

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILALI LIABÈS
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Laboratoire : Eco-développement des Espaces

Thèse de Doctorat en Sciences

Spécialité : Sciences de l'Environnement

Option : Sciences du Sol

THÈME

**Impact de la salinité sur la biodiversité de la plaine de la Mina
(wilaya de Relizane, Algérie NW)**

Présentée par : M. MEKHLLOUFI Belkacem

Soutenue le :

Devant le jury composé de :

Président	: BOUZIDI Mohamed Ali	Pr, Univ. Djilali Liabés - Sidi Bel Abbés
Examinatrice	: TOUMI-BENALI Fawzia	Pr, Univ. Djilali Liabés - Sidi Bel Abbés
Examineur	: CHIBOUB FELLAH Abdelghani	Pr, Univ. Aboubekr Belkaid - Tlemcen
Examineur	: BAGHDADI Djilali	MC-A, Centre Univ. Ahmed Zabana - Relizane
Examineur	: ZENASNI Mohamed Amine	MC-A, Univ. Aboubekr Belkaid - Tlemcen
Directeur de thèse	: BENYAHIA Mohamed	Pr, Univ. Djilali Liabés - Sidi Bel Abbés

**Année universitaire
2021/2022**

Remerciements

- ✓ Ma parfaite gratitude et mes remerciements sont, tout d'abord, à **ALLAH**, le tout puissant, de m'avoir prêté foi, courage et santé, pour mener à bien et finaliser ce travail de thèse de doctorat en sciences.
- ✓ Je tiens à remercier vivement le professeur **Mohamed BENYAHIA**, pour la confiance qu'il m'a témoigné, en acceptant la direction scientifique de mes travaux. Je lui ai reconnaissant pour tout le temps qu'il m'a consacré, ainsi que pour toutes ses observations pertinentes qui m'ont permis d'améliorer la qualité de cette thèse, pour m'avoir fait bénéficier de sa grande compétence, de sa rigueur intellectuelle, de son dynamisme et de son efficacité certaine, que je n'oublierai jamais.

Soyez assuré de mon attachement et de ma profonde gratitude.

- ✓ Mes profonds respects, mes sincères et vifs remerciements, vont également à Madame et Messieurs les membres du jury, chacun en sa qualité, pour avoir accepté d'en faire partie, d'examiner et d'enrichir ce travail :

Madame ;

- **Mme TOUMI-BENALI Fawzia**, Pr, Université Djilali Liabés de Sidi Bel Abbés.

Messieurs ;

- **Mr BOUZIDI Mohammed Ali**, Pr, Université Djilali Liabés de Sidi Bel Abbés, qui m'a honoré et a modestement accepté de présider le jury de soutenance.
- **Mr CHIBOUB FELLAH Abdelghani**, Pr, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.
- **Mr ZENASNI Mohammed Amine, MC-A**, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.
- **Mr BAGHDADI Djilali, MC-A**, Centre Universitaire Ahmed Zabana de Relizane.

- ✓ Mes sincères remerciements et reconnaissances sont également pour le Directeur de l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et Drainage, de Ksar Chellala (W. de Tiaret), pour son aide si précieuse et qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail.
- ✓ Enfin, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

Merci

Résumé

La zone d'étude, la plaine de la Mina, de la wilaya de Relizane, présente un écosystème complexe et fragile, dont l'équilibre et la stabilité des composantes écologiques sont régies par les modes d'occupation du sol, le climat et les pressions exercées sur l'environnement naturel. Le changement climatique et les pratiques agricoles non contrôlées, etc...., sont autant de contraintes qui ont bouleversé l'équilibre de la biodiversité de la région, y compris son développement durable.

L'objectif de cette étude est, tout d'abord, de comprendre, puis, de décrire d'un point de vue technique, l'origine de la situation actuelle, à savoir la salinisation continue des sols et des nappes d'eau, la dégradation des sols et du couvert végétal,... et d'étudier les relations de la géologie et de l'hydrologie de la région, ainsi que les données climatiques et les pratiques agricoles qui participent dans l'aggravation de cette situation

A l'issue de cette étude, il ressort que les sols analysés sont majoritairement de texture limono-sableuse, avec un pH qui tend vers l'alcalinité et modérément calcaire. Leur faible teneur en matière organique leur confère une faible capacité d'échange cationique.

Cette étude a révélé aussi que les sols sont, généralement, salés à excessivement salés, avec un réel risque d'alcalinisation, le chlore et le sodium sont les sels les plus répandus dans toute la région d'étude, le faciès chimique dominant de ces sols est de type chloruré-sodique.

Au terme de ce travail, il y a lieu d'attirer l'attention sur la réduction inquiétante de la biodiversité de la plaine de la Mina, l'exploitation massive et non raisonnée de ses ressources.

Sur la base des résultats obtenus lors de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence la salinisation de la zone étudiée et de caractériser l'impact de cette dégradation sur la biodiversité de la région. Tout en proposant un programme d'assainissement, et ce, afin d'améliorer la situation de la zone étudiée, ainsi que des recommandations pour un développement durable qui préserve et sauvegarde son équilibre écologique.

Mots clés : Plaine Mina, biodiversité, salinisation, sols limono-sableux, nappes eau, aggravation, situation, faciès chimique chloruré-sodique, dégradation biodiversité.

ملخص

تمثل منطقة الدراسة (سهل منى) نظامًا بيئيًا معقدًا وهشًا يخضع لتوازنه واستقرار المكونات البيئية لأنماط استخدام الأراضي والمناخ والضغطات الطبيعية التي تمارس على البيئة. إن تغير المناخ والممارسات الزراعية الغير المنضبطة، وما إلى ذلك، كلها معوقات أدت إلى الإخلال بتوازن التنوع البيولوجي في المنطقة، بما في ذلك تنميتها المستدامة.

الهدف من هذه الدراسة ، أولاً وقبل كل شيء، هو فهم ومن ثم وصف، من وجهة نظر تقنية، أصل الوضع الحالي (الملوحة المستمرة للتربة والمياه الجوفية ، تدهور التربة والغطاء النباتي) ودراسة مساهمة جيولوجيا والهيدرولوجيا المنطقة، وكذلك العوامل المناخية والنشاطات الفلاحية في زيادة تدهور هذه المنطقة.

ثانياً، بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذه الدراسة، حاولنا إبراز ووصف تأثير هذا التدهور على التنوع البيولوجي في المنطقة. مع اقتراح برنامج عملي على أمل عكس الوضعية التي آلت إليها المنطقة، بالإضافة إلى توصيات لتنمية مستدامة، تحافظ على توازنها البيئي وتحافظ عليه.

كلمات مفتاحية : سهل منى، التنوع البيولوجي، دراسة علم الأحياء، التربة، المياه الجوفية، تغير المناخ، الملوحة، الكائنات الحية الدقيقة في التربة، الثروة النباتية والحيوانية.

Abstract

The study area, Mina plain, wilaya of Relizane, presents a complex and fragile ecosystem which balance and stability of ecological components are governed by land use patterns, the climate, and the pressures exerted on the environment natural. Climate change and uncontrolled agricultural practices, etc., are all constraints that have upset the balance of biodiversity in the region, including its sustainable development.

The objective of this study is, first of all to understand and then to describe, from a technical point of view, the origin of the current situation (continuous salinization of soils and water tables, degradation of soils and plant cover) and to study the contribution of the geology and hydrology of the region, as well as climatic data and agricultural practices in the worsening of this situation.

At the end of this study, it appears that the soils analyzed are mainly of loamy-sandy texture, with a pH which tends towards alkalinity and moderately calcareous. Their low organic matter content gives them a low cation exchange capacity.

This study also revealed that the soils are generally salty to excessively salty, with a real risk of alkalinization, chlorine and sodium are the most common salts throughout the study area, and the dominant chemical facies of these soils is of the chloride-sodium type.

At the end of this work, attention should be drawn to the worrying reduction in the biodiversity of the Mina plain, the massive and unreasonable exploitation of its resources.

Based on the results obtained during this study, we tried to highlight and characterize the impact of this degradation on the biodiversity of the region. While proposing, first of all, a sanitation program in the hope of reversing the situation in the studied area, as well as recommendations for sustainable development that preserves and safeguards its ecological balance.

Key words : Mina Plain, biodiversity, salinization, sandy-loamy soils, water tables, aggravation, situation, chloride-sodium chemical facies, biodiversity degradation.

Liste des Figures

N°	Page
Figure 01 : Types et niveaux de gravité des sols affectés par les sels(Cherbury, 1991).....	14
Figure 02 : Différents types de sols en Algérie (F.A.O, 2005)	15
Figure 03 : Répartition des sols salins du nord de l'Algérie (INSID, 2008)	16
Figure 04 : Schéma de l'aquifère à nappe libre (GILBERT, 1998)	19
Figure 05 : Schéma de l'aquifère à nappe captive (GILBERT, 1998)	20
Figure 06 : Schéma de l'aquifère à nappe semi-captive (GILBERT, 1998)	20
Figure 07 : Profil salin lié à la présence d'une nappe profonde (CHERBUY, 1991)	23
Figure 08 : Caractères morphologiques du 1 ^{er} groupe des halophytes (BINET, 1970)	40
Figure 09 : Caractères morphologiques du 2 ^{ème} groupe des halophytes (BINET, 1970)	40
Figure 10 : Localisation géographique de la plaine de la Mina.....	42
Figure 11 : Découpage administratif de la zone d'étude (PATW ; SOGREAH, 2013).....	43
Figure 12 : Schéma structural de la chaîne alpine de la méditerranée occidentale (Medaouri, 2014)	44
Figure 13 : Carte de localisation des grands ensembles géologiques du nord de l'Algérie (Agence Nationale des Activités Minières (ANAM), 2009)	45
Figure 14 : Carte géologique de Relizane (Perrodon, 1957).....	46
Figure 15 : Carte géologique 1/50000 de Relizane (Boualla, 2002)	46
Figure 16 : Schéma stratigraphique du Miocène dans la plaine de la Mina (Perrodon, 1957).....	48
Figure 17 : Log géologique général (Perrodon, 1957).....	50
Figure 18 : Coupe géologique de la plaine de la Mina (Perrodon, 1957).....	51
Figure 19 : Schéma synthétique de la tectonique souple de la plaine de la Mina (Perrodon, 1957)	52
Figure 20 : Carte géomorphologique de Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013).....	53
Figure 21 : Carte de reliefs de Relizane (PATW; SOGREAH, 2013)	53
Figure 22 : Modèle numérique du terrain (MNT) wilaya de Relizane (PATW; SOGREAH, 2013).....	55
Figure 23 : Carte des pentes de la wilaya de Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013)	57
Figure 24 : Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (ANRH, 1993)	60
Figure 25 : Carte des précipitations annuelles moyennes (PATW; SOGREAH, 2013)	61
Figure 26 : Variation des précipitations moyennes annuelles (1993-2018)	62
Figure 27 : Répartition moyenne mensuelle précipitations (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018)	62
Figure 28 : Répartition moyennes mensuelles températures (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).....	64
Figure 29 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).....	65
Figure 30 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle et précipitations (période 1993-2018).....	66
Figure 31 : Diagramme Ombrothermique de la région d'étude (période 1913-1938).....	69
Figure 32 : Diagramme Ombrothermique de la région d'étude (période 1993-2018).....	69
Figure 33 : Positionnement de la zone d'étude par rapport à la pluviométrie (M) et l'indice d'aridité.....	70
Figure 34 : Positionnement de la zone d'étude dans le Climagramme d'EMBERGER (1953).....	72
Figure 35 : Localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie.....	75
Figure 36 : Répartition de la superficie des régions hydrographiques.....	75
Figure 37 : Régions Hydrographiques en Algérie (ABH, 2006)	79
Figure 38 : Localisation de la zone d'étude dans le Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez	79
Figure 39 : Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	80
Figure 40 : Carte Réseau hydrographique Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013)	83
Figure 41 : Evolution de la morphologie de la cuvette et de la surface en eau libre du barrage Sidi M'Hamed Benaouda (Remini et al., 2011 in Toumi, 2013).....	85
Figure 42 : Carte de l'hydrographie du bassin de l'Oued Mina (Bouabdelli, 2014)	88
Figure 43 : Profil du cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Mina (Toumi, 2013).....	88
Figure 44 : Carte hydrogéologique de la plaine de la Mina (SAFA, 2010)	89
Figure 45 : Carte de la répartition générale des terres de Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013).....	91
Figure 46 : Carte forestière de Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013)	92
Figure 47 : Répartition spatiale des points de prélèvements des sols dans la plaine de la Mina.....	130
Figure 48 : Cartographie de la répartition des résultats granulométriques (Argile, Limon, Sable).....	132
Figure 49 : Répartition en pourcentage des textures du sol de la zone d'étude.....	133
Figure 50 : Répartition en pourcentage du pH du sol de la zone d'étude.....	134
Figure 51 : Répartition spatiale du pH du sol de la plaine de la Mina.....	134

Figure 52 : Répartition des classes de la qualité des sols de la zone d'étude.....	135
Figure 53 : Répartition spatiale de la CE des sols de la plaine de la Mina.....	136
Figure 54 : Répartition en pourcentage de la M.O des sols de la zone d'étude.....	137
Figure 55 : Classement des sols de la zone d'étude en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008).....	138
Figure 56 : Répartition spatiale de l'ESP des sols de la plaine de la Mina.....	139
Figure 57 : Répartition en pourcentage de la CEC du sol de la zone d'étude.....	140
Figure 58 : Répartition spatiale de la CEC des sols de la plaine de la Mina.....	141
Figure 59 : Localisation des points des prélèvements des échantillons d'eau dans la plaine de la Mina.....	143
Figure 60 : Sens des écoulements des eaux dans la zone d'étude.....	144
Figure 61 : Diagramme des classes de la salinité des sols étudiés, selon les normes (DIAEA /DRHA / SEEN, 2008).....	146
Figure 62 : Carte de la salinité des eaux souterraines de la région d'étude.....	147
Figure 63 : Répartition en pourcentage du SAR du sol de la zone d'étude.....	148
Figure 64 : Répartition spatiale du rapport d'adsorption de sodium des eaux.....	148
Figure 65 : Répartition en pourcentage des classes des pH des sols étudiés selon les normes DIAEA /DRHA /SEEN (2008).....	149
Figure 66 : Carte du rapport d'adsorption de sodium des eaux de la zone d'étude.....	150
Figure 67 : Répartition des points d'eau dans le diagramme de Piper.....	150
Figure 68 : Evolution des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside.....	151
Figure 69 : Evolution des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside.....	152
Figure 70 : Carte correspondant aux différentes classes d'irrigation de la zone d'étude, telles que définies par la méthode de RICHARDS (1954).....	152
Figure 71 : Evaluation des classes d'irrigation la zone d'étude, selon la méthode de Wilcox (CE-SAR).....	153
Figure 72 : Evaluation des classes d'irrigation de zone d'étude, selon la méthode de Wilcox (CE-SAR).....	154
Figure 73 : Carte correspondant aux différentes classes définies par la méthode de Wilcox (CE - SAR).....	155
Figure 74 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na).....	155
Figure 75 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na).....	156
Figure 76 : Carte qualité des eaux de la plaine de la Mina, selon le diagramme de Wilcox (CE-% Na ⁺).....	156
Figure 77 : Représentation graphique du dénombrement microbien des prélèvements (mois d'Août).....	159
Figure 78 : Représentation graphique dénombrement microbien des prélèvements du mois de Février.....	161
Figure 79 : Représentation graphique des totaux des germes des échantillons des deux périodes.....	161
Figure 80 : Représentation graphique synthétique globale des totaux des germes des échantillons des deux périodes.....	162
Figure 81 : Graphe de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et H% du sol.....	163
Figure 82 : Graphes de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et la CE du sol.....	163
Figure 83 : Graphes de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et les micro-organismes du sol.....	164
Figure 84 : Graphes de corrélation entre H% et la CE du sol.....	165
Figure 85 : Influence de l'humidité sur la conductivité électrique (CE).....	165
Figure 86 : Graphes de corrélations entre la texture et H% du sol.....	166
Figure 87 : Graphes de corrélation entre les micro-organismes et la texture du sol.....	168
Figure 88 : Graphes de corrélation entre H% et les micro-organismes du sol.....	170
Figure 89 : Influence de l'humidité sur la densité microbienne.....	171
Figure 90 : Graphes de corrélation entre la conductivité électrique et les micro-organismes du sol.....	170
Figure 91 : Influence de la conductivité électrique sur la densité microbienne.....	172
Figure 92 : Graphe de corrélation entre la matière organique et les micro-organismes du sol.....	173
Figure 93 : Graphe de corrélation entre le rapport C/N et les micro-organismes du sol.....	173
Figure 94 : Schéma dispositif classique pour déterminer la courbe aire-espèce (Gounot, 1969).....	177
Figure 95 : Végétaux et froid, classification selon Raunkiaer (Ramade, 1984).....	181
Figure 96 : Répartition des types biologiques au niveau de la station d'El Hamadna.....	183
Figure 97 : Répartition des types morphologiques à la station d'El Hamadna.....	183
Figure 98 : Plan factoriel des espèces (Axe 1 – Axe 2) de la station d'El Hamadna.....	188

Liste des Tableaux

N°	Page
Tableau 01 : Résumé des caractéristiques des sols salins et alcalins (MAILLARD, 2001).....	09
Tableau 02 : Classe de salinité des sols et effet sur la croissance des plantes (CALLET, 2003).....	11
Tableau 03 : Classification des sols salés selon la classification Française (CPCS, 1967).....	12
Tableau 04 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).....	14
Tableau 05 : Couches géologiques salifères existant en Algérie (GAUCHER, 1947, in DURAND, 1958).....	16
Tableau 06 : Aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest du pays (ONHYD (ex. AGID), 2003).....	17
Tableau 07 : Classification des nappes phréatiques (SERVANT et al., 1966).....	22
Tableau 08 : Vitesse de remontée capillaire en fonction de la distance et de la texture du sol en mm/jour (SERVANT, 1978).....	23
Tableau 09 : Nombre de la microflore du sol relatif dans les 15 cm supérieurs du sol (GIASSON et al., 2008).....	25
Tableau 10 : Nombre de groupes microbiens du sol (GIASSON et al., 2008).....	25
Tableau 11 : Classification des actinomycètes (DOMMERGUES et al., 1970).....	28
Tableau 12 : Liste approximative des halophytes méditerranéennes (LE HOUEROU, 1993).....	38
Tableau 13 : Synthèse des caractéristiques et potentialités par sous zone.....	56
Tableau 14 : Caractéristiques géographiques de la station de référence.....	59
Tableau 15 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1913-1938) (mm) (SELTZER, 1946).....	60
Tableau 16 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (mm) (1993-2018) (O.N.M).....	61
Tableau 17 : Précipitations moyennes saisonnières (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).....	63
Tableau 18 : Répartition des températures moyennes mensuelles (°C) (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).....	63
Tableau 19 : Evapotranspirations potentielles (ETP) moyennes (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).....	65
Tableau 20 : Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et déficit hydrique (période 1993-2018).....	65
Tableau 21 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents (période 1993-2018).....	66
Tableau 22 : Fréquence des vents soufflant sur la région d'étude (période 1993-2018).....	66
Tableau 23 : Nébulosité de la région d'étude (période 1993-2018).....	67
Tableau 24 : Répartition des moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en (%) (période 1993-2018).....	67
Tableau 25 : Répartition mensuelle du nombre de jours de gelées (période 1913-1938 et 1993-2018).....	67
Tableau 26 : Indice de continentalité thermique de la zone d'étude.....	68
Tableau 27 : Indice d'aridité de DEMARTONNE de la zone d'étude (période 1913-1938 et 1993-2018).....	70
Tableau 28 : Ambiance bioclimatique de correspondance de la zone d'étude.....	71
Tableau 29 : Indice de sécheresse estivale de la région d'étude.....	72
Tableau 30 : Potentialités en eau superficielle du bassin Cheliff – Zahrez.....	81
Tableau 31 : Barrages en exploitation du bassin Cheliff –Zahrez.....	81
Tableau 32 : Barrages de la wilaya de Relizane.....	84
Tableau 33 : Retenues collinaires de la wilaya de Relizane.....	85
Tableau 34 : Nappes de la wilaya de Relizane.....	86
Tableau 35 : Forages exploités destinés à l'irrigation.....	87
Tableau 36 : Ressources en sols de la wilaya de Relizane.....	90
Tableau 37 : Classement national de la wilaya de Relizane.....	93
Tableau 38 : Répartition et importance des exploitations agricoles selon le statut foncier par région agricole.....	95
Tableau 39 : Répartition des terres irriguées par commune.....	96
Tableau 40 : Périmètres collectifs conduits en PMH par région agricole.....	97
Tableau 41 : Inventaire des zones géographiques d'irrigation individuelle par région agricole.....	98
Tableau 42 : Extension de la PMH par région agricole.....	99
Tableau 43 : Présentation des GPI de la wilaya de Relizane.....	100
Tableau 44 : Importance des cultures pratiquées.....	102
Tableau 45 : Répartition des espèces arboricoles par région agricole.....	103
Tableau 46 : Effectif des races bovines et ovines par région.....	104
Tableau 47 : Effectif des petits élevages par région.....	104
Tableau 48 : Répartition de la production agricole par produit.....	105
Tableau 49 : Niveau de production des spéculations stratégiques.....	106
Tableau 50 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols de la région d'étude.....	131
Tableau 51 : Termes descriptifs pour différentes plages de pH du sol (Sparks, 2003).....	133
Tableau 52 : Statut acido-basique des sols, selon le projet PNUD/FAO.....	133
Tableau 53 : Classe de la qualité des sols, selon l'échelle de Durand (1983).....	135
Tableau 54 : Normes d'interprétation pour l'azote (CALVET al., 1986).....	137

Tableau 55 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)	138
Tableau 56 : Résultats du C/N dans les sols de la région d'étude	138
Tableau 57 : Interprétation de la valeur de la CEC (Programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie).....	140
Tableau 58 : Appréciation du taux de CaCO ₃ dans le sol (D'après, ISO 11464:1994)	141
Tableau 59 : Valeurs minimales, extrêmes et moyennes des paramètres des eaux souterraines de la plaine de la Mina.....	145
Tableau 60 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Ruiz Manuel & al., 2017)	145
Tableau 61 : Répartition les classes de la salinité des sols étudiés du périmètre d'Issen, selon les normes DIAEA / DRHA /SEEN (2008)	146
Tableau 62 : Répartition des classes des pH des eaux étudiées, selon les normes DIAEA /DRHA /SEEN (2008).....	149
Tableau 63 : Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside (Richards, 1954).....	151
Tableau 64 : Classification des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - SAR)	154
Tableau 65 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na)	155
Tableau 66 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des échantillons des sols (mois d'Août)	158
Tableau 67 : Résultats du dénombrement microbien (nombre de germes/g sol sec) des prélèvements du mois d'Août.....	159
Tableau 68 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des échantillons des sols (mois de Février).....	160
Tableau 69 : Dénombrement microbien (nombre de germes/g sol sec), des prélèvements du mois de Février.....	160
Tableau 70 : Totaux des germes des échantillons des deux périodes (nombre de germes/g de sol sec).....	161
Tableau 71 : Matrice de corrélation entre la texture et H% du sol.....	166
Tableau 72 : Matrice de corrélation entre les micro-organismes et la texture du sol.....	167
Tableau 73 : Corrélation (R^2) entre les particules minérales et les paramètres de minéralisation de C et N du sol.....	169
Tableau 74 : Matrice de corrélation entre H% et les micro-organismes du sol.....	169
Tableau 75 : Matrice de corrélation entre la CE et les micro-organismes du sol.....	171
Tableau 76 : Répartition des types biologiques au niveau de la station d'El Hamadna.....	181
Tableau 77 : Répartition des types morphologiques au niveau de la station d'El Hamadna.....	183
Tableau 78 : Espèces inventoriées dans la zone d'étude (Espèces, famille, type morphologique, type biologique, type biogéographique).....	184
Tableau 79 : Relevé floristique de la station d'El Hamadna.....	185
Tableau 80 : Résultats de l'AFC pour les deux axes étudiés au niveau de la station d'El Hamadna.....	187
Tableau 81 : Taxons à fortes contributions pour l'axe 1 de l'AFC.....	188
Tableau 82 : Taxons à fortes contributions pour l'axe 2 de l'AFC.....	189

