environnementales requièrent de plus en plus la prise de décisions basées sur des observations de terrain. La géostatistique des risques et des dangers atteintes notre espace agricole a montré toute sa pertinence pour cartographier numérique des variables agro-écologiques, évaluer l'incertitude associée à ces prédictions et caractériser les hétérogénéités du sous-sol.

1. Rappel sur les méthodes de cartographie numérique

L'objectif de la cartographie numérique est de reconstituer une surface ou quelques contours à ne partir de points, de coordonnées connus, où nous mesurons une variable spatiale, cette dernière représente une surface qui se déploie dans l'espace.

1.1. La géostatistique

La géostatistique qui est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel (Rossi et al., 1995). Elle consiste à interpréter les résultats d'un grand nombre de mesures prises systématiquement dans une région dont les limites sont à priori imposées (périmètre irrigué de la Mina par exemple).

La géostatistique est une mathématique conduisant à la régionalisation de variables d'intérêt selon des méthodes d'interpolation appropriées. Son intérêt réside dans le fait qu'elle permet à la fois d'estimer des propriétés du sol dans l'espace et de mesurer la qualité de cette estimation. Elle a été employée en science du sol pour la compréhension de la variabilité spatiale des caractéristiques du sol et de ses propriétés intrinsèques (Voltz, 1986 ; Walter, 1990). La géostatistique admet des variables spatialement corrélées et elle procède en deux étapes (Gascuel-Odeux, 1987):

- Analyse de la structure spatiale de la variable étudiée grâce au variogramme;
- Emploi des techniques d'interpolation spatiale par le krigeage

1.2. L'interpolation

L'interpolation est une méthode qui vise à cartographier une variable V_0 à des positions dans l'espace où aucun échantillon n'est disponible en utilisant un jeu de données d'échantillons dont la position dans l'espace et la valeur de la variable V_0 sont connues. Dans les études des problématiques environnementales et d'agriculture de précision, un ensemble d'informations est disponible au sein d'une parcelle (les échantillons) et l'objectif est de connaître la valeur la plus probable en chaque point du domaine d'étude à partir des données mesurées sur la totalité de la parcelle et puis construire les principales tendances du phénomène via une carte. Cette

dernière doit être claire, simple et facilement interprétable par le destinataire, qu'il soit grand public ou scientifique (Lemarchand et Jeannée, 2009).

1.2.1. Méthodes d'interpolation spatiale

Les techniques d'interpolation spatiale sont de plus en plus nombreuses, et ce dans des domaines variés. Elles peuvent être séparées en deux principales catégories de méthodes d'interpolation (Despaigne, 2006) :

- Les méthodes déterministes, comme Spline, polynomiale, inverse distance (IDW) et la triangulation irrégulière (TIN) : considèrent la variabilité régionale par une fonction aléatoire en assumant que les observations sont faites sans erreurs (Kurtzman et Kadmon, 1999) ; Elles utilisent seulement des équations mathématiques prédéfinies pour prédire des valeurs à des positions où aucun échantillon n'est disponible (en pondérant les valeurs attributaires des échantillons dont la position dans la parcelle est connue
- Les méthodes probabilistes ou géostatistiques, reposent sur le principe de l'autocorrélation spatiale qui préconise que les observations rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires. En outre, elles se distinguent par le calcul d'erreurs d'estimation associées (Matheron, 1963 ; Krige, 1963). Chaque carte d'abondance relative (fraction ou classe du sol) restitué est donc à analyser en parallèle de celle de la carte des erreurs qui lui sont associées (Renard et Comby, 2006). Les approches géostatistiques cherchent à ajuster un modèle spatial aux données. Cela permet de générer une valeur prédite à des positions non échantillonnées dans la parcelle (comme les méthodes déterministes) et de fournir aux utilisateurs une estimation de la précision de cette prédiction.

Les méthodes d'interpolation les plus couramment utilisées, sont le Krigeage ordinaire (OK) et IDW, sont utilisées dans cette étude pour cartographier :

- La modification et la migration des isohyètes des pluies dont la méthode d'interpolation utilisée est pondération de distance inverse(IDW)
- Le risque de salinité du sol dont la méthode d'interpolation utilisée est Krigeage ordinaire (OK)
- Les paramètres influençant la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation contamination des eaux souterraines (EC_w, SAR et TDS) dont la méthode la plus utilisée est pondération de distance inverse(IDW).

1.2.1.1. Interpolation de pondération de distance inverse (IDW)

L'interpolation pondérée par distance inverse est une approche d'interpolation spatiale mathématique (déterministe) pour estimer une valeur inconnue à un emplacement en utilisant certaines valeurs connues avec des valeurs pondérées correspondantes. Cette méthode de prédiction supposant que des valeurs plus proches sont plus liées que d'autres valeurs avec sa fonction. Les prédictions de cette méthode déterministe sont basées sur une combinaison de valeurs étroitement localisées. **Shepard (1968)** définit IDW comme :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

$$W_i = \frac{1}{d_i^p}$$

Où : Z est valeur interpolée au nœud de la grille

Z_i est la valeur connue en position (X_i, Y_i)

n est le nombre total de valeurs connues utilisées dans l'interpolation,

d_i est le distance entre les valeurs connues et interpolées (Z et Z_i) (**Surfer, 1994**)

p est le paramètre de puissance où le poids diminue à mesure que la distance augmente à partir des valeurs interpolées, d'où le nom IDW.

Les résultats d'interpolation sont fortement influencés par cette pondération puissance (**Mueller et al., 2001**). Le plus couramment utilisé et par défaut la puissance dans ArcGIS, c'est-à-dire l'inverse de la distance élevée au 2^e power (**Gong et al., 2014**) est utilisé dans cette étude

1.2.1.2. L'interpolation par le krigeage

L'exploitation de la base de données par des analyses thématiques s'achève toujours par une représentation de la distribution spatiale des variables comme pour le cas de la salinité, afin de former une image pertinente de la dynamique spatiale et une signification subjective des observations.

La cartographie automatique a pour objectif de reconstituer la répartition spatiale sous forme d'une surface ou de quelques contours d'une variable mesurée à ne partir de points de coordonnées connues. Pour cela, on utilise généralement les méthodes d'interpolation telles que la cartographie par triangulation, l'interpolation polynomiale ou encore les méthodes des moindres carrées.

L'échantillonnage fournit des informations exactes sur le sol aux points d'où proviennent les données. Cependant, ceci ne dit pas ce qui se passe entre ces points. Il faut donc une méthode précise pour estimer les valeurs aux points intermédiaires ou les moyennes sur un

ensemble. Le krigeage est une méthode d'estimation qui tient compte d'un certain nombre de facteurs. Il fournit la moyenne pondérée des valeurs des échantillons qui conduit à l'erreur d'estimation de la variance minimale (Armstrong et Carignan, 1997). En d'autres termes, le krigeage associe une erreur d'estimation à chacune des cellules pour évaluer la précision et la fiabilité de la prédiction. La précision des estimations dépend d'un certain nombre de facteurs, soit :

- Le nombre d'échantillons et la qualité des données en chaque point ;
- La position des échantillons sur le site étudié, car les échantillons régulièrement espacés offrent une meilleure couverture et donnent ainsi davantage d'informations sur le site que des échantillons regroupés ;
- La distance entre les échantillons et le point dont on veut estimer la valeur ;
- La continuité spatiale de la variable étudiée : il est plus facile d'estimer la valeur d'une variable assez régulière que celle d'une variable qui varie de façon aléatoire.

Parmi les différentes techniques de krigeage, la méthode du Krigeage ordinaire (KO) a été utilisée dans la présente étude, en raison de sa simplicité et de la précision de la prédiction par rapport aux autres méthodes de krigeage (Isaaks and Srivastava, 1989). Il consiste en une opération qui est répétée en chaque nœud X_0 d'une grille régulière recouvrant le domaine étudié. Soit X_α , le nombre de point échantillonnés d'une propriété donnée. On considère estimer une valeur Z^* en un point X_0 . La nouvelle valeur Z^* est estimée par une moyenne pondérée de données $Z(X_\alpha)$:

$$Z^* (X_0) = \sum_n \gamma_\alpha Z (X_\alpha)$$

Les n pondérateurs γ_α sont calculés de façon à assurer que l'estimation $Z^* (X_0)$ soit sans biais et que la variance de l'erreur d'estimation soit minimale.

1.2.2. Les logiciels utilisés pour d'interpolation spatiale

Nous avons utilisé le logiciel ArcGIS version 10.3 (module d'interpolation de Géostatistical Analyst) < GeostatisticalWizad >

ArcGIS est un logiciel d'information géographique (SIG) développé par la société américaine *Esri* (Environmental Systems Research Institute, Inc.) la première version (ArcGIS 8.0) est issue en 1999. La version 10.3 d'ArcGIS est disponible depuis de l'année 2015. L'extension (Spatial Analyst) d'ArcGIS 10.3 permet d'effectuer plusieurs types d'interpolation et de spatialisation par les outils d'interpolation : IDW, Spline, Krigeage.

1.3. Cartographie de modification des précipitations dans la région d'étude

Le but du tracé est de représenter la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie relative aux trois périodes différentes, à savoir 1918-1938, 1963-1989 et 1990-2020, afin de mettre en relief la tendance de ce paramètre. La méthode d'interpolation utilisée est la pondération de distance (IDW) mais il est aussi possible d'inclure dans cette méthode la pondération d'élévation avec la pondération de distance, la distance inverse et la pondération d'élévation (IDEW). L'IDEW fournit des résultats plus appropriés pour les régions montagneuses où les impacts topographiques sur les précipitations sont importants (Masih et al., 2011 ; Sarann et al., 2012).

Les manifestations des changements climatiques au niveau des précipitations sont également perceptibles au niveau de l'Ouest Algérien et notamment dans la wilaya de Relizane :

- une baisse de la pluviométrie au cours d'un siècle (depuis 1918 jusqu'à 2020) et qui s'est accentuée au cours de la période 1983-2000 qui est considérée comme la plus sèche avec la disparition de l'isohyète 350-400 mm et l'apparition au Sud – Ouest de l'isohyète 280 mm ;
- les migrations des isohyètes moyennes annuelles vers le Sud-Est et Nord-Ouest de la plaine de la Mina ;
- la fréquence des poches de sécheresse, etc.

1.3.1. Migration des isohyètes (03 périodes)

Dans la région de la Mina comme dans le reste de la région de Relizane, la dégradation climatique a entraîné une translation des isohyètes de l'Ouest vers le Sud (fig. 44). Les figures 41, 42 et 43 ci-dessous qui représentent les distributions moyennes annuelles des précipitations respectives des trois périodes considérées et élaborées par l'interpolation de la pluviométrie de différentes stations étudiées. La distribution spatiale des isohyètes présentés dans les trois cas étudiés dans la zone d'étude montre une configuration différente qui suscite les commentaires suivants :

- La carte des précipitations moyennes annuelles pour la plaine de la Mina de la période de Seltzer (1913-1938) reflète la présence des isohyètes 340 à 400 mm qui augmente selon la direction à de l'Ouest vers l'Est et du Sud vers le Nord.

- Pour la période (1968-1989) on assiste à une disparition de l'isohyète 350-400 mm et l'apparition au Sud – Ouest de l'isohyète 280 mm et on note cependant une baisse sensible de la pluviométrie moyenne annuelle dans le Sud de la plaine.
- On dénote une tendance générale à la baisse des précipitations dans les trois dernières décennies (1990-2020) dont les pluviométries moyennes annuelles dans la plaine oscillent entre 250 et 300 mm

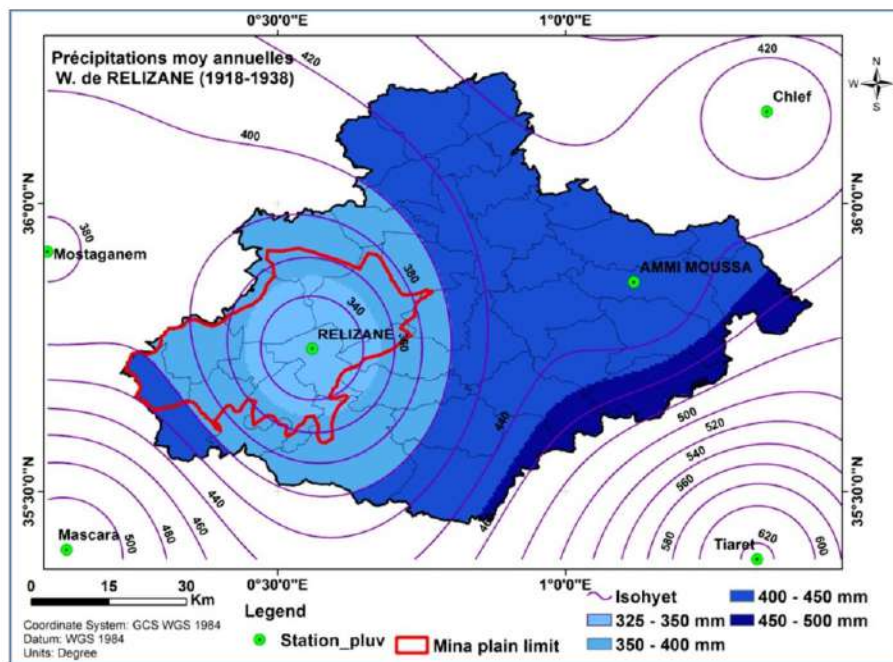


Figure 41. Carte des isohyètes des précipitations moyennes annuelles (période 1918-1939)

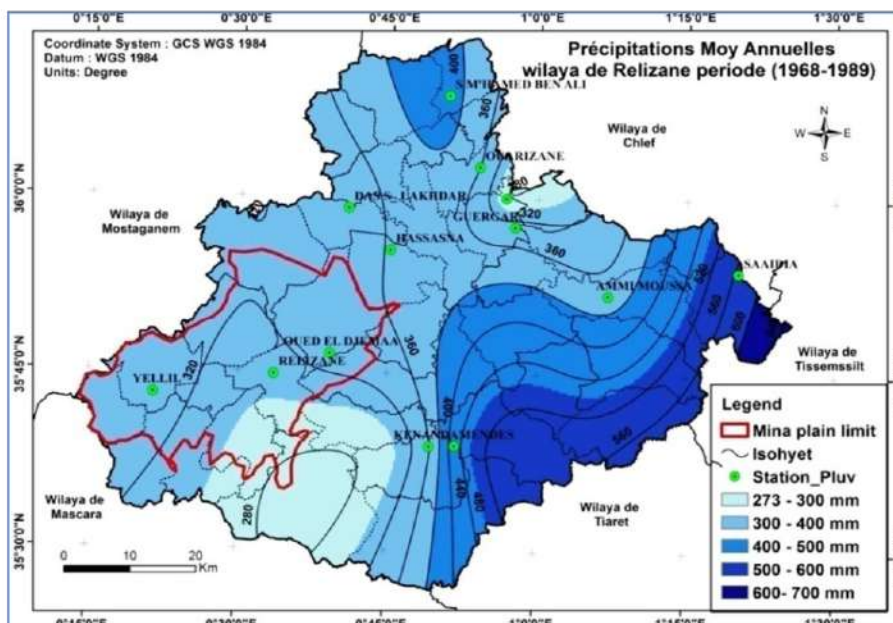


Figure 42. Carte des isohyètes des précipitations moyennes annuelles (période 1968-1989)

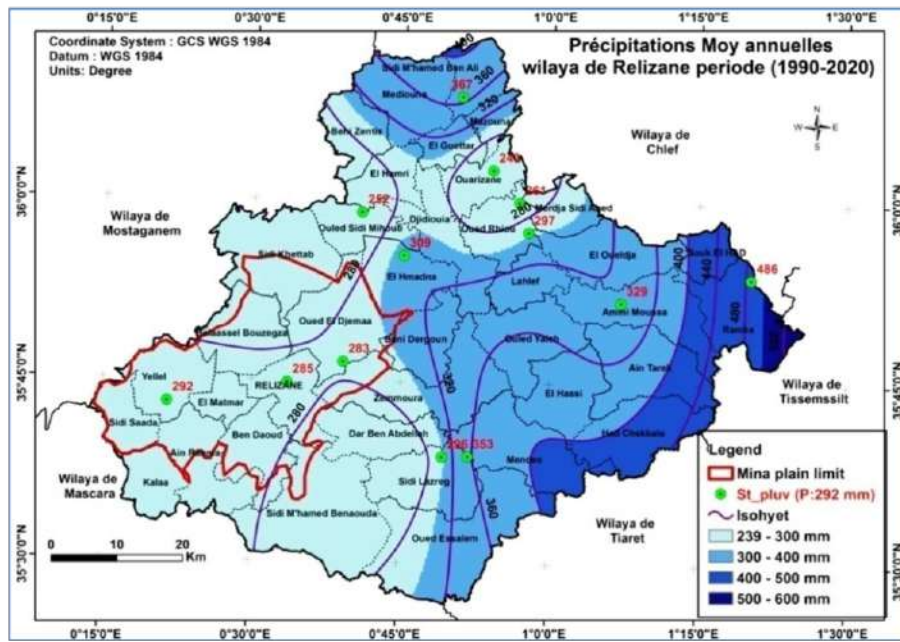


Figure 43. Carte des isohyètes des précipitations moyennes annuelles (période 1990-2020)

L’interpolation de la pluviométrie de différentes stations d’observation, on note globalement que la pluviométrie moyenne annuelle de la région de Relizane et en particulier la plaine de la Mina, a connu une baisse sensible de lame d’eau précipitée comme l’atteste la carte illustrée dans la figure 44 qui montre le déplacement latitudinal-longitudinal des isohyètes moyennes vers Sud-Est et Nord-Ouest en l’espace de trois normales (période de 30 années consécutives) 1918-1938, 1968-1989 et 1990-2020.