Liste des Photos

N°	Page
Photo 01 : Paysage de l'Ouarsenis.....	93
Photo 02 : Paysage de la plaine.....	94
Photo 03 : Paysage des Béni Chougrane.....	94
Photo 04 : Paysage du Dahra.....	94
Photo 05 : Zone d'irrigation par la Petite et Moyenne Hydraulique dans la région de Yellel.....	97
Photo 06 : Cultures en GPI.....	99
Photo 07 : Canal d'irrigation dans la plaine de la Mina.....	101
Photo 08 : Exemple d'irrigation dans la région de l'Ouarsenis.....	101
Photo 09 : Vue des terres agricoles et cultures.....	102
Photo 10 : Exemple d'abreuvement du cheptel, région de Sid M'Hamed Benaouda.....	104
Photo 11 : <i>Atriplex halimus</i>	108
Photo 12 : <i>Tamarix</i> sp. (BOCK, 2009).....	108
Photo 13 : <i>Juncus</i> sp. (FROIDEFOND, 2007).....	109
Photo 14 : <i>Chamaerops humilis</i> . (BOCK, 2009).....	110
Photo 15 : <i>Salicornia</i> sp. (FROIDEFOND, 2007).....	111
Photo 16 : <i>Salsola kali</i> . (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	112
Photo 17 : <i>Malva sylvestris</i> L. (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	113
Photo 18 : <i>Bellis annua</i> L. (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	113
Photo 19 : <i>Medicago minima</i> Grufb. (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	114
Photo 20 : <i>Aegilops triuncialis</i> L. (https://www.florealpes.com).....	115
Photo 21 : <i>Papaver rhoeas</i> L. Coquelicot (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	116
Photo 22 : <i>Echium vulgare</i> L. (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	116
Photo 23 : <i>Calendula officinalis</i> (https://www.herboristerieduvalmont.com).....	117
Photo 24 : <i>Sanguisorba minor</i> . (https://www.tela-botanica.org/eflore).....	118

Liste des abréviations

A	Argile
AFC	Analyse factorielle des correspondances
C	Carbone
Ca	Calcium
CaCO₃	Calcaire
CE	Conductivité électrique
CEAEQ	Centre d'Expertise En Analyse Environnementale du QUÉBEC
CEC	Capacité d'échange cationique
Cl	Chlore
cm	Centimètre
°C	Degré Celsius
CPCS	Commission de pédologie et de cartographie des sols
dS	Déci Siemens
ESP	Exchangeable sodium percentage
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	Gramme
H	Humidité
HCO₃	Bicarbonate
INRAA	Institut National de Recherche Agricole Algérien
INSID	Institut National des sols, d'Irrigation et de Drainage
K	Potassium
l	Litre
LF	Limon fin
LG	Limon grossier
m	Mètre
meq	Milliéquivalent
Mg	Magnésium
mmhos	Millimhos
MO	Matière organique
N	Azote
Na	Sodium
P	Précipitation
ONID	Office National d'Irrigation et de Drainage
SF	Sable fin
SG	Sable grossier
SAR	Sodium adsorption ratio
SO₄	Sulfate
T	Température
USDA	United States Department of Agriculture
U.S.S.L.S.	United State Salinity Laboratory Staff
WRB	World Reference Base for Soil Resources
WRI	World Resources Institute
(%)	Pourcentage

Table des matières

Remerciements

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction générale..... 01

1^{ère} Partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Les sols salés

I. Les sols salés	04
I.1. Introduction	04
I.2. Les origines de la salinisation	05
I.2.1. Les grandes sources de la salinité	05
I.2.1.1. La salinisation primaire.....	05
I.2.1.2. La salinisation secondaire.....	06
I.2.2. Le mouvement des sels solubles dans le sol.....	07
I.2.2.1. La lixiviation des sels solubles.....	07
I.2.2.2. La capillarité.....	07
I.2.2.3. La thermodialyse.....	07
I.3. Les grandeurs utilisées pour caractériser les sols salés	07
I.3.1. La conductivité électrique CE.....	07
I.3.2. La quantité de sodium adsorbé.....	07
I.3.3. Le pourcentage de sodium échangeable (exchangeable sodium percentage, ESP).....	08
I.4. La salinité et la sodicité des sols	08
I.4.1. Les sols salés.....	08
I.4.2. Les sols sodiques.....	08
I.5. L'évolution de la salinité en fonction du temps	10
I.6. Les conséquences de la salinité	10
I.6.1. Les effets de la salinité sur les propriétés du sol.....	10
I.6.1.1. L'effet sur la structure.....	10
I.6.1.2. L'effet sur la perméabilité.....	10
I.6.1.3. L'effet sur le pH.....	11
I.6.1.4. L'effet sur la fertilité chimique des sols.....	11
I.6.2. L'effet sur les végétaux.....	11
I.6.3. L'effet sur les micro-organismes du sol.....	11
I.7. La classification des sols salés	12
I.7.1. La classification Française (CPCS, 1967).....	12
I.7.2. La base de référence mondiale en ressources en sols (WRB, 2006).....	12
I.7.2.1. Les Solontchak.....	13
I.7.2.2. Les Solonetz.....	13
I.8. Les sols salés dans le monde	14
I.9. La répartition des sols en Algérie	15
I.10. La répartition des sols salés en Algérie	15

Chapitre II : Les nappes d'eau

II. Les nappes d'eau	18
II.1. Introduction	18
II.2. Quelques définitions sur le milieu souterrain	18
II.2.1. Le système aquifère.....	18
II.2.2. L'aquifère.....	18
II.2.3. La nappe d'eau souterraine.....	19
II.3. La classification des nappes	19
II.3.1. La classification selon des critères piézométriques.....	19
II.4. Les conditions favorisant la présence des eaux souterraines	21
II.5. Les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux souterraines	21
II.5.1. La précipitation des sels.....	21
II.5.2. Les processus de précipitation / dissolution.....	21
II.5.3. Les échanges d'ions.....	21
II.5.4. La réaction de réduction associée avec la matière organique.....	21
II.6. L'origine de la salinité des eaux souterraines	21
II.7. Les eaux souterraines et leurs effets sur la salinité du sol	22
II.8. L'origine des nappes phréatiques	22
II.9. La classification des nappes phréatiques	22
II.10. La caractéristiques des eaux phréatiques	22
II.10.1. La salinité globale.....	22
II.10.2. La sodicité.....	23
II.11. L'effet des nappes sur la salinisation des sols	23
II.12. Les accumulations à l'origine de la nappe phréatique	24
II.12.1. Les accumulations gypseuses.....	24
II.12.2. Les accumulations calcaires.....	24
II.12.3. Le salant blanc.....	24

Chapitre III : Les micro-organismes du sol

III. Les micro-organismes du sol	25
III.1. Introduction	25
III.2. Les Bactéries	25
III.2.1. La classification des bactéries du sol.....	26
III.2.2. La densité.....	27
III.2.3. La biomasse.....	27
III.3. Les Actinomycètes	27
III.3.1. Les caractères généraux.....	27
III.3.2. La classification.....	27
III.3.3. L'importance dans le sol.....	28
III.4. Les Champignons	28
III.4.1. Les caractères généraux.....	32
III.4.2. La classification.....	28
III.4.3. L'importance dans le sol.....	28
III.4.4. La biomasse.....	29
III.5. Les Algues	29
III.5.1. Les caractères généraux.....	29
III.5.2. La classification.....	29
III.5.3. La biomasse.....	29
III.6. Les Protozoaires	29

III.6.1. Les caractères généraux.....	29
III.6.2. La classification.....	30
III.6.3. La densité.....	30
III.6.4. La distribution et la biomasse.....	30
III.7. Les Virus.....	30
III.7.1. Les facteurs régissant l'activité des micro-organismes.....	30
III.7.2. Les facteurs énergétiques.....	30
III.7.3. Les facteurs physiques.....	30
III.7.3.1. La texture du sol.....	30
III.7.3.2. La structure du sol.....	31
III.7.3.3. Le travail du sol.....	31
III.7.4. Les facteurs chimiques.....	31
III.7.4.1. Le pH du sol.....	31
III.7.4.2. La salure.....	31
III.7.4.3. L'influence de l'oxygène.....	32
III.7.4.4. Les éléments majeurs (Azote, Phosphore, Potassium).....	32
III.7.5. Les facteurs climatiques.....	32
III.7.5.1. L'humidité du sol.....	32
III.7.5.2. La température.....	32
III.7.5.3. L'influence des saisons.....	33

Chapitre IV : La végétation des régions arides et semi-arides

IV. La végétation des régions arides et semi-arides.....	34
IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Les formations forestières et dégradation forestières.....	34
IV.2.1. Les forêts.....	34
IV.2.2. Les matorrals.....	34
IV.3. Les formations steppiques.....	34
IV.3.1. Les Steppes à Chamaephytes.....	35
IV.3.2. Les Steppes Crassullescentes.....	35
IV.4. Les principaux groupements de végétaux.....	35
IV.4.1. Les groupements végétaux de type zonal.....	35
IV.4.2. Les groupements végétaux de type azonal.....	35
IV.5. Les caractéristiques générales des espèces végétales.....	36
IV.5.1. L'adaptation morphologique et anatomique.....	36
IV.5.2. L'adaptation physiologique.....	36
IV.6. La flore halophyte.....	36
IV.6.1. Introduction.....	36
IV.6.2. Les caractéristiques des halophytes.....	39
IV.6.3. La biologie des halophytes.....	39
IV.6.4. Une morphologie particulière.....	39
IV.6.5. L'adaptation et la résistance au sel.....	40
IV.6.6. Le fonctionnement de la plante par rapport au sel.....	41
IV.6.7. Les principaux mécanismes de résistance.....	41

2^{ème} Partie : Etude du milieu

Chapitre V : Le cadre physiographique de la région d'étude

V.1. Présentation de la zone d'étude.....	42
V.1.1. La situation géographique.....	42

V.1.2. Le découpage administratif.....	43
V.2. Le milieu physique	43
V.2.1. La géologie.....	43
V.2.1.1. Généralités sur la géologie de l’Afrique du Nord.....	43
V.2.1.2. La géologie de l’Algérie du Nord.....	44
V.2.1.3. Le cadre géologique de la Mina.....	45
V.2.2. Le cadre paléogéographique et structural.....	51
V.2.2.1. La tectonique.....	51
V.2.3. L’aspect géomorphologique.....	52
V.2.4. Le relief.....	53
V.2.4.1. La zone de montagne.....	53
V.2.4.2. La zone des collines et des hautes plaines.....	54
V.2.4.3. La zone de plaines.....	55
V.2.5. Les pentes.....	56
V.2.6. La pédologie.....	57

Chapitre VI : L’étude climatique

VI. L’étude climatique	59
VI.1. Introduction	59
VI.2. Les facteurs climatiques	59
VI.2.1. Les précipitations.....	60
VI.2.1.1. Les précipitations de la période (1913-1938).....	60
VI.2.1.2. Les précipitations de la période (1993-2018).....	61
VI.2.1.3. La variabilité pluviométrique interannuelle.....	61
VI.2.1.4. Le régime pluviométrique.....	62
VI.2.2. Les températures	63
VI.2.3. L’évapotranspiration	64
VI.2.4. Les vents	66
VI.2.5. La nébulosité	67
VI.2.6. L’humidité relative de l’air	67
VI.2.7. Les gelées	67
VI.2.8. La synthèse bioclimatique	68
VI.2.8.1. L’indice de continentalité thermique.....	68
VI.2.8.2. Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	68
VI.2.8.3. L’indice d’aridité de DEMARTONNE.....	70
VI.2.8.4. Le Quotient pluviométrique et climagramme d’EMBERGER.....	71
VI.2.8.5. L’indice xérothermique d’EMBERGER.....	72
VI.3. Conclusion	73

Chapitre VII : Les ressources en eau et en sol

VII. Les ressources en eau	74
VII.1. les ressources en eau en Algérie	74
VII.1.1. Les ressources renouvelables en eau douce.....	74
VII.1.1.1. Les ressources en eau superficielles.....	75
VII.1.1.2. Les ressources en eau souterraines.....	76
VII.1.1.3. Les types d’aquifères à travers le territoire national.....	77
VII.2. L’hydrographie de la région d’étude	78
VII.2.1. La présentation du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.....	78
VII.2.1.1. Le découpage Administratif.....	80

VII.2.2. Les ressources en eau.....	81
VII.2.2.1. Les ressources en eau superficielles.....	81
VII.2.2.2. Les ressources en eau souterraines.....	82
VII.3. Le réseau hydrographique de la wilaya de Relizane.....	83
VII.3.1. Le bassin versant de l'oued Chellif.....	83
VII.3.2. Le bassin versant de la Macta.....	84
VII.3.3. Le bassin versant des Côtiers Algérois.....	84
VII.3.4. Les ressources en eau.....	84
VII.3.4.1. Les ressources en eaux superficielles.....	84
VII.3.4.2. Les ressources en eaux souterraines.....	85
VII.4. Le réseau hydrographique de la plaine de la Mina.....	87
VII.4.1. L'hydrogéologie de la plaine de la Mina.....	88
VII.5. Les ressources en sols.....	89
VII.5.1. L'agriculture.....	92
VII.5.2. La place de l'agriculture dans l'économie de la wilaya.....	92
VII.5.3. Les grandes zones agricoles.....	93
VII.5.4. Les exploitations agricoles.....	95
VII.5.5. L'agriculture irriguée.....	95
VII.5.5.1. L'irrigation à partir de la Petite et Moyenne Hydraulique.....	96
VII.5.5.2. L'irrigation à partir des Grands Périmètres Irrigués.....	100
VII.5.6. Les cultures pratiquées.....	102
VII.5.6.1. Les grandes cultures.....	103
VII.5.6.2. Les cultures maraichères.....	103
VII.5.6.3. La viticulture.....	103
VII.5.6.4. L'arboriculture.....	103
VII.5.7. L'importance de l'élevage.....	104
VII.5.8. Les niveaux de production.....	105

Chapitre VIII : La flore de la région d'étude

VIII. La flore.....	107
VIII.1. Les plantes spontanées.....	107
VIII.1.1. Définition.....	107
VIII.1.2. La répartition spatiale des plantes spontanées.....	107
VIII.2. La flore spontanée remarquable.....	107
VIII.2.1. L'Atriplex halimus.....	107
VIII.2.2. Le Tamarix sp.....	108
VIII.2.3. Le Juncus sp.....	109
VIII.2.4. Le Chamaerops humilis.....	110
VIII.2.5. La Salicornia sp.....	110
VIII.2.6. La Salsola kali.....	111
VIII.2.7. La Malva sylvestris L.....	112
VIII.2.8. Le Bellis annua L.....	113
VIII.2.9. Le Medicago minima Grufb.....	114
VIII.2.10. L'Aegilops triuncialis L.....	114
VIII.2.11. Le Papaver rhoeas L. Coquelicot.....	115
VIII.2.12. L'Echium vulgare L.....	116
VIII.2.12. Le Calendula officinalis.....	117
VIII.2.13. La Sanguisorba minor.....	117

3^{ème} Partie : Matériel et méthodes

Chapitre IX : Matériel et méthodes utilisés

IX. Le matériel et les méthodes utilisés	119
IX.1. Introduction	119
IX.2. Définition	119
IX.3. Objectif	119
IX.4. La stratégie d'échantillonnage	120
IX.4.1. Le plan d'échantillonnage des sols.....	120
IX.4.2. L'échantillonnage des sols.....	121
IX.4.2.1. Le prélèvement.....	121
IX.4.2.2. Le protocole d'échantillonnage.....	121
IX.4.3. L'échantillonnage des eaux souterraines.....	122
IX.4.3.1. Le protocole d'échantillonnage.....	122
IX.5. L'échantillonnage et la conservation des échantillons de sols avant analyse	122
IX.5.1. La période d'échantillonnage.....	122
IX.5.2. L'horizon de prélèvement.....	122
IX.5.3. La conservation des échantillons.....	123
IX.6. Les analyses et méthodes	123
IX.6.1. Les analyses physico-chimiques du sol	123
IX.6.1.1. La granulométrie.....	123
IX.6.1.2. L'humidité.....	123
IX.6.1.3. Le calcaire total.....	123
IX.6.1.4. Le pH.....	124
IX.6.1.5. La conductivité électrique.....	124
IX.6.1.6. Le carbone organique.....	124
IX.6.1.7. La capacité d'échange cationique (CEC).....	124
IX.6.1.8. Le dosage des anions.....	124
IX.6.1.9. Le dosage des cations.....	125
IX.6.2. Les analyses microbiologiques du sol	125
IX.6.2.1. La numération microscopique directe.....	125
IX.6.2.2. Le dénombrement indirect.....	125
IX.6.3. Les analyses physico-chimiques de l'eau	128
IX.6.3.1. Le pH.....	128
IX.6.3.2. La conductivité électrique (dS/m).....	128
IX.6.3.3. Le sodium et le potassium.....	128
IX.6.3.4. Le calcium et le magnésium.....	128
IX.6.3.5. Les chlorures et les sulfates.....	128
IX.6.3.6. Les carbonates et les bicarbonates.....	129

4^{ème} Partie : Résultats et discussions

Chapitre X : La caractérisation physico-chimique du sol de la zone d'étude

X. Les caractéristiques physico-chimiques du sol	130
X.1. L'échantillonnage	130
X.2. Les résultats des analyses des échantillons des sols	130
X.3. L'interprétation et la discussion des résultats	131

X.3.1. L'analyse granulométrique.....	131
X.3.2. La réaction du sol, le pH.....	133
X.3.3. La salinité (CE).....	135
X.3.4. La matière organique.....	136
X.3.5. Le taux de Sodium Adsorbé (SAR).....	138
X.3.6. Le taux de sodium échangeable (ESP).....	139
X.3.7. La capacité d'échange cationique (CEC).....	140
X.3.8. Le carbonate de calcium (CaCO ₃).....	141
X.4. Conclusion.....	142

Chapitre XI : La caractérisation physico-chimique des eaux de la zone d'étude

XI. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	143
XI.1. L'échantillonnage et les analyses.....	143
XI.2. Les résultats et discussions.....	144
XI.2.1. L'étude de la qualité des eaux.....	145
XI.2.1.1. La conductivité électrique (CE).....	145
XI.2.1.2. Le SAR (Sodium Adsorption Ration).....	147
XI.2.1.3. La réaction du sol, le pH.....	149
XI.2.1.4. La détermination des faciès hydro-chimiques des eaux.....	150
XI.2.1.5. L'état de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole.....	151
XI.2.1.6. L'évaluation des classes d'irrigation selon la méthode de Riverside.....	151
XI.2.1.7. L'évaluation des classes d'irrigation selon la méthode de Wilcox.....	153
XI.3. Conclusion.....	157

Chapitre XII : La caractérisation microbiologique du sol

XII.1. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol (mois d'Août).....	158
XII.2. Le dénombrement de la biomasse microbienne (mois d'Août).....	159
XII.3. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol (mois de Février).....	159
XII.4. Le dénombrement de la biomasse microbienne (prélèvements mois de Février).....	160
XII.5. Les analyses statistiques et interprétation des résultats de la caractérisation microbiologique du sol.....	162
XII.5.1. L'effet de la période sur les paramètres du sol.....	162
XII.5.1.1. L'effet de la période d'échantillonnage sur l'humidité du sol.....	162
XII.5.1.2. L'effet de la période d'échantillonnage sur la conductivité électrique du sol.....	163
XII.5.1.3. L'effet de la période d'échantillonnage sur les micro-organismes du sol.....	164
XII.5.2. L'effet de l'humidité sur la CE du sol.....	165
XII.5.3. L'effet de la texture sur l'humidité du sol.....	166
XII.5.4. L'effet de la texture sur les micro-organismes du sol.....	167
XII.5.5. L'effet de l'humidité sur les micro-organismes du sol.....	169
XII.5.6. L'effet de la CE du sol sur les micro-organismes du sol.....	171
XII.5.7. L'effet de la matière organique sur les micro-organismes du sol.....	172
XII.5. Conclusion.....	174

Chapitre XIII : Approche et analyse de la composition floristique de la région d'étude

XIII. L'approche et l'analyse de la composition floristique de la région d'étude.....	175
XIII.1. Le choix des stations.....	175
XIII.2. La méthode et les caractères analytiques des relevés.....	176
XIII.2.1. L'Aire Minimale.....	176
XIII.2.2. Le Coefficient d'Abondance/Dominance.....	177

XIII.2.3. L'indice de Stabilité.....	178
XIII.2.4. L'indice de Fréquence.....	178
XIII.3. La description de la composante floristique de la région d'étude.....	179
XIII.3.1. L'analyse de la flore totale et identification des groupements.....	179
XIII.3.1.1. Les types biologiques.....	179
XIII.3.1.2. Les types morphologiques.....	183
XIII.3.1.3. La liste floristique.....	184
XIII.4. L'analyse floristique par l'analyse factorielle des correspondances (AFC).....	186
XIII.4.1. L'interprétation de l'axe 1.....	187
XIII.4.2. L'interprétation de l'axe 2.....	189
XIII.5. Conclusion.....	189
Conclusion générale.....	191
Références bibliographiques	
Annexes	



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

La biodiversité est un concept complexe, englobant, à la fois, la variabilité génétique des populations, la diversité spécifique et fonctionnelle des communautés, la diversité des écosystèmes et les interactions entre ces différents niveaux organisationnels. Nul indicateur ne saurait prendre en compte l'ensemble de ces composantes : les indicateurs évaluent des compartiments partiels de la biodiversité (**Balmford *et al.*, 2010**).

Les ressources en terres émergées représentent 13,5 milliards de ha. Mais, quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'Antarctique, le Groenland, il reste 3 milliards d'ha cultivables, soit 22% du total (**Nahon, 2008**). Et, la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivables sont déjà cultivés (**Legros, 2009**). Tandis que les ressources en eau douce ne présentent que 2,5% de l'eau de la planète et se présentent essentiellement sous forme gelée dans les glaciers et les calottes glaciaires. Le reste de l'eau douce rare présente 0.003%, est principalement stockée dans les nappes phréatiques et seule une petite se trouve en surface et dans l'atmosphère (**Benchokroun, 2008**). Ces ressources environnementales, eau et sol, subissent cependant une pression croissante des activités humaines. L'agriculture, à elle seule, consomme chaque année plus de 70% de l'eau potable utilisée mondialement. Une grande partie de cette eau est destinée à l'irrigation des 287 millions d'hectares (**Burton, 2010**).

La dégradation des ressources eau et sol est une problématique globale (**Oldeman *et al.*, 1991 ; Eswaran *et al.*, 2001 ; Eswaran *et al.*, 2002**) et complexe. Le problème se pose sous les deux aspects, quantitatifs et qualitatifs, souvent interdépendants en zones arides et semi-arides (**Loyer, 1991**). Parmi les multitudes des menaces importantes qui pèsent sur les ressources en eau et en sol, la salinisation qui influence ces qualités.

La salinité reste le phénomène le plus rencontré dans la dégradation de la qualité des sols de par ces facteurs limitant. Les premières études scientifiques commencent au début du siècle avec la mesure de la conductivité électrique d'extraits de sols en 1910 (**Davis *et al.*, 1910**).

La salinisation des sols constitue un problème qui menace l'équilibre de l'environnement à différentes échelles, de la cellule végétale jusqu'à l'écosystème (**Dutuit *et al.*, 1994**).

Les sols salés sont des sols dont les propriétés sont affectées par la présence excessive de sels solubles dans une partie ou dans l'ensemble du profil (**Marlet *et al.*, 2006**). L'apparition d'une structure dégradée sous l'influence de l'ion sodium et l'augmentation de la pression osmotique sous l'effet des sels solubles ont une influence négative sur la végétation (**Aubert, 1975**).

Les sols salés se trouvent généralement dans les plaines, sous climat sec et en présence d'une source de sels solubles (**FAO, 1972**). Dans ces sols, la texture est souvent fine et le drainage interne déficient. La présence d'une nappe phréatique à faible profondeur intensifie la salinisation du sol lors d'épisodes d'évaporation (**FAO, 2002**).

La salinisation est reconnue comme la principale menace pour les ressources environnementales et la santé humaine dans de nombreux pays, touchant près d'un milliard d'ha dans le monde entier, ce qui représente environ 7% de l'étendue continentale de la Terre, soit 7%

de la superficie des terres émergées (**Yamaguchi et al., 2005 ; Marlet, 2006 ; Shahbaz et al., 2013**). Dans les régions arides et semi-aride, la plupart des cultures sont cultivées sous irrigation, et pour exacerber le problème, une gestion inadéquate de l'irrigation conduit à une salinisation secondaire qui affecte 20% des terres irriguées dans le monde (**Glick et al., 2007 ; Shrivastava et al., 2015**).

La rareté relative des ressources en eau autour de la Méditerranée, leur fragilité et leur inégale répartition fait naître un risque majeur de pénurie qui s'accroît continuellement face aux pressions démographiques et aux besoins croissants de l'essor socioéconomique (**Chkir et al., 2008**). Au sud de la Méditerranée, les pays du Maghreb sont devenus une des principales régions d'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'agriculture dans le monde (**Siebert, 2010**).

En Algérie, 67% des terres irriguées sont irriguées par des eaux souterraines (**Zektser et al., 2004**). Souvent, dans les zones arides et semi-arides, la gestion durable des ressources en eau est un challenge permanent, dont la difficulté s'accroît depuis plusieurs décennies à cause, d'une part, des impacts du changement climatique et, d'autre part, de l'accroissement des populations et de leurs besoins en eau (**Servat et al., 2009**). Cette situation a exigé de nouvelles approches pour la planification et la gestion de l'eau (**Ma et al., 2009**).

L'irrigation non contrôlée, engendre des dégradations importantes de la qualité des sols et des eaux. En effet, aussi bien la quantité d'eau disponible ainsi que sa qualité affectent fondamentalement le sol et les cultures qui y sont cultivées. La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées, conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides (**Lahlou et al., 2020**).

Les sols salés exercent sur les plantes des effets physiologiques, liés à la pression osmotique excessive aux concentrations ioniques déséquilibrées. On y observe également des effets directs sur la microflore du sol, diminuant ainsi la densité de la biomasse (surtout des bactéries nitrifiantes) et réduction de leurs activités biologiques.

La région de la plaine de la Mina, dans la wilaya de Relizane, présente l'exemple type, située dans une dépression endoréique entre deux massifs, limitée au Nord, par le plateau de Mostaganem et les monts de Dahra, au Sud, par les monts de Béni Chougrane, à l'Ouest, par la plaine d'El-Habra et le massif de Bel Hacel, à l'Est, par le massif de l'Ouarsenis, englobant une dépression au Nord-Est (la Sebkhha de Benziane).

Confrontée à d'énormes difficultés, alliant une faible pluviosité (100 à 300 mm de pluie, moyenne annuelle) et une répartition inégale, avec une évapotranspiration très élevée. Le climat semi-aride de la région est caractérisé par une longue sécheresse estivale (4 à 6 mois) et un hiver doux et humide, qui favorise l'extension du phénomène de salinisation. La région étudiée, avec son climat semi-aride, la rareté et le caractère aléatoire des précipitations, dépendant exclusivement des ressources en eaux souterraines. La surexploitation des eaux souterraines, a accentué la tendance à la baisse des niveaux et la qualité des eaux des nappes.

En vue d'une gestion durable des ressources de la région d'étude, une bonne compréhension du fonctionnement et des processus de minéralisation des eaux et des sols est fondamentale.

Le présent travail vise à améliorer les connaissances sur le fonctionnement du système eau/sol et l'origine de salinisation des ressources sollicitées, ainsi que l'impact de cette salinité sur la biodiversité de la plaine de la Mina.

Les investigations menées au cours de cette étude, consistent à étudier et analyser les paramètres physico-chimiques des sols et des eaux, l'inventaire de la microflore bactérienne et de la flore, ainsi que la dynamique de leurs interactions.

Il s'agira ainsi de :

- Caractériser et étudier les sols de la zone d'étude (caractérisation physico-chimique et microbiologique), pendant deux périodes de l'année (sèche et humide).
- La caractérisation physico-chimique de la qualité des eaux de la région d'étude.
- Réaliser l'inventaire de la flore de la région d'étude, à travers une analyse quantitative et qualitative (densité d'espèce, fréquence, types biologiques).
- Faire une étude bioclimatique, pour déterminer la variation des données climatiques que subit notre région d'étude, sur la base des données recueillies auprès des stations météorologiques, réparties à travers la région d'étude.
- Opérer une analyse statistique des données récoltées, pour essayer de répondre à toutes les interrogations.

L'objectif est de mettre en évidence l'impact de la salinité sur la biodiversité de la plaine de la Mina. C'est pourquoi, ce travail est divisé en quatre (4) parties reflétant cet objectif :

- La **première partie**, **Synthèse bibliographique**, est réservé pour des rappels bibliographiques. Elle est composée de quatre (4) chapitres : la salinisation des sols, les nappes d'eau, la flore microbienne et la végétation des régions ridées et semi-arides.
- La **deuxième partie**, **Etude du milieu**, est essentiellement consacrée à la présentation des caractéristiques générales de la région d'étude. Elle comprend les quatre (4) chapitres suivants : cadre physiographique, l'étude climatique, les ressources en sol, en eau et la flore de la zone de région d'étude.
- La **troisième partie**, **Matériel et méthodes**, avec un (1) chapitre qui s'est focalisé sur le matériel et les méthodes utilisées, et ce, pour toutes les caractérisations (caractérisation physico-chimique et microbiologique) du sol et de l'eau, ainsi que pour l'évaluation de la salinité dans la région d'étude.
- Dans la **quatrième partie**, **Résultats et discussions**, comportant quatre (4) chapitres, où sont exposés tous les résultats obtenus lors de cette étude, qui sont comparés et discutés.



1^{ère} Partie

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE





Chapitre I

SOLS SALES



I. Les sols salés

I.1. Introduction :

La salinisation correspond au processus pédologique par lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles et/ou en sodium échangeable (**Aubert, 1975**). Cette salinisation dont l'état ponctuel est caractérisé par la salinité du sol provoque une diminution de la production végétale (**Cherbuy, 1991**). Les sels solubles sont les sels dont la solubilité est supérieure à celle du gypse (**U.S.S.L, 1954**).

Les sols salés, ou sols halomorphes, sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil, ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons – ou de tout leur ensemble – sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels, en particulier du sodium (**Aubert, 1975**).

La salinisation des sols réduit déjà, ou menace à court terme, une partie non négligeable des superficies cultivables du globe. Ce phénomène correspond à l'accumulation excessive des sels très solubles (chlorures, sulfates, carbonates, de sodium ou de magnésium) dans la partie superficielle des sols, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols (**Stengel et al., 1998**).

On estime que 6.5% des terres du globe, soit 9 millions de km², sont déjà affectés par ce phénomène. Ce pourcentage passant à 39% dans les zones arides. Ce phénomène de salinisation des sols touche d'abord les régions arides, mais on peut observer des phénomènes de salinisation dans tous les continents, dans toutes les ceintures climatiques du globe (**Szabolcs, 1994**).

La salinité constitue pour les zones arides et semi-arides un handicap pour le développement agronomique et socio-économique. Le risque de voir de nouvelles terres perdues par salinisation s'est fortement accru depuis 20 ans, par suite du très fort développement de l'irrigation. Les superficies irriguées ont été multipliées par quatre depuis 1949, pour atteindre aujourd'hui plus de 270 millions d'hectares.

La salinité affecte le développement des cultures, et propriété pédologique notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (**Servant, 1975**). On parlera, en générale, des sols salés lorsque la concentration en sels de la solution du sol dépasse 0,5g/l. Cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique de la solution des sols saturés (**Robert, 1996**). Le terme salin, désigne les sols dont la conductivité électrique dépasse 4mmhos /cm et dont le pourcentage de sodium échangeable est inférieur à 15% (**Lallemand, 1980**).

La salinisation des sols est l'accumulation excessive des sels très solubles (chlorures, sulfates, carbonates, de sodium et de magnésium) dans la partie superficielle des sols, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols. L'alimentation en eau des plantes est rendue plus difficile ; certains éléments peuvent avoir en outre un effet toxique spécifique (Na, Cl, B, Se) ; le sodium, enfin, peut se fixer sur les argiles et modifie du même coup leur comportement en présence de l'eau. Les propriétés physiques globales du sol (capacité d'infiltration, conductivité hydraulique) sont alors dégradées (**Cheverry, 1974**).

I.2. Les origines de la salinisation :

Les facteurs de la formation des sols salés sont nombreux. Ils peuvent être purement climatiques (température, niveau des précipitations, absence du drainage, composition de la roche-mère) ou induits par l'homme (utilisation de l'eau saline dans l'irrigation, amendements excessifs) (Salim *et al.*, 1998).

I.2.1. Les grandes sources de la salinité :

Quatre sources principales de sels risquant de s'accumuler dans les sols peuvent être identifier (Stengel *et al.*, 1998) :

- **L'océan**, par l'intermédiaire de l'atmosphère, qui peut véhiculer des sels dissous dans l'eau de pluie, mais surtout de très fines particules hygroscopiques sous forme d'aérosols.
- **La lithosphère**, du fait de l'altération des roches constituant les îles océaniques ou la croûte continentale.
- **L'altération des minéraux**, est la source naturelle dominante. Leur intensité est maximum lorsque le drainage permet de renouveler les solutions d'attaque et d'évacuer les produits dissous (Calvet, 2003).
- **Les apports anthropiques** : on remarque que l'homme intervient par des apports directs des sels utilisés comme fertilisants (KCl, (NH₄)₂, SO₄..), mais aussi par des modifications globales ou régionales des apports atmosphériques du climat et des régions hydrologiques, au travers notamment des aménagements hydrauliques et des défrichements (Stengel *et al.*, 1998).

La salinisation présente essentiellement deux origines, primaire et/ou secondaire (Aubert, 1975) :

I.2.1.1. La salinisation primaire :

La salinisation primaire est un processus qui débute avec la **pédogenèse**, le caractère salin du sol étant congénital (Gaucher *et al.*, 1974).

Les sels solubles responsables de la salinisation primaire d'un sol, ont diverses origines :

- **Origine marine, actuelle ou ancienne** : la salinisation peut être provoquée par un contact direct du sol avec les eaux de mer.
- **Origine continentale ou géologique** : les sels solubles proviennent des couches sédimentaires salifères (ou évaporites).
- **Origine volcanique** : les sels solubles proviennent de certaines manifestations posthumes du volcanisme.

A chacune de ces origines correspondent un ou plusieurs modes de salinisation (Gaucher *et al.*, 1974).

Modes de salinisation :

- **La salinisation marine** : peut être provoquée par quatre (4) processus :
 - Le **premier**, consiste dans une submersion des terrains par la mer au cours des tempêtes, des marées exceptionnelles et des raz-de-marées.

- Le **deuxième**, processus de salinisation marine, est déclenché par les infiltrations de la mer dans une nappe phréatique littorale, constituée originellement par des eaux douces, celle-ci devient saumâtre ; la contamination des terres s'opère soit naturellement, à la suite d'une remontée du niveau phréatique, soit par l'intervention de l'homme, qui procède à des pompages inconsidérés dans la nappe et à des irrigations aux moyens d'eaux salées.
- Le **troisième**, processus de salinisation marine, consiste en l'apport de sel par les embruns que le vent rabat sur la terre et la végétation.
- Le **quatrième**, processus de salinisation marine, se développe au cours de la genèse des dépôts littoraux. Les vases marines, qui se fixent et s'accumulent sur certaines côtes, sont imprégnées de salant marin, et les sols qui en dérivent, sont donc salés congénitalement.

Il est à noter, au niveau de ces quatre processus, que la dominance du chlorure de sodium constitue la caractéristique de salure d'origine marine, actuelle ou récente (**Gaucher et al., 1974**).

- **La salinisation d'origine continentale ou géologique** : les formations gypso-salines, placées en relief par la tectonique, contribuent à saliniser les terrains situés en contrebas, par les sédiments salés qu'ils fournissent aux eaux de ruissellement et par la salure qu'ils communiquent aux eaux qui sont entrées en contact avec elles.
- **La salinisation d'origine volcanique** : l'altération des roches volcaniques fournit fréquemment du carbonate de sodium, qui conduit à des phénomènes pédologiques d'alcalinisation (**Gaucher et al., 1974**).

Les eaux thermo-minérales, qui accompagnent les volcans, contiennent entre autres des sulfates et chlorures divers, des bicarbonates et carbonates alcalins et alcalino-terreux, qui produisent une alcalinisation des sols (**Durand, 1983**).

I.2.1.2. La salinisation secondaire :

La salinisation secondaire est un processus ultérieur à la formation du sol, le caractère salin du sol est induit par plusieurs mécanismes :

- d'une part, la salinisation est due à la remontée d'une nappe phréatique peu profonde, formée par des eaux salines, l'eau remontera par capillarité et s'évaporerait dans le sol pendant les périodes sèches (**Durand, 1983**).
- D'autre part, l'halomorphie peut provenir des eaux d'irrigations salines en milieu mal drainé (**Durand, 1983**).
- De plus, la salinisation secondaire se produit lorsque l'eau d'irrigation est distribuée en quantité trop faible pour qu'il y ait percolation ; le terrain retient toute l'eau distribuée qui y dépose ces sels (**Durand, 1983**).
- Enfin, la salinisation secondaire peut être provoquée par une incursion de la mer vers les plaines littorales, même si le contact est direct. Cette salinisation affecte des sols dont la pédogenèse est déjà prononcée (**Gaucher et al., 1974**).

I.2.2. Le mouvement des sels solubles dans le sol :

Les sels solubles, présents dans le sol, sont mobiles et vont se déplacer sous l'action de divers processus. Les sels les plus mobiles sont évidemment les plus solubles, leurs mouvements sont conditionnés par l'eau qui imprègne le sol. A cet effet, trois (3) grands mouvements de sels peuvent être distingués : la lixiviation, la capillarité et la thermodialyse.

I.2.2.1. La lixiviation des sels solubles :

L'eau s'infiltré dans le sol, elle dissout les sels selon leur ordre de solubilité et les entraîne en profondeur. Pendant son mouvement, la solution se concentre sous l'influence de l'évaporation et l'absorption des végétaux (**Durand, 1983**).

I.2.2.2. La capillarité :

La remontée capillaire des sels solubles a longtemps été évoquée pour expliquer la salure de certains sols, pourtant il n'est pas évident que cette remontée soit la principale cause de la formation des sols salés. La période nécessaire pour une remontée capillaire de un (1) mètre est en moyenne de deux (2) ans. Elle dépend de la perméabilité des sols et, par conséquent, de leur texture et de leur structure (**Durand, 1983**).

I.2.2.3. La thermodialyse :

Il a été constaté qu'au niveau des sols salés, les sels ont tendance à migrer vers les parties les plus chaudes du profil, c'est le phénomène de thermodialyse. C'est sans doute ce phénomène qui est à l'origine de la présence de certains sels, tels que les chlorures dans les horizons superficiels de certains sols (**Durand, 1983**).

I.3. Les grandeurs utilisées pour caractériser les sols salés :**I.3.1. La conductivité électrique CE :**

La présence d'ions en solution est à l'origine d'une conductivité électrique ; c'est pourquoi cette propriété est utilisée pour caractériser les sols. Plus la quantité des sels dissous est grande et plus la CE de la pâte saturée est grande (**Calvet, 2003**), généralement la CE s'exprime en dS /m.

La salinité peut s'exprimer en g/l de NaCl, en utilisant la formule approchée :

1 mmhos/cm = (58.12)/100g/l de NaCl. Actuellement, on utilise le mS/cm au lieu du mmhos/cm.

I.3.2. La quantité de sodium adsorbé :

La sodicité d'une eau est la propriété de cette eau à modifier le pourcentage des cations échangeables et, notamment, d'augmenter le pourcentage de Na⁺, quand elle est mise en contact prolongé avec le sol. **Calvet (2003)**, montre une relation entre le taux de Na⁺ échangeable, d'un sol en équilibre avec sa solution saline, et le taux de Na⁺ de cette solution, cette relation dépend de l'expression :

$$SAR \text{ meq/l} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

I.3.3. Le pourcentage de sodium échangeable (exchangeable sodium percentage ESP) :

Il représente le pourcentage de sodium présent sur le complexe d'échange.

$$ESP\% = \frac{Na^+ \times 100}{CEC}$$

I.4. La salinité et la sodicité des sols :

I.4.1. Les sols salés :

On parlera, en général, de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/l, cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturé, exprimée en millimhos/cm ou, actuellement, en décisiemens/m (**Robert, 1996**).

Un sol est dit salé, quand la conductivité électrique CE est supérieure à 4 dS/m, cependant la salinité d'un sol s'apprécie plus par le comportement des plantes de sorte que cette limite peut être très différente, selon la sensibilité des espèces végétales (**Calvet, 2003**).

D'après **Cherbuy (1991)**, la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être soit un matériau géologique, soit l'eau de mer, soit une nappe phréatique salée par héritage, soit l'eau d'irrigation.

I.4.2. Les sols sodiques :

Ces sols ont un pourcentage en sodium échangeable supérieur ou égale à 15% et une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée inférieure à 4 dS/m à 25°C. Le pH de ces sols est compris entre 8,5 et 10.

La dispersion et la dissolution de la matière organique, présente dans la solution du sol, peut être déposée à la surface du sol par évaporation, ceci donne naissance au salant noir (black alkali).

Le sodium échangeable, présent dans les sols non salins et alcalins, a une influence néfaste sur les propriétés physico-chimiques, la dispersion des colloïdes augmente proportionnellement au pourcentage du sodium échangeable.

Le pH peut atteindre des valeurs supérieures à 10, à ce stade d'alcalinisation, avec la présence d'une quantité importante des carbonates, le calcium ainsi que le magnésium peuvent être précipités (**tableau n° 01**) (**Maillard, 2001**).

Tableau n° 01: Résumé des caractéristiques des sols salins et alcalins (Maillard, 2001).

Caractéristiques	Sols salins	Sols alcalins
Chimique	Dominé par des sels solubles neutres : chlorure et sulfates de sodium, calcium et magnésium.	Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na_2CO_3).
	pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages)	Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10.
	Une électro – conductivité (EC) de l'extrait de sol saturé de plus de 4 dS/m à 25°C est en général la limite acceptée.	Le pourcentage de sodium échangeable (Exchangeable sodium pourcentage ou ESP) de 15 est la limite admise au – delà de laquelle le sol est qualifié d'alcalin. L'EC est généralement de moins de 4 dS/m mais peut être plus importante au cas où des quantités de Na_2CO_3 seraient présentes.
	Généralement pas de relation bien définie entre le pH de l'extrait de sol saturé et l'ESP ou le coefficient d'absorption du Sodium (Sodium absorption ration ou SAR) de l'extrait de sol saturé.	Bonne relation entre le pH du sol et l'ESP ou le CAS, de telle sorte que le pH peut être utilisé comme index approximatif du degré d'alcalinité.
	Des quantités appréciables de composés calciques solubles peuvent se trouver (tel que le gypse).	Le gypse est pratiquement toujours absent.
Physique	En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».	La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Effet sur la croissance des plantes	La croissance des plantes est affectée par l'action des sels solubles sur la pression osmotique de la solution du sol résultant en une diminution de disponibilité en eau.	La croissance des plantes est affectée par l'action de dispersion du sodium échangeable dégradant les propriétés physiques du sol.
	Toxicité des ions tels que les ions Na, Cl, B, etc.	A travers le pH élevé du sol causant des déséquilibres nutritionnels incluant notamment une déficience en calcium.
	A travers la toxicité d'ions tels que les ions Na, CO_3 , Mo, etc.	
Amélioration du sol	L'amélioration des sols salins se fait par le lessivage des sels solubles dans la zone racinaire du sol. L'application d'amendements n'est généralement pas nécessaire.	L'amélioration des sols alcalins se fait essentiellement par remplacement du sodium sur le complexe échangeable du sol par du calcium à travers des amendements, le lessivage et le drainage des sels après réaction avec l'amendement et le sodium échangeable.
Distribution géographique	Les sols salins dominent dans les régions arides et semi-arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub-humides.

I.5. L'évolution de la salinité en fonction du temps :

Les paramètres qui peuvent provoquer une évolution rapide de la salinité dans le temps, sont :

- **La déficience du réseau du drainage :** l'absence de drainage convenable risque d'entraîner une remontée du niveau de la nappe, la remontée capillaire augmente la salinité (FAO, 1972),
- **La texture des sols :** un sol argileux accumule davantage de sels solubles qu'un sol sableux à cause de ses propriétés physiques (perméabilité, capacité de rétention, la circulation de l'eau) (Durand, 1983 ; FAO, 1990),
- **La qualité de l'eau d'irrigation :** Les eaux d'irrigation contiennent une certaine quantité de sels dans une mesure qui dépend de leur origine. Il s'ensuit qu'à chaque irrigation, on ajoute une certaine quantité de sels au sol. Si nous prenons pour hypothèse une eau d'irrigation de bonne qualité, contenant 400 ppm de sels solubles et des besoins en eau d'irrigation représentant une hauteur de 1500 mm environ, la quantité de sels ajoutée au sol chaque année s'élève à environ 6 tonnes à l'hectare. Si l'on suppose par ailleurs qu'en raison d'un manque de lessivage, des techniques d'irrigation mal adaptées et d'une mauvaise infiltration, on laisse les sels apportés par l'irrigation s'accumuler dans les 50 premiers centimètres du profil, on peut déduire que la teneur en sels de cette couche du sol augmentera d'environ 0.50 % en moins de 7 ans. Or, il s'agit là d'un taux de salinité trop élevé pour que la plupart des plantes cultivées aient une production rentable (FAO, 1990).
- **La topographie :** la saturation des sols se manifeste essentiellement dans les terres basses où le drainage interne est médiocre (FAO, 1972). Dans ces conditions, la présence d'une nappe peu profonde est souvent signalée (U.S.S.L., 1954 ; FAO, 1972).

I.6. Les conséquences de la salinité

I.6.1. Les effets de la salinité sur les propriétés du sol :

I.6.1.1. Les effets sur la structure :

Les cations sodium tendent à provoquer la destruction de la structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux d'une façon générale, la dispersion dépend de deux (2) facteurs :

- La quantité de cations Na⁺ adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion.
- La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (Calvet, 2003).

I.6.1.2. L'effet sur la perméabilité :

La diminution de la perméabilité des sols salés à alcalis est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na⁺ (Derdour, 1981). Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action flocculant des sels, puis elle se maintient constante (Demelon, 1966).

I.6.1.3. L'effet sur le pH :

La réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont neutre (CaSO_4 , MgSO_4), d'autres sont alcalinisant (NaHCO_3 , CaCO_3 , NaCO_3).

I.6.1.4. L'effet sur la fertilité chimique des sols :

La faible fertilité des sols salés est généralement liée à la présence de sels solubles, en particulier les sels de sodium (**Szabolcs, 1944**). L'étude de l'interaction entre la salinité et la fertilité sur la croissance, la composition minérale et le métabolisme de l'azote des plantes, a montré que la salinité diminue la fertilité du sol (**Garg, 1993**).

I.6.2. L'effet sur les végétaux :

La richesse en sels solubles ou les mauvaises qualités physiques des sols salsodiques conduisent à une spécialisation de la végétation et même à sa disparition totale, lorsque dans la solution du sol, la pression osmotique créée par les sels (**FAO, 2005**), ou la toxicité spécifique de certains ions devient trop élevée, comme le bore et surtout l'ion chlorure (**Ayers, 1978**).

Les grandes concentrations en sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène. Elles ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes.

Les effets néfastes des sels sur les végétaux ont plusieurs causes, dont aucune ne semble être dominante :

- La pression osmotique élevée de la solution du sol qui limite la biodisponibilité de l'eau.
- La pression osmotique intracellulaire élevée due à l'absorption des sels et qui aurait des effets inhibiteurs sur la croissance.
- La toxicité propre de certains éléments chimiques liée à leur quantité excessive, comme le bore et surtout l'anion chlore (**tableau n° 02**) (**Calvet, 2003**).

Tableau n° 02 : Classe de salinité des sols et effets sur la croissance des plantes (Calvet, 2003).

Classe	C.E (dS/m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0-2	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2-4	La production de certaines plantes sensibles peut être affectée (ex : tomate, haricot...)
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est restreinte
Fortement salins	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante (ex : asperge)
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante

I.6.3. L'effet sur les micro-organismes du sol :

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité, ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle du micro-organisme

plus difficile (**Aubert, 1988**). Une forte salinité exerce également une action d'inhibition de l'activité des micro-organismes.

Dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique. Donc le sel influe sur l'activité biologique du sol et la nature des produits humiques formés, ainsi que le cycle biochimique des éléments minéraux (**Gallali, 1980**).

Selon **Dellal et al. (1992)**, la densité des micro-organismes est plus élevée dans les sols non salés ; par contre, dans les sols excessivement salés (22 dS.m^{-1}) il note une chute brutale de la population microbienne, ainsi que le nombre de germes nitrifiants et ammonifiants diminue fortement. Dans ce type de sols excessivement salés atteignant ce seuil de salinité, il en résulte l'inhibition de certains processus microbiens particulièrement, la nitrification. Une forte salinité exerce une action d'inhibition de l'activité des micros-organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la maturation de la matière organique (**Benzahi, 1994**).

I.7. La classification des sols salés

I.7.1. La classification Française (CPCS, 1967) :

Les sols salés sont nommés dans la classification Française sols sodiques, leur évolution est dominée soit par :

La présence de sels solubles en quantité suffisante pour y élever la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée jusqu'à au moins 7 mmhos/cm à 25°C, sur l'ensemble du profil pendant une période de l'année.

Soit par la présence du sodium échangeable et/ou magnésium échangeable, à une teneur d'au moins 10% de capacité d'échange cationique (**tableau n° 03**).

Tableau n° 03 : Classification des sols salés, selon la classification Française (CPCS, 1967).