Ces déplacements et migrations spatio-temporelles des isohyètes moyennes annuelles ont aussi eu pour conséquences des changements dans la délimitation des domaines bioclimatiques de la zone d’étude. En effet, la comparaison des cartes ci-dessus (fig. 41, 42 et 43) des précipitations de trois périodes étudiées montre un rétrécissement important du domaine semi-aride de point de vue pluviométrique entre les deux périodes précitées (de période ancienne de Seltzer 1918/1938 et la plus récente 1990/2020). L’isohyète (pluviométrie annuelle de 350 mm et 400 mm) sont migrés et déplacés respectivement d’environ 70 km vers le Nord-Est et Sud-Est aux Monts de Dahra et massifs de Ouarsenis.

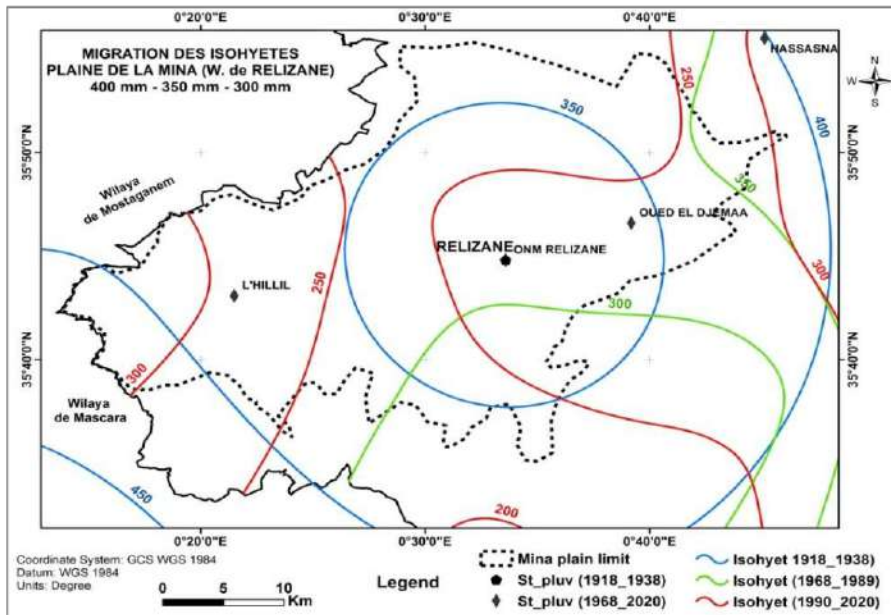


Figure 44. Carte de migration des isohyètes 300mm, 350mm, 400mm pour la plaine de Mina (W. Relizane) de 1918 à 2020 -

1.4. Cartographie du risque de salinité du sol et de l'eau d'irrigation

La prédiction spatiale et la cartographie du niveau de risque de la salinité du sol et de la qualité de l'eau souterraine a obéit à deux méthodes d'interpolation spatiale par le logiciel ArcGIS (version 10.3). Le premier est le krigeage ordinaire (KO) pour le sol, il consiste à interpoler et cartographier les résultats des données calibrées prises systématiquement et représenter la répartition de la salinité des sols (Walter, 1990).

La carte de l'occupation du sol agricole a été élaborée à partir d'une image satellite de Landsat 8 Satellite (Oli Captor) de la date : March 29, 2018 fourni par USGS (United States Geological Survey) et des images satellitaires de « Google Earth » traitée par le logiciel ENVI 5.3 permettant une classification supervisée soutenue par des sondages et des enquêtes sur terrain pour valider les résultats.

1.4.1. Interpolation de la Ceps estimée par le krigeage ordinaire

L'interpolation par le krigeage ordinaire (KO) consiste à prédire et cartographier la variation spatiale des valeurs de la Ceps estimées aux 260 emplacements de mesures CEMh par les régressions simples dans des endroits échantillonnés et non échantillonnés. L'analyse de la carte d'isovaleurs de la Ceps établie par le KO (fig. 45) présente une certaine hétérogénéité de la salinité au niveau de la zone d'étude. La corrélation très hautement significative ($r^2 = 0,80$ et P value $< 0,01$) entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées de la Ceps montre la bonne estimation de la Ceps par la régression krigeage.

Les cartes krigées, issues de l'analyse géostatistique des conductivités électriques estimées aux 260 emplacements de mesures de la conductivité électromagnétique, sont présentés dans la figure 45. Les catégories de couleurs ont été choisies pour correspondre aux seuils d'interprétation habituels de la salinité de l'USDA (1954). Les calculs des superficies ont été établis automatiquement, après de reclassification faite par le module « Géostatistical Analyst » du logiciel ARCGIS 10.3, avec lesquelles les cartes de salinité ont été générées.

Cela montre que sur la zone d'étude, le gradient de salinité est très important, depuis des sols légèrement salés jusqu'à des sols considérés comme extrêmement salés.

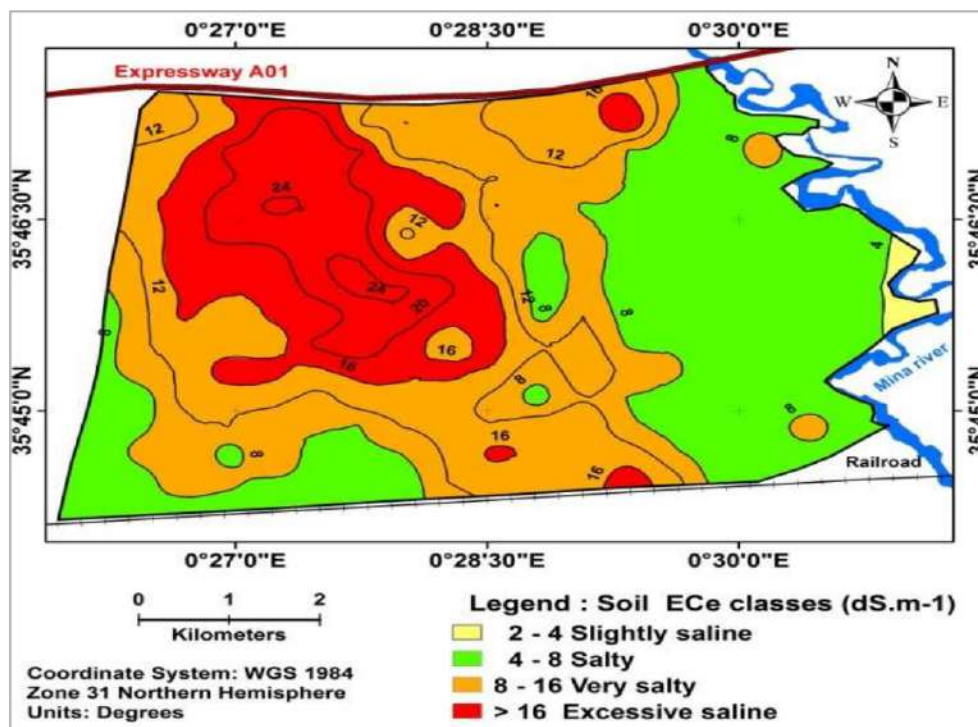


Figure 45. Carte de la répartition spatiale de la salinité du sol (CEp)

En se référant aux normes d'interprétation de la classification de l'USSS (1954) :

- Les sols légèrement salins ($2 \text{ dS.m}^{-1} < \text{Ceps} < 4 \text{ dS.m}^{-1}$) occupent une faible superficie de 31 ha et se localisent à l'extrême point Est de la zone d'étude limitrophe avec oued Mina.
- Les sols salins ($4 \text{ dS.m}^{-1} < \text{Ceps} < 8 \text{ dS.m}^{-1}$) sont assez bien représentés (1360 ha soit 34,8%) et s'étalent au long d'Oued Mina et une partie au Sud-ouest. Ces valeurs de Ceps ($< 8 \text{ dS.m}^{-1}$) se diminuent vers le cours d'eau (oued Mina) où le réseau de drainage existe et fonctionne.
- Les sols très salins ($8 \text{ dS.m}^{-1} < \text{Ceps} < 16 \text{ dS.m}^{-1}$) occupent une très grande superficie estimée à 42%.

- Les sols extrêmement salins ($16 \text{ dS.m}^{-1} < \text{Ceps} < 30 \text{ dS.m}^{-1}$) représentent 22,4 %, et sont situés au centre de la partie Nord-Ouest de la zone d'étude. Les sols très salés et extrêmement salés sont localisés essentiellement dans les parcelles agricoles abandonnées ou irrigués avec des eaux d'une nappe superficielle trop salées ($> 5000 \mu\text{S/cm}$) et un réseau de drainage défectueux. L'impact de l'autoroute peut être fait une barrière au drainage des eaux excédentaires et par conséquent sur le lessivage des sels dans la période pluvieuse ou d'irrigation.

1.4.2. Occupation du sol des terres agricoles selon les classes de salinité

L'occupation du sol de l'espace agricole par les différentes spéculations en fonction de différentes classes de salinités définies et les dangers qui en découlent sur la durabilité des systèmes agricoles (**fig. 46**)

La céréaliculture dominée par l'orge, et servant de terrain de parcours couvre une superficie de 2650 ha soit 67%, est présente sur toutes les classes de salinité ($4 \text{ à } 27 \text{ dS.m}^{-1}$). Les cultures maraîchères occupent 7,3%, souvent en sous culture de l'arboriculture comme l'artichaut et les melons et les pastèques dominent quand la salinité est de $2 < \text{Ceps} < 16 \text{ dS.m}^{-1}$.

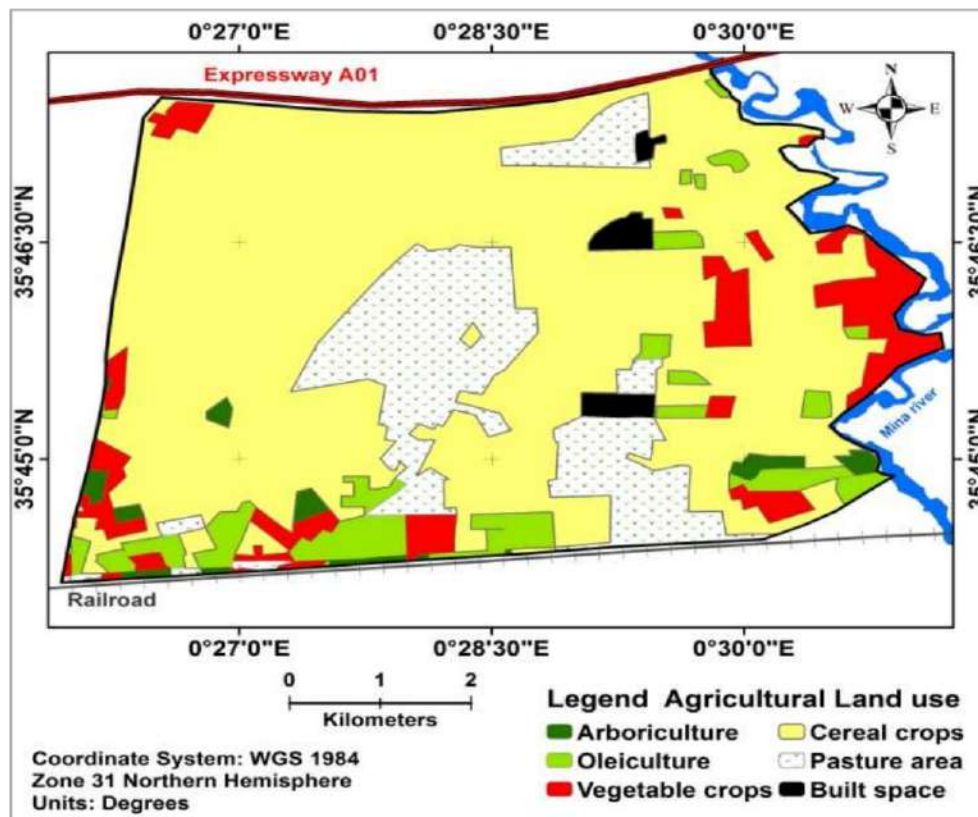


Figure 46. Carte de l'occupation des sols de la zone d'étude

L'arboriculture avec les agrumes et les grenadiers totalisent 64 ha (1,62%) et se localisent sur les sols salins ($4 < \text{Ceps} < 16 \text{ dS.m}^{-1}$). L'oléiculture occupe des sols salins avec $4 < \text{Ceps} < 16 \text{ dS.m}^{-1}$ et s'étend sur 250 ha (6,32%). Les parcours couvrent 616 ha (15,8%) composés de végétation halophyte (Salsolacées, Soudes, Atriplex) recouvrant une couche de sels, parmi ces espèces on trouve l'*Atriplex halimus* L. et *mauritanica* B., la *Sueda fruticosa* F. et le *Pantago psillium* F., on trouve aussi une végétation spontanée (Phragmites), grâce à l'humidité du sous-sol. Elles sont localisées dans les sols mal drainés sur un niveau de salinité (8 à 27 dS.m^{-1}) dans la partie centre et Nord de la zone d'étude.

1.4.3. Interpolation Spatiale des paramètres de qualité de l'eau

La cartographie des paramètres de l'eau souterraine (ECw, TDS et SAR) est faite par la méthode d'interpolation de pondération de distance inverse (IDW) en considérant tous les points d'échantillonnage de la zone d'étude (Burrough et Mc Donell 1998).

La méthode IDW consiste à cartographier la variation spatiale des valeurs de (ECw, SAR et TDS) aux 40 échantillons de l'eau de puits. Les cartes de la distribution spatiale de la ECw et TDS des eaux de la nappe superficielle sont illustrées sur les figures 47 et 48 et montrent des niveaux trop élevés de EC et TDS déconseillées à l'irrigation occupant une grande surface de captage (70 % de la aire de zone d'étude) soit ECw classé en C5 ($>5000 \mu\text{S/cm}$, unsuitable excessive salinity) et pour le TDS ($>3000 \text{ mg/l}$, unfit for irrigation) (Durand, 1958 ; Davis and DeWiE, 1966), elles sont réparties du centre de la partie Sud jusqu'à la partie Nord de la zone d'étude. Les niveaux trop élevés des sels et de la salinité dans les eaux de puits peuvent être liées à l'influence de déficient de drainage des sels, la circulation des eaux souterraine et la présence d'une couche de roches salifères. Ces valeurs diminuent vers l'Est où l'influence du cours d'eau (Oued Mina) à travers le renouvellement des eaux souterraines par l'alimentation de cours d'eau moins salés. La carte de répartition spatiale du SAR (fig. 49) montre des valeurs plus élevée dans les puits localisés dans le Nord-Ouest de la zone d'étude (concentration élevée de sodium) et faibles à ceux de côté d'Oued Mina.

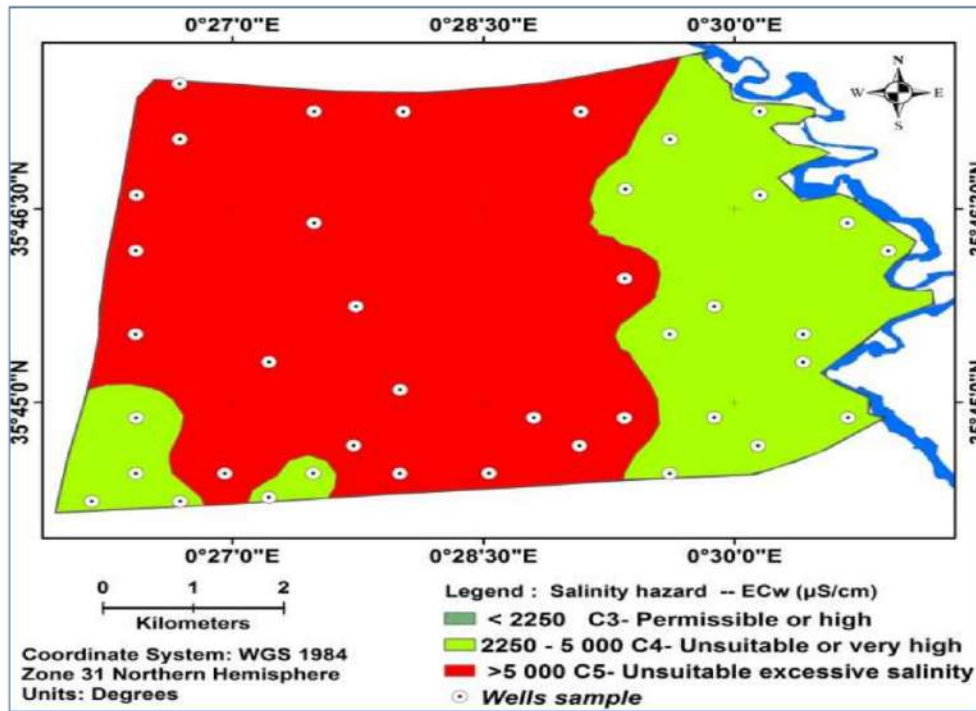


Figure 47. Carte de la répartition spatiale du danger de salinité de l'eau (ECw)

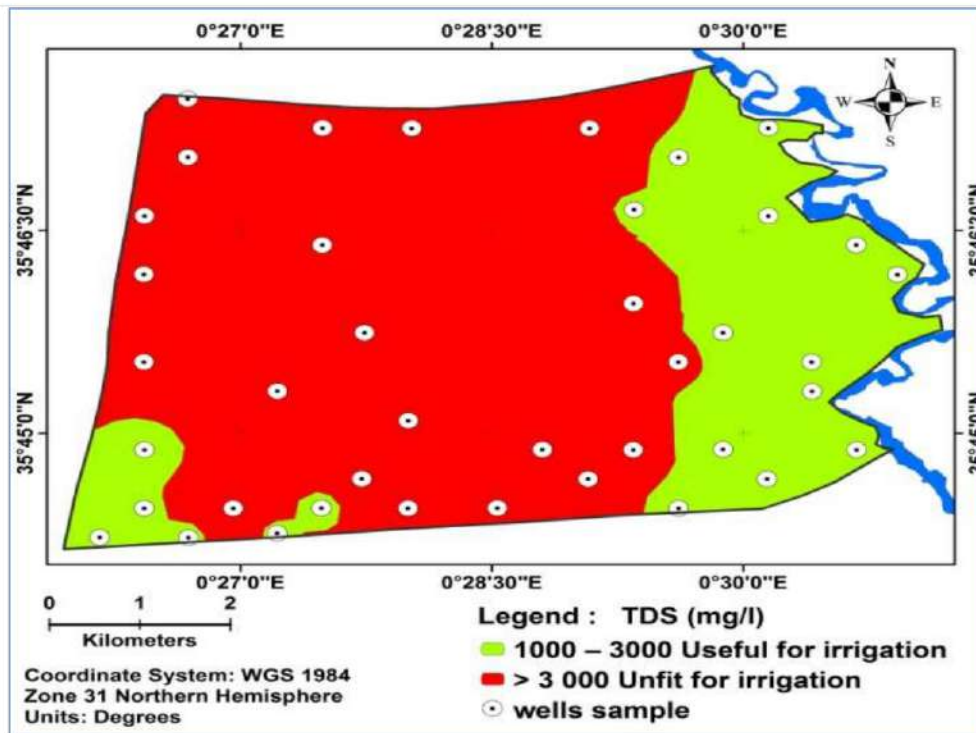


Figure 48. Carte de la répartition spatiale de TDS

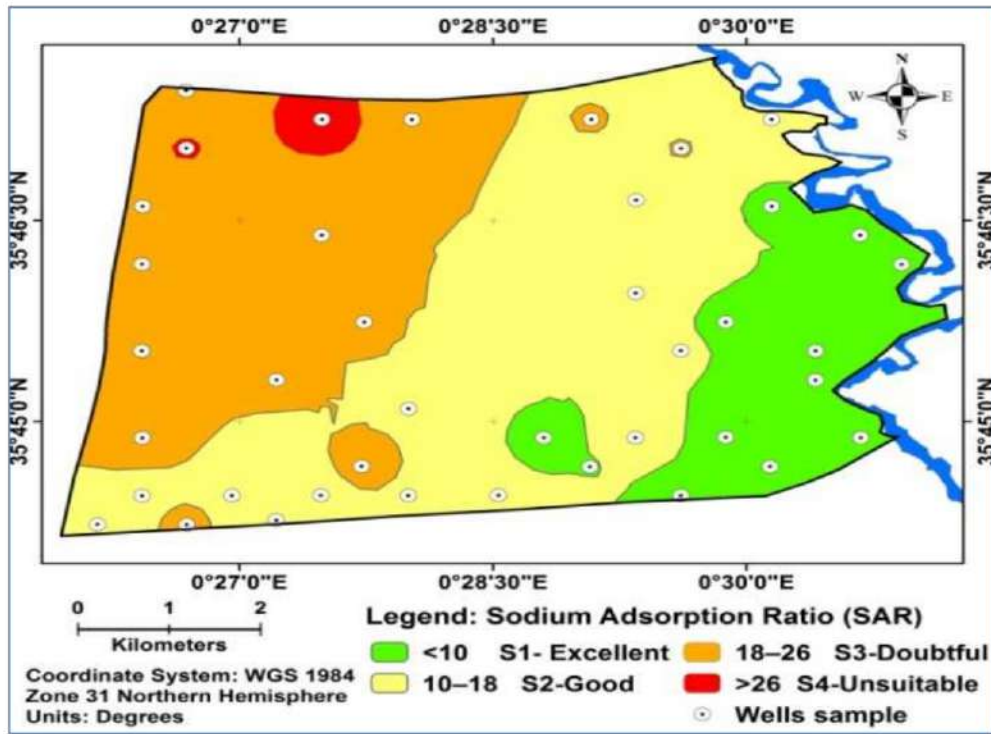


Figure 49. Carte de la répartition spatiale de SAR (Sodium Adsorption Ratio).

CHAPITRE VII :
STRATEGIE DE GESTION DES
RISQUES AGRO-ECOLOGIQUES

CHAPITRE VII : Stratégie de gestion des risques agro écologiques

1. Gestion des risques et agriculture

L'agriculture doit faire face à des risques climatiques, sanitaires et environnementaux qui peuvent avoir des conséquences sur la viabilité des exploitations. Ainsi, accompagner les agriculteurs vers une meilleure gestion des risques permet d'accroître la résilience de leurs exploitations et de minimiser les impacts, notamment économiques, de ces risques. Le risque en agriculture fait aujourd'hui partie des éléments à prendre en considération dans la gestion globale d'une exploitation (MASA, 2022).

Les pouvoirs publics accompagnent le développement des outils de gestion des risques en agriculture notamment par des soutiens à l'assurance récolte et à des fonds de mutualisation. Depuis 2015, ces soutiens sont notamment mis en œuvre dans le cadre du second pilier de la Politique agricole commune (PAC), à travers le Programme national de gestion des risques et d'assistance technique (PNGRAT), cofinancé par le Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER).

1.1. Identification des dangers et des risques au niveau des systèmes agraires

Il ne saurait y avoir une stratégie de gestion des risques agro-écologiques sans une identification des dangers en premier lieu. Dans ce volet trois facteurs déterminants interviennent à savoir :

- les conditions géographiques naturelles
- les activités humaines
- les changements climatiques

Selon **Benabdeli (2013)**, dans l'espace agricole, la présence de l'Homme doit être considérée comme aléa comme espace danger vulnérable, le concept de «risk management » qui est assez récent puisqu'il n'a fait son apparition que vers les années 1950 aux Etats-Unis. L'approche utilisant ce concept est double puisqu'elle doit permettre de préserver la pérennité et le dynamisme des espaces tout en entraînant le système à surmonter les difficultés à venir en les anticipant et les prévoyant. Le risque nul n'existant pas, toute politique de gestion des risques veillera essentiellement à le diminuer, l'amoinrir après l'avoir identifié, localisé et évalué.

Les principaux dangers source de risque dans le secteur agricole se résument en trois aléas :

- L'environnement humain imposant une présence et des impacts sur l'espace agricole.
- La structure et l'utilisation de l'espace agricole dans le temps et l'espace
- L'absence de gestion durable prenant en charge la durabilité de cet agrosystème

La notion de risques en milieu agricole est le produit de l'aléa induit par la vulnérabilité par l'activité humaine. Le danger réside essentiellement dans les techniques d'exploitation des

terres agricoles ignorant souvent leur vulnérabilité. Toutes les données relatives à ce sujet précisent que la situation dangereuse est induite à plus de 75% par la présence de l'Homme directement ou indirectement (facteur de risque) dans la zone de danger (objet du risque).

1.2. La prévention des risques

La notion de prévention des risques a souvent semblé abstraite aux gestionnaires agricoles car difficilement appréhendable au vu des incertitudes et des facteurs tant humains que naturels souvent mis en avant et difficiles à maîtriser. Mais face aux faibles rendements et la mauvaise exploitation des potentialités et leur coût économique ; une approche managériale et moderne permettant de gérer ce fléau s'impose. La gestion des risques ne peut réussir que si les dangers sont identifiés et localisés : les évaluer, les anticiper, les contrôler et les financer devient facile. Dans l'espace forestier les dangers les plus probables sont liés à l'Homme et ses activités, le risque qui en découle est inhérent à toute entreprise humaine (**Perilhon et Londiche, 2003**).

La prévention des risques dans l'espace agricole s'articule autour des points suivants :

- **La description de l'espace agricole** : une description de ses potentialités, de sa structure et de ses caractéristiques écologiques et pédologiques permet d'évaluer sa vulnérabilité et sa fragilité. Cette description prendra en charge les impacts de son environnement socioéconomique ainsi que le type d'occupation des sols. Le mode de gestion à travers une description des équipements et des plans de culture renseignera sur la stratégie et le plan de gestion des risques agro-écologiques. Une analyse des moyens humains et matériels par rapport à leur spécificité constitue un élément déterminant à souligner. L'inventaire des dangers, tous les risques potentiels découlent d'une présence de dangers ; ces derniers doivent être listés et cartographiés dans le temps et dans l'espace sous forme de scénarii.

L'appel au retour d'expérience est indispensable pour mieux cerner ce volet.

- **L'identification des risques**, en ciblant les différents dangers potentiels il est possible d'identifier les risques avec leur degré de probabilité et leurs conséquences sur l'écosystème.
- **L'analyse du risque** comprend l'évaluation des scénarios selon leur probabilité et leur potentiel de dommages. Elle comprend également l'analyse des causes ou des dysfonctionnements. Les risques évalués sont transcrits dans la matrice et permettent d'élaborer un plan d'action.
- **La maîtrise du risque**, il s'agit d'introduire des mesures pour éviter ou réduire le risque grâce aux informations acquises.
- **Le contrôle du risque** consiste à appliquer correctement les mesures de maîtrise du risque. Le contrôle peut s'effectuer de deux manières : en tant qu'activité continue ou par contrôles périodiques. Le contrôle continu se fait en temps réel et peut donc réagir plus rapidement à des conditions qui évoluent.

2. Utilisation d'indicateurs

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, la surveillance, la prévision car ils traduisent de façon synthétique une action, une situation et leurs évolutions. Le terme "indicateur" fait l'objet d'une utilisation très répandue, il convient donc de rappeler quelques définitions. Pour l'OCDE (1994), les indicateurs ont deux fonctions principales :

- Réduire le nombre de mesures et de paramètres qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude,
- Simplifier le processus de communication des résultats de mesures aux utilisateurs.

Un indicateur est un paramètre, ou une valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètres, qui fournit des informations sur un phénomène ou sur son état. L'indicateur a une signification dépassant celle directement liée à la valeur paramétrique (OCDE, 1994). Un indicateur est conçu pour un certain objectif, et au profit d'un certain groupe d'utilisateurs. Il reflète une certaine situation et aide à la décision par rapport à cette situation. Un indicateur peut donc être :

- un étalon de mesure quantitatif (calculé à partir d'observations réalisées sur le terrain en divers points exprimé en proportion de la superficie totale d'un pays ou d'une région donnée),
- une description qualitative.

Un paramètre, quantitatif ou descriptif, décrit une caractéristique du milieu qui est mesurée et quantifiée, et constante dans le temps.

Un indice est habituellement une valeur unique. Il peut être considéré, soit comme la combinaison en un seul tout d'un certain nombre de variables, soit comme découlant de la fusion d'un ensemble de paramètres ou indicateurs pondérés (OCDE, 1994).

Un repère est une norme par rapport à laquelle les indicateurs ou indices peuvent être comparés afin de déterminer les tendances.

Le concept de « seuil » dans les changements environnementaux est aussi bien établi en écologie (Wissel, 1984, Lagadec, 2003). Les auteurs rappellent que dans le cas de disparition de la cause de leur dégradation, la plupart des écosystèmes ne peuvent revenir à un état antérieur, lorsqu'ils ont franchi, ne serait-ce qu'un de ces seuils.

2.1. Indice de risque en milieu agricole

Un paramètre, quantitatif ou descriptif, décrit une caractéristique du milieu qui est mesurée et quantifiée, et constante dans le temps.

Un indice est habituellement une valeur unique. Il peut être considéré, soit comme la combinaison en un seul tout d'un certain nombre de variables, soit comme découlant de la fusion d'un ensemble de paramètres ou indicateurs pondérés (OCDE, 1994).

Un repère est une norme par rapport à laquelle les indicateurs ou indices peuvent être comparés afin de déterminer les tendances.

3. Outil d'évaluation des risques

La mise en place d'une stratégie de gestion des risques agro-écologiques exige le choix d'outils permettant de prendre en charge tous les aléas.

3.1. Matrice d'évaluation des dangers et des risques

L'analyse de risque permet d'identifier les dangers induits par les applications et les systèmes de gestion des espaces agricoles afin d'évaluer les risques et de définir des barrières de protection qui vont les réduire à des niveaux acceptables. Les méthodes de gestion des risques sont nombreuses et leurs approches peuvent être différentes ; il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode de gestion des risques, l'essentiel est d'adapter la méthode au contexte.

L'élaboration d'une matrice de gestion des risques après avoir identifié les dangers permettra de cibler les dysfonctionnements du système en place.

3.1.1. Matrice des vulnérabilités

La maîtrise des vulnérabilités constitue la phase principale de gestion du risque agro-écologique. L'identification est la phase la plus délicate, elle conditionne la qualité du travail puisque la connaissance des vulnérabilités réduit l'aléa en permettant de traiter les dangers. La vulnérabilité non détectable est toujours la plus redoutable puisque par définition aucun moyen n'a été mis en place pour y faire face quand elle survient. Pour mener à bien sa tâche, le gestionnaire des risques dispose d'un certain nombre d'outils, la méthode dite des « centres de risques » est intéressante à appliquer à l'espace agricole.

L'approche des « *check-lists* » est traditionnelle mais permet de cibler les aléas permettant ainsi de cerner les vulnérabilités. Une exploitation des statistiques des délits enregistrés donne des informations intéressantes permettant de mieux cibler les vulnérabilités.

Les vulnérabilités peuvent être classées dans un tableau à double entrée sur la base de la fréquence et de la gravité. Si l'on simplifie la réalité en ne retenant que deux qualifications « faible, moyen ou forte » pour chacun des trois paramètres, le monde des risques est ainsi découpé en 6 catégories. **Louisot (2004)** note : « Les seuils entre « fort » et « faible » sont à définir pour chaque organisation en fonction de sa solidité financière, de sa situation de trésorerie, de l'évolution de ses résultats courants et d'autres facteurs subjectifs ».

3.2. Utilisation de la méthode AMDEC

Il ne peut y avoir préservation et de durabilité des espaces agricoles sans un diagnostic axé essentiellement sur l'identification des sources de danger ayant engendré des risques.

3.2.1. Quelques données sur cette méthode

Le choix de cette méthode s'impose au regard des difficultés à cerner les causes à l'origine de la situation des espaces agricoles. Appliquée à des situations assez complexes, cette méthode a permis d'identifier avec une assez bonne précision les sources de danger. AMDEC est l'acronyme

pour Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. Elle se conduit nécessairement en groupe multidisciplinaire, dont les membres sont compétents dans leur métier, formés à l'évaluation de situation dans différents espaces. La méthode passe toujours par une analyse de type qualitative (analyse des causes de défaillance, analyse des modes de défaillance et analyse des effets de ces défaillances). Ensuite par une évaluation quantitative (évaluation de la fréquence d'apparition de ces défaillances, évaluation de la gravité de ces défaillances et évaluation de la probabilité que ces défaillances passent inaperçues. Le but de cette approche vise à identifier comprendre le mode de fonctionnement d'un système qui permet d'identifier les défaillances et les traiter avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés. Les "défaillances" peuvent être celles d'un objet, d'une machine, d'un service ou d'un processus quelconques. (Benabdeli, 2008).

Si on laisse dans une intervention de gestion des espaces agricoles, la possibilité d'une mauvaise appréciation des résultats d'une technique, alors on accepte le risque que quelqu'un réalise cette mauvaise opération. De ce fait, et c'est grave, on accepte donc les dégâts qui pourraient s'en suivre. Généralement ces dégâts sont source de dommages perturbant tout un écosystème avec ses caractéristiques écologiques et cela n'est pas acceptable.

3.2.2. Buts de l'AMDEC

L'AMDEC n'est qu'un moyen plus précis et moderne que les diagnostics classiques que font les forestiers et les agronomes ; elle doit permettre d'augmenter le « MTBF » (Mean Time Before Failure, ou Temps Moyen de Bon Fonctionnement). Les agroécosystèmes que nous gérons actuellement fonctionnent différemment et échappent tous à l'approche classique que nous utilisons (Benabdeli et Moulay, 2013). L'objectif de tout gestionnaire est l'augmentation de la durée de fonctionnement d'un système d'où l'apport de cette méthode qui se résume à :

- Faciliter, grâce à la formalisation et à l'approche systématique, l'examen critique d'un moyen de production ;
- Améliorer la définition du cahier des charges des actions à entreprendre ;
- Permettre de valider les consignes de gestion durable ;
- Orienter les choix techniques ;
- Intégrer la prévention comme un moyen de garantir la résilience de l'écosystème.