LES SOLS SODIQUES	
S.C. des sols sodiques à structure non dégradée	S.C. des sols sodiques à structure dégradée
Groupe des sols salins (Solontchack)	1. Groupe des sols salins à alcalins (Solontchack-Solonetz)
2. S/G à efflorescences salines 3. S/G à horizon superficiel friable 4. S/G à encroûtement salin superficiel 5. S/G Acidifié (oxydation des sulfures)	a. S/G à structure poudreuse de l'horizon superficiel pendant la saison sèche b. S/G des sols moyennement ou peu salins à alcalins, avec une structure diffuse et massive en surface
	2. Groupe des sols sodiques à horizon B (Solonetz), avec un profil de type A,B,C.
	a. S/G à structure en colonnettes de l'horizon B b. S/G à structure prismatique et massive de l'horizon B
	3. Groupe des sols sodiques à horizon blanchi (solodisés)
	1. S/G des solonetz solodisés 2. S/G des solods

I.7.2. La base de référence mondiale en ressources en sols (WRB, 2006) :

Les sols salés sont classés dans deux grands groupes de référence, à savoir :

1. Groupe des Solontchak.
2. Groupe des Solonetz.

I.7.2.1. Les Solontchak :

Ce sont des sols qui sont caractérisés par :

- Un horizon salique dans les 50 premiers centimètres de la surface du sol,
- N'ayant aucun horizon diagnostique autres que : histique, mollique, ochrique, takyrique, yermique, calcique, cambrique, durique, gypsique ou vertique.

L'horizon salique, est un horizon situé en surface ou à faible profondeur et qui est caractérisé par un enrichissement secondaire en sels facilement solubles.

- **Critères diagnostiques** :

Un horizon salique doit avoir sur toute sa profondeur :

- a) Une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée, supérieure à 15 dS/m à 25°C, à certains moments de l'année ;
- b) Une conductivité électrique de plus de 8 dS/m à 25°C, si le pH (H₂O) de l'extrait de pâte saturée dépasse 8.5, pour les sols carbonatés alcalins, ou inférieur à 3.5 (pour les sols sulfatés acides) ;
- c) Un minimum de 1 pour cent de sels ;
- d) Un produit de l'épaisseur (en cm) par le pourcentage de sels d'au moins 60 ;
- e) Une épaisseur d'au moins 15 cm.

I.7.2.2. Les Solonetz :

Ce sont des sols caractérisés par un horizon natrique dans les 100 premiers cm de la surface du sol minéral.

L'horizon natrique, est un horizon de surface dense, dont la teneur en argile est plus élevée que celle de l'horizon (ou des horizons) sus-jacents, un pH (H₂O) élevé et souvent supérieur à 9. De plus, il a une teneur élevée en sodium et/ou en magnésium échangeables.

- **Critères diagnostiques** :

Un horizon natrique doit avoir :

- a) Une texture sablo-limoneuse, ou plus fine, et au moins 8% d'argile dans la fraction de terre fine ;
- b) Plus d'argile totale que l'horizon de texture plus grossière sus-jacent (à l'exclusion de différences dues uniquement à une discontinuité lithologique) ;
- c) Une augmentation de la teneur en argile sur une distance verticale de 30 cm, si l'horizon est formé par illuviation d'argile. Dans tout autre cas, l'augmentation de la teneur en argile entre l'horizon sus-jacent et l'horizon natrique doit être atteinte sur une distance verticale de 15 cm ;
- d) Une absence de structure de roche sur plus de la moitié du volume de l'horizon ;
- e) Une structure colonnaire ou prismatique dans la partie de l'horizon, ou une structure polyédrique avec langues d'un horizon éluvial dans lequel sont présents des grains de

limon et de sable non revêtus. Ces langues doivent pénétrer de plus de 2.5 cm à l'intérieur de l'horizon ;

- f) Un pourcentage de sodium échangeable, de 15% dans les 40 premiers cm, ou plus de magnésium et sodium échangeables que de calcium, plus l'acidité d'échange (à pH 8.2) sur la même profondeur, si la saturation en sodium échangeable est supérieure à 15% dans un sous-horizon quelconque, situé dans les 200 premiers cm du sol ;
- g) Une épaisseur d'au moins un dixième de la somme de l'épaisseur de tous les horizons sus-jacents ou d'au moins 7.5 cm.

I.8. Les sols salés dans le monde :

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (Durand, 1983 ; FAO, 2005). La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares (tableau n° 04), soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008).

Tableau n° 04 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centrale	2
Asie du Sud-est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du Sud	87,6
Total	954,8

Les sols salés ou sols halomorphes, appelés actuellement sols salsodiques, représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde. On les trouve essentiellement dans les régions sèches(arides et semi-arides) (figure n° 01) (Cherbuy, 1991).

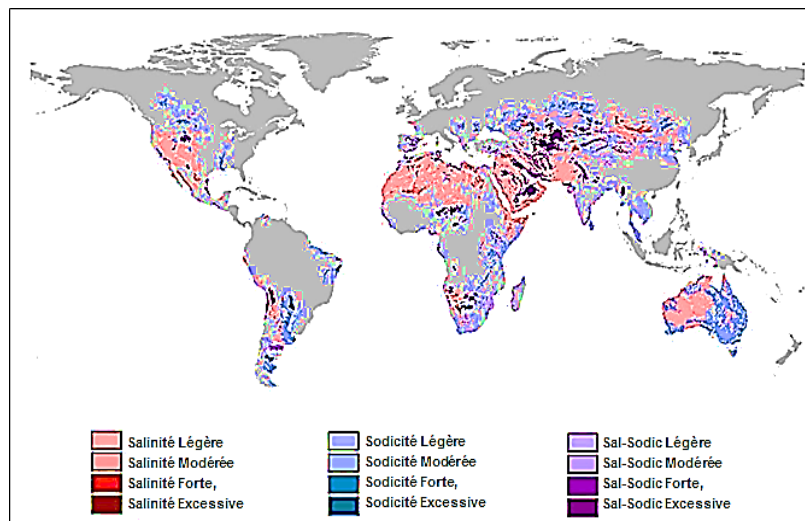


Figure n° 01 : Types et niveaux de gravité des sols affectés par les sels (Cherbuy, 1991).

I.9. La répartition des sols en Algérie :

La répartition des sols présente une zonation qui reflète celle du climat. Cependant, elle est largement modifiée par l'influence de la nature des roches-mères, du relief, de l'eau, de la végétation, ainsi que des facteurs biotiques et anthropogènes.

On rencontre différents types de sols :

- Sols bruns lessivés et sols bruns calcaires, dans les bioclimats humides et sub-humides (Luvisols, Calcisols).
- Sols châtains et bruns isohumiques, souvent avec des accumulations calcaires en profondeur, dans les bioclimats arides et semi-arides (Kastanozems, Calcisols).
- Sols gris subdésertiques, minéraux bruts d'érosion ou d'apport, ainsi que des sols salins aux bioclimats arides et désertiques (Regosols, Solontchaks).

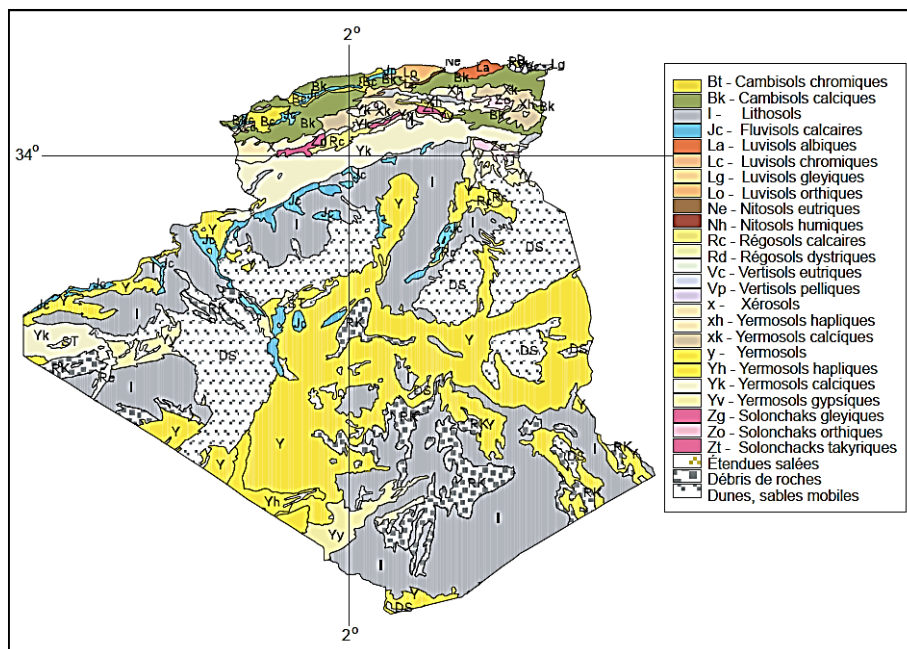


Figure n° 02 : Différents types de sols en Algérie (FAO, 2005).

I.10. La distribution des sols salés en Algérie :

Ils sont très répandus en Algérie, particulièrement, en zones arides à semi-aride, mais nous les rencontrons également sous climat subhumide. Leur conductivité électrique (CE) y est supérieure à 7 mmhos/cm, à 25°C, sur tout le profil, et le rapport $\text{Na}^+,100/\text{CEC}$, y est très variable (5 à 60%). Le calcaire y est presque toujours présent, à l'exception des centres de Sebkhia sur sables siliceux (figure n° 03) (Halitim, 1988 ; INSID 2008).

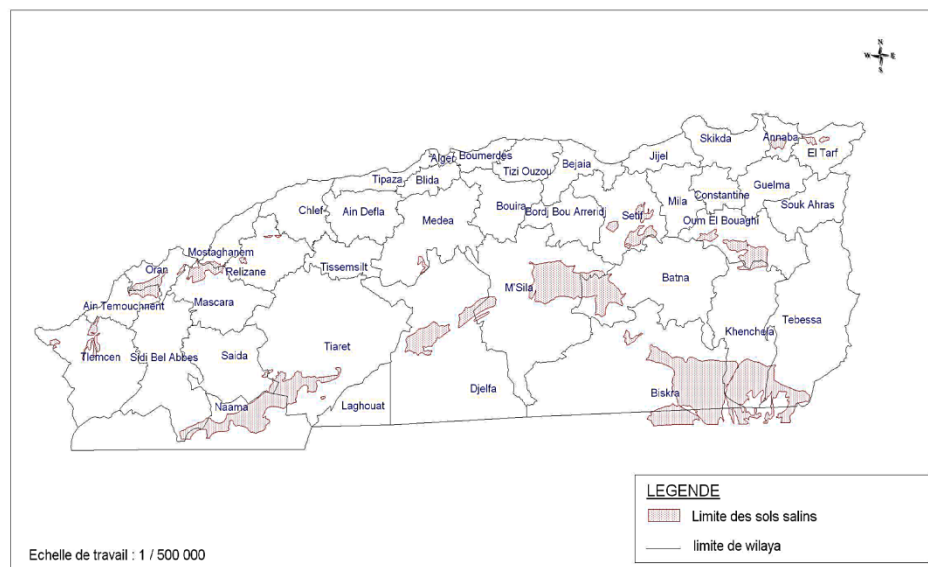


Figure n° 03 : Répartition des sols salins du nord de l'Algérie (INSID 2008).

Les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Ils sont localisés du Nord au Sud, l'isohyète 450 mm semble être la limite supérieure des sols fortement sodiques (Djili, 2000). Selon (FAO, 2005). On rencontre plusieurs types de sols salés en Algérie, localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi-arides.

D'après Szabolcs (1989), le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Les couches géologiques salifères existant en Algérie et pouvant être à l'origine de la formation des sols sont présentées dans le tableau n° 05 (Gaucher, 1947, in Durand, 1958).

Tableau n° 05 : Couches géologiques salifères existant en Algérie (Gaucher, 1947, in Durand, 1958).

Couches géologiques	Localisation
Trias	Partout
Albien	Hauts plateaux de l'Est Algérien
Turonien	Hauts plateaux de l'Est Algérien
Santonien	Hauts plateaux
Sénonien	Sud-est Algérie
Suessonien	Atlas tellien et hauts plateaux
Lutétien	Sud-centre et Sud-est Algérien
Eocène supérieur	Algérois
Oligocène continental	Partout
Caténién	Mitidja, Nord-est, Nord-ouest Algérien
Helvétien	Vallée du Cheliff et Nord-ouest
Vindobonien	Nord-est Algérien
Sarmatien	Nord-est Algérien
Sahélien	Nord-ouest Algérien
Pliocène continental	Bassins fermés des hauts plateaux et Sud Algérien
Quaternaire	Plaines littorales du Nord-ouest Algérien et dépressions fermées

Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra, Sig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...) (tableau n° 06) (**ONHYD (ex. AGID) 2003**).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être. Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina, près de Relizane, sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts, comme le chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes, au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (**Durand, 1983**).

D'après **Halitim (1988)**, dans les régions arides, les sols représentent environ 25 % de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (**Hamdi, 1999**). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (**Daoud, 1999**).

Tableau n° 06: Aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays (ONHYD (ex. AGID) 2003).

Périmètres irrigués	Superficies irrigables	Superficies affectées	%
Haut Cheliff	20200	6400	32
Moyen Cheliff	21800	8700	40
Bas Cheliff	22500	15000	67
Mina	9600	4190	44
Habra	19600	8100	41
Sig	8600	3200	37



Chapitre II

NAPPES D'EAU



II. Les nappes d'eau

II.1. Introduction :

Les eaux souterraines remplissent entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère), de telle sorte qu'il y ait toujours liaison par l'eau entre les pores. Une nappe se forme par accumulation des eaux d'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit leur progression vers le bas. L'eau remplit par gravité toutes les cavités accessibles du terrain jusqu'à un niveau dit surface libre, qui est la surface à laquelle l'eau se stabilise dans les puits atteignant cette nappe. Par un phénomène de capillarité, l'eau remplit encore un peu plus haut, les pores des roches jusqu'à un niveau appelé surface de la nappe. Cette tranche de terrain, où toutes les cavités accessibles sont remplies d'eau, est appelée zone de saturation. Au-dessus, vient une zone non saturée ou zone d'aération, où circulent des eaux vadoses, et vers le bas de laquelle l'eau monte par capillarité. La partie contenant de l'eau capillaire est la frange capillaire. Ce type de nappe est appelé nappe libre, par opposition aux nappes captives, ou nappes artésiennes, qui sont emprisonnées entre deux terrains imperméables et ne comprennent qu'une zone saturée (Foucault *et al.*, 2005).

II.2. Quelques définitions sur le milieu souterrain

II.2.1. Le système aquifère :

C'est l'espace du sous-sol contenant une ressource identifiable et gérable, en tant que telle la tendance naturelle de l'eau est de s'écouler toujours vers un "niveau de base", qui est celui de la mer. Elle peut être momentanément ralentie, piégée et peut s'accumuler dans des formations géologiques lui offrant cette place.

Un système aquifère est donc l'ensemble d'un réservoir naturel souterrain et de l'eau qu'il contient, ou qui le traverse (Gilbert, 1998).

II.2.2. L'aquifère :

L'eau souterraine, exploitée par les hydrogéologues, est contenue et se déplace selon les gradients d'élévation et de pression dans les formations géologiques poreuses et perméables (à des degrés divers). L'ensemble formation-eau souterraine est appelé aquifère. On appelle aquifère un corps de roche perméable comportant une zone saturée – ensemble du milieu solide et de l'eau contenue – suffisamment conductrice d'eau souterraine, pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités (Gilbert, 1998).

On distingue, d'une manière générale, trois (3) types d'aquifères :

- a. Aquifères en roches meubles,
 - b. Aquifères en roches karstiques,
 - c. Aquifères en roches fissurées.
- ✓ Les **aquifères en roches meubles**, sont caractérisés par une structure et une granulométrie très irrégulière. Leur perméabilité, leur capacité de filtration et leur capacité d'emménagement varient donc, rapidement, d'un point à l'autre (Office Fédéral de l'Environnement, 2004).
 - ✓ Les **régions karstiques**, se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique

superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes.

- ✓ Dans les **roches fissurées**, l'eau suit les discontinuités ouvertes, diaclases, fractures et joints de stratification, qui forment un réseau continu, plus ou moins ramifié. La vitesse d'écoulement dépend de l'ouverture des fissures, de leur fréquence et de leur degré d'interconnexion. La capacité d'emménagement reste le plus souvent faible (Riccardo *et al.*, 2004).

II.2.3. La nappe d'eau souterraine :

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Le mouvement de l'eau est fonction des gradients d'élévation et de pression (Gilbert, 1998).

II.3. La classification des nappes :

II.3.1. La classification selon des critères piézométriques :

On peut classer les nappes selon les critères piézométriques, comme suit :

- a. Les nappes libres ;
- b. Les nappes captives ;
- c. Les nappes semi-captives.

a) Les nappes libres :

Dans une nappe libre, la surface piézométrique peut, en fonction des conditions climatiques et de la recharge de la nappe par les précipitations, fluctuer "librement" dans la formation aquifère considérée, car celle-ci s'étend au-dessus de la surface piézométrique (**figure n° 04**) (Gilbert, 1998).

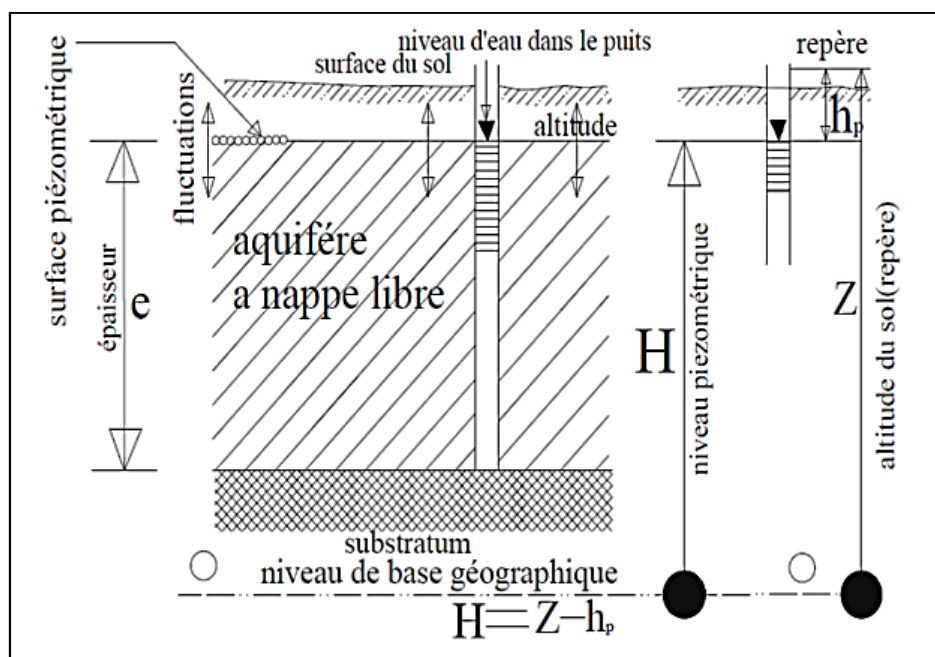


Figure n° 04 : Schéma de l'aquifère à nappe libre (Gilbert, 1998).

b) Les nappes captives :

Dans une nappe captive, la formation aquifère est surmontée d'une couche imperméable. Son niveau piézométrique s'équilibre systématiquement au-dessus du toit de la formation aquifère. Parfois, le niveau piézométrique est supérieur à la cote altimétrique du sol créant, si une connexion est établie (notamment par forage), un phénomène d'artésianisme (**figure n° 05**) (Gilbert, 1998).

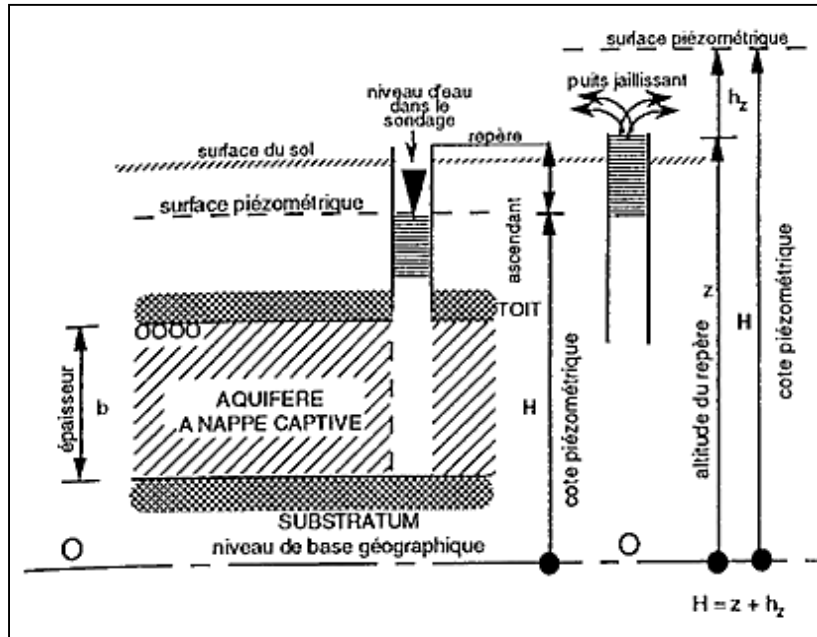


Figure n° 05 : Schéma de l'aquifère à nappe captive (Gilbert, 1998).

c) Les nappes semi-captives :

Le terme de nappe semi-captive est utilisé lorsque l'aquifère est surmonté d'une couche de plus faible perméabilité ou semi-perméable (**figure n° 06**) (Gilbert, 1998).

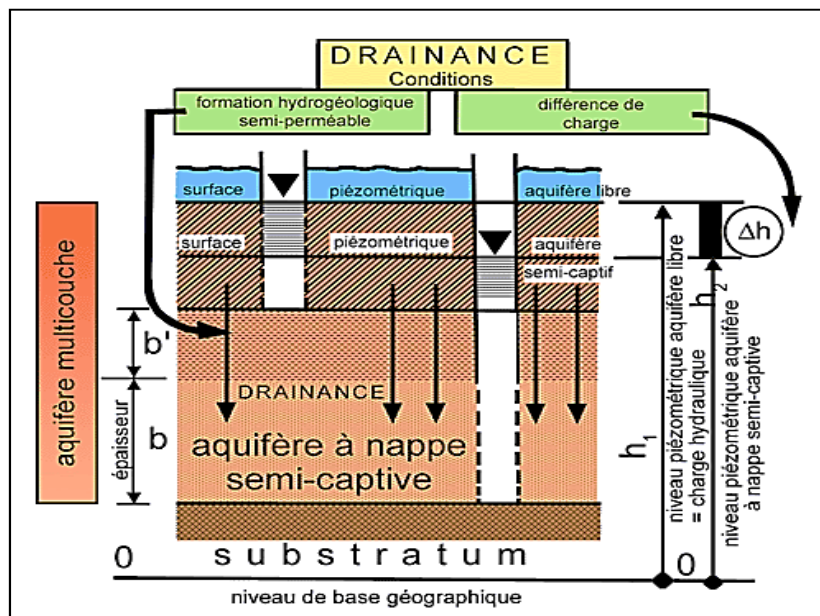


Figure n° 06 : Schéma de l'aquifère à nappe semi-captive (Gilbert, 1998).

II.4. Les conditions favorisant la présence des eaux souterraines :

D'après **Mabilhot (1995)**, l'eau se trouve dans le sol soit dans des roches compactes et fissurées, soit dans des formations non cimentées. Les mouvements des eaux souterraines sont conditionnés par des caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, capacité de réserve et gradient hydraulique) de l'aquifère.

II.5. Les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux souterraines :

Il y a beaucoup de sources possibles qui donnent des sels aux environnements salins, ces sources incluent l'eau de mer, la dissolution des roches, l'eau souterraine, l'eau de surface (inondations), les pluies et les processus éoliens. Une fois l'eau arrive au réservoir de l'eau saline, leur salinité augmente par les mécanismes d'évaporation et ou freezing. Les deux processus sont responsables de la perte de l'eau, la diminuent en volume et augmentent la salinité (**Yecheli et al., 2002**).

La chimie des eaux peut être changée par des processus différents.

II.5.1. La précipitation des sels :

Ceci est l'égout des sels dans les différents systèmes évaporitiques, une précipitation séquentielle accordant au degré de saturation pour des sels différents, suivant l'évaporation, qui va changer les eaux salines résiduelles dépendant de la composition chimique originale et des minéraux spécifiques qui se précipitent (**Eugster et al., 1978**).

II.5.2. Les processus de précipitation/dissolution :

Un des processus connu est la dolomitisation, où la calcite se dissout et la dolomite se précipite. La dolomitisation va augmenter la concentration du calcium dans les eaux salines et peut causer la précipitation du sulfate de calcium.