3.2.3. Possibilité d'application aux espaces agricoles

Largement utilisée dans l'évaluation des risques, cette méthode peut facilement s'appliquer pour identifier et évaluer les risques sources de dégradation et dysfonctionnement des systèmes agraires. Tous les espaces agricoles, quel que soit leur composition, leur localisation, leur potentialité et leur stade de dégradation peuvent être dans un premier temps identifiées par les principaux indices de perturbation qui constituent les causes de défaillance de l'écosystème qui permettent de comprendre les modes de défaillance qui renseignent sur les effets de défaillance. Il

sera possible ensuite de corriger toutes les anomalies constatées pour opter sur une stratégie de réhabilitation et de gestion durable de cet espace agricole.

Pour ce faire l'approche s'articulera autour des points suivants :

- Défaillance complète (l'écosystème ne fonctionne pas du tout),
- Défaillance partielle (le fonctionnement de l'écosystème présente des anomalies),
- Défaillance intermittente (l'écosystème dépend périodiquement d'événements),
- Défaillance dans le temps (l'écosystème présente des signes d'épuisement),

Le mode de défaillance peut être facilement identifié si on possède assez d'éléments sur le fonctionnement de l'écosystème et de ses caractéristiques mais cette phase permet surtout d'identifier les principales causes qui y sont associées. Se rappeler que deux ou trois causes différentes peuvent amener au même effet. D'où la nécessité de bien corréliser entre défaillances-causes-effets.

Pour la criticité, il s'agit là de la partie quantitative de l'étude où il est recommandé de noter :

- La Gravité des effets associés chaque mode de défaillance ;
- La Fréquence d'apparition de chaque mode de défaillance ;
- La probabilité de ne pas détecter le mode de défaillance ;
- La Criticité C se définit alors comme le produit des trois facteurs : $C = G \times F \times D$

La méthode retenue pour fixer les préalables à une stratégie de gestion durable des systèmes agraires est celle utilisée dans l'identification des défaillances dans les systèmes : Analyse des Modes de Défaillance et Evaluation de la Criticité.

Les résultats obtenus seront consignés dans une matrice d'évaluation qui repose sur les points suivants :

- Identification des sources de dangers et de risques
- Segmentation des facteurs source de danger
- Evaluation des risques (gravité, fréquence, non détectabilité)

L'échelle proposé d'appréciation des différents facteurs de dysfonctionnement de l'agrosystème tellien retenue repose sur 5niveaux (1 : très faible ; 2 : faible ; 3 : moyen ; 4 : fort ; 5 : destructeur

4. Contribution à l'utilisation d'une matrice AMDEC

Dans le but de cerner les principales contraintes à l'origine de la situation catastrophique dans laquelle se trouvent les différents espaces agricoles, deux matrice axée sur la méthode AMDEC ont été réalisées :

- une matrice d'identification des défaillances, de leur causes et de leurs effets
- une seconde matrice évaluant la criticité à travers la gravité, la fréquence et la non détection.

4.1. Matrice des défaillances élaborées

L'élaboration d'une matrice des défaillances permet dans un premier temps de cibler les contraintes et de les classer selon leur source. Cette dernière dépend de quatre causes : organisationnel, technique, naturel et politique ; chacune d'elles, et elles sont nombreuses, génère des effets engendrant une criticité qu'il faut évaluer pour prioriser les actions à entreprendre.

L'approche axée sur l'identification et l'évaluation de l'impact des défaillances sur la réhabilitation des espaces agricoles s'articule autour de quatre matrices :

- Les défaillances d'ordre organisationnelles
- Les défaillances d'ordre technique
- Les défaillances d'ordre naturelles
- Les défaillances d'ordre politique et de gouvernance

4.1.1. Les défaillances d'ordre organisationnel

Elles peuvent être regroupées en cinq types de défaillances pouvant avoir à différents degrés des impacts sur les espaces agricoles. Les résultats obtenus sont récapitulés et évalués dans le tableau qui suit :

Tableau 52. Défaillances d'ordre organisationnelles

Facteur-source	Gravité	Fréquence	Détection	Score
Identification du foncier agricole et son apurement	5	5	3	75
Stratégie de gestion durable de l'espace agricole	5	3	3	45
Financement des exploitations agricoles	3	5	4	60
Gestion moderne des exploitations agricoles	5	4	3	60
Formation et encadrement continus	4	5	4	80
Moyenne	4,4	4,4	3,4	64

4.1.2. Les défaillances d'ordre technique

Les défaillances techniques identifiées à travers la lecture des publications et des communications en relation directe ou indirecte sont au nombre de huit et se présentent comme suit :

Tableau 53. Défaillances d'ordre technique

Facteur-source	Gravité	Fréquence	Détection	Score
Potentialités édaphiques	4	5	4	80
Gestion durable de ces espaces	5	5	4	100
Techniques d'exploitation	4	5	4	80
Qualité du plan de culture	5	5	3	75
Maîtrise des techniques culturales	4	3	2	24
Qualité des eaux d'irrigation	5	4	4	80
Maîtrise des besoins en eau	5	4	4	80
Maîtrise des amendements et traitements	3	5	4	60
Moyenne	4,4	4,5	3,6	72,4

4.1.3. Défaillances d'ordre naturel

Elles sont au nombre de quatre et agissent chacune selon son intensité, sa fréquence et son impact sur les différentes classes du système de culture, le tableau qui suit en donne une synthèse.

Tableau 54. Défaillances d'ordre naturelles

Facteur-source	Gravité	Fréquence	Détection	Score
Diminution des précipitations	4	5	3	60
Augmentation des températures	4	4	4	64
Dégradation des sols (salinisation)	5	4	3	60
Dynamique régressive de la biologie des sols	4	5	3	60
Moyenne	4,25	4,5	3,25	61

4.1.4. Défaillances d'ordre politique et de gouvernance

Pour cette vulnérabilité Elles peuvent être regroupées en quatre types de faiblesses pouvant avoir à différents degrés des impacts sur les espaces agricoles. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau qui suit :

Tableau 55. Défaillances d'ordre politique et de gouvernance

Facteur-source	Gravité	Fréquence	Détection	Score
Avenir du foncier agricole	5	5	4	100
Modalités de gestion	5	3	4	60
Exploitation de l'eau	5	4	4	80
Subventions	4	5	3	60
Moyenne	4.75	4.25	4.75	75

4.2. Matrice des dangers et risques

La matrice élémentaire des vulnérabilités peut se récapituler comme suit :

Tableau 56. Matrice des dangers et risques

Type de vulnérabilité	Nombre	Gravité	Fréquence	Détection	Score	Classement
Organisationnelles	5	4,4	4,4	3,4	64	3
Techniques	8	4,4	4,5	3,6	72,4	2
Naturelles	4	4,25	4,5	3,25	61	4
Politiques	4	4.75	4.25	4.75	75	1

Les 4 matrices d'identification et d'évaluation des dangers et des risques ont permis de cibler les principaux indicateurs qui se résument comme suit et classés selon leur impact :

- **Vulnérabilités politiques et de gouvernance**
- **Vulnérabilités techniques**
- **Vulnérabilités organisationnelles**
- **Vulnérabilités naturelles**

La classification par le type de défaillance (tableau 56) permet de mieux déterminer les grands axes de gestion durable de l'espace agricole.

Les défaillances politiques et de gouvernance et les défaillances techniques passent en premier rang de vulnérabilité et sont les principales sources de problèmes de dégradation des systèmes agraires. Ce résultat est confirmé par toutes les études menées et les publications et communications où le problème de l'échec des techniques d'aménagement et de gestion a été traité.

Les défaillances d'ordre organisationnelles viennent en deuxième position puisque toutes les actions techniques en dépendent. Ils rassemblent les aspects financiers, de formation et de gestion. À la fin position, ce sont les contraintes naturelles alors qu'ils sont souvent cités comme principales contraintes.

L'identification et classification des principales défaillances de tous types (tableau 57) nous a permis de classer les principales défaillances par ordre d'importance. Ces derniers ne sont que des contraintes entravant la pérennité et la durabilité de cet agrosystème important pour l'économie agricole.

Tableau 57. Classification des principales défaillances

Facteur-source	Score	type	Classification
Gestion durable de l'espace agricole	100	Technique	1
Avenir du foncier agricole	100	politique	2
Formation et encadrement continus	80	Organisationnelle	3
Potentialités édaphiques	80	Technique	4
Techniques d'exploitation	80	Technique	5
Qualité des eaux d'irrigation	80	Technique	6
Maîtrise des besoins en eau	80	Technique	7
Exploitation de l'eau	80	politique	8
Identification du foncier agricole et son apurement	75	Organisationnelle	9
Qualité du plan de culture	75	Technique	10
Augmentation des températures	64	Naturelle	11
Financement des exploitations agricoles	60	Organisationnelle	12
Gestion moderne des exploitations agricoles	60	Organisationnelle	13
Maîtrise des amendements et traitements	60	Technique	14
Diminution des précipitations	60	Naturelle	15
Dégradation des sols (salinisation)	60	Naturelle	16
Dynamique régressive de la biologie des sols	60	Naturelle	17
Modalités de gestion	60	politique	18
Subventions	60	politique	19

5. Stratégie de gestion des risques agro-écologiques

Du diagnostic des systèmes agraires, l'identification et l'évaluation des risques et des dangers agro-écologiques avec la cartographie des risques et des dangers agro-écologiques majeurs (sécheresse, salinisation des sols et qualité des eaux d'irrigation), il ressort que le territoire

analysé est assez complexe et dénote d'une absence de stratégie de gestion de l'espace. La présence d'une multitude d'ordre politique, organisationnelle et techniques, et de systèmes d'exploitation confirme ce résultat du travail.

Les contraintes entravant le développement agricole avec leur effet sur l'élevage, le sol, l'eau, l'environnement et bien sur l'économie agricole impactent fortement les composantes du territoire.

L'agriculture doit faire face à des risques climatiques, sanitaires et environnementaux qui peuvent avoir des conséquences sur la viabilité des exploitations. Ainsi, accompagner les agriculteurs vers une meilleure gestion des risques permet d'accroître la résilience de leurs exploitations et de minimiser les impacts, notamment économiques, de ces risques. Le risque en agriculture fait aujourd'hui partie des éléments à prendre en considération dans la gestion globale d'une exploitation.

L'utilisation de la méthode AMDEC combinée au Modèle (Cause et Conséquence) a permis d'identifier 21 défaillances, dont 19 sont censés être importants (tab. 57).

En regroupant le contenu de ces 19 défaillances et faiblesses, il est possible de n'avoir que les axes déterminants qui devraient être pris en charge et qui sont :

- Volonté politique de Gestion durable de ces espaces ;
- Sécurisation du foncier agricole à travers Identification du foncier agricole et son apurement (l'assainissement) ;
- Etude du réaménagement de l'espace agricole avec le fonctionnement de son agroécosystème ;
- Programme de formation continue et de recherche au profit des personnes de parties prenantes (cadres intervenants et agriculteurs) sur la maîtrise des techniques modernes ;
- Gestion durable des potentialités en sol et en eau à travers le suivi spatiotemporel de la salinisation des sols et aussi l'exploitation rationnelle des ressources en eau existant (barrage, forages et puits) maîtriser les besoins et la qualité de l'eau en irrigation (choix des cultures) ;
- Mise en place d'un Système d'Alerte précoce à la Sécheresse pour la région ou le territoire national ;
- Encourager l'investissement agricole Etat-Privé surtout dans les grandes exploitations agricoles (EAC et EAI) à travers la facilité de financement des exploitations agricoles (crédits, subventions) ainsi que par des soutiens à l'assurance récolte et à des fonds de mutualisation ;
- Introduction de l'agroforesterie et les systèmes agro-écologiques alternative à des systèmes de l'agriculture contemporaine ;

Mais cette stratégie se traduit par les résultats obtenus dans cette thèse mais la stratégie ne peut être opérationnelle que si elle prend en charge le volet risque au niveau régional, de l'exploitation et de la parcelle.

5.1. A l'échelle de la région

A l'échelle de la région c'est le climat et les potentialités en eau notamment en forage et barrages et l'impact des changements climatiques sur l'espace agricole.

Pour atténuer l'impact du risque de sécheresse sur les potentialités en eau et les activités socio-économiques notamment le secteur agricole dans la région, il est nécessaire de recourir à l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) et de mettre en place d'un Système d'Alerte précoce pour le suivi de la sécheresse et d'évaluation de ses impacts sur l'agriculture comme le système SAPS comme outil d'aide à la décision et au développement durable et cet organe aussi qui met à la disposition des décideurs les informations nécessaires à la précision du risque de sécheresse. A ce propos, beaucoup d'expériences aussi dans le domaine de l'évaluation de l'impact du risque sécheresse et notamment dans le secteur d'agriculture et dans le but de conception d'un modèle de surveillance et d'alerte précoce à la sécheresse comme les différents dispositifs, mécanismes et systèmes adoptés par beaucoup de pays : USA, la Chine, L'Espagne, Argentine ...etc

L'une des principales priorités d'avenir consistera à trouver des solutions pour accroître la production tout en utilisant moins d'eau. Pour permettre de bien exploiter et gérer les potentialités en eau, les efforts seront surtout orientés vers un programme d'actions futur qui permettra une formation et un encadrement des agriculteurs irrigants et de leur encadrement technique en vue d'une utilisation économique et durable de l'eau d'irrigation par les actions suivantes :

La mobilisation des ressources hydriques conventionnelles peut se faire, non seulement par les méthodes classiques de mobilisation des eaux de surface (barrages, retenues collinaires, oued) et captage des eaux souterraines (forages, puits) hors des parcelles de culture, mais aussi, par la collecte des eaux pluviales : c'est la mobilisation d'une partie des eaux de pluie au niveau des parcelles cultivées. Aussi le recours à la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles par la réutilisation des eaux traitées du drainage agricole à des fins d'irrigation.

Le stockage de l'eau ; En plus des barrages et retenues collinaires, il faut augmenter les méthodes de stockage dans les exploitations par la construction des bassins en béton ou renforcés par une géo-membrane ou par des méthodes qui peuvent être utilisées pour recharger les nappes par les eaux de ruissellement, pour les réutiliser en période estivale par pompage.

Les transferts et les transports d'eau doivent se faire en conduites forcées afin d'augmenter l'efficacité de transport de l'eau d'irrigation et éviter les pertes par infiltration et évaporation. La distribution de l'eau doit se faire strictement, calculée selon les quantités à distribuer à chaque parcelle et en fonction des besoins des cultures, du système d'irrigation.

5.2. A l'échelle de l'exploitation

La diversification de l'exploitation agricole constitue l'un des plus anciens outils et méthodes de gestion des risques à l'échelle de l'exploitation liés à la production. Elle constitue un moyen efficace de diminuer la fluctuation du revenu, en ce qu'elle fait appel à différents processus de production. Par exemple les systèmes agroforestiers avec leurs pratiques agro sylvicoles, agropastorales ou agrosylvopastorales, elles peuvent comporter diverses productions dans la même exploitation, une combinaison d'arbres, de cultures et d'élevage, des produits variés à la fin d'un même processus de production (comme des produits vendus en différents formats). Cette méthode de gestion d'exploitation vise à améliorer leur capacité de gérer les risques agricoles et de renforcer la durabilité et la rentabilité de l'exploitation.

La gestion des risques à l'échelle de l'exploitation agricole consiste aussi à adopter des programmes de subventions et d'assurance production sur une base volontaire. Les producteurs y ont recours afin de couvrir les pertes de production qui résultent de phénomènes naturels hors de leur contrôle, comme les sécheresses, les inondations, les vents, le gel, les incendies, la chaleur excessive, les infestations d'insectes et les dommages causés par les ravageurs. Les indemnités financières, que reçoivent les producteurs sous forme de prestations d'assurance, les aident à absorber les lourdes pertes de production. Cet outil de gestion des risques est disponible pour les producteurs et il vise à améliorer leur capacité de gérer les risques agricoles et de renforcer la pérennité et la rentabilité de l'exploitation agricole. Aussi pour bien exploiter et gérer rationnellement et efficacement de cette ressource précieuse mobilisée pour l'agriculture il faut :

- Maîtriser de la conduite des irrigations (pilotage des irrigations) ;
- Utiliser des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau à la parcelle ;
- Les conditions du milieu et de l'environnement de la culture.

5.3. A l'échelle de la parcelle

Approche systémique : l'agroécologie implique le recours à un ensemble de techniques en synergie et ne peut pas être assimilée à une technique particulière. Elle considère l'exploitation dans son ensemble. C'est grâce à cette approche systémique que les résultats techniques et économiques peuvent être maintenus ou améliorés tout en améliorant les performances environnementales. Des interactions écologiques et économiques positives et significatives qui se produisent à l'interface des différentes strates de végétation. Si l'on reprend l'exemple de la *lutte intégrée*, la combinatoire de techniques se traduira au cas par cas par :

- des *infrastructures agro écologiques* judicieusement composées et disposées, telles que des haies, des talus, des bosquets, etc. Ces éléments servent d'habitats et de connexions

écologiques aux auxiliaires et favorisent donc leur développement. Ces infrastructures sont fondamentales ;

- un *découpage des parcelles* selon des dimensions compatibles avec l'aire de diffusion des auxiliaires (en général d'une dizaine d'hectares au maximum) ;
- des pratiques agricoles favorables telles que l'*allongement des rotations*, en *diversifiant les cultures* et en respectant certaines règles agronomiques. Ainsi, l'alternance de cultures d'hiver et de cultures de printemps limite le développement des adventices par exemple en cassant leur cycle de développement ;
- les *mélanges d'espèces et de variétés* ayant des résistances différenciées à des maladies et ravageurs de façon à limiter leurs vitesses de pullulation ;
- l'*observation fine* des parcelles avant le déclenchement en dernier recours de traitements phytosanitaires « en mosaïque » plutôt qu'uniformes et massifs ;

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'identifier les dangers et les risques agro-écologiques majeurs au travers d'un inventaire des dangers, une évaluation de la gravité des risques et ceci pour contribuer et intervenir afin de minimiser ces risques et résoudre certains problèmes liés au développement agricole durable.