II.5.3. Les échanges d'ions :

Il est important dans le contrôle des taux des sels dans l'eau. Il faut noter que ce processus est probablement moins effectif dans des eaux fortement salins car la capacité d'ions spécifiques de l'argile est petite par rapport aux ions des eaux salines (**Appelot et al., 1993**).

II.5.4. La réaction de réduction associée avec la matière organique :

Elle peut être responsable pour les changements dans la chimie (**Jones et al., 1999**), particulièrement à l'interface entre les composés des eaux douces et salines (**Custidio et al., 1987**).

II.6. L'origine de la salinité des eaux souterraines :

D'après **Hadj Said (2003)**, quelques origines de la salinité des eaux souterraines sont :

1) L'évaporation intensive de la surface des eaux d'irrigation qui conduit à la précipitation des sels. Exemple : la calcite, la dolomite et le gypse, particulièrement, affectent les eaux souterraines à certaines profondeurs.

2) Le taux de recharge est un autre facteur contribuant à l'augmentation de la salinité (environ 10% des précipitations annuelles en Arabie Saoudite).

3) Le problème de la salinité peut être dû aux matériaux fins dans la formation de l'aquifère.

II.7. Les eaux souterraines et leurs effets sur la salinité du sol :

Le phénomène de salinisation peut être lié soit à la présence d'une nappe salée permanente en profondeur, susceptible de remonter par capillarité dans les horizons supérieurs, soit à la présence d'un sol très peu perméable à faible drainage naturel (sol argileux) (**Cherbuy, 1991**).

II.8. L'origine des nappes phréatiques :

Selon **Mabilot (1995)**, l'existence d'une nappe phréatique à faible profondeur (30cm) est liée à un mauvais drainage des eaux, la pluviométrie ne peut pas être évoquée pour expliquer leur maintien tout au long de l'année, sous un climat aride.

- Une alimentation continue dans le temps rend possible leur existence.
- La texture du sol (horizon à texture fine, compact et peu drainant) et la topographie jouent un rôle non négligeable pour favoriser la présence d'une nappe.
- La pluie, l'irrigation, la végétation et l'écoulement latéral sont les principaux apports alimentant les nappes phréatiques.

II.9. La classification des nappes phréatiques :

En fonction de l'extrait sec, **Servant *et al.* (1966)**, donne la classification suivante (tableau n° 07) :

Tableau n° 07 : Classification des nappes phréatiques (Servant *et al.*, 1966).

Extrait sec (g/l)	Différents types de nappes
< 0.5	Nappe douce
0.5 – 4.5	Nappe très faiblement salée
4.5 – 10	Nappe faiblement salée
10 – 25	Nappe moyennement salée
25 – 45	Nappe fortement salée
45 – 100	Nappe très fortement salée
> 100	Nappe excessivement salée

II.10. Les caractéristiques des eaux phréatiques :

II.10.1. La salinité globale :

La conductivité électrique est liée à la pression osmotique (P0) par la formule suivante, où K dépend de la nature du sol.

$$P0 = KCE \quad K = 0.35 \text{ pour NaCl} \quad K = 0.30 \text{ pour Na}_2\text{SO}_4 \quad K = 0.28 \text{ pour Mg SO}_4.$$

II.10.2. La sodicité :

La sodicité d'une eau traduit la propriété qu'a cette eau pour modifier la proportion des cations échangeables d'un sol et, en particulier, d'augmenter la proportion de sodium, le paramètre le plus connu est le SAR.

II.11. L'effet des nappes sur la salinisation des sols :

Les origines de la salinité se répartissent entre une origine externe, le cas de la submersion par les marées et de l'irrigation, et une origine interne, par la remontée du niveau d'une nappe salée, soit par remontée capillaire (**tableau n° 08**) (Servant, 1978).

Tableau n° 08 : Vitesse de remontée capillaire en fonction de la distance et de la texture du sol en mm/jour (Servant, 1978).

Distance à la nappe (cm)	Texture du sol			
	A et AL	L	LS	S
25	10	10	Forte	10
40	04	03	Forte	2.5
50	2.5	01	Forte	0.5
75	1	-	Forte	0.5
100	0.5	-	10	0.2
150	0.2	-	1.4	-
200	-	-	0.5	-

Avec : A : Argileuse ; AL : Argilo-limoneuse ; L : Limoneuse ; LS : Limono-sableuse ; S : Sableuse.

Hachicha *et al.* (1997), montre que la répartition des sels dans le profil est régie par :

- La profondeur de la nappe
- La texture du sol
- La durée de la sécheresse.

Le profil salin lié à la présence d'une nappe peu profonde est représenté sur la **figure n°7** (Cherbuy, 1991).

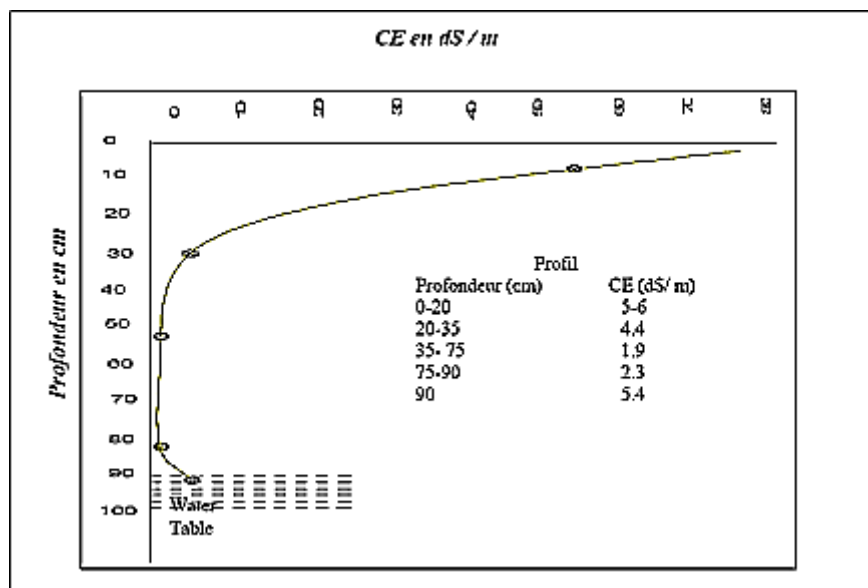


Figure n° 07 : Profil salin lié à la présence d'une nappe profonde (Cherbuy, 1991).

L'importance de l'ascension capillaire, dépend de :

- La salinité de la nappe
- Bilan P/ETP
- La conductivité hydraulique du matériau, vis-à-vis de la solution saline qui dépend de la structure et de la texture du sol.

Le **tableau n° 08**, ci-dessus, montre que la vitesse de la remontée capillaire est particulièrement élevée dans les sols de texture limono-sableuse. La distance à laquelle il apparaît nécessaire de maintenir le plan d'eau pour que la vitesse de l'extension soit inférieure à 0.5 mm/ jour, est appelée profondeur critique de la nappe (**Servant, 1978**).

II.12. Les accumulations à l'origine de la nappe phréatique :

II.12.1. Les accumulation gypseuses :

Les travaux de **Dubost (1991)**, dans la région des Zibans, confirment qu'à la zone de fluctuation de la nappe phréatique, il se forme habituellement deux horizons distincts, l'un gypseux, entre 50 et 110 cm de profondeur, et l'autre calcaire, entre 110 et 150 cm.

II.12.2. Les accumulations calcaires :

Les eaux d'infiltration, où les eaux de nappes, saturées en calcium, remontent par capillarité pendant la saison estivale et déposent le CaCO_3 dans les horizons supérieurs du sol (**Dubost, 1991**).

II.12.3. Le salant blanc :

Quand la nappe est très minéralisée et proche du sol, une accumulation sous forme de salant blanc devient très fréquente.



Chapitre III

MICRO-ORGANISMES DU SOL



III. Les micro-organismes du sol :

III.1. Introduction :

La microflore tellurique, ou microflore du sol, joue un rôle essentiel dans la formation, l'évolution et la géochimie des sols. Cette microflore est principalement hétérotrophe. Les plantes (autotrophes) constituent la source primaire des composés organiques qui permettent l'activité et la multiplication des populations microbiennes.

Ces populations, assemblées en communautés, sont denses et diversifiées ; les sols constituent ainsi un réservoir exceptionnel de gènes différents qui déterminent des activités variées, influençant la qualité des sols (**Dommergues, 1977**).

La microflore du sol est composée d'espèces appartenant aux groupes suivants : bactéries, actinomycètes, champignons, algues, protozoaires et virus (**tableaux n° 09 et 10**) (**Giasson *et al.*, 2008**).

Tableau n° 09 : Nombre de la microflore du sol relatif dans les 15 cm supérieurs du sol (Giasson *et al.*, 2008).

Groupe	/m	/g	Kg/h	g/m ²
Bactéries	10 ¹³ - 10 ¹⁴	10 ⁸ - 10 ⁹	40 – 500	40 - 500
Actinomycètes	10 ¹² - 10 ¹³	10 ⁷ - 10 ⁸	40 – 5000	40 – 500
Champignons	10 ¹⁰ - 10 ¹¹	10 ⁵ - 10 ⁶	1000 – 15000	100 – 1500
Algues	10 ⁹ - 10 ¹⁰	10 ⁴ - 10 ⁵	10 - 500	1 - 5

Tableau n° 10 : Nombre de groupes microbiens du sol (Giasson *et al.*, 2008).

Groupe	Nombre d'espèces			Espèces dans la collection	
	Estimation	Description	% estimé des espèces décrites	Nombre	% estimé total
Bactéries	30.000	3.000	10%	2.300	1%
Actinomycètes	1,500.000	69.000	5%	11.500	0.8%
Champignons	60.000	40.000	67%	1.600	2.5%
Algues	130.000	5.000	4%	2.200	2%

III.2. Les Bactéries :

De tous les micro-organismes du sol, ce sont les plus nombreux, ce sont des organismes unicellulaires de taille ne dépassant pas, en général, 0,5 à 01 µm de diamètre, et de 02 µm, de long (**Dommergues, 1977**).

Elles sont de formes variées et sont responsables d'un certain nombre de réactions biochimiques essentielles. La plupart d'entre elles sont hétérotrophes et saprophytes, elles décomposent les celluloses, les sucres qui constituent des sources d'énergie, et sont pour la plus grande part minéralisées sous forme de CO₂ (**Robert, 1992**).

Certaines bactéries, plus spécialisées, jouent un rôle particulier, les autotrophes tirent leur énergie de l'oxydation de certains composés (S, NH₃, NO₂, Fe²⁺, Mn²⁺) et assimilent le carbone du CO₂, les bactéries nitrifiantes, pour la plupart, les bactéries qui oxydent le fer et le soufre appartiennent à cette catégorie. Les bactéries du sol seront classées, ici, en relation avec leur fonction dans le sol, la plupart jouent, en effet, un rôle important dans le cycle des éléments fondamentaux du sol N, S, Fe, Mn, en particulier en intervenant dans les processus d'oxydoréduction (**Paul *et al.*, 1989**).

III.2.1. La classification des bactéries du sol :

Les bactériologues du sol cherchent à mettre en évidence des groupes bactériens qui rassemblent souvent un nombre important d'espèces taxonomiquement différentes, mais présentant des caractères ou des propriétés identiques :

- Les groupes morphologiques
- Les groupes nutritionnels
- Les groupes physiologiques ou écologiques (**Dommergues, 1977**).

a) La distinction en **groupes morphologiques**, que l'on effectue par observation directe au microscope, est fondée sur la forme et la dimension des bactéries, on peut ainsi distinguer :

- Les petites cocci, d'environ 0,5 µm de diamètre ;
- Les bâtonnets de 0,5 µm, de diamètre, et 1-3 µm, de long ;
- Les bâtonnets courts incurvés (vibrions) ;
- Les bâtonnets longs ;
- Les bâtonnets présentant parfois des ramifications ;
- Les bâtonnets fins flexibles, de moins de 0,5 mm de diamètre.

b) **Lochhead *et al.* (1943)**, montre que la **distinction nutritionnelle** est fondée sur la culture des souches isolées du sol sur des milieux de complexité croissante, qui permettent de séparer les espèces bactériennes peu exigeantes (groupe 1 à 5) des espèces beaucoup plus exigeantes (groupes 6 et 7). Les principaux groupes mis en évidence, sont les suivants :

- Bactéries capables de se développer sur un milieu de base (glucose, nitrate et sels minéraux) ;
- Bactéries exigeant, en outre, dix acides aminés ;
- Bactéries exigeant la cystéine et sept facteurs de croissance ;
- Bactéries exigeant, à la fois, des acides aminés et des facteurs de croissance ;
- Bactéries exigeant de l'extrait de levure ;
- Bactéries exigeant de l'extrait du sol ;
- Bactéries exigeant, à la fois, de l'extrait de levure et de l'extrait du sol.

- c) Par **groupe physiologique** : l'ensemble des bactéries qui présentent, toutes, la même aptitude à effectuer un type donné de réaction de biodégradation ou de biosynthèse, à partir d'un substrat défini. Parmi les nombreux groupes physiologiques, on distingue :
- Le groupe des factures d'azote,
 - Le groupe des ammonifications,
 - Le groupe des cellulolytiques.

Les bactéries les plus répandues dans le sol sont les bactéries de la famille des Corynébactériacées, qui pourraient représenter jusqu'à 65% de la microflore bactérienne totale, et les bacilles sporulés représenteraient, en gros, 25% de cette micro-population. Dans les 10% restant, se placent les genres suivants : Agrobactérium, Azotobacter, Nitrosomonas, Nitrobacter, Rhizobium, Pseudomonas, Achromobacter, Clostridium, Spirillum (**Pesson, 1971**).

III.2.2. La densité :

La densité totale des bactéries dans le sol (exprimée en nombre de cellules bactériennes par gramme du sol) est relativement difficile à évaluer. Il existe des différences considérables dans les résultats, suivant que l'on utilise des méthodes de comptage directes (par observation microscopique de suspensions-dilutions du sol) ou des méthodes de culture (sur des milieux solides ou liquides, ensemencés avec des suspensions-dilutions), ces derniers donnant des valeurs nettement inférieures.

Quoi qu'il en soit, on admet que la densité de la microflore bactérienne totale est, en générale, comprise entre 10^6 et 10^9 , dans des conditions exceptionnellement favorables (sol forestier à humus, type mull, au printemps).

III.2.3. La biomasse :

Il est, en fait, plus intéressant de connaître la biomasse (masse des organismes vivants par unité de surface) que leur densité, car cette caractéristique donne une meilleure idée de la quantité de protoplasme vivant présent dans le sol. La biomasse bactérienne est de l'ordre de 1000 à 2000 Kg/ha, dans les sols peu peuplés, et de 3000 à 7000 Kg/ha, dans les sols très riches.

III.3. Les actinomycètes :

III.3.1. Les caractères généraux :

Intermédiaires entre bactéries et champignons, les actinomycètes se caractérisent par des filaments mycéliens très ramifiés et non cloisonnés (**Duchaufour, 2001**).

Elles se développent mieux dans les sols humides bien aérés, leur croissance est bloquée à pH = 5 (**Dommergues, 1977**).

III.3.2. La classification :

La plupart des actinomycètes sont des organismes du sol, mais deux genres seulement sont bien représentés dans le sol, le genre Streptomyces et le genre Nocardia. Les Streptomyces à eux seuls peuvent représenter presque 70 à 90% de l'ensemble de la micro-population d'actinomycètes du sol (**Dommergues et al., 1970**).

Les actinomycètes se divisent en quatre (4) familles (**tableau n° 11**) :

Tableau n° 11 : Classification des actinomycètes (Dommergues *et al.*, 1970).

Familles	Genres
Mycobactériacées	Mycobactérium
Actinomycétacées	Nocardia Actinomyces
Streptomycétacées	Streptomyces Micromonospora
Actinoplanacées	Actinoplanes

III.3.3. L'importance dans le sol :

Les actinomycètes semblent jouer un grand rôle dans la transformation de certains composés organiques et minéraux du sol, mais ce rôle est encore mal connu ; ils seraient susceptibles de décomposer les composés aromatiques de la matière organique fraîche (M.O.F : lignine, certains tannins), et d'élaborer certains acides humiques en favorisant les liaisons des chaînes peptidiques avec les noyaux aromatiques, en particulier quinoléiques (**Dommergues, 1977**).

III.4. Les champignons :

III.4.1. Les caractères généraux :

De toutes dimensions, ils sont caractérisés par un mycélium pluricellulaire, ce sont des organismes hétérotrophes, eucaryotes et résistent mieux que les bactéries à la sécheresse et à l'acidité, et constituent la microflore quasi exclusive de certains mors secs et acides. Mais à la différence des bactéries, ils sont toujours aérobies, et ne prolifèrent pas dans les milieux mal aérés (**Duchaufour, 2001**).

III.4.2. La classification :

Les champignons sont répartis comme suit (**Duchaufour, 1988**) :

- a) Les **Myxomycota** : ce sont des champignons très primitifs, possédant pour thalle un plasmode nu ou un plasmode agrégé (pseudoplasmode). Leur appareil végétatif est constitué d'une masse sans forme propre.
- b) Les **Chytridiomycota** : à thalle vésiculaire ou "myceloïde".
- c) Les **Oomycota** : paroi cellulosique et un mycélium siphonné.
- d) Les **Eumycota** : se caractérise par la présence de mycélium vrai et par l'absence d'organe reproducteur.

III.4.3. L'importance dans le sol :

Leur rôle dans le sol est considérable et très varié, ils s'exercent surtout dans la phase de décomposition de la matière organique fraîche qui précède l'humification, la plupart sont aptes à décomposer les celluloses, certains sont susceptibles d'hydrolyser les composés de nature

phénolique, plus résistants, lignine, tannins. Certains champignons sont associés aux racines des plantes supérieures (en particulier, des arbres), en formant les mycorhizes, à vie symbiotique, qui facilitent la croissance et la nutrition des espèces contaminées (**Duchaufour, 2001**).

III.4.4. La biomasse :

La biomasse des microchampignons est comprise entre 100 et 1000 Kg/ha. En ce qui concerne plus particulièrement le cas des seuls ectomycorhizes, leur biomasse en sol forestier est de l'ordre de 1500 Kg/ha (poids frais) (**Dommergues, 1977**).

III.5. Les algues :

III.5.1. Les caractères généraux :

Les algues constituent un ensemble hétérogène d'organismes photosynthétiques, allons des formes microscopiques unicellulaires à des formes pluricellulaires donnant l'apparence de plantes. Les algues sont des thallophytes chlorophylliens, sont surtout des formes aquatiques principalement marines, certaines algues unicellulaires ou filamenteuses sont principalement terrestres (**Dommergues, 1977**).

III.5.2. La classification :

Les algues se subdivisent en deux (2) groupes distincts :

- a) **Algues bleu-vert**, appelées aussi Cyanophycées ou Cyanobactéries, organismes procaryotes renfermant des espèces capables de fixer l'azote moléculaire.
- b) **Algues eucaryotes**, elles-mêmes subdivisées en fonction de la nature de leur système pigmentaire : algues vertes, algues brunes, algues rouges (**Dommergues, 1977**).

III.5.3. La biomasse :

La biomasse des algues dans les sols exondés est parfois négligeable (quelques kilogrammes par hectare, dans les sols podzoliques) ; mais elle peut s'élever à plusieurs centaines de kg/ha, apportant ainsi une contribution très sensible à l'approvisionnement du sol en substrats énergétiques. Les algues sont particulièrement abondantes à la surface du sol ou à quelques millimètres en dessous de cette surface, c'est-à-dire à un niveau où elles peuvent encore capter l'énergie solaire. Mais on observe également la présence d'algues en profondeur où elles semblent avoir été entraînées par les eaux de pluie (**Dommergues, 1977**).

III.6. Les protozoaires :

III.6.1. Les caractères généraux :

Les protozoaires constituent un groupe très hétérogène de protistes eucaryotes, unicellulaires, mobiles, inaptes à la photosynthèse (à l'exception des Euglena), la plupart d'entre elles sont aquatiques non parasites, d'autres se développent parfaitement dans le sol et constituent des éléments de la microflore normale, leur cycle de vie comporte deux phases, une d'activité et une de repos (enkystement).

III.6.2. La classification :

Dans le sol, on trouve essentiellement trois (3) classes :

- a) Classe des Sarcodina ou Rhizopodes,
- b) Classe des Ciliophora ou Ciliés,
- c) Classe des Sporozoa ou Sporozoaires n'existe pas dans le sol, il s'agit de protozoaires exclusivement parasites (**Dommergues, 1977**).

III.6.3. La densité :

Les densités des protozoaires dans le sol sont, en général, comprises entre 10^3 et 10^5 unités par gramme de sol, les Flagellés et Amides étant mieux représentés que les Ciliés et Testacés (**Dommergues, 1977**).

III.6.4. La distribution et la biomasse :

La distribution des protozoaires dans le sol suit celle des bactéries, où ces dernières constituent un aliment de choix pour de nombreuses espèces de protozoaires.

La biomasse correspondante est de l'ordre de 0,5 ou 1,0 g/m², soit 5 à 10 Kg /ha, ce qui est peu à côté de la biomasse des bactéries ou des champignons (**Dommergues, 1977**).

III.7. Les Virus :

Les virus ne peuvent être considérés comme des habitants normaux du sol, puisque ce sont des parasites intracellulaires stricts. Ce sont, d'une part, les Bactériophages, Actinophages et Cyanophages, virus parasitant les bactéries, les actinomycètes et les cyanophycées, donc intervenant dans l'équilibre biologique des sols et, d'autre part, les virus des végétaux et animaux auxquels le sol peut offrir des conditions de conservations favorables (**Dommergues, 1977**).

III.7.1. Les facteurs régissant l'activité des micro-organismes :

L'activité des micro-organismes ne se manifeste que s'ils sont présents en nombre suffisant et si leurs exigences nutritionnelles sont satisfaites (**Bonneau et al., 1979**).

III.7.2. Les facteurs énergétiques :

L'énergie provient aux micro-organismes du sol par deux (2) principales voies, constituées par l'apport de débris végétaux (litière des parties aériennes, résidus de racines, exsudats racinaires) et par l'apport de déjections animales ou de cadavres d'animaux.

Une autre source d'énergie pour les micro-organismes du sol est constituée par certains composés minéraux, véhiculés avec les débris d'organismes animaux ou végétaux et libérés au cours de processus de minéralisation ou provenant du substratum minéral (roche-mère) (**Dommergues, 1968**).

III.7.3. Les facteurs physiques :**III.7.3.1. La texture du sol :**

L'activité des micro-organismes est faible dans les conditions de sol sec. Par exemple, les sols sablonneux, bien drainés, ayant une grande porosité, perdent rapidement leur contenu en eau, soit par infiltration ou évaporation. Par contre, les sols contenant de l'argile ou du limon,

présentent des pores plus petits et peuvent contenir suffisamment d'eau, même en période de sécheresse (cas de notre étude), pour satisfaire les besoins des micro-organismes du sol (N'Dyegamiye, 2007).

En second lieu, les micro-organismes adhèrent en proportion, parfois importantes, aux surfaces argileuses, les conséquences de cette adhésion sont mal connues (Morel, 1996).

Dans un sol sableux, suffisamment humide, la continuité du film liquide autour des particules assure une propagation rapide de l'activité microbienne.

III.7.3.2. La structure du sol :

De la formation et de la rupture des agrégats, résultent deux (2) actions possibles, opposées quant à leurs conséquences :

- L'inclusion des substances organiques à l'intérieur d'un agrégat, le rend temporairement inaccessible aux micro-organismes.
- La rupture des agrégats par broyage, stimule la minéralisation rendue d'autant plus aisée que la dimension des agrégats est plus grande.
- L'oxydation de la matière organique est facilitée à la quantité structurale du sol, la valeur du pouvoir oxydoréduction de ce sol oriente la nature et l'intensité de la vie microbienne (Morel, 1996).

III.7.3.3. Le travail du sol :

Les micro-organismes du sol se développent au dépend de la matière organique, l'activité biologique est donc étroitement dépendante de la localisation des matières organiques assimilables, comme les résidus de récolte.

Le travail mécanique du sol (labour, hersage...etc.), permet une meilleure aération, surtout dans les couches profondes, augmente les échanges de gaz carbonique et d'oxygène et entraîne une population intense des germes aérobies, accélérant ainsi les phénomènes d'oxydation de la matière organique (Labreuche, 2014).

III.7.4. Les facteurs chimiques :

III.7.4.1. Le pH du sol :

Le pH a une influence sur la composition microbienne du sol. L'acidité ou l'alcalinité inhibent la croissance de nombreuses bactéries (Vilain, 1997).

Les champignons sont généralement prépondérants dans les sols acides, les bactéries prédominent dans les sols neutres ou légèrement alcalins, les actinomycètes, qui ont un rôle antagoniste important vis-à-vis des champignons, sont particulièrement sensibles à l'acidité (Davet, 1996).