La plaine de la Mina qui constitue une entité géographique se caractérise par des contraintes agro-écologiques ayant des répercussions sur l'espace agricole et la vie socio-économique des populations. Ces contraintes sont essentiellement :

- Un climat à tendance aride avec une baisse de la pluviométrie au cours d'un siècle (depuis 1918 jusqu'à 2020) et qui s'est accentuée au cours de la période 1983-2000 qui est considérée comme la plus sèche avec la disparition de l'isohyète 350-400 mm et l'apparition au sud – Ouest de l'isohyète 280 mm
- Des conditions édaphiques caractérisées par : une texture fine à moyenne (sols plus argileux), une menace de salinité qui affectent 90 % de la superficie étudiée (> 4dS/m dont 65 % de site étudié est très salé à extrêmement salé (> 8 dS/m)) avec ses conséquences sur la végétation et la production agricole ;
- une occupation du sol en inadéquation à la durabilité des agrosystèmes des exploitations agricoles (prédominance de système de culture pure);
- Des ressources en eau souterraines limitée et de mauvaise qualité déconseillée pour l'irrigation. Une qualité médiocre à déconseillée de l'eau pour l'irrigation. Un risque élevé de salinité et de sodicité des eaux d'irrigation, les points d'eau sont répartis aux classes de C4S2 (7%) ; C4S3 (35%) ; C4S4 (58%).
- Des formations de boisement (les brise-vent) assez dégradées à absence total dans avec dominance des formations de deux essences principales (le cyprès vert et le Casuarina) ;
- Des pratiques culturales moins restituante de débris végétaux pour une meilleure fertilité du sol (moins d'assolement) et surtout le non-respect de la jachère travaillée et le précédent cultural ;
- Un réseau de drainage défectueux qui nécessite un curage et réaménagement dans la plupart des parcelles agricoles prospectées ;
- L'élevage reste une activité présente dans la plaine mais non associé aux cultures pour la complémentarité agropastorale (agriculture-élevage).

Il ne saurait y avoir une stratégie de gestion des risques agro-écologiques sans une identification des dangers en premier lieu. La mise en place d'une stratégie de gestion des risques agro-écologiques exige le choix d'outils permettant de prendre en charge tous les aléas.

L'analyse de risque permet d'identifier les dangers induits par les applications et les systèmes de gestion des espaces agricoles afin d'évaluer les risques et de définir des barrières de protection qui vont les réduire à des niveaux acceptables. Les méthodes de gestion des risques sont nombreuses et leurs approches peuvent être différentes ; il n'existe pas de bonne ou de mauvaise méthode de gestion des risques, l'essentiel est d'adapter la méthode au contexte.

L'élaboration d'une matrice de gestion des risques après avoir identifié les dangers permettra de cibler les dysfonctionnements du système en place.

L'élaboration d'une matrice des défaillances permet dans un premier temps de cibler les contraintes et de les classer selon leur source. Cette dernière dépend de trois causes : organisationnel, technique ou naturel ; chacune d'elles, et elles sont nombreuses, génère des effets engendrant une criticité qu'il faut évaluer pour prioriser les actions à entreprendre.

L'agriculture doit faire face à des risques climatiques, sanitaires et environnementaux qui peuvent avoir des conséquences sur la viabilité des exploitations. Ainsi, accompagner les agriculteurs vers une meilleure gestion des risques permet d'accroître la résilience de leurs exploitations et de minimiser les impacts, notamment économiques, de ces risques.

A l'avenir, nous proposons de promouvoir la recherche dans le domaine de la gestion des risques agro-écologique et l'adoption de cette approche axée sur l'identification et l'évaluation de l'impact des défaillances sur la réhabilitation des espaces agricoles s'articule autour de trois matrices : les défaillances d'ordre organisationnelles (foncier agricole, Stratégie de gestion durable de l'espace agricole, Gestion moderne des exploitations agricoles, et formation et encadrements continus), d'ordre technique (potentialités sol, techniques d'exploitation et maîtrise et pilotage de l'irrigation et fertilisation et traitements) et d'ordre naturelles (diminution des précipitations, augmentation des températures, maîtrise de la sécheresse en agriculture pluviale et dégradation des sols).

Cette stratégie se traduit par les résultats obtenus dans cette thèse mais la stratégie ne peut être opérationnelle que si elle prend en charge le volet risque au niveau régional, de l'exploitation et de la parcelle :

A l'échelle de la région c'est le climat et les potentialités en eau et l'impact des changements climatiques sur l'espace agricole. Il est nécessaire de mettre en place un Système d'Alerte précoce pour le suivi de la sécheresse et d'évaluation de ses impacts sur l'agriculture, aussi l'une des principales priorités d'avenir consistera à trouver des solutions pour accroître la production tout en utilisant moins d'eau.

La diversification de l'exploitation agricole constitue l'un des meilleurs outils et méthodes de gestion des risques à l'échelle de l'exploitation liés à la production et elle permet aussi de diminuer

la fluctuation du revenu. La gestion des risques à l'échelle de l'exploitation agricole consiste aussi à adopter des programmes de subventions et d'assurance production.

A l'échelle de la parcelle, c'est l'agroécologie et grâce à son approche systémique que les résultats techniques et économiques peuvent être maintenus ou améliorés tout en amendant les performances environnementales. Des interactions écologiques, économiques positives et significatives doivent se produire à l'interface des différentes strates de végétation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Abdelhafid Y., 2010.** Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique : Cas de la zone est du périmètre irrigué de la Mina. Thèse de Magister en Agronomie. Option pédosphère, ENSA. Algiers, 61-62.
- **ABH – Cheliff Zahrez, 2012.** Agence de Bassin Hydrographique Cheliff – Zahrez, plan directeur d'aménagement des ressources en eau. Document interne
- **Afnor, 1994.** Agence Française de Normalisation. Recueil de normes françaises 1994, Qualité de l'eau. Paris: AFNOR, 1994-Norme NFT 90-012
- **Afnor, 2003.** « Gestion du risque - Norme FD X50-117 ».
- **Aghrab A., 2003.** Caractérisation de la sécheresse et élaboration des indicateurs climatiques pour son alerte précoce dans la région de Saïss. Mémoire de fin d'étude. École Nationale d'Agriculture de Meknès.145p.
- **Agnew CT., 2000.** Using the SPI to identify drought. *Drought Network News* 12(1): 6–11.
- **Aime S., 1991.** Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumides, semi arides et arides dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell Oranais (Algérie nord occidentale). Thèse d'état. Univ. Aix – Marseille 3. 190 P ;
- **Alley W. M., 1984.** The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109
- **Altieri M.A., 1991.** Increasing Biodiversity to Improve Insect Pest Management in Agro-Ecosystems. In: Hawksworth, D., Ed., *The Biodiversity of Micro-Organisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*, CAB International, Wallingford, UK, 165-182
- **Altieri M.A., 1998.** Agroecologia: a dinamica productiva da agricultura sustentavel. Editora de Universidade. UFRGS, Rio Grande do Sul, Brésil. 110 p.
- **Anonyme, 1958.** Apiculture : Modernisation de l'apiculture algérienne : documents algériens. Série économique - Alger, Algérie: n°127 : 9 pages
- **ANRH, 2003.** Suivi et modélisation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué de la Mina.43 p.
- **ANRH, 2012.** Agence nationale des ressources hydriques d'Algérie. Document interne
- **APHA, AWWA, WEF 1998.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; Standard methods for the examination of water and wastewater. 20e édition.
- **APHA. (1995).** Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (19th edition). Byrd Prepress Springfield, Washington.
- **Armstrong, M., & Carignan J., 1997.** Géostatistique linéaire: application au domaine minier: Presses des MINES
- **Aubert G., et Monjauze A., 1946.** Observation sur quelques sols de l'oranie Nord- Occidentale-Influence du déboisement, de l'érosion sur leur évolution (I) Compte- rendu du sommaire des séances de la société de biogéographie, t. 23, no199. Pp.44 – 51.
- **Aubert G., 1975.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'INA Alger, n°6, 185- 195.
- **Ayers, R., & Westcot, D.W., 1985.** Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage, pap 29 (1) University of California, Davis: 1-86. (186p)
- **Bagnouls F., et Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, pp 193- 239.

- **Banerjee, D. K. Das, B. R. Yadav, Navindu Gupta, H. Chandrasekharan, A. K. Ganjoo and Ranjit Singh. 1998.** Estimation of soil salinity at IARI farm by Inductive Electro- magnetic technique. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 46:110-115.
- **Benabdeli. K., 1996.** Aspects physionomico-structuraux et dynamiques des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Daya (Algérie septentrionale occidentale). Thèse d'état. Univ. Sidi Bel Abbés. 356 P
- **Benabdeli K., et Harrache D., 2008.** Quels indicateurs du développement durable en milieu industriel pour conforter la gestion du risque ? *Revue Vie et Sciences Economiques* n° 179-180 : 9-19.
- **Benabdeli K. & Moulay A., 2013-** Quelle stratégie de gestion durable des territoires forestiers en Algérie face à leur vulnérabilité IIIème Semaine Forestière Méditerranéenne, Tlemcen, 17-21 mars 2013
- **Benchetrit M., 1956.** Les sols d'Algérie. In: *Revue de géographie alpine.* 1956
- **Berkane I., 2016.** Etude d'aménagement des systèmes agroforestiers en milieux semi-aride : cas de la plaine de la Mina. Algérie Occidentale. Thèse de magistère, Université de Mostaganem. PP
- **Bied – Charreton M., 2009.** sécheresse, désertification et développement en Afrique, Cours de master 2 – 2007- UVSQ et CERDI Version 10/10/09, l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines. P 03.
- **Blum A., 2005.** Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* (56): 1159–1168
- **Boivin P., Favre F., Hammecker C., Maeght J.L., Delarivière J., Poussin J.C., & Wopereis M.C.S., 2002.** Processes driving soil solution chemistry in a flooded rice-cropped vertisol: analysis of long-time monitoring data. *Geoderma* 110. pp 87–107.
- **Bootsma A., Boisvert J B., de Jong R., & Baier W., 1996.** La sécheresse et l'agriculture canadienne: une revue des moyens d'action. *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Vol 7, num 4, 1996
- **Boualla N., 2002.** Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mina. Thèse de magister. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- **Bouazabia A., et Boudjedra S., 2007.** Analyse et gestion des risques Master 2 expertise économique et décisions Université Lumière Lyon 2
- **Bouguerra S.A., Benslimane N., 2017.** Caractérisation de la sécheresse météorologique en climat semi-aride : cas du bassin versant Oued Boumessaoud (Nord-Ouest de Larhyss *Journal*, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 95-110l'Algérie).
- **Boulaine J., 1971.** *Hydropédologie.* Ecole nationale de génie rurale, des eaux et des forêt, Alger, 122p
- **Bronson, K. F., Booker, J. D., Officer, S. J., Lascano, R. J., Maas, S. J., Searcy S. W. & Booker J., 2005.** Apparent Electrical Conductivity, Soil Properties and Spatial Covariance in the U.S. Southern High Plains. *Precision Agriculture* volume 6, p 297–311
- **Brown E., Skougstad M.W., & Fishman M.J., 1970.** In “techniques of water resources investigations of US Geological Survey: book 5”. US Government Printing Office, Washington, DC
- **Burrough P.A., & McDonnell R.A., 1998.** Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford
- **Cameron D.R., De Jong E., Read, D.W.L., & Oosterveld M., 1981.** Mapping salinity using resistivity and electromagnetic inductive techniques. *Can. J. Soil Sci.*; 61(1):67-78.

- **Centre Canadien de Télédétection (CCT), 1999.** Notions fondamentales de la télédétection (1999).
- **Chaabane. A, 2010.** Flore et Végétations Méditerranéennes. Master MODECO. Institut Sylvopastoral de Tabarka - Université Virtuelle de Tunis.http://pf-mh.uvt.rnu.tn/746/1/flore_vegetation_mediterraneennes.pdf
- **Commission Européenne., 2000.** Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'information sur l'occupation et l'utilisation des sols- thème agriculture et pêche- commission européenne 2000
- **Corwin D.L., & Rhoades J.D., 1982.** An improved technique for determining soil electrical conductivity. Depth relations from above-ground electromagnetic measurements. *Soil Sci.Soc. Am. J.* **46**: 810 - 812.
- **Corwin D.L., Sorensen M., and Rhoades J.D., 1989.** Field-Testing of Models which Identify Soils Susceptible to Salinity Development. *Geoderma*, 45 (1989) 31-64
- **Corwin D.L. and Rhoades, J.D. 1990.** Establishing Soil Electrical Conductivity - Depth Relations from Electromagnetic Induction Measurements. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 871 -901.
- **Corwin D.L. & Lesch S., 2003.** Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture. *Agronomy Journal* 95(3) DOI: [10.2134/agronj2003.0455](https://doi.org/10.2134/agronj2003.0455)
- **Corwin D.L., & Lesch S.M. 2005.** Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* **46(1-3)**, 11-43.
- **Corwin DL., Lesch SM., Oster JD., & Kaffka - Geoderma SR., 2006.** Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma* Elsevier
- **Couture I., 2004.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. Agri-vision. Web : <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/analyse%20eau.pdf>
- **Daget Ph., 1977.** Un élément actuel de la caractérisation du monde méditerranéen : le climat. Not. Mons. P., H. S., pp 101 – 126.
- **Dahane, 2006.** Incidence des facteurs écologiques sur les accroissements du liège de quelques subéraies oranaises. Thèse Mag. Sci. Univ. Tlemcen, 130 pages.
- **Dai A., 2011,** Drought under global warming: A review, *WIREs Clim.Change* : 2, 45-65
DOI : 10.1002/wcc.81
- **Daki Y., Zahour G., Lachgar R., & El Hadi H., 2016.** Caractérisation de la sécheresse climatique du bassin versant d'Oum ERRbia (Maroc) par le biais de l'indice de Précipitation Standardisé (SPI) (, « *European Scientific Journal May 2016 edition vol.12, No.14* ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 »
- **Daoud Y., & Halitim A., 1994.** Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse.* **3 (5)**, 151- 160.
- **Davis S.N., & De Weist R.J.M., 1966.** Hydrogeology, John Wiley and Sons Inc, NY
- **Debaeke P., Cabelguenne M., Casals M.L. et Puech J., 1996.** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées : Epic phase-blé. *Agronomie* 16 : 25-46.
- **Debrach ,1953.** Note sur les climats du Maroc Occidental, Maroc Méridional. 1134 pages.
- **Despaigne W., 2006.** Méthodes géostatistiques pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Mémoire de Master à l'Université de Bretagne Sud, Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique (France).68p.
- **Djebaili, 1984.** Steppe algérienne, physiologie et écologie. O. P. U. Alger, 127 pages.
-

- **Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatisées et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisaton et la vectorisation des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 243-384p..
- **Doneen L.D., 1964.** Water quality for Agriculture, Department of Irrigation. University of California, Davis.
- **Douaoui A., Gascuel-Odoux C., Walter Ch. 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, 11, (4) 392.
- **Douaoui A.E.K., & Hartani T. 2007.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Économies d'eau dans les systèmes irrigués au Maghreb. Proceedings of the 3rd regional workshop of the Sirma project, Nabeul, Tunisia.
- **Douguédroit A., Durbiano C., Messaoudi A., & Aït Hamza M., 1998.** Précipitations et rendements du blé dur et de l'orge en culture «Bour» dans le Maroc du Centre- Ouest. In: *Méditerranée, tome 88, 1-1998*. Précipitations et cultures céréalières dans le Centre-ouest du Maroc. pp. 39-44;
- **DRE, 2016.** Direction des ressources en eau de la wilaya de Relizane, Document interne-rapport du bilan annuel de la direction.
- **Dufumier M., 1996.** Les projets de développement agricole : manuel d'expertise, collection Économie et développement, éditions Karthala, Paris, 354p
- **Durand J.H., 1958.** Les sols irrigables. Etude pédologique. Algiers, 190.
- **Eaton E.M., 1950.** Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci* 69, 123–133.
- **Emberger L, 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bull. Sx. Hist. Nat. Toulouse, pp 97 – 124.
- **Emberger, 1955.** Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier, 7, 3-43.
- **Engleddow F.L. & Wadham S.M., 1923.** Investigation on yield in the cereals. Part. I. *J Agric Sci* 13 : 390-439.
- **Estienne & Godron, 1970.** Une classification biogéographique des climats. Recueil.
- **FAO, 1988.** Soils Bulletin 39. Salt-Affected Soils and their Management. Food And Agriculture Organization of the United Nations Rome
- **FAO, 1998.** Elaboration d'une base de données sur l'occupation du sol grâce à la télédétection et à un système d'informations géographiques. Série Télédétection pour décideurs N° 21.
- **FAO, 2006.** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégies de réhabilitation. Organisée et coordonnée par Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage, du 6 février au 6 Mars 2006. 12p.
- **FAO, 2006:** Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements): 106-112
- **FAO, 2006.** Electronic conference on salinization. Extension of salinization and rehabilitation strategies. Organized and coordinated by International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage, from February 6 to March 6, 2006, 12.
- **Douguédroit A., Durbiano C., & Ait Hamza, M., 1998 :** Précipitations et rendements du blé dur et de l'orge en culture "bour" dans le Maroc du Centre-Ouest, *Méditerranée*, 1, 39-44.
- **Feki M. et Douguédroit A., 2003.** Relations entre rendements du ble dur et precipitations en Tunisie. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15, PP 65-72*
- **Freeze R.A., & Cherry J.A., 1979.** Groundwater. Prentice Hall Inc, New Jersey.

- **Gacem F., 2015.** Étude spatiale et temporelle de la salinité dans les sols de la plaine de Mina (Relizane). Thèse de Magister en biologie. Université de Mostaganem, 87p.
- **Gascuel-odoux C., 1987.** Variabilité spatiale des propriétés hydrique du sol, méthode et résultats; cas d'une seul variable : revue bibliographique. *Agronomie*, 7(1), p61-71.
- **Gaucher, G., & Burdin, S., 1974.** *Geology, geomorphology and hydrology of salt lands.* PUF ed. Paris, 234.
- **Gate P., 1995.** *Ecophysiologie du blé,* Edit. Lavoisie, Paris Techniques et documentation, 429p.
- **Ghenim A.N., & Megnounif A., 2013.** Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie) *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2013, volume VII
- **Ghoul et Peter, 1974.** Etude agro-pédologique du périmètre de la Mina.
- **Ghoul, 1974.** Etude agro-pédologique des extensions du périmètre de la Mina. Echelle 1/20000. ANRH.
- **Gliessman S., 1998.** *Agreocology: ecological Processes In Sustainable Agriculture.* Chelsea, MI: Ann Arbor Press.
- **Gong G., Mattevada S., and O'Bryant SE., 2014.** Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environ Res*130:59–69
- **Griffon M., Beauval V., & Bourgeois A., 2011.** Quelques définitions allant de l'agriculture conventionnelle à des formes d'agricultures qui tendent vers une prise en compte de l'écologie scientifique, , 6 p.
- **Guttman, N. B., Wallis J. R., and Hosking J. R. M., 1992.** Spatial comparability of the Palmer Drought Severity Index, *Water Resour. Bull.*, 28 :,1111-1119
- **Guttman, N.B., 1994.** On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climatology* 7 1026–1029.
- **Guttman N. B. 1999.** Accepting the Standardized Precipitation Index : A calculation Algorithm. *Journal of American Water Ressources Association*35:311-322
- **Guttman N. B., 1998.** Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 34, 113–121.
- **Guyot G., 1989.** Les effets microclimatiques des brise-vent et des aménagements régionaux. *Tecniques agricoles*, 1170 (3-1989).
-
- **Halitim, 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3eme cycle. Univ de Renne, 176 p.
- **Halitim, 1985.** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la génèse et le comportement des sols. Thèse Doct. d'Etat, Université de Rennes, 383 p.
- **Halitim, 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
- **Hayes M., Svoboda M., Wall N., & Widhalm M., 2011:** La Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse: Indice de sécheresse météorologique universel recommandé. *Bulletin de l'American Meteorological Society* , 92 (4): 485–488. DOI: 10.1175 / 2010BAMS3103.1 .
- **Heath, J., Challis, P., & Norman, C., 1999.** *Manual for Calibration of EM38.* Agriculture Victoria- Natural Resources & Environment. Institute of Sustainable Irrigated Agriculture. 1-9

- **Heim R. R., 2002**, A review of twentieth-century drought indices used in the United States, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83, 1149–1165.
- **Hellal T., Hellal B., Bardadi A., Ayad N., & Bensmira Z. 2014**. Incidences de la pluviométrie sur la culture des céréales dans la steppe du sud de la préfecture de Sidi Bel'Abbes (Algérie Occidentale). *European Scientific Journal* June 2014 edition vol.10, No.17 PP 364-374
- **Hem J.D., 1985**. Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. Water Supply Paper 2254, USGS, USA, 158.
- **INRF, 2011**. Arbres et arbustes fourragers destinés à l'alimentation du bétail dans les zones arides et semi-arides Algérie. Document technique.
- **INRF, 2012**. Protection des périmètres agricoles dans les régions arides et semi-arides. Document technique.
- **INSID, 2008**. Caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina. document technique interne.
- **INSID, 2011**. Salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina (Relizane, Algérie) Document technique interne.
- **INSID, 2012**. Carte d'occupation du sol wilaya de Relizane- notice explicative. Document technique interne.
- **Isaaks, E., & Srivastava R., 1989**. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- **ITGC, 1995**. Institut Technique des Grandes Cultures d'Algérie : les mauvaises herbes des grandes cultures (biologie, écologie et moyens de lutte) guide technique. 09-10 p
- **Journal Officiel n°34 (1983)**. Loi n°83-18 du 13 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole (APFA). Algérie 16 Aout 1983. pp 1373. <https://www.joradp.dz/HFR/Index.htm>
- **Journal Officiel n°50 (1987)** loi n° 87-19 du 08 décembre 1987 déterminant le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixant les droits et obligations des producteurs, 8 décembre 1987. 03-07P <https://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/1987/F1987050.pdf>
- **J.O n°47 (2010)**. Loi n° 10-03 du 5 Ramadhan 1431 correspondant au 15 août 2010 fixant les conditions et les modalités d'exploitation des terres agricoles du domaine privé de l'Etat.- Algérie. 04-07P. <https://gazettes.africa/archive/dz/2010/dz-government-gazette-dated-2010-08-18-no-46.pdf>
- **Jlibene M., & Balaghi R., 2009**. Le risque sécheresse en agriculture pluviale : Cas des céréales. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Transfert de Technologie en Agriculture*. INRA, Maroc
- **Job J.O., Hachicha M., & Loyer J.Y., 1990**. Electromagnetic conductivity and mapping of soil salinity. ORSTOM. Documentary collection. N° 31.297 ex1, cote: B, 33.
- **Joetzjer É., 2012**. Variabilité inter-annuelle des sécheresses et leur réponse au changement climatique : Quels Indicateurs ? Une étude comparée du SPI et du SPEI ; Diplôme d'ingénieur en agronomie, Nancy university ; PP : 7-8 https://www.umr-nrm.fr/IMG/pdf/rapport_emilie_joetzjer.pdf
- **Joetzjer É., 2014**. Causes, impacts et projections des sécheresses en Amazonie : une étude numérique des processus et des incertitudes ; thèse de doctorat, université de Toulouse. PP : 77-78
- **Johnston, M.A. Savage, M.J., Moolman, J.H., & Du Plessis, H.M., 1997**. Evaluation of Calibration Methods for Interpreting Soil Salinity from Electromagnetic Induction Measurements. *American Journal of Soil Science Society* Vol. 61. American Society of Soil Science. 1627-1 633.

- **Jouilil I., Bitar K., Salama H., Amraoui, Mokssit A., & Tahiri M., 2013.** Sècheresse météorologique au bassin hydraulique Oum ER Rbia durant les dernières décennies. *Larhys Journal*, ISSN 1112-3680, n° 12, Janvier 2013, pp. 109-127
- **Jouve P. 1992.** Le diagnostic du milieu rural, de la région à la parcelle : approche systémique des modes d'exploitation agricole du milieu. Montpellier, France. Cnearc, Etudes et travaux du Cnearc n. 6, 39 p.
- **Keyantash J., & A.Dracup J., 2002.** The quantification of Drought : An Evaluation of Drought Indices. *American Meteorological Society* 83(8) 1167-1180
- **Khalidi A., 2005.** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen - Saïda". Thèse de Doctorat d'État, Université d'Oran, Algérie. 229 p.
- **Khan S., Gabriel H. F., & Rana T., 2008.** Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrig Drainage Syst* 22,159–177
- **Khene B., 2007.** Caractérisation d'un agrosystème Oasien vallée du M'zab et Guerrara (wilaya de Ghardaïa). Thèse de Magister. Institut National Agronomique – El-Harrach-Alger
- **Khorsandi F., Yazdi F A., 2011.** Estimation of Saturated Paste Extracts' Electrical Conductivity from 1:5 Soil/Water Suspension and Gypsum. *National Agricultural Library*. ISSN : 0010-3624. 315-321P
- **Krige D.G., 1963.** Two Dimensional Weighted Moving Average Trend Surfaces for Ore-evaluation. *Journal of the South African Institution of Mining and Metallurgy*, **66: 13-38.**
- **Kurtzman D., Kadmo, R., 1999.** Mapping of Temperature Variables. A Comparison of Different Interpolation Methods. *Climate Research*, **13: 33-43.**
- La Directive n° 96/82 du Conseil de l'Europe du 9 décembre 1996
- **Łabędzki L., 2007.** Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage* 56. PP 67-77.
- **Ladji H., Benrachedi K. Djoumad S., 2019.** Analysis of Climatic Drought using Drought Indices in Algiers Region. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* December edition. Vol.5. No3. (2019). ISSN : 2437-1114
- **Lagadec P., 2003-** Risques, crises et gouvernance : ruptures d'horizons, ruptures de paradigmes. *Annales des mines*, mai 2003, école polytechnique : 5-11
- **Lain M.M., 2005.** Agricultural vulnerability to drought: A comparative study in Morocco and Spain, Thesis, IAMZ-CIHEAM Zaragoza, Spain
- **Layelmam M., 2008.** Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. Research report in *Projet de Mise en place d'un Système d'Alerte précoce à la Sécheresse dans trois pays de la rive Sud de la Méditerranée : Algérie, Maroc, et Tunisie*; IAV, CRTS, CRASTE-LF, 38.
-
- **Legros J-P., 2009.** La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 2009, <http://academie.biu-montpellier.fr/>, conférence n°4069, Bull. n°40, p. 257-269.
- **Le Houérou H-N., 1989.** Classification écoclimatique des zones arides (s.l.) de l'Afrique du Nord., *Ecologia Mediterranea* Année 1989 15-3-4 pp. 95-144
- **Lemarchand O., Jeannée N., 2009.** La cartographie de la pollution au dioxyde d'Azote en Alsace. Méthodes de cartographie et approche géostatistique. *Cahier des thèmes transversaux ArScAn* (Vol IX), Nanterre, 2009, p. 203-214

- **Lesch S.M., Strauss D.J., & Rhoades J.D., 1995.** Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques: I. Statistical predictions models: a comparison of multiple linear regression and co-kriging. *Water Resources Research*, **31**, 373-386.
- **Leszek L., 2007.** Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage* 56(1):67 – 77,. DOI: 10.1002/ird.285
- **Lhoste P., Dolle V., Rousseau J., Soltner D., 1993.** Manuel de zootechnie des régions chaudes, collection Manuels et précis d'élevage, ministère de la Coopération, Paris, 228p.
- **Lloyd-Hughes B., et Saunders M.A., 2002.** Drought climatology for Europe. University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, UK
- **Louisot J.P., 2004.** La gestion des risques dans les organisations applicables aux entreprises, aux collectivités territoriales. Document Université de la Sorbonne, 150 p.
- **Ly S., Charles C., & Degré A., 2012.** Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2013 17(2), 392-406.
- **Lynch SD., & Schulze RE., 1995.** techniques for estimating areal daily rainfall
- **MADR, 2004.** Ministère de l'Agriculture, et de développement rural, et de la Pêche : Recueil et registre des statistiques agricoles.
- **Marlet S., Job J.O., 2006.** Processus et gestion de la salinité des sols. In Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. p. 797-822.
- **MASA., 2022.** Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. La gestion des risques en agriculture. <https://agriculture.gouv.fr/la-gestion-des-risques-en-agriculture>. 25/02/2022
- **Masih I., Maskey S., Uhlenbrook S. & Smakhtin V., 2011.** Assessing the impact of areal precipitation input on streamflow simulations using the SWAT model. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 47(1), 179-195.
- **Matheron G., 1963.** Principes of Geostatistics. *Economic Geology*, 58: 1246- 1266 P
- **Mc DONALD & BNEDAR., 1990.** ETUDE de l'avant-projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhate Benziane et de Réaménagement du Bas- Cheliff.
- **McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993.** The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- **McKee, T.B., Doesken N.J., and Kleist J., 1995.** Drought monitoring with multiple time scales. **In: Proc. 9th AMS Conference on Applied Climatology, Dallas, USA**, American Meteorological Society.
- **McKenzie, R. C., W. Chomistek, and N. F. Clark., 1989.** Conversion of electromagnetic inductance readings to saturated paste extract values in soils for different temperature, texture and moisture conditions. *Can. J. Soil Sci.* 69: 25-32.
- **Meddi M. ; Hubert P., 2003.** Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Dans: *Hydrology In The Mediterranean And Semiarid Regions*. E. Servat , W. Najem , C. Leduc et A. Shakeel (Éditeurs), IAHS Publ. 278, IAHS Press, Wallingford, UK, 329–235 P.
- **Mermoud A, 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23p.
- **Montoroi J. P., 1997.** Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol. Application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Étude et Gestion des Sols*, 4, 4, pages : 279-298.

- **Mueller TG., Pierce FJ., Schabenberger O., Warncke DD., 2001.** Mapquality for site-specific fertility management. *Soil Sci Soc Am J* 65(5):1547–1558 P.
- **Nahal, 2006.** La Désertification dans le Monde, causes – processus – conséquences – lutte. Collection Biologie, Ecologie, Agronomie. Edition le Harmattan France. 150 pages.
- **Naresh Kumar, M., Murthy, C. S., Sessa Saib M.V.R., & Royb, P.S., 2009.** On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. *Meteorol. Appl* 16, 381–389P.
- **Nehmdahl H., & Greve M.H., 2001.** Using soil electrical conductivity measurements for delineating management zones on highly variable soils in Denmark. In: Grenier, G., Blackmore, S. (Eds), proceeding of the 3rd European conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, 18-20, june 2001. Vol, 1, 461-466P
- **Nogués J., Robinson D.A., & Herrero J., 2006.** Incorporation electromagnetic induction methods into regional soil salinity survey of irrigation districts soil science society of America Journal, 70(6), 2075-2085P.
- **Nolin M.C., Gagnon B., Leclerc M.L., Cambouris A.N., Bélanger G. & Simard R.R. 2002.** Influence of pedodiversity and land uses on the within-field spatial variability of selected soil and forage quality indicators. in P. C. Robert and al., Eds. Proceedings of the 6th international conference on precision agriculture and other precision resources management. Minneapolis, MN. Google Scholar.
- **Norman, C.P., 1990a.** Whole Farm EM Surveying on the Tragowel Plains, Draft Copy - unpublished. Department of Agriculture and Rural Affairs, Victoria, Australia
- **Norman, C.P., 1990b.** Training Manual on the Use of the EM38 for Soil Salinity Appraisal. Technical Report Series No. 181, Apr 1990. Department of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Sustainable Irrigated Agriculture, Tature, Vic. Australia. 32 pp.
- **OCDE, 1994.** Organisation de Coopération et Développement Economiques, 1994 Indicateurs d'environnement.– Corps central de l'OCDE, Paris, France 159 p.
- **OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel), 2009.** Vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb- Summary Collection No.4. In *Ecosystèmes terrestres*, Tunis, 84.
- **Palmer, W. C., 1965:** Meteorological droughts. U.S. Department of Commerce, *Weather Bureau Research Paper* 45, 58 pp.
- **PATW (Plan d'aménagement du territoire de la wilaya) 2013.** Plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Relizane. Document interne de Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et du l'Aménagement du Territoire d'Algérie.
- **Peano, C. Sottile, F. Ceriani, S. Dotta, M. Messa, M. Milano, S., affaella Ponzio, R. Saglietti, C. Brevet, P. Marconi, S., 2015.** Agroécologie document de position. 1-15P
- **Peguy .CH. 1961.** - précis de climatologie. Masson, Paris. 347P, 1 Vol. 397 P., 97Fig. Doc en ligne : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/medit_0025_8296_1965_num
- **Perilhon P et Londiche H., 2003.** Proposition d'une méthode « générique » d'analyse de risques. Evolution d'une approche analytique déterministe et probabiliste vers une vision systémique, sociétale et réglementaire, *Annales des mines*, mai 2003 : 53-60.
- **PNDA, 2001.** Plan national de développement agricole. Résultat de l'enquête du ministère de l'Agriculture. 2001.
- **Qadir et Oster, 2004.** Crop and irrigation Manage strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Sci. Total Environ.* 323: 1-19.
- **Ragunath, H.M., 1987.** Groundwater. Wiley, New Delhi, p. 563.