III.7.4.2. La salure :

Le taux de salinité a une grande influence sur l'évolution de la microflore du sol, l'augmentation de la quantité fait diminuer le nombre de micro-organismes.

La biomasse microbienne diminue en fonction de la salure, l'activité biologique globale mesurée par le dégagement de CO₂ est fortement déprimée par les concentrations salines élevées (Dellal *et al.*, 1992).

III.7.4.3. L'influence de l'oxygène :

Les micro-organismes peuvent se classer en cinq (5) groupes, suivant leur comportement vis-à-vis de l'oxygène. Il s'agit des :

- a) **Aérobies stricts**, ne peuvent vivre et se développer qu'en présence de l'oxygène.
- b) **Aérobies facultatifs**, qui peuvent se développer en présence ou en absence de l'oxygène, à condition de disposer de composés nutritifs convenables.
- c) **Anaérobies stricts**, qui sont inhibés ou tués par des concentrations, même faibles, d'oxygène.
- d) **Aérotolérants**, qui peuvent en présence d'oxygène atmosphérique, mais ne l'utilise pas.
- e) **Micros-aérophiles**, qui sont des micro-organismes aérobies obligatoires, dont la croissance est favorisée par de faibles concentrations en oxygène (Dommergues, 1977).

III.7.4.4. Les éléments majeurs (Azote, Phosphore, Potassium) :

La teneur du sol en ces différents éléments joue, bien entendu, un certain rôle dans la répartition et l'activité des micro-organismes. Mais, dans la plupart des sols, ce rôle est réduit en raison de l'aptitude remarquable que possèdent les micro-organismes d'extraire du sol les éléments qui leur sont nécessaires. Cette aptitude est beaucoup plus développée chez les micro-organismes que chez les plantes supérieures, de sorte qu'ils exercent parfois une concurrence très vive vis-à-vis de ces dernières (Dommergues, 1968).

III.7.5. Les facteurs climatiques :

III.7.5.1. L'humidité du sol :

L'humidité est nécessaire à la vie des micro-organismes et aussi à leurs déplacements, la quantité d'eau nécessaire pour la migration et le développement optimum varie avec l'espèce du microbe considéré et avec la nature des sols (Gaucher, 1968).

L'activité microbienne est importante à un pF 4,2 (15 bars), et tend à s'annuler en se rapprochant à un pF 5,5 (316 bars) (Dommergues, 1977).

III.7.5.2. La température :

L'influence de la température est primordiale sur le comportement de tous les organismes vivants, on conçoit que ce facteur agit sur la composition et l'activité de la microflore du sol.

Les températures basses (inférieures à 0°C) exercent une action néfaste sur certaines espèces de la microflore du sol, mais cette action est beaucoup moins marquée que celle de la dessiccation.

Les températures les plus élevées peuvent faire disparaître une partie de la microflore, des températures qui dépassent les 50°C sont souvent létales pour quelques espèces, mais au

contraire favorable à la microflore thermophile (les températures optimales sont de l'ordre de 60 à 65°C) (**Dommergues, 1977**).

- Les températures optimales pour les nitrifiants, sont comprises entre 28°C et 36°C (**Dommergues, 1977**).
- Pour les actinomycètes, la température optimale est comprise entre 25°C et 40°C (**Dommergues *et al.*, 1970**).
- La plus grande majorité des champignons permettent de les considérer comme des mésophiles, ils se développent entre 10°C et 40°C (**Davet, 1996**).

III.7.5.3. L'influence des saisons :

Le nombre total des micro-organismes dans le sol, présente deux maximas au cours de l'année, à savoir :

- a) **Printemps** (Mars-Avril), en rapport avec l'élévation thermique qui succède au froid de l'hiver.
- b) **Automne** (Octobre), en liaison avec l'accroissement des nutriments mis à la disposition des germes par la mort des plantes annuelles et la chute des feuilles.

Le minimum le plus accentué est en hiver, mais il y a également une légère baisse en été (**Dommergues *et al.*, 1970**).



Chapitre IV

VEGETATION DES REGIONS ARIDES ET SEMI-ARIDES



IV. La végétation des régions arides et semi-arides :

IV.1. Introduction :

Les plantes spontanées sont des espèces végétales qui se développent naturellement à l'état sauvage, sans l'intervention de l'homme (**Marouf, 2000**). Selon **Ozenda (1977)**, la végétation spontanée ou annuelle apparaît brusquement et se développe avec une rapidité surprenante. La plantule va apparaître, va fleurir, puis produira ses graines qui attendront une prochaine averse, peut être pendant des années.

La végétation actuelle des zones arides est le résultat des interactions de trois facteurs essentiels, climat, sol et action anthropique (**Le Houerou, 1995**).

La végétation spontanée en milieux arides est un élément essentiel en matière de stabilité écologique. En dehors de ces espaces particuliers, la végétation existe, mais son importance est en fonction directe de la quantité d'eau disponible. La réalité éclaire que cet écosystème demeure par excellence un milieu qui grouille de vie, où les végétaux sont acclimatés par des adaptations d'ordres morphologique, anatomique et physiologique pour emmagasiner l'eau et diminuer la transpiration (**Chehna, 2006**).

Il est classique de distinguer :

IV.2. Les formations forestières et leur dégradation :

IV.2.1. Les forêts :

Le Houerou (1971), appelle « forêt » toute formation d'au moins 100 arbres à l'hectare, il s'agit de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et de chêne vert (*Quercus ilex*), qui se développent sur les massifs des atlas saharien et tellien. Toujours plus ou moins dégradées, à cause du climat et l'homme (**Pons, 1981 ; Barbero, 1990**).

IV.2.2. Les matorrals :

Ils représentent la forme, considérée, la plus typique de la végétation méditerranéenne (**Di Castri et al., 1981**).

Différentes dénominations existent selon la taille et la nature de la roche. Le matorral est considéré comme issu de la régression de formations forestières, suite à différentes perturbations. Selon **Trachaud (1994)**, ce sont les feux répétés et la pauvreté du sol en éléments biogènes qui ont favorisé la formation forestière.

IV.3. Les formations steppiques :

La steppe est l'écosystème où s'exacerbe l'ensemble des contraintes méditerranéennes, par le déficit hydrique, qui devient permanent (aridité), et par la pression anthropique, qui est dans la plupart des cas, de plus en plus intense (**Aidoud, 1994**).

Selon **Le Houerou (1995)**, la steppe, comme les formations végétales basses et ouvertes, est dominée par des espèces pérennes, dépourvue d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables.

En fonction du végétal dominant, qui peut être herbacé (graminée) ou ligneux (sous-arbrisseaux), parfois, par une référence aux conditions climatiques et édaphiques locales (Steppe

aride ou saharienne, steppe Halophile à Salsolacées), la steppe repose souvent sur une combinaison de critères, à la fois, physiologiques structuraux et écologiques (**Kaabache, 1990**).

IV.3.1. Les steppes à Chamaephytes :

Ces steppes constituent souvent des stades de dégradation de steppes graminéennes (**Le Houerou, 1995**). Les steppes à Chamaephytes sont dominées par des arbrisseaux, dont la taille ne dépasse guère 50 cm, présentant ainsi une grande diversité, avec :

- Les steppes à « Chih », l'armoise Blanche (*Artémisia herba-alba*).
- Les steppes à « Zef-Zef », (*Helianthemum umhirtum* spp).
- Les steppes dégradées à « Sarr » (*Atractylis serratoloides*)

Le suivi de la végétation, réalisé entre 1975 et 1999 dans le Sud-ouest oranais (**U.R.B.T, 2001**), montre que la steppe de dégradation à *Atractylis serratuloïdes*, inexistante en 1975, occupe, aujourd'hui, la même place que l'Alfa.

IV.3.2. Les steppes crassulescentes :

Elles couvrent 40 000 à 50 000 km² dans le Nord de l'Afrique, elles ont fait également l'objet de défrichements sur des superficies considérables, soit en vue de la culture irriguée, soit par culture aléatoire des céréales en sec, sont dominées par des espèces charnues halophiles, liées à des terrains salés (**Le Houerou, 1995**).

IV.4. Les principaux groupements végétaux :

Le groupement végétal est un ensemble de plantes réunies dans une même station, par suite d'exigences écologiques identiques ou voisines (**Ozenda, 1977**).

La répartition des communautés végétales reste déterminée en grande partie par leur relation avec les conditions offertes par le milieu où elles vivent. Dans ce contexte, il est classique de distinguer : les groupements végétaux, de types zonal, et les groupements végétaux, de types azonal (**Pouget, 1980 b**).

IV.4.1. Les groupements végétaux de type zonal :

Tels que les groupements forestiers et steppiques, ils correspondent à une végétation naturelle déterminée par le climat. Du Nord au Sud de l'Algérie, nous passons des forêts, maquis et matorrals aux steppes semi-arides et arides, puis vers les écosystèmes désertiques, suivant des tranches pluviométriques.

IV.4.2. Les groupements végétaux de type azonal :

Ils caractérisent la végétation directement soumise à l'influence des facteurs édaphiques déterminant (Salure, Nappe d'eau, etc.), où on peut citer les groupements, ci-contre :

- Groupements halophiles,
- Groupements des sols, à encroûtements gypseux,
- Groupements gypso-halophiles,
- Groupements psammophiles.

IV.5. Les caractéristiques générales des espèces végétales :

Dans les zones arides et semi-arides, les rigueurs climatiques obligent les espèces végétales à des adaptations nécessaires à leur survie. Ces adaptations aux conditions de milieu et leurs mécanismes ont été décrits dans tous les groupements végétaux (**Frontier *et al.*, 2004**).

Dès qu'un déficit hydrique apparaît, la plante ajuste, rapidement et de façon réversible, les flux d'eau qui la traversent par la fermeture de ses stomates (petits orifices des feuilles, qui règlent les échanges gazeux entre plante et atmosphère). Des déficits hydriques plus longs induisent des changements plus irréversibles, notamment de morphologie (réduction des surfaces d'évaporation). Dans les situations de sécheresse très longue et sévère, cette réduction peut devenir complète (**Scheromm, 2000**).

IV.5.1. L'adaptation morphologique et anatomique :

Les déficits hydriques longs se traduisent par des changements progressifs dans la structure de la plante, qui visent à réduire sa surface transpirante (surface foliaire, épaissement des cuticules), mais qui induisent également une baisse de sa production (**Scheromm, 2000**).

La plupart des Chénopodiacées, sont ainsi porteurs de feuilles minuscules ou même sont complètement aphyllés, parfois les feuilles sont transformées en épines, pour constituer des réserves en accumulant l'eau dans les tissus (feuilles crassulescentes) (**Ozenda, 1977**).

IV.5.2. L'adaptation physiologique :

La réduction du cycle végétatif, avec de longues périodes de dormance estivale ou hivernale (**Ozenda, 1977**). Par fois, la plante passe la saison sèche à l'état de bulbe ou Rhizome Charnus, ou encore de graines (Thérophytes) (**Dajoz, 2003**).

IV.6. La flore halophyte :

IV.6.1. Introduction :

Venant du grec halos (sel) et phyton (plante), le terme d'halophyte a été introduit en 1809 par **Pierre Simon Pallas** et attribué aux végétaux vivants sur des sols salés, c'est-à-dire, contenant une solution trop riche en sels solubles et, par là, impropres à recevoir des cultures.

Actuellement, on appelle halophyte, toute plante dont une partie quelconque de son organisme est en contact avec des concentrations anormalement fortes de sel, c'est le cas de la végétation marine ; des plantes de bords de mer, de déserts, des marais ou de lacs salés (**Larafa, 2004**).

Il y a, à peu près, 6000 espèces d'halophytes terrestres et de marais dans le monde, soit 2% des phanérogames. La région sous climat méditerranéen, de l'océan atlantique à la mer Aral et la vallée indienne, compte 1100 espèces, environ 5% de sa flore terrestre (**Le Houérou, 1993**).

Environ 1/4 des halophytes du monde sont des chénopodiacées, 1/10 graminées, 1/20 légumineuses, 1/25 composées et plumbaginacées, 1/33 aizoacées et cypéracées, 1/50 tamaricacées et zygophylacées, etc... (**Aharonson *et al.*, 1969**).

Quelques-uns sont des arbres (exemple : *Tamarix*), beaucoup sont des arbustes, dont les plus remarquables sont des chamaephytes (*Salsola*, *Salicornia*, *Suaeda* et *Atriplex*). Les pérennes

incluent également des hémicryptophytes, en particulier (*Sporobolus*, *Aelurops*, *Puccinellia*, *Ammophila*, *Arenaria* et *Agropyron*). Pour la plupart, ce sont des espèces herbacées (**Goodin, 1979**).

Les espèces annuelles les plus communes, sont les suivantes : *Hordeum murinum*, *Polypogon maritimum*, *Aizoon canariense*, *Frankenia* spp., *Spergularia* spp. ... etc.

Les halophytes s'opposent aux glycophytes, plantes des milieux non salés par leur morphologie (feuilles, tiges) et par leurs caractères physiologiques (pression osmotique et la concentration des sels). Les observations sur le terrain et l'étude du comportement physiologique montrent que les halophytes constituent un groupe très hétérogène, à l'intérieur duquel on peut faire des distinctions sur la base du milieu (nature du sel, degré de salinité, etc.) ou du comportement physiologique. Sur le plan du comportement physiologique, les halophytes se caractérisent par leur aptitude à fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines, grâce à un certain nombre de caractéristiques physiologiques. Il existe deux catégories d'halophytes, les halophytes facultatives et les halophytes obligatoires (**Binet, 1970**).

- a) **Les halophytes dits facultatives**, peuvent se développer en milieu salin, mais le font encore mieux en milieu imprégné d'eau douce, leur absence dans les milieux non salés pourrait s'expliquer par la concurrence avec les glycophytes, leur installation sur les sols fortement salés étant liée à une faculté plus grande que chez les glycophytes de leur protoplasme à résister aux fortes concentrations salines.
- b) **Les halophytes dits obligatoires**, dont la croissance est maximale en milieu salé, exigent une certaine teneur en sel dans le milieu pour assurer leur plein développement, il y aurait donc chez ces dernières espèces un aspect (exigence en sel) venant s'ajouter aux problèmes posés par la résistance au sel (**Repp, 1964**).

Sur le littoral méditerranéen, on rencontre des espèces sur des sols lourds de texture argilo-limoneuse, où la salinité est très élevée, et d'autres colonisent des sols à texture plus grossière, où les sables prédominent et où la salinité est nettement plus faible (**tableau n° 12**) (**Le Houérou, 1993**).

Tableau n° 12 : Liste approximative des halophytes méditerranéennes (Le Houérou, 1993).

Famille	Genres	Nombre de genres	Nombre d'espèces
Plumbaginacées		7	301
	Limonium		280
	Limoniastrum		5
	Armeria		5
	Acantholimon		4
	Goniolimon		3
	Phylliostachys		3
	Limonopsis		1
Chénopodiacées		45	262
	Salsola		75
	Atriplex (incl, Halimione)		50
	Suaeda		25
	Bassia (incl, Chenolea)		16
	Salicornia		11
	Anabasis (incl, Fredolia)		9
	Hammada		6
	Agathophora		5
	Climacoptera		5
	Corispermum		5
	Cornulaca		5
	Camphorosoma		5
	Halotis3		3
	Halothamnus (incl, Aellenia)		3
	Sarcocornia		3
	Gamanthus		2
	Halocharis		2
	Halogeton		2
	Halopeplis		2
	Haloxylon		2
	Kochia		2
	Petrosimonia		2
	Polycnemum		2
	Traganum		2
	Arthrocnemum		1
	Beta		1
	cyathobasis		1
	Cyclocoma		1
	Girgensohnia		1
	Halanthium		1
	Halimocnemis		1
	Halocnemum		1
	Halostachis		1
	Halotis		1
	Kalidium		1
	Krascheninnikovia		1
	Maireana		1
	Microcnemum		1
	Nucularia		1
	Ophaiston		1

IV.6.2. Les caractéristiques des halophytes :

La majorité d'espèces des sols salés, sont des halophytes : *Atriplex*, *Salsola*, *Suaeda* (El-Hai, 1968). Selon Flahault (1937), les halophytes sont considérées comme appartenant à une même région naturelle.

Les relations des plantes halophytes avec le milieu, permettent de définir des halophytes submergées terrestres ou des aérohalophytes :

- a) **Les halophytes submergées**, sont entièrement plongées dans l'eau salée : se sont les algues et les plantes maritimes.
- b) **Les halophytes terrestres**, dont seuls les organes souterrains sont en contact avec des teneurs en sel.
- c) **Les aérohalophytes**, reçoivent sur leurs parties aériennes des embruns ou des poussières salées : c'est le cas des végétations des falaises, des dunes littorales et des déserts.

Cependant, le plus souvent les mêmes espèces végétales appartiennent tantôt à l'une, tantôt à l'autre, de ces catégories. Ainsi, les salicornes se développent à la limite des hautes mers, ce qui font d'elles des halophytes terrestres, mais elles peuvent baigner dans une vase salée, elles deviennent des halophytes submergées, au moment des hautes marées, et des aérohalophytes, à marée basse (Boucaud, 1972).

IV.6.3. La biologie des halophytes :

La plupart des halophytes sont herbacées (Salicorne...etc) et présentent des organes aériens charnus.

Cette succulence est due soit à une hypertrophie de certaines cellules qui, gorgées d'eau, forment un tissu aquifère, soit à la formation d'un grand nombre d'assises cellulaires, soit aux deux phénomènes à la fois. Sur les sables et les falaises littorales, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer, la succulence disparaît et les caractères morphologiques et anatomiques les plus couramment rencontrés (racines très développées, organes aériens protégés par une cuticule épaisse, un revêtement pileux abondant) sont ceux que l'on observe en général chez les espèces des milieux secs (*xérophytes*).

L'implantation des halophytes dans les divers milieux salés se fait à partir de semences ou par bouturage naturel, ce dernier est fréquent chez diverses halophytes terrestres par fragmentation des rhizomes.

IV.6.4. Une morphologie particulière :

Pour des besoins de reconnaissance, on divise généralement en deux (2) groupes les halophytes, ce qui nous permet le plus facilement de les reconnaître sur le terrain. Qui sont :

- a) Dans le **premier**, on note des végétaux à feuilles étroites, linéaires, entières, sessiles, les plus longues ont au moins 3 mm dans leur plus grande largeur, elles sont souvent piquantes, ou réduites, ou inexistantes (**figure n° 08**).
- b) Dans le **second**, le limbe est élargi de plus de 3 mm, plan, pétiolé, et il n'y a jamais de pointe piquante. Les fleurs mâles et femelles sont dissemblables (**figure n° 09**) (Binet, 1970).

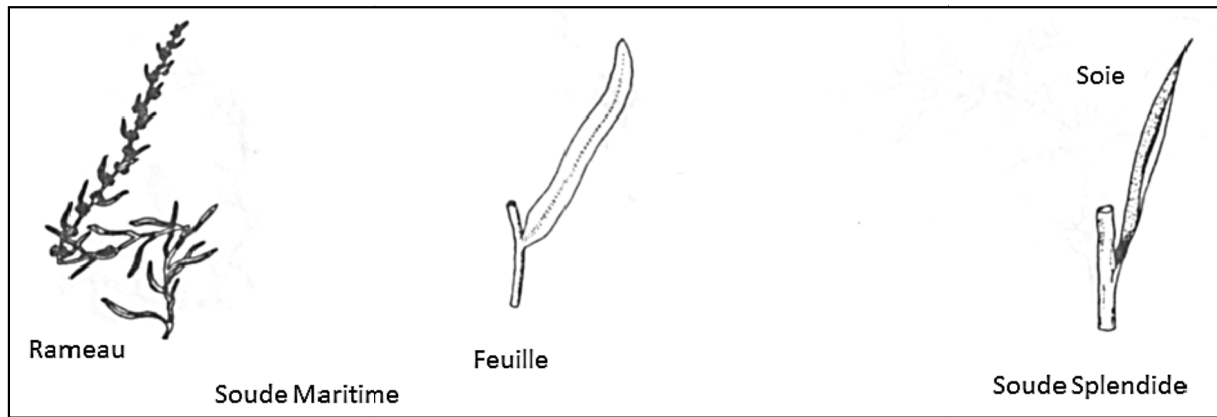


Figure n° 08 : Caractères morphologiques du 1^{er} groupe des halophytes (Binet, 1970).

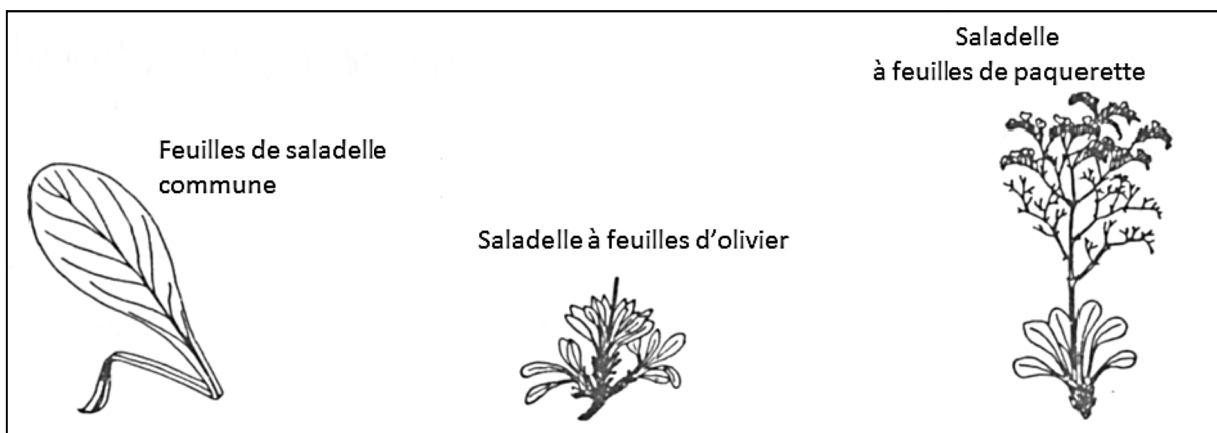


Figure n° 09 : Caractères morphologiques du 2^{ème} groupe des halophytes (Binet, 1970).

IV.6.5. L'adaptation et la résistance au sel :

Pour l'ensemble des végétaux, l'absorption est une opération complexe dans laquelle interviennent outre la pression osmotique, des phénomènes de charges électriques, de tensions superficielles, de membranes et autres. Chez les végétaux, les actions physiques paraissent prédominer. L'absorption des sucres nutritifs se fait par les poils absorbants des racines qui puisent les éléments assimilables dans l'eau du sol (Boucaud, 1972).

Mais les halophytes ne possèdent généralement pas de poils absorbants, elles ont donc un autre rapport avec le milieu extérieur. En effet, du point de vue biochimique, les halophytes se caractérisent en général par une forte richesse de leurs tissus en sels. Une grande partie de ces sels étant dissous dans le suc vacuolaire, il en résulte une pression osmotique élevée, cette pression peut subir des variations rapides si la salinité du milieu extérieur est modifiée (Boucaud, 1972).

Dans des conditions de vie normale, le suc vacuolaire demeure ainsi toujours légèrement hypertonique par rapport au milieu extérieur. L'absorption d'eau reste donc possible, ainsi que la perte d'eau par transpiration, et l'accumulation des sels dans les tissus des halophytes est en générale importante. La principale caractéristique des halophytes est de posséder une matière vivante capable de fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines. C'est là

l'aspect essentiel de la résistance au sel, donc la signification profonde reste mal connue. (**Boucaud, 1972**).

En comparant l'action du chlorure de sodium sur le comportement biochimique d'espèces résistantes au sel et celui d'espèces non résistantes, il semble ressortir que chez les halophytes, les acides nucléiques dont dépend la synthèse des protéides, donc celle de la matière vivante, sont peu touchés par la présence d'ions tel que le sodium, alors que chez les autres végétaux la présence de ces ions déclenche une rapide destruction des acides nucléiques. La résistance aux sels est donc une propriété qui se détermine à l'échelle moléculaire (**Zhu, 2001**).

IV.6.6. Le fonctionnement de la plante par rapport au sel :

Les halophytes devront, à la fois, résister à la toxicité du chlorure de sodium et à la sécheresse. Elles vont y répondre par quelques adaptations :

- a) **La crassulescence** leur permet de stocker de l'eau disponible pour leur végétation et leur reproduction et évite un transit d'eau (salée) trop important.
- b) Par des **procédés d'ultrafiltration cellulaire**, leurs organes végétatifs ou reproducteurs seront dans des solutions faibles en sels.
- c) Elles **fixent le sel puis l'éliminent** (dans le cas des Salicornes, il y a destruction des articles où a été stocké le sel, et dans le cas des Saladelles, il y a excrétion de chlorure de sodium à la face inférieure des feuilles) (**Hagemeyer, 1996**).