- **Rao NS., Subrahmanyam A., Kumar SR., Srinivasulu N., Rao GB., Rao PS., & Reddy GV., 2012.** Geochemistry and quality of groundwater of Gummanampadu sub-basin, Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environ Earth Sci* **67(5)**:1451–1471.
- **Renard F., Comby J., 2006.** Evaluation de techniques interpolation spatiale de la pluie en milieu urbain pour une meilleure gestion d'événements extrêmes : le cas du Grand Lyon. *Houille Blanche, Revue internationale de l'eau*, **6** : 73-78.
- **Rhoades, J.D., Chanduvi, F., And Lesch, S., 1999.** Soil Salinity Assessment. Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements. Irrigation and Drainage Paper No 57. FAO, Rome, Italy. 153 pp.
- **Richards L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and Alkali-soils. USDA handbook **60**, 160.
- **Robinson D.A., Lebron I., Lesch S. M., Shouse P., 2004.** Minimizing Drift in Electrical Conductivity Measurements in High Temperature Environments using the EM-38. *Soil Science Society of America journal* 2004 v.68 no.2. ISSN: 0361-5995 pp. 339-345,.
- **Rodier J., 2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8 e édition. Ed. : Dunod.1382 pages.
- **Rognon P., 1997.** Sécheresse et Aridité : Leur impact sur la désertification au Maghreb. *Sécheresse*, **7**: 287-297.
- **Rossi J .P., Lavelle P et Tondoh J E., 1995.** Statistical tool for soil biologie. X. géostatistical analysis. *European Journal of Soil Biology*, **31**: pp173 –181
- **Sarann L., Catherine C., Aurore D., 2012.** Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2013 **17(2)**, 392-406
- **Sauvage Ch., 1963.** Le coefficient pluvio-thermique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Ser. Phys. Globe Météo. Inst. SC.* Ch. 20: 11.
- **Smadhi D., Mouhouche B., Zella L., Semiani M., 2009.** Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro- économique de l'Algérie. *Sciences & Technologie C – N°29* juin (2009), pp.56-62
- **SCDV « Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique », 2008.** Journée internationale de la biodiversité biologique en 22 mai 2008 sur le slogan « biodiversité et agriculture - protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire » Montréal Canada.
- **Schaller N., 2013.** “L'agroécologie: des définitions variées, des principes communs”, *Analyse, Centre d'études et de prospective*, n°59.
- **Sebillotte M., 1976.** Jachères, système de culture, système de production : méthodologie d'étude. In : Actes des journées d'études Agronomie-sciences humaines, 5-6 juillet, Institut National agronomique de Paris-Grignon, *Journal d'Agriculture tropicale et de Botanique Appliqué*, **24(2-3)** :241.
- **Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie *Inst. De météo et de physique du globe de l'univ. Alger.* 219P.
- **Shepard D., 1968.** A two-dimensional interpolation function forirregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 ACM NationalConference.* pp. 517–524
- **Slavich P.G., Petterson G.H., 1989.** Estimating Average Rootzone Salinity from Electromagnetic Induction (EM-38) Measurements. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 28. N.S.W. Dept of Agriculture and Fisheries, Denilquin, N.S.W 271 O. 450-461P.
- **Surfer for Windows, 1994.** Users Guide. Golden Software, INC., Golden, Colorado, USA.
- **Szabolcs I. 1989.** Salt-affected Soils CRC Press Inc., Florida, 274P.

- **Szalai & Szinell., 2000.** Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary - A Case Study. In: Vogt JV, somma F (eds) Drought and Drought mitigation in Europe, Kluwer Dordrecht, P. 161-166
- **Tapsoba A., 2010.** dynamique des systemes de production du village de Gombeledougou dans la zone cotonnière de Hounde: évaluation et modélisation technico-économique. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
- **Tardat-Henry M., Beaudry J-P., 1984.** Chimie des eaux, Le Griffon d'argile, 1984
- **Torrent J., 1995.** Genesis and properties of the soils Mediterranean region universita degli studi di Napoli Federico II, Dip .di Sci. Chimi-Agrarie, 111p.
- **Toumi. S, 2013.** Application des techniques nucléaires et la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mina Thèse doc. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Alger.09 P
- **Triantafilis J., Odeh I.O.A., & McBratney A.B. 2001.** Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **65(5)**, 869-878.
- **Triboi E., 1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum em Thell*). *Agronomie, EDP Sciences*, 1990, 10 (3), pp.191-200. fihal-00885281f
- **Tsakiris G. , Loukas A., Pangalou D., Vangelis H., TigkasD. , Rossi G., Cancelliere A., 2007.** Drought characterization. Chapter 7. Options Méditerranéennes, CIHEAM/EC MEDA Water, No. 58 85-102.
- **USSL - U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954.** Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A Handbook, n°60, 160p.
- **USDA - United States Department of Agriculture., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Salinity Laboratory Staff, Government Printing Office, Washington, D.C
- USGS earth explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- **Vermes L., 1998.** How to work out a drought mitigation strategy. An *ICID Guide, DVWK Guidelines for water management*, Bonn, Germany, 309 (1998) 29.
- **Vlotman W.F. 2000.** Calibrating the EM38. *EM38 Workshop, Feb.4, 2000*. New Delhi, India, p. 14.
- **Voltz M., 1986.** Variabilité spatiale des propriétés physiques du sol en milieu alluvial : essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques. Thèse doc. Ing, ENSA Montpellier, 220p
- **Walter C., 1990.** Estimation des propriétés du sols et quantification de leur variabilité à moyenne échelle: Cartographie pédologique et géostatistique dans le sud de l'Ile et vilaine (France).Thèse Doctorat de l'Université de Paris VI.172p.
- **Wezel, A. Soldat, V., 2009.** "A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecología", in *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(1), pp. 3-18.
- **Wezel, S. Bellon, T. Doré, C. Francis, D. Vallod, C. David, 2009.** *Agroecology as a science, a movement and a practice. A review*, 13 p.
- **Wilcox L.V., 1955.** Classification and use of irrigation waters. USDA, Washington, DC Circular 969.
- **WISSEL C. 1984** – A universal law of the characteristic return time near thresholds. *Oecologia*, **65** :101-107

- **WMO, 2006.** Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs. L'information météorologique et climatologique au profit d'un développement agricole durable. OMM-N° 1006 - Genève 2 – Suisse
- **WMO, 2012:** Standardized Precipitation Index User Guide, (WMO-No. 1090), World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- **WMO, 2016.** Manuel des indicateurs et indices de sécheresse ; Programme de gestion intégrée des sécheresses- OMM-N° 1173 : Integrated Drought Management Programme Tools and Guidelines Series 2, Genève. <https://public.wmo.int/fr>
- **Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. & Fujiang, W., 2006.** Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology* 27, 65–79.
- **Zahow M.F., Amrhein C., 1992.** Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, pp. 1257-1260.
- **Zaoui A. et Bensaid R., 2007.** Détermination des exigences climatiques du blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Mohamed Ben Bachir) en zone semi-aride. *Cahiers Agricultures* volume. 16, n° 6, 469-476. doi : 10.1684/agr.2007.0143
- Site web: **USGS earth explorer:** <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Annexe

I. Guide d'enquêtes

1- Occupation du sol

- Commune
- Nature juridique de l'exploitation EAC – EAI - privé autre (à priser)
- Non de l'exploitation :
- Nombre des occupants
- Nom de l'exploitant :
- Age :
- Résidence :
- Lieu et date d'enquête :
- Occupation du sol : agricole - hors agricole
- Type d'Occupation du sol : cultures maraichères - arboriculture - oliviersetc.
- Superficie :

2- Système de culture

2.1. Présentation

- Nom de l'exploitant :
- Age :
- Résidence :
- Lieu et date d'enquête :
- Etapes de mise en valeur :
- Profil pédologique
 - Profondeur : Horizons : Texture/structure : Biologie :
- Ressources en eau:
 - Type Source de l'eau: barrage – Oued – puits - forage – sources.
 - Profondeur de puits / forage:
 - Equipement de pompage :
 - Qualité de la source de l'eau : bonne - moyenne – médiocre - déconseillée
 - Capacité et régulation de l'eau d'irrigation :
- SAT :
- SAU :
- Superficie irriguée :

2.2. Assolements

Assolements	Variété	superficie	rendement	Destination	Rôle Importance	Aspect de végétation
Hiver						
Eté						

2.3. Rotations

Successions culturales : (Places et durée des cultures et des jachères)

2.4. Conduite des cultures :

		Cultures					remarques
		1	2	3	4	5	
Préparation du sol	Type						
	Moyen						
Installation	(semis/repiquage)						
	Provenance						
	Densité						
Fertilisation	Type						
	Dose						
	Méthode						
Amendement	Type / chimique organique						
	Dose						
	Méthode						
Irrigation	Technique						
	Dose						
	fréquence						
Etat sanitaire	Maladies						
	Accidents						
	Carences						
	Lutte						
Entretien	Désherbage						
	Façons culturales						
	Taille						
Récolte	Echelonnement						
	Evaluation						
Résidus	Type						
	Destination						
	Restitution du sol						

De quel matériel disposez-vous?

2.5. Aménagement agricole

➤ Installation des brise-vent :

Essence d'arbres et d'arbustes :

Densité de plantation : équidistance entre les plants (m) ou le linéaire (ml)

Etat de brise vent : bon – moyen – dégradé

➤ Clôture et alignement

Type de clôture :

Composante de clôture :

2.6. Calendrier cultural : (Préciser la finalité de chaque opération)

2.7. Les cultures intercalaires : écartements entre les lignes d'arbres

3- Systeme d'élevage

Types

	Taille - sexe	Rôle	produits	destination	Aspect des bêtes	bâtiment	remarque
01							

Conduite : (Préciser la finalité de chaque opération)

	1.	2.	3.	Remarque
Alimentation - ressources				
Reproduction				
Etat sanitaire				
Déplacements				

Relation Elevages –Cultures : type d'association élevage VS cultures

II. Résultats des Analyses des sols et des lectures EM38 (34 prélèvements)

soil sampling	Long	Lat	CEMH	CEMV	CEps	pH	MO	Calcaire total	humidité	argile	limon	sable
P11	0,51123	35,75880	41	55	3,31	8,22	2,15	18,98	15,50	38,67	18,67	42,67
P13	0,51124	35,74800	106	153	3,18	8,22	1,63	21,60	10,64	45,33	22,67	32,00
P15	0,50683	35,74798	208	285	9,49	8,08	2,06	22,24	18,56	37,33	37,33	25,33
P27	0,50240	35,78397	226	285	11,43	8,04	3,31	13,23	22,68	44,00	26,67	29,33
P46	0,49796	35,76240	104	138	3,23	8,43	3,41	15,85	10,09	38,00	26,00	36,00
P61	0,49359	35,77683	175	218	8,80	8,16	2,78	16,76	16,06	52,00	20,00	28,00
P71	0,49353	35,74078	327	480	25,83	8,14	2,73	16,29	10,50	40,00	16,00	44,00
P80	0,48907	35,76960	74	94	9,06	8,19	2,32	20,34	5,46	33,33	33,33	33,33
P89	0,48468	35,78396	318	393	12,00	8,11	2,45	20,40	25,60	29,33	21,33	49,33
P98	0,48456	35,75158	250	344	11,88	8,41	2,99	17,50	12,54	24,00	25,33	50,67
P105	0,48000	35,75158	127	157	9,58	8,20	4,38	13,02	12,75	36,00	29,33	34,67
P108	0,48012	35,76239	63	76	6,79	8,23	3,1	20,71	5,12	28,30	30,67	41,03
P114	0,48020	35,78398	378	553	12,10	8,10	2,4	20,14	24,65	43,55	32,00	24,45
P124	0,47562	35,76596	437	525	23,52	8,17	2,22	20,22	23,65	45,32	32,36	22,32
P134	0,47104	35,74798	308	423	12,46	8,06	2,56	19,61	24,89	46,35	27,30	26,35
P144	0,47134	35,78401	222	246	11,60	8,09	2,31	19,53	22,28	40,32	39,03	20,65
P149	0,46690	35,77679	368	440	17,16	7,66	2,4	19,61	27,10	48,52	41,50	9,98
P153	0,46677	35,76237	614	779	22,92	7,90	1,23	19,29	30,21	50,32	19,47	30,21
P156	0,46667	35,75159	350	589	12,74	8,13	2,18	20,49	28,32	46,67	30,67	22,67
P159	0,46664	35,74079	50	65	1,82	8,18	4,21	20,49	9,65	18,98	32,37	48,65
P166	0,46229	35,76239	487	676	24,03	8,12	1,05	19,45	31,53	51,32	20,03	28,65
P176	0,45813	35,78396	579	748	19,40	7,81	2,56	18,35	20,24	38,65	21,03	40,32
P183	0,45805	35,75880	559	667	22,25	8,01	1,32	19,58	12,65	29,65	24,70	45,65
P189	0,45361	35,73771	30	44	1,35	8,40	4,3	20,70	4,95	14,56	32,79	52,65
P194	0,45364	35,75520	431	602	16,06	7,93	2,65	19,78	30,05	47,65	26,03	26,32
P200	0,45362	35,77681	655	700	28,42	7,78	1,87	19,16	35,26	52,32	29,03	18,65
P210	0,44920	35,77321	541	708	16,32	8,03	1,9	20,50	36,78	56,65	32,70	10,65
P218	0,44923	35,74437	40	55	3,52	8,07	2,9	20,95	3,61	10,32	41,03	48,65
P222	0,44478	35,74076	287	424	9,43	7,96	3,34	21,49	24,16	35,65	38,66	25,69
P230	0,44480	35,76962	531	696	16,61	8,00	1,85	18,61	29,30	42,32	31,03	26,65
P237	0,44044	35,77678	376	544	12,17	7,97	3,16	19,59	27,84	40,00	32,00	28,00
P244	0,44041	35,75160	37	67	2,01	8,14	3,7	20,88	8,98	16,32	33,36	50,32
P246	0,44043	35,74437	212	464	7,98	8,35	4,2	23,48	21,28	36,32	31,03	32,65
P247	0,44040	35,74078	35	53	1,71	8,47	3,95	21,17	10,65	32,36	21,99	45,65

III. Données de lectures de EM38 (260 points)

Point	X	Y	CEM H	CEM V	CE_ps ds/m	Point	X	Y	CEM H	CEM V	CE_ps ds/m
1	0,51528	35,76240	38	69	3,50	52	0,49802	35,78399	90	116	5,33
2	0,51456	35,76611	36	67	3,43	53	0,49798	35,78761	93	107	5,44
3	0,51528	35,76956	42	74	3,64	54	0,49799	35,79120	128	215	6,67
4	0,51528	35,77313	48	82	3,85	55	0,49364	35,79412	145	199	7,27
6	0,51121	35,77680	64	85	4,41	56	0,49362	35,79120	170	229	8,16
7	0,51121	35,77319	50	78	3,92	58	0,49362	35,78757	93	132	5,44
8	0,51122	35,76959	75	102	4,80	59	0,49355	35,78399	59	75	4,24
9	0,51121	35,76599	100	130	5,68	60	0,49354	35,78043	89	121	5,30
10	0,51119	35,76239	69	106	4,59	61	0,49359	35,77683	160	218	7,80
11	0,51123	35,75880	41	55	3,60	62	0,49359	35,77319	95	143	5,51
13	0,51124	35,74800	106	153	5,90	63	0,49361	35,76964	96	132	5,54
14	0,50682	35,74440	117	167	6,28	64	0,49355	35,76599	50	83	3,92
15	0,50683	35,74798	208	285	9,50	65	0,49360	35,76241	76	87	4,84
16	0,50679	35,75159	97	137	5,58	66	0,49351	35,75881	132	144	6,81
17	0,50680	35,75517	123	155	6,50	67	0,49357	35,75527	184	230	8,65
18	0,50679	35,75879	90	125	5,33	68	0,49356	35,75160	92	105	5,40
19	0,50686	35,76238	138	174	7,03	69	0,49349	35,74802	99	131	5,65
20	0,50682	35,76599	89	127	5,30	70	0,49354	35,74440	157	170	7,70
21	0,50682	35,76956	124	167	6,53	71	0,49353	35,74078	327	480	13,70
22	0,50688	35,77319	86	134	5,19	72	0,48901	35,74083	490	618	19,45
23	0,50663	35,77679	71	112	4,66	73	0,48899	35,74440	344	458	14,30
24	0,50739	35,78196	75	114	4,80	74	0,48902	35,74799	164	183	7,94
25	0,50660	35,78778	90	132	5,33	75	0,48902	35,75161	122	155	6,46
26	0,50246	35,78763	125	170	6,57	76	0,48902	35,75469	256	233	11,19
27	0,50240	35,78397	226	285	10,13	77	0,48915	35,75882	104	167	5,83
28	0,50247	35,78047	127	172	6,64	78	0,48906	35,76240	75	100	4,80
29	0,50248	35,77679	126	184	6,60	79	0,48904	35,76599	42	48	3,64
30	0,50241	35,77319	89	119	5,30	80	0,48907	35,76960	74	94	4,77
31	0,50247	35,76959	125	145	6,57	81	0,48906	35,77321	126	150	6,60
32	0,50232	35,76607	63	105	4,38	82	0,48910	35,77756	130	155	6,74
33	0,50238	35,76239	98	129	5,61	83	0,48914	35,78043	144	165	7,24
34	0,50237	35,75884	126	124	6,60	84	0,48912	35,78400	102	126	5,76
35	0,50236	35,75521	99	135	5,65	85	0,48920	35,78760	573	582	22,38
36	0,50240	35,75159	50	60	3,92	86	0,48924	35,79124	410	519	16,63
37	0,50233	35,74799	124	152	6,53	87	0,48467	35,79124	360	459	14,86
38	0,50233	35,74439	74	103	4,77	88	0,48468	35,78760	308	453	13,03
39	0,50227	35,74150	50	61	3,92	89	0,48468	35,78396	318	393	13,38
40	0,49793	35,74116	84	112	5,12	90	0,48469	35,78041	265	366	11,51
41	0,49800	35,74442	92	148	5,40	91	0,48459	35,77678	128	127	6,67
42	0,49795	35,74804	82	90	5,05	92	0,48461	35,77321	165	210	7,98
43	0,49799	35,75162	59	76	4,24	93	0,48473	35,76965	220	240	9,92
44	0,49801	35,75524	68	76	4,56	94	0,48459	35,76601	195	263	9,04
45	0,49804	35,75880	64	81	4,41	95	0,48458	35,76242	290	393	12,39
46	0,49796	35,76240	104	138	5,83	96	0,48474	35,75876	332	406	13,87
47	0,49801	35,76600	51	75	3,96	97	0,48456	35,75467	388	482	15,85
48	0,49805	35,76959	103	139	5,79	98	0,48456	35,75158	254	257	11,12
49	0,49807	35,77322	89	117	5,30	99	0,48466	35,74803	408	475	16,56
50	0,49803	35,77679	100	144	5,68	100	0,48454	35,74438	262	360	11,40
51	0,49806	35,78041	54	66	4,06	101	0,48454	35,74079	300	460	12,74

Point	X	Y	CEM H	CEM V	CE_ps ds/m	Point	X	Y	CEM H	CEM V	CE_ps ds/m
102	0,48002	35,74079	340	490	14,16	155	0,46671	35,75517	400	523	16,27
103	0,47993	35,74441	362	510	14,93	156	0,46667	35,75159	350	589	14,51
104	0,48000	35,74800	400	472	16,27	157	0,46662	35,74798	279	403	12,00
105	0,48000	35,75158	30	157	3,21	158	0,46654	35,74441	147	248	7,34
106	0,48003	35,75521	185	308	8,69	159	0,46664	35,74079	48	65	3,85
107	0,48006	35,75882	277	350	11,93	160	0,46202	35,74082	46	57	3,78
108	0,48012	35,76239	63	76	4,38	161	0,46204	35,74442	129	169	6,71
109	0,48006	35,76597	70	108	4,63	162	0,46210	35,74799	119	188	6,36
110	0,48015	35,76962	74	96	4,77	163	0,46215	35,75159	358	496	14,79
111	0,48017	35,77318	141	140	7,13	164	0,46216	35,75519	414	580	16,77
112	0,48018	35,77679	227	193	10,17	165	0,46230	35,75881	633	650	24,50
113	0,48015	35,78037	122	146	6,46	166	0,46229	35,76239	487	676	19,35
114	0,48020	35,78398	378	395	15,50	167	0,46234	35,76600	691	796	26,55
115	0,48014	35,78759	378	553	15,50	168	0,46240	35,76959	633	792	24,50
116	0,48016	35,79050	380	483	15,57	169	0,46248	35,77321	538	618	21,15
117	0,47578	35,79048	257	341	11,23	170	0,46247	35,77680	582	686	22,70
118	0,47581	35,78760	340	368	14,16	171	0,46257	35,78036	400	480	16,27
119	0,47577	35,78400	114	145	6,18	172	0,46260	35,78400	546	593	21,43
120	0,47579	35,78036	301	390	12,78	173	0,46271	35,78760	206	200	9,43
121	0,47572	35,77680	102	161	5,76	175	0,45813	35,78761	574	648	22,42
122	0,47573	35,77319	274	370	11,83	176	0,45813	35,78396	579	748	22,59
123	0,47567	35,76959	247	280	10,87	177	0,45813	35,78038	610	720	23,69
124	0,47562	35,76596	437	525	17,58	178	0,45809	35,77681	612	735	23,76
125	0,47559	35,76236	498	554	19,73	179	0,45811	35,77319	611	729	23,72
126	0,47567	35,75881	440	584	17,69	180	0,45807	35,76961	610	744	23,69
127	0,47554	35,75520	390	490	15,92	181	0,45802	35,76600	574	720	22,42
128	0,47550	35,75160	233	340	10,38	182	0,45808	35,76240	378	516	15,50
129	0,47544	35,74799	260	336	11,33	183	0,45805	35,75880	559	667	21,89
130	0,47558	35,74437	442	550	17,76	184	0,45806	35,75519	342	437	14,23
131	0,47552	35,74081	289	395	12,36	185	0,45802	35,75160	200	280	9,21
132	0,47109	35,74079	280	390	12,04	186	0,45803	35,74801	182	230	8,58
133	0,47114	35,74442	288	392	12,32	187	0,45805	35,74441	70	88	4,63
134	0,47104	35,74798	308	423	13,03	188	0,45802	35,74081	114	163	6,18
135	0,47106	35,75158	275	357	11,86	189	0,45361	35,73771	30	44	3,21
136	0,47109	35,75521	462	568	18,46	190	0,45361	35,74081	134	220	6,89
137	0,47120	35,75880	250	374	10,98	191	0,45361	35,74439	292	387	12,46
138	0,47118	35,76238	423	530	17,09	192	0,45364	35,74800	137	169	6,99
139	0,47120	35,76600	520	642	20,51	193	0,45359	35,75161	335	465	13,98
140	0,47122	35,76959	477	543	18,99	194	0,45364	35,75520	431	602	17,37
141	0,47129	35,77318	375	344	15,39	195	0,45362	35,75880	297	405	12,64
142	0,47129	35,77679	553	653	21,68	196	0,45362	35,76239	418	568	16,91
143	0,47132	35,78036	300	326	12,74	197	0,45362	35,76599	402	526	16,35
144	0,47134	35,78401	222	246	9,99	198	0,45360	35,76961	426	512	17,19
145	0,47139	35,78759	190	237	8,86	199	0,45363	35,77318	553	668	21,68
146	0,46700	35,78759	288	366	12,32	200	0,45362	35,77681	655	700	25,28
147	0,46693	35,78401	120	158	6,39	201	0,45364	35,78038	560	714	21,92
148	0,46694	35,78040	536	564	21,08	202	0,45363	35,78401	584	769	22,77
149	0,46690	35,77679	368	440	15,15	203	0,45362	35,78759	558	723	21,85
150	0,46687	35,77318	189	283	8,83	204	0,45340	35,79037	462	621	18,46
151	0,46683	35,76958	370	468	15,22	205	0,44903	35,79056	416	573	16,84
152	0,46681	35,76598	647	736	24,99	206	0,44923	35,78761	305	477	12,92
153	0,46677	35,76237	614	779	23,83	207	0,44920	35,78396	556	706	21,78
154	0,46677	35,75882	438	503	17,62	208	0,44921	35,78040	458	615	18,32

Point	X	Y	CEM H	CEM V	CE_ps ds/m
209	0,44925	35,77681	598	780	23,26
210	0,44920	35,77321	541	708	21,25
211	0,44920	35,76959	442	590	17,76
212	0,44922	35,76602	405	503	16,45
213	0,44921	35,76238	309	430	13,06
214	0,44921	35,75882	314	446	13,24
215	0,44923	35,75515	491	644	19,49
216	0,44926	35,75156	276	402	11,90
217	0,44924	35,74800	293	446	12,50
218	0,44923	35,74437	40	55	3,57
219	0,44924	35,74078	204	300	9,36
220	0,44923	35,73734	64	105	4,41
221	0,44478	35,73718	55	118	4,10
222	0,44478	35,74076	287	424	12,29
223	0,44483	35,74439	280	380	12,04
224	0,44478	35,74796	238	358	10,56
225	0,44480	35,75159	323	466	13,56
226	0,44478	35,75516	277	362	11,93
227	0,44479	35,75878	298	451	12,67
228	0,44475	35,76240	426	619	17,19
229	0,44481	35,76600	404	552	16,42
230	0,44480	35,76962	531	696	20,90
231	0,44472	35,77322	437	650	17,58
232	0,44486	35,77681	434	661	17,48
233	0,44480	35,78040	397	622	16,17
234	0,44475	35,78401	364	543	15,00
235	0,44489	35,78762	200	323	9,21
236	0,44472	35,79118	258	404	11,26
237	0,44044	35,77678	376	544	15,43
238	0,44034	35,77319	280	426	12,04
239	0,44037	35,76960	244	395	10,77
240	0,44041	35,76600	238	392	10,56
241	0,44034	35,76241	218	309	9,85
242	0,44037	35,75880	250	359	10,98
243	0,44039	35,75515	231	361	10,31
244	0,44041	35,75160	37	67	3,46
245	0,44041	35,74797	102	135	5,76
246	0,44043	35,74437	212	464	9,64
247	0,44040	35,74078	35	53	3,39
248	0,44043	35,73717	118	164	6,32
249	0,43598	35,73719	75	95	4,80
250	0,43596	35,74075	85	100	5,16
251	0,43605	35,74437	57	96	4,17
252	0,43609	35,74794	105	139	5,86
253	0,43276	35,73602	48	82	3,8492
254	0,43627	35,7519	95	138	5,51
255	0,43659	35,7551	128	178	6,67
256	0,43699	35,7589	110	157	6,04
257	0,43738	35,7624	108	154	5,97
258	0,44041	35,7805	328	420	13,73
259	0,44059	35,7841	305	392	12,92
260	0,44098	35,7876	210	277	9,57

IV. Données statistiques des analyses de l'eau des puits d'irrigation (40 puits)

Point	long	lat	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS	TH	Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K+	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻ (SAR	RSC	%Na	PI (%)	Total concentration
P3	0,51528	35,76956	7,60	2240	1434	901	28,57	8,81	9,21	0,04	11,00	8,17	0,08	1,84	9,52	-16,10	61,35	62,77	67,72
P7	0,51121	35,77319	7,27	3160	2022	802	25,95	7,25	8,78	0,97	22,00	6,24	0,10	1,40	9,17	-14,53	62,68	63,22	72,69
P13	0,51124	35,74800	7,49	2720	1741	543	18,73	3,38	7,47	0,08	12,00	11,79	0,28	0,76	8,04	-9,81	63,42	64,79	54,49
P17	0,50680	35,75517	7,29	2380	1523	370	13,65	2,74	4,65	0,08	10,00	9,82	0,38	2,83	7,10	-4,18	65,01	68,87	44,15
P18	0,50679	35,75879	7,46	3000	1920	200	13,30	1,07	2,92	0,06	11,80	12,63	0,30	3,85	9,42	0,16	77,00	82,60	45,93
P26	0,50246	35,78763	7,93	2960	1894	202	15,13	0,95	3,09	0,21	19,80	1,54	0,10	2,00	10,65	-1,94	79,15	82,61	42,82
P29	0,50248	35,77679	8,06	3310	2118	698	23,70	4,59	9,36	0,06	30,98	17,80	0,30	2,80	8,97	-10,85	63,01	65,17	89,59
P38	0,50233	35,74439	7,35	2940	1882	334	17,38	2,54	4,14	0,08	13,60	11,81	0,24	0,68	9,51	-5,76	72,33	73,95	50,47
P42	0,49795	35,74804	7,52	3450	2208	435	18,00	3,19	5,51	0,12	25,01	4,79	0,10	3,20	8,63	-5,40	67,56	70,77	59,92
P46	0,49796	35,76240	7,77	4450	2848	2574	45,57	9,56	41,91	0,56	40,56	15,75	0,00	0,80	8,98	-50,67	47,26	47,42	154,71
P59	0,49355	35,78399	8,38	4160	2662	1442	69,91	8,43	20,41	2,74	46,47	3,93	0,40	1,60	18,41	-26,84	71,58	71,44	153,89
P66	0,49351	35,75881	7,66	4960	3174	1233	36,96	8,57	16,08	1,22	57,74	1,62	0,10	1,30	10,53	-23,25	60,77	60,92	123,59
P71	0,49353	35,74078	7,70	4050	2592	781	22,00	2,90	12,71	0,10	31,26	13,01	0,20	1,60	7,87	-13,81	58,61	60,18	83,78
P74	0,48902	35,74799	7,02	5900	3776	1017	43,91	6,42	13,91	0,18	64,20	7,02	0,10	1,20	13,77	-19,03	68,44	69,21	136,94
P79	0,48904	35,76599	7,53	5520	3533	2629	70,52	19,52	33,05	2,36	49,85	2,73	0,00	1,20	13,75	-51,37	58,09	57,74	179,23
P82	0,48910	35,77756	7,34	4580	2931	1040	34,78	4,00	16,79	1,17	20,80	18,97	0,40	4,19	10,79	-16,20	63,36	64,43	101,10
P88	0,48468	35,78760	7,56	8750	5600	1290	65,83	8,03	17,76	0,96	119,40	8,56	0,00	0,80	18,33	-24,99	72,14	72,34	221,34
P100	0,48454	35,74438	7,21	6040	3866	1552	38,95	7,25	23,78	0,97	38,60	19,37	0,34	3,49	9,89	-27,20	56,26	56,99	132,75
P104	0,48000	35,74800	7,85	7460	4774	216	9,57	0,35	3,97	0,24	73,80	2,82	0,40	2,30	6,51	-1,62	69,43	74,36	93,45
P131	0,47552	35,74081	7,35	6460	4134	757	31,74	5,49	9,65	0,15	61,83	23,96	0,00	0,70	11,54	-14,44	67,81	68,60	133,52
P146	0,46700	35,78759	8,32	8750	5600	1304	74,43	3,85	22,22	1,30	54,60	34,72	0,40	2,52	20,62	-23,15	74,39	74,85	194,04
P156	0,46667	35,75159	7,66	10180	6515	1715	74,21	4,25	30,04	0,69	79,00	3,00	0,80	13,59	17,92	-19,90	68,60	70,10	205,58
P159	0,46664	35,74079	7,81	6150	3936	771	48,33	4,35	11,06	0,07	47,60	17,15	0,00	0,75	17,41	-14,66	75,85	76,50	129,31
P161	0,46204	35,74442	7,64	7630	4883	534	52,26	2,09	8,59	0,12	62,20	8,59	0,24	0,86	22,62	-9,58	83,06	83,77	134,95
P166	0,46229	35,76239	7,85	14190	9082	2369	92,78	10,10	37,28	1,20	76,80	38,08	0,00	4,97	19,06	-42,41	66,48	66,99	261,21
P175	0,45813	35,78761	7,29	13230	8467	640	68,20	4,69	8,11	0,33	111,00	20,25	0,28	0,76	26,96	-11,76	84,26	84,74	213,62
P179	0,45811	35,77319	7,46	15500	9920	3085	100,00	13,57	48,12	0,29	192,95	21,22	0,00	1,00	18,01	-60,69	61,92	62,16	377,15
P188	0,45802	35,74081	8,21	3740	2394	659	26,88	4,25	8,93	0,11	21,60	12,51	0,00	0,68	10,47	-12,50	67,19	68,13	74,96
P189	0,45361	35,73771	7,76	4300	2752	1122	41,04	5,68	16,76	0,95	81,69	5,47	0,30	1,50	12,25	-20,64	65,17	65,61	153,39
P194	0,45364	35,75520	7,70	9560	6118	1677	75,39	5,80	27,73	0,61	58,20	4,80	1,20	13,17	18,41	-19,16	69,39	70,88	186,90
P219	0,44924	35,74078	7,69	7930	5075	1828	64,00	8,00	28,55	0,63	54,80	26,68	0,60	2,75	14,97	-33,20	63,88	64,47	186,01
P221	0,44478	35,73718	7,47	4250	2720	303	35,26	2,27	3,79	0,18	19,60	16,26	0,12	3,77	20,26	-2,17	85,40	87,68	81,25
P234	0,44475	35,78401	7,80	8550	5472	1107	88,12	9,05	13,08	0,01	72,40	10,71	0,28	0,58	26,49	-21,27	79,93	80,27	194,23
P236	0,44472	35,79118	7,64	6390	4090	1165	63,91	10,96	12,33	0,08	58,03	7,53	0,00	1,30	18,73	-21,99	73,32	73,95	154,14
P237	0,44044	35,77678	7,48	6020	3853	1252	69,65	22,88	2,16	0,03	49,00	16,50	0,24	0,24	19,69	-24,56	73,56	73,82	160,70
P239	0,44037	35,76960	7,98	5930	3795	328	44,07	1,16	5,40	0,06	38,00	16,50	0,24	0,24	24,33	-6,08	87,06	87,53	105,67
P242	0,44037	35,75880	7,59	7530	4819	703	61,36	3,98	10,07	0,31	58,40	18,19	0,20	0,70	23,15	-13,15	81,44	81,92	153,21
P245	0,44041	35,74797	7,82	3120	1997	93	21,96	1,50	0,36	0,07	20,00	10,63	0,28	3,65	22,76	2,07	92,20	96,19	58,45
P247	0,44040	35,74078	8,18	4530	2899	1232	53,26	6,42	18,22	2,39	32,20	6,32	0,12	1,32	15,17	-23,20	69,31	69,11	120,25
P249	0,43598	35,73719	7,84	3620	2317	1228	52,26	6,07	18,49	2,39	30,14	6,24	0,10	1,40	14,91	-23,06	68,99	68,80	117,09