IV.6.7. Les principaux mécanismes de résistance :

Les racines sont, en effet, dotées d'une couche cellulaire interne, l'endoderme, qui leur permet de ne pas se laisser envahir par un composé extérieur indésirable. Par ce mécanisme d'exclusion, couplé à des systèmes de transport sélectif permettant d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na^+ , la plante empêche le sel de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles. Mais ce processus peut se révéler insuffisant, en particulier lors des ramifications des racines (**Le Saos, 1968**).

Un second mécanisme de tolérance au sel, présent dans les feuilles, l'inclusion, intervient alors sur certaines plantes. Elles utilisent en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules. Elles laissent donc monter le sel dans leurs parties aériennes, mais ce dernier reste stocké dans les vacuoles et isolé des constituants cellulaires vitaux (**Le Saos, 1968**).

Le troisième procédé, de résistance, renvoie le sel des feuilles vers les racines, sans qu'il y ait de stockage dans les vacuoles. La logique voudrait que ce sel soit ensuite éliminé dans le sol, mais cela n'a pas encore été démontré. Les feuilles jouent en réalité un rôle actif dans le contrôle de leur teneur en Na^+ , par l'intermédiaire d'un gène dont la protection semble toujours présente (**Le Saos, 1968**).



2^{ème} Partie

ETUDE DU MILIEU





Chapitre V :

CADRE PHYSIOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE



V. Le cadre physiographique de la région d'étude :

V.1. Présentation de la zone d'étude :

La wilaya de Relizane, située au Nord-ouest de l'Algérie, est limitée au Nord, par la wilaya de Mostaganem, au Sud, par les monts de Béni Chougrane, à l'Est, par le massif de l'Ouarsenis et, à l'Ouest, par la plaine d'El-Habra et le massif de Bel Hacel.

La plaine de la Mina constitue une partie importante de la superficie totale de la wilaya de Relizane (930 km²).

V.1.1. La situation géographique :

Le bassin du Bas-Cheliff s'allonge sur plus de 300 km, au Nord de la chaîne Tellienne, Béni Chougrane et l'Ouarsenis. L'ensemble géographique, est appelé les plaines de Cheliff.

Ce domaine comporte une région déprimée, constituée de la plaine de la Mina qui occupe une superficie de 900 km², tire son nom du dernier affluent important de l'oued Cheliff. Elle s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes (**figure n° 10**) :

$$\begin{array}{ll} X1= 0^{\circ}13'48'' & ; \quad Y1= 35^{\circ}26'38'' \\ X2= 1^{\circ}25'41'' & ; \quad Y2= 36^{\circ}13'40'' \end{array}$$

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 Hacel.
- A l'Est, par le massif de l'Ouarsenis.

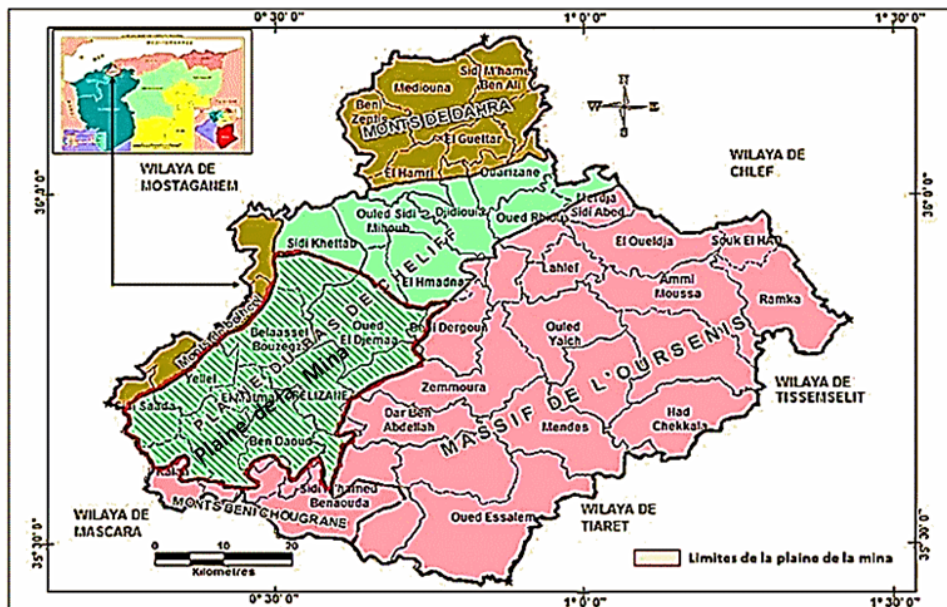


Figure n° 10 : Localisation géographique de la plaine de la Mina.

V.1.2. Le 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 (**figure n° 11**), et s'étend sur une superficie de 4842,73 km², avec une population estimée à 726 180 habitants (RGPH de 2008), soit une densité de 150 hab. /km², et, au 31/12/2012, à 803 278 habitants, soit une densité de 166 hab. /km². La plaine de la Mina compte 08 communes, totalisant une superficie de 968,71 km², regroupant 03 daïras : Relizane, Matmar et Yellel, avec une population de 271 609, soit une densité de 280 hab. /km². Et à la fin de 2012, la population de la plaine est estimée à 304 508 habitants, soit une densité de 314 hab. /km² (ONS, 2013).

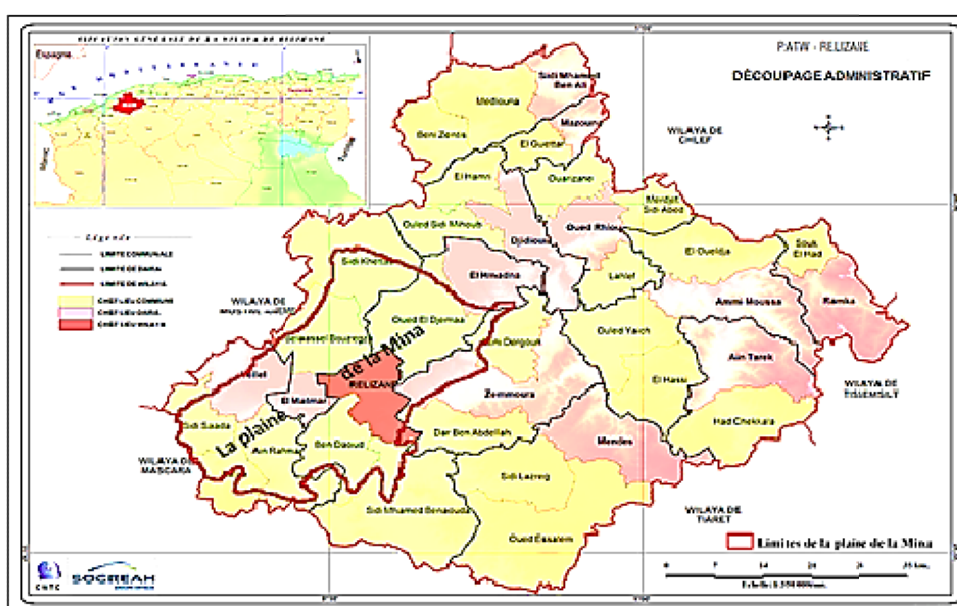


Figure n° 11 : Découpage administratif de la zone d'étude (PATW ; SOGREAH, 2013).

V.2. Le milieu physique :

Les différents facteurs qui sont étudiés, car considérés comme éléments déterminants au titre de l'aménagement du territoire, de la préservation du milieu et de la valorisation des ressources naturelles, sont :

- La géologie
- La géomorphologie
- Le relief
- La pédologie.

V.2.1. La géologie :

V.2.1.1. Généralités sur la géologie de l'Afrique du Nord :

L'Afrique du Nord, localisée entre la méditerranée et le craton africain, peut être subdivisée en trois (3) parties fortement différenciées, qui sont du Nord au Sud (**figure n° 12**) :

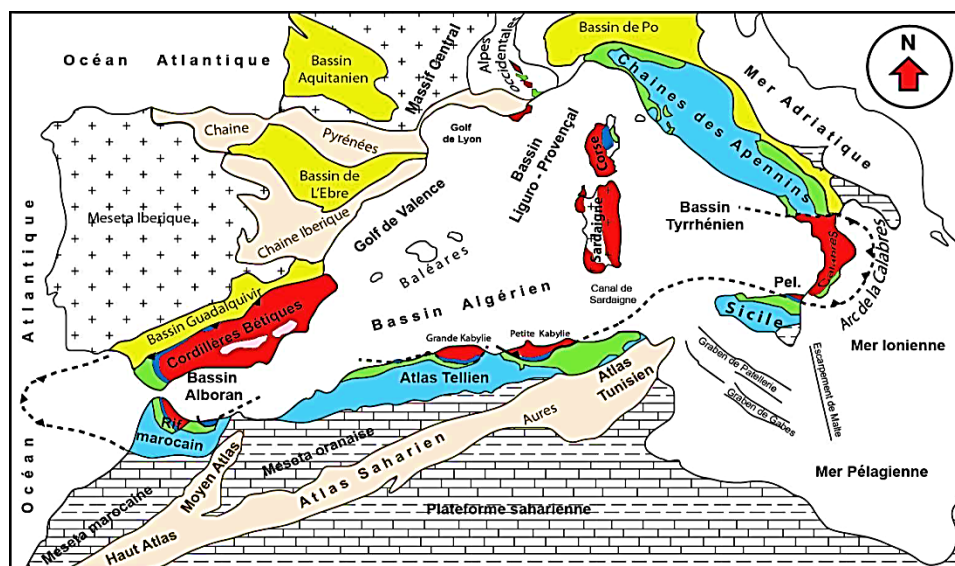


Figure n° 12 : Schéma structural de la chaîne alpine de la méditerranée occidentale (Medaouri, 2014).

a. Le domaine Tello-rifain

Portion de la chaîne alpine, se raccordant, à l'Ouest, aux chaînes Bético-Baléares au niveau de l'arc de Gibraltar et, à l'Est, au système Sicilo-Calabrais.

b. Le domaine Atlasique

Avant-pays tellien de la chaîne Alpine, se bordant au nord dans sa partie centrale par l'ensemble de la Meseta oranaise et le domaine Tlemcenien.

c. Le domaine Saharien

Il s'agit d'une région stable et faisant partie de la plaque africaine.

V.2.1.2. La géologie de l'Algérie du Nord :

L'Algérie du Nord a été marquée par deux importantes manifestations tectoniques, une orogénèse hercynienne et une orogénèse alpine dominante, qui ont donné naissance à trois (3) grands ensembles structuraux de l'Algérie septentrionale. On y distingue, du Nord au Sud (figure n° 13) :

a. Le domaine Tellien :

➤ **Le Tell septentrional**

- Les massifs anciens ou noyaux kabyles, autochtones
- Les chaînes calcaires ou dorsales kabyle
- Les flyschs.

➤ **Le Tell méridional**

- Superposition de l'autochtone intra-tellien et des nappes de glissement.

b. Le domaine Présaharien :

➤ **Les hautes plaines et hauts plateaux**

- Les Hautes plaines oranaises, bordées au Nord par le domaine

tlemcenien, dans lequel se situe le bassin versant de la Mina

- Les Hautes plaines algéroises
- Les Hautes plaines constantinoises.

➤ L'Atlas saharien.

c. Le domaine de la plateforme-saharienne :

- Le Sahara occidental (haut Sahara).
- Le Sahara oriental (bas Sahara).

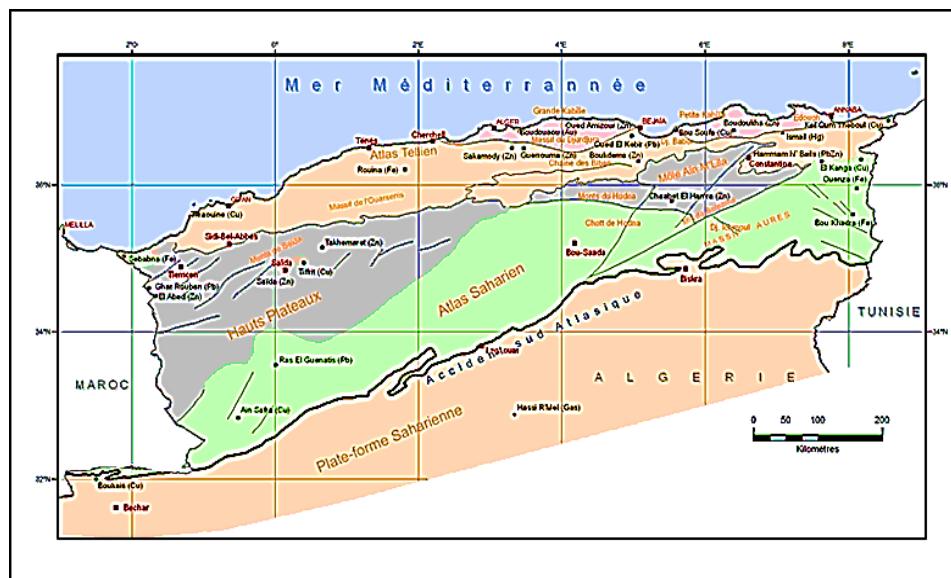


Figure n° 13 : Carte de localisation des grands ensembles géologiques du nord de l'Algérie (Agence Nationale des Activités Minières (ANAM), 2009).

V.2.1.3. Le cadre géologique de la Mina :

La plaine de la Mina, est une région déprimée, formée par la présence de deux (2) grands ensembles dont la répartition de l'affleurement est conditionnée par les principaux aspects morphologiques de la région.

Dans un contexte régional, auquel appartient la plaine de la Mina, les deux (2) ensembles constituent, de part et d'autre d'une diagonale, en gros, d'orientation Nord-est – Sud-ouest, passant un peu plus au Sud par le flanc Nord du massif de l'Ouarsenis et la « plaine Cheliff-Mina», avec, dans l'angle Sud-ouest, la cuvette morphologique de la Sebkhia de Benziane.

Le premier ensemble, occupant les bordures Est, Ouest et Sud de notre plaine, est constitué par des dépôts Néogènes, reposant en discordance sur le substratum. Ce dernier est formé par des dépôts appelés « anté-néogène » (figure n° 14) (Perrodon, 1957).

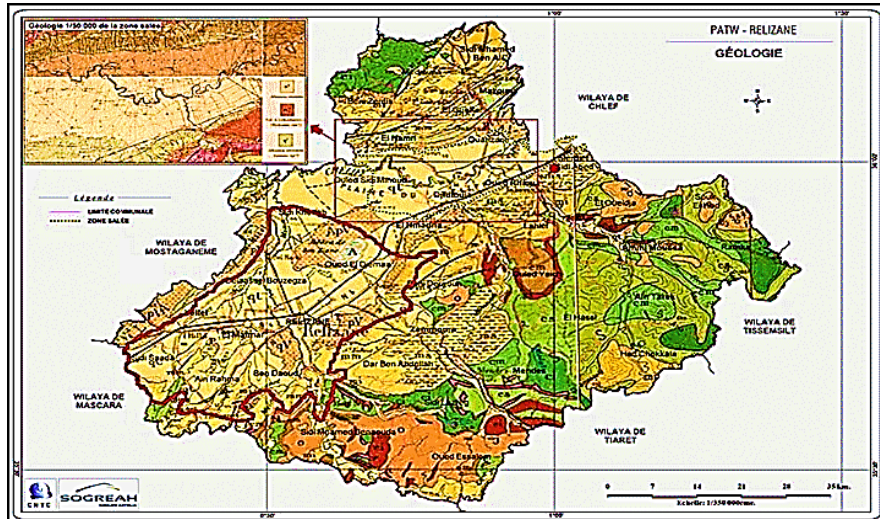


Figure n° 14 : Carte géologique de Relizane (Perrodon, 1957).

Le deuxième ensemble, occupe presque la totalité des terrains de la plaine, formé par des dépôts Alluviaux du quaternaire (figure n° 15) (Boualla, 2002).

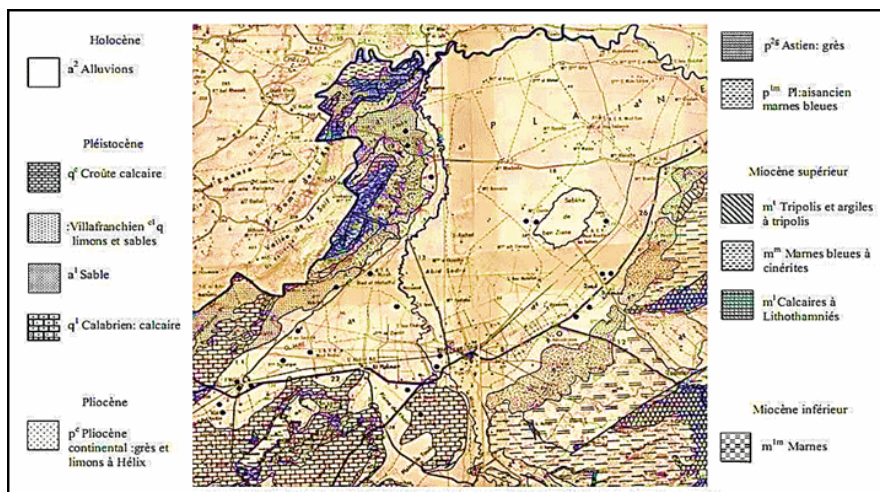


Figure n° 15 : Carte géologique, au 1/50000, de Relizane (Boualla, 2002).

a) **Les formations du substratum :**

Les formations du substratum, affleurent aux alentours de notre plaine, sur l'anticlinal de Guerbouça, au Nord-ouest de Zemmora...etc, présentées par le Trias, le Crétacé et le Nummulitique (Paléogène). Ces formations ne constituent aucun intérêt hydrogéologique dans la plaine.

➤ **Le Trias**

Il affleure au Nord-ouest de Zemmora et dans l'oued Khelloug, avec :

- Au Nord-ouest de Zemmora, il est représenté par des cargneules et des marnes bariolées, intercalées dans l'Albien.

- Dans l'oued Khelloug, le gypse, ainsi qu'un pointement d'ophite, accompagnent les marnes bariolées. L'affleurement triasique se prolonge au Sud-est de ces terrains, offrant la charge en sel de l'oued Khelloug.
- Le trias est largement représenté dans le haut bassin de l'oued Malah, hors des limites de la carte (Dôme de Haboucha). Il a une grande influence sur la salure de cet oued.
- Ce terrain, se présente souvent en lames étirées dans le crétacé.

➤ **Le Crétacé**

- Il affleure au Sud-ouest et à l'Est de la plaine (Kalaa, Zemmora), qui comprend des schistes, gris bleuâtres, avec quelques parties bariolées, ils alternent avec des quartzites en bancs peu épais.
- Le crétacé ou l'infra crétacé (**Dalloni, 1952c**) n'apparaît qu'au Sud de la plaine, dans l'oued Yellel, se développe vers El Kalaa et sur la chaîne des Béni-Chougrane.

➤ **Le Nummulitique : «Paléogène»**

- Le Nummulitique est largement développé sur les rives de Djidioua. Il est formé, à la base, par des calcaires à silex, surmontés de marnes à *Ostrea*, grises, compactes, renfermant du gypse et des foraminifères. Dans ces marnes, on rencontre parfois des concrétions de calcaires roux.
- Le sommet est constitué de poudingues, grès et marnes rouges à gypse.
- Dans la plaine, le Nummulitique ne fait pas son apparition, soit il est érodé par un mouvement postérieur, soit il est recouvert par une post-sédimentation.

b) **Le cycle Miocène :**

- Le Miocène, forme un cycle sédimentaire complet, qui se divise, d'une façon générale dans le Bas-Cheliff, en deux ensembles, qui sont : Miocène inférieur et Miocène supérieur.
- Dans les aires centrales, comme celui de notre plaine, la sédimentation est en général continue, et forme un cycle régulier et complet (**figure n° 16**) (**Perrodon, 1957**).

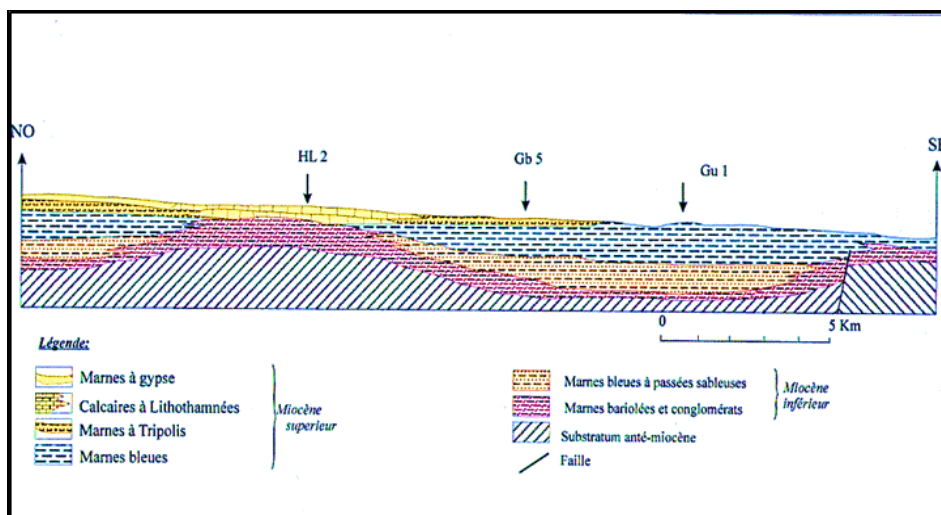


Figure n° 16 : Schéma stratigraphique du Miocène dans la plaine de la Mina (Perrodon, 1957).

➤ Le Miocène inférieur

Il se caractérise par une vaste transgression, et il est en général transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique.

Du point de vue stratigraphique, le Miocène inférieur comprend trois (3) ensembles :

- Une série gréseuse et conglomératique, à la base,
- Une série marneuse, intermédiaire,
- Une série sableuse et conglomératique, au sommet.

➤ Le Miocène supérieur

La deuxième phase du Miocène, se caractérise par une nouvelle transgression sur tout le bassin de Chellif, succédant à la régression générale de la mer, à la fin du Miocène inférieur.

L'évolution particulière de la stratigraphie du bassin du Bas-Chellif, au cours du Miocène supérieur, se traduit par une sédimentation continue qui se prolonge jusqu'à la fin du cycle Miocène. Cette phase, se développe en trois (3) grands ensembles sédimentaires qui se superposent du point de vue stratigraphique et qui se schématisent, comme suit :

- Les formations de base
- Les formations médianes
- Les formations terminales.

➤ Le Cycle Pliocène

La série sédimentaire de ce cycle est complète, suite à une transgression générale marquant le début de ce cycle, sur la totalité de la plaine. La sédimentation commence par un milieu néritique profond, puis à la fin par une sédimentation lacustre dans les zones émergées.

Du point de vue lithologique, le pliocène comprend de grandes unités qui se succèdent en continuité, formant ainsi un cycle sédimentaire qui se caractérise par la succession suivante :

- Niveau détritique de base (phase d'érosion et de dépôt).
- Marnes bleues et calcaires construits (Plaisancien).

- Grés Marins (Astien).
- Grés continentaux (Pliocène continental).

Suite à ces dépôts, le Pliocène se distingue en deux (2) périodes :

- Période marine ou pliocène marin.
- Période continentale ou pliocène continental.

➤ **Le Pliocène marin**

Cette phase se divise en deux (2) unités de faciès et qui se superposent :

- Les marnes bleues du plaisancien.
- Les grés, dits les grés de l'Astien.

➤ **Le Pliocène continental**

L'évolution régulière du bassin du Bas-Cheliff et son comblement progressif par un matériel détritique (Astien), le conduit à une phase d'un milieu fluvial et subcontinental, marqué par une sédimentation grès-sableuse.

Le pliocène continental, se caractérise par des sables roux et grés à hélix, souvent d'origine dunaire (continental), surmontés le plus souvent par des limons argileux.

La faune est représentée essentiellement par des mollusques d'eau douce.

La sédimentation de ces dépôts est très irrégulière et discontinue.

c) **Les formations du Quaternaire :**

Le remblaiement quaternaire couvre toute la plaine, depuis la rupture de pente, qui marque au Sud le pied des collines.

➤ **Le Quaternaire ancien**

Formé par des alluvions rouges, limoneuses ou argileuses, qui donnent au pied des collines des terres rouges dites « alluvions anciennes, niveau inférieur ».

Ces alluvions argileuses grises : « niveau supérieur », empruntées aux argiles déposées antérieurement et amenées dans la plaine pour les Chaâbet, sont triloculaires. Ce sont des dépôts limoneux et, en partie, caillouteux.

➤ **Le Quaternaire récent**

Ce sont des alluvions sablonneuses, entraînées par les crues des oueds, en particulier par la Mina ; sont représentées par des dépôts lacustres, ce sont des limons très épais, formant en majeure partie des plaines d'alluvions récentes, assez limoneuses aux abords des oueds, où subsistent même quelques bas-fonds inondés, sablonneux au pied des côteaux.

L'uniformité de ces dépôts : suivant la direction Ouest-est, implique la sédimentation qui avait la même origine. On ne peut donc invoquer les apports des Chaâbets : il semble bien qu'il s'agit de l'oued Mina.

Le remblaiement de la plaine de la Mina, s'est effectué au cours du Flandrien, grâce aux apports limoneux et argileux des oueds et des Chaâbets.

En général, les dépôts sablonneux sont peu importants. La sédimentation argileuse salée, exercée par les Chaâbets et les oueds locaux, prédomine dans la partie centrale de la plaine et elle s'y affirme surtout dans les couches supérieures (**figure n° 17**) (**Perrodon, 1957**).

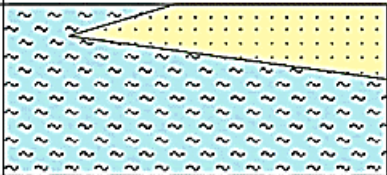
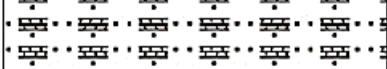

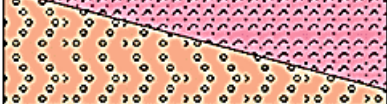
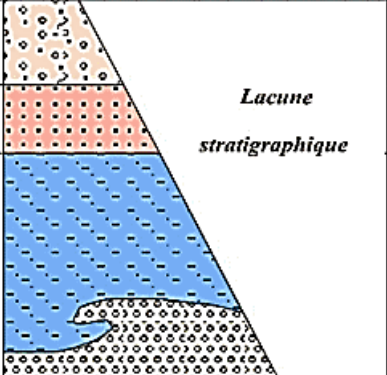
Séries	Etage	Lithologie		Epaisseur
HOLOCENE	Pleistocène à Holocène			50 à 70 m
	PLEISTOCENE	Continental Post-villafranchien		5 à 10 m
Villafranchien II			100 m	
Calabrien			20 à 30 m	
PLIOCENE	Pliocène continental			100 m
	Astien			100 m
	Plaisancien Pliocène inférieur			400 à 500 m
	MIOCENE			Miocène supérieur
Tripolis et argiles-mame- à tripolis Cinérites et biotites		50 à 200 m		
Marnes bleues avec intercalation des des niveaux lenticulaires des grés argileux		600 à 800 m		

Figure n° 17 : Log géologique général (Perrodon, 1957).

➤ Anciens dépôts de la Sebkhha de Benziane :

- Les affleurements qui apparaissent dans les bordures Est et Sud de la Sebkhha de Benziane et qui dominent la plaine d'une cinquantaine de mètres, sont des dépôts argileux, parfois, plus ou moins limoneux, jaunâtres et suffisamment dessalés en surface, pour permettre la culture. Le sous-sol et les couches profondes contiennent de petits cristaux de gypse et sont plus salés, leur couleur devient grisâtre.
- La salure varie d'ailleurs aussi latéralement, elle est loin d'être uniforme à l'affleurement.

- **Dalloni (1952c)**, considère cette formation comme des anciens dépôts de la Sebkhia et mentionne que les rapports de ce terrain, avec les différents niveaux d'alluvions qu'on peut suivre au Nord de la plaine, sont assez difficiles à préciser (**figure n° 18**).

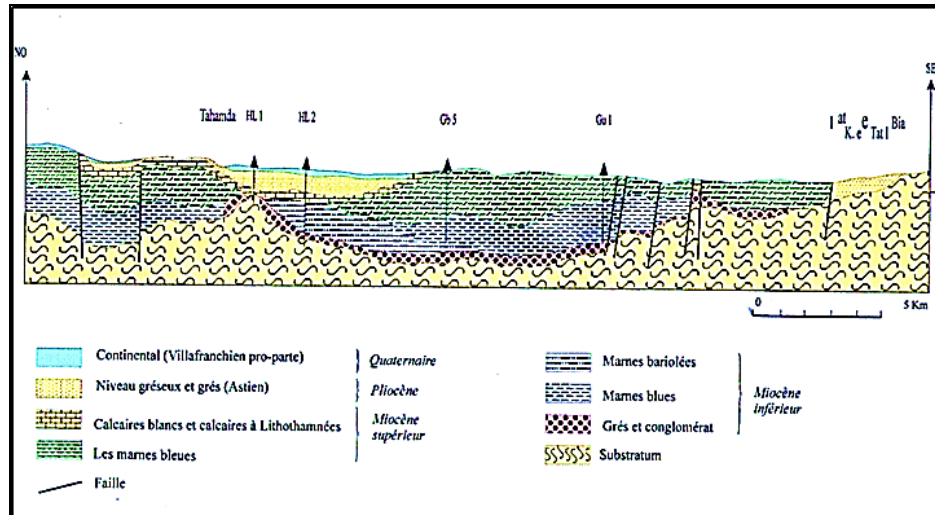


Figure n° 18 : Coupe géologique de la plaine de la Mina (Dalloni, 1952c).

V.2.2. Le cadre paléogéographique et structural :

V.2.2.1. La tectonique :

La plaine de Yellel correspond à une aire synclinale, limitée par les axes anticlinaux de Bouguirat et de Guerbouça, au Sud. Les formations quaternaires, qui recouvrent entièrement la plaine de Relizane, ne permettent guère de représenter l'architecture de son substratum néogène.

Plus à l'ouest, le pliocène réapparaît à l'affleurement sur la zone anticlinale de Guerbouça. Les marnes bleues, assez riches en fossiles, sont sablonneuses et localement bariolées, atteignant une centaine de mètres d'épaisseur. Les formations quaternaires débutent par des formations détritiques, gréseuses et conglomératiques, peu épaisses. Il convient de signaler, au centre de cette plaine, la dépression de la Sebkhia de Benziane qui serait d'après les études de Boulaine, comme la grande Sebkhia d'Oran et les salines d'Arzew, une cuvette surcreusée par des phénomènes de déflation éolienne (**figure n° 19**) (**Perrodon, 1957**).

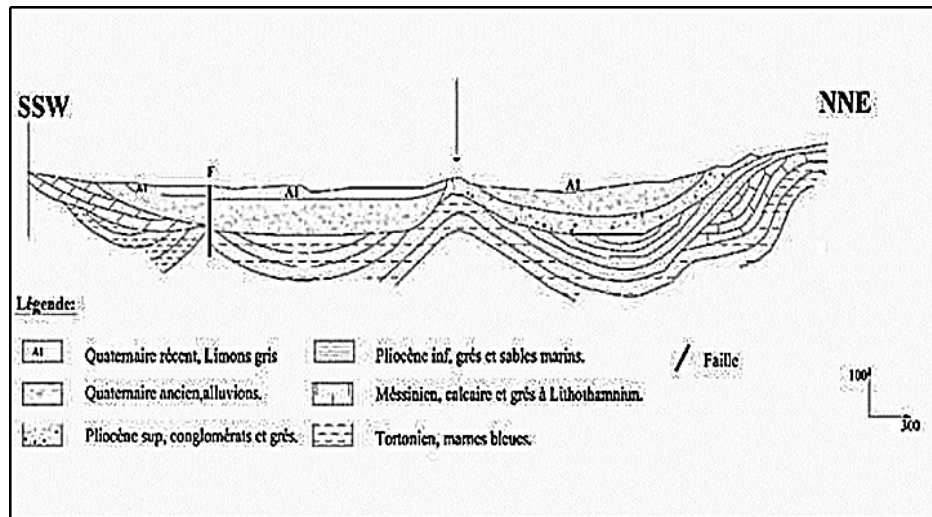


Figure n° 19 : Schéma synthétique de la tectonique souple de la plaine de la Mina (Perrodon, 1957).

V.2.3. L'aspect géomorphologique :

Morphologiquement, la plaine de la Mina est entourée par des plateaux peu élevés et des plaines. Ces dernières, lui donnent la forme d'une cuvette elliptique, allongée, de direction NE-SO. Elle constitue une partie subsidente du bassin Néogène du Bas-Chélif (**figure n° 20**) (PATW ; SOGREA, 2013).

La zone d'étude, comprend toute la région, comprise entre les Monts de Zemmoura, de Belhacel y compris les collines qui entourent la Sebkha de Benziane, avec :

- **Au Nord**, par le massif du Dahra, qui s'élève de 500 à 700 m, constituant une barrière climatique qui réduit l'influence marine de se manifester sous le vent, en termes de condensation et de précipitations. La pluviosité dans cette région est amoindrie de manière remarquable, compte tenu de la proximité des versants côtiers, très arrosés pendant la saison pluvieuse.
- **Au Sud**, par les monts de Zemmoura, dont la partie orographique est moins accentuée. En étiage, 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.
- **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.
- Enfin, **au Nord-est**, par les dépressions, plus ou moins fermées qui se traduisent par la notable Sebkha de Benziane et les Daïas élémentaires environnantes.

L'ensemble, constitue ainsi une plateforme résiduelle de différentes interactions géologiques en matière d'écoulement souterrain. L'hydrochimie ayant un caractère évolutif, représente un effet très marqué sur le comportement spatial de la nappe phréatique.

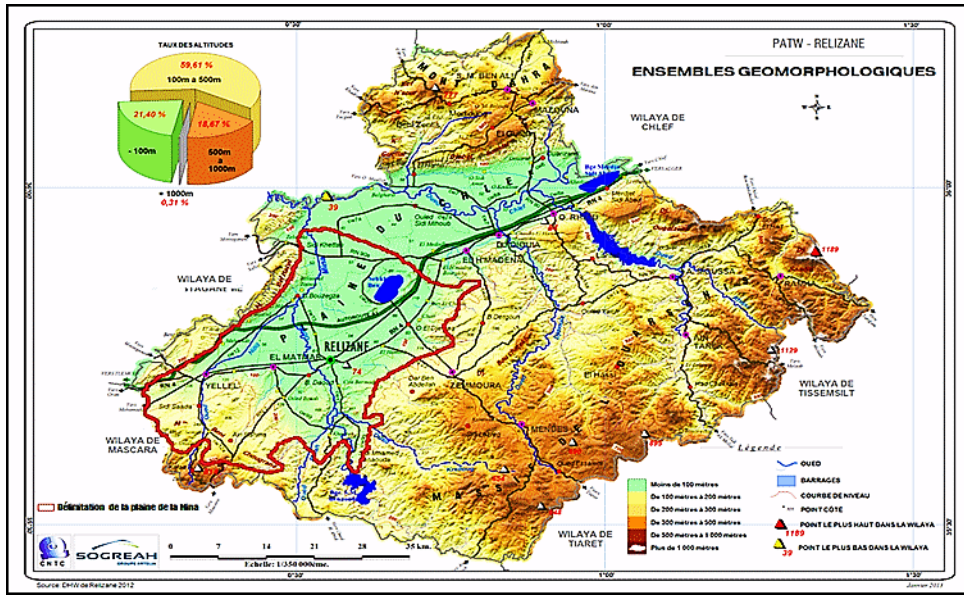


Figure n° 20 : Carte géomorphologique de Relizane (PATW ; SOGREA, 2013).

V.2.4. Le relief :

La topographie de la wilaya de Relizane est constituée de trois (3) ensembles physiques, à savoir :

- La zone de montagne,
- La zone de plaine,
- La zone de collines et des hautes plaines (figure n° 21).

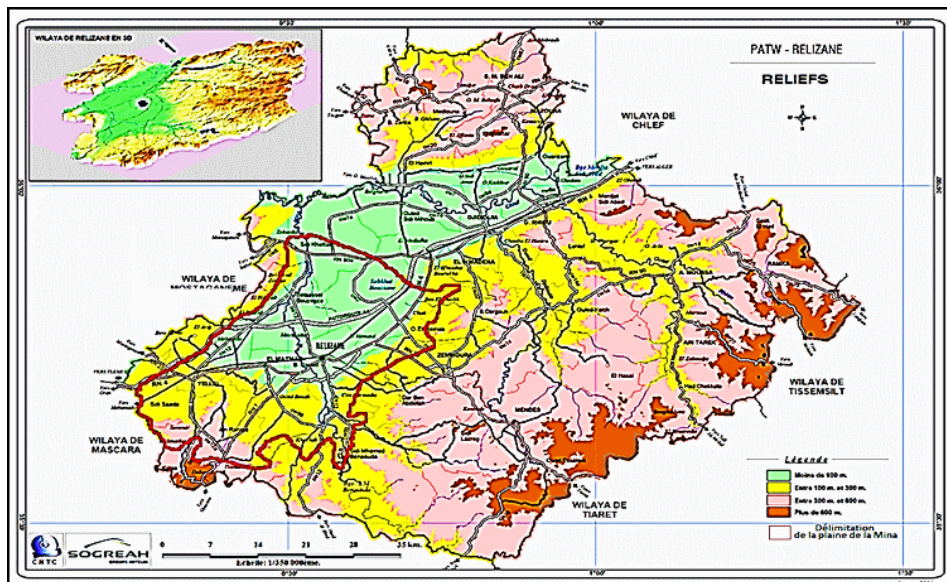


Figure n° 21 : Carte de reliefs de Relizane (PATW ; SOGREA, 2013).

V.2.4.1. La zone de montagne :

La zone de montagne, au niveau du territoire de la wilaya, est caractérisée par un relief accidenté, avec des altitudes qui varient entre 600 et 1200 m, elle représente 08% de la superficie

totale de la wilaya. Cet espace est le plus contraignant du point de vue topographique, il est subdivisé en trois (3) sous zones :

a) Les monts de l'Ouarsenis occidental :

Cette sous zone est située dans la partie Sud-est de la wilaya, elle est constituée par le terminal continental et le prolongement Nord-est des monts d'Ouarsenis. Administrativement, elle couvre le territoire des daïras d'Ammi Moussa, Ain Tarek et Ramka.

Cette sous zone de montagnes, présente un caractère semi-aride, agropastorale et forestier, elle est caractérisée par de fortes pentes et un relief accidenté, avec une altitude supérieure à 1000 mètres et des pentes qui sont, en générale, supérieures à 25%. Le phénomène de l'érosion, en conséquence, est très important.

Le massif forestier couvre 47% de la superficie de cette zone et 17% du massif forestier total de la Wilaya. Les terres agricoles, représentent 30%, et les parcours, 22%. Le climat est semi-aride, frais, et subhumide, frais, la pluviométrie varie entre 600 à 700 mm par an.

b) Les Monts de Dahra :

Correspondent, principalement, à Djebel Rokba et Koudiet Guellal, au Sud-ouest de Mazouna, qui culminent tous les deux à plus de 500 m, avec des pentes supérieures à 25 %. Le climat est semi-aride, doux, avec une pluviométrie qui varie entre 400 et 500 mm/an. Administrativement, cette zone couvre une partie du territoire des communes de Béni Zenthis et El Guettar.

c) Les Monts de Béni Chougrane :

Cet espace est situé au niveau de la localité de Kalaâ, il culmine à plus de 814 m d'altitude. Les reliefs sont ravinés et accidentés, avec une forte pente, supérieure à 25%.

V.2.4.2. La zone des collines et des hautes plaines :

Cette zone, couvre 55% de la surface totale de la wilaya, elle est constituée par les piémonts des collines et par les hautes plaines, les problèmes d'érosion et de ravinement sont très fréquents dans cette zone, l'altitude moyenne varie entre 200 et 400 m. Cet espace, de transition, est subdivisé en quatre (4) sous zones, à savoir :

a) Les piémonts de l'Ouarsenis :

Ce sont des collines et des piémonts à pentes fortes (12 à 25%). Deux (2) ensembles ressorts :

- Djebel Bou Barhiat et Garet El Amra, au niveau de Zemmoura et Mendés. L'occupation du sol est à dominance agricole (75%, dont 9% sont érodés), les terres forestières occupent 21%, elles sont constituées essentiellement par des maquis et des reboisements. Le climat est semi-aride, chaud, la pluviométrie est de 500 mm/an.
- Ouarsenis Sud et Djebel Abdia, au Sud de la RN 04. L'occupation des sols est essentiellement agricole (89%), avec des superficies forestières très insuffisantes (0,3%), eu égard à la fragilité marneuse sur pentes fortes, l'érosion est très

importante. Le climat est aride, chaud, à semi-aride, et la pluviométrie est de 400 à 500 mm/an.

b) Les collines et les hautes plaines du Dahra :

Cette sous zone est constituée par des reliefs vallonnés, à pentes fortes, et la plaine du Gri, elle est située au Nord de Chellif (les Daïras de Mazouna et Sidi M'Hamed Ben Ali). L'occupation du sol est essentiellement agropastorale (plus de 84%) et l'occupation forestière est très faible (1%). Le climat est semi-aride, tempéré, la pluviométrie est de 550 mm/an.

c) La zone de Belahcel et Mekhalia :

Cette sous zone est caractérisée par de basses collines et de petits massifs, qui sont parallèles à l'oued Mina, elle est située au Nord des communes de la Daira de Yellel, et, au Nord de la commune de Sidi Khatab. L'occupation du sol est à dominance agropastorale (84%) et l'occupation forestière est très faible (1%). Le climat est semi-aride, tempéré, avec des précipitations de 550 mm/an.

d) Les piémonts des monts de Beni Chougrane :

Cette sous zone est à caractère agro-sylvo-pastoral, elle est constituée par des espaces fragiles et instables. Dans certaines parties, le sol est dégradé et dénudé de toute végétation. Les terrains sont érodés et soumis à une érosion intense. La couverture forestière est très faible.

V.2.4.3. La zone de plaines :

Constituée des plaines du Bas-Chellif et de la haute vallée de la Mina. Elle couvre 37% de la superficie totale de la wilaya. La zone des plaines est située, de part et d'autre, de la route nationale N° 04. Elle s'étend d'Est en Ouest, avec une altitude qui varie entre 40 et 200 m. Occupant la partie centrale de la wilaya, cette zone est caractérisée par de basses plaines, au relief plat. Le climat est semi-aride, tempéré, et la pluviométrie est de 500 mm/an (**figure n° 22 et tableau n° 13**).

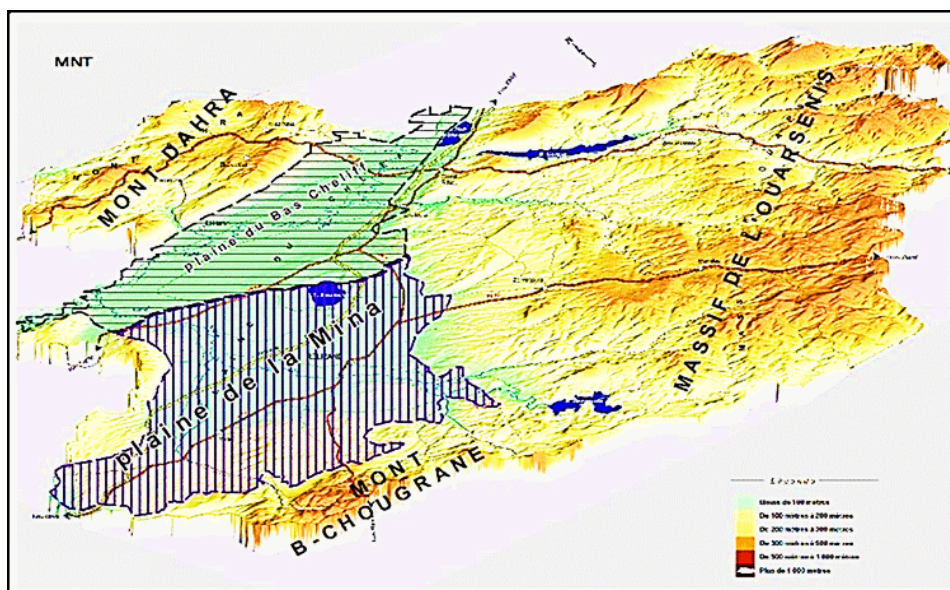


Figure n° 22 : Modèle numérique de terrain (MNT) wilaya de Relizane (PATW ; SOGREA, 2013).

Tableau n° 13 : Synthèse des caractéristiques et potentialités par sous zone.

Zone	Sous zone	Superficie (Ha)	Relief	Lithologie	Climat	Occupation du sol	Typologie
Monts de Dabra Sud - Relizane	Pas de découpage en sous zone	50 758 Ha 10%	Relief vallonné à pentes fortes et plaine du Gri. Altitudes basses= 200 à 400 mètres.	-70% de Marnes dans la partie Centrale. - 20% Croûtes Calcaires au Nord. - Erosion forte dans les Marnes.	Semi aride tempéré. Pluviométrie= 550 mm/an.	- Occupation du sol à dominance agropastorale = 42 692 Ha soit 84% de la zone. - Occupation forestière très faible= 534 Ha soit 1%.	Monts semi aride à typologie agropastorale.
Monts de Bel Hacène et de Mekhalia.	Pas de découpage en sous zone	14 300 Ha 3%	Basses collines et petit massif, parallèle à l'Oued Mina. Altitudes= 200 à 400 mètres.	-70% de Calcaires friables.	-Semi aride tempéré. Pluviométrie= 550 mm/an.	- Occupation du sol à dominance agropastorale = 11 777 Ha soit 82% de la superficie de la zone. - Occupation forestière= 2 145 Ha de maquis soit 15%.	Collines semi arides agropastorales.
Plaines du bas Chélif et haute vallée de la Mina.	Pas de découpage en sous zone	151 305 Ha 31%	Basses plaines au relief plat. Altitudes= 0 à 200 mètres.	-Alluvions et sables.	-Semi aride tempéré. Pluviométrie= 500 mm/an.	- Occupation du sol essentiellement agricole. - Forêts inexistantes.	Plaine semi aride agricole et pastorale.
Monts des Beni Chougrane- Relizane	Pas de découpage en sous zone.	21 915 Ha 5%	Relief de montagne à pentes fortes > 25%. Altitudes variées de 200 à 700 mètres.	- Argiles et Marnes. Alluvions et Sables.	-Semi aride. Pluviométrie= 500 mm/an.	- Occupation du sol essentiellement agricole à 85% de cultures dont 30% (576Ha) sur terres érodées et 60% (11 056 Ha) associés aux parcours. - Terres forestières= 3% de la zone, soit 684 Ha.	Monts semi aride à typologie agropastorale.
Piémonts de L'Ouarsenis- Relizane.	- Djebel Bou Barhiat - Garet El Amra	79 087 Ha 16%	Collines et piémonts à pentes fortes (12 à 25%). Altitudes basses= 400 à 600 mètres.	- Argiles et Marnes. - Grès. - Croûtes calcaires. - Calcaires friables.	Semi aride chaud. Pluviométrie= 500 mm/an.	- Dominance terres agricoles= 75% soit 59 179 Ha dont 9% (5 466) sont érodés. - Terres forestières occupent 21% de la sous zone, soit 16 699 Ha constitués surtout de maquis et reboisements. - Forêts domaniales de Tassalet de Ouled Sidi Yahia et d'Amamra.	Piémonts semi aride agricoles.
	- Ouarsenis Sud et Djebel Abdia.	85 744 Ha 18%	Collines et piémonts à pentes fortes (12 à 25%) et faibles (<12%).	- 90% de Marnes. - Erosion importante.	Aride chaud. Semi aride. Pluviométrie= 400 à 500 mm/an.	- Occupation du sol essentiellement agricole (sur 89% de la sous zone). - Superficies forestières très insuffisantes (0,3%) eu égard à la fragilité des terres marnées sur pentes fortes.	Piémonts et collines semi arides agricoles.
Montagne de l'Ouarsenis- Relizane.	Pas de découpage en sous zone.	83 990 Ha 17%	Relief montagneux à fortes pentes supérieures à 25%.	-Calcaire friables. -Marnes Erosion importante.	-Semi aride frais. - Subhumide frais. Pluviométrie= 600 à 700 mm/an.	-Prédominance des cultures (30% de la zone) et des parcours (22%). - Superficies forestières occupent 39 967 Ha soit 47% de la zone. Forêts domaniales de Oued Lardjern, de Mallaab, de Oued Tlilat, de Oued Rhiou de Chouala, de Ammi Moussa, et de 10 forêts de type T2 (forêts non domaniales).	Montagne semi aride agropastorale et forestière.

V.2.5. Les pentes :

Pour ce qui est des pentes, l'analyse de ce paramètre nous permet de quantifier l'énergie du relief et contribue, dans une large mesure, à l'identification surtout des territoires contraignants (en termes de pentes), notamment pour le développement des activités agricoles, l'urbanisation, la réalisation des infrastructures routières et l'occupation du sol, en général. La carte des pentes, établie à l'échelle 1/350 000^e, compte quatre (4) classes, choisies en fonction des possibilités d'utilisation du sol et du risque que présente chaque catégorie de pente, surtout en terme de sensibilité des terres à l'érosion, mouvement de masse, etc...

Ainsi, les classes de pentes sont données comme suit (**figure n° 23**) :

- a) 0 à 3%
- b) 3 à 12,5%
- c) 12,5 à 25%
- d) à 25%.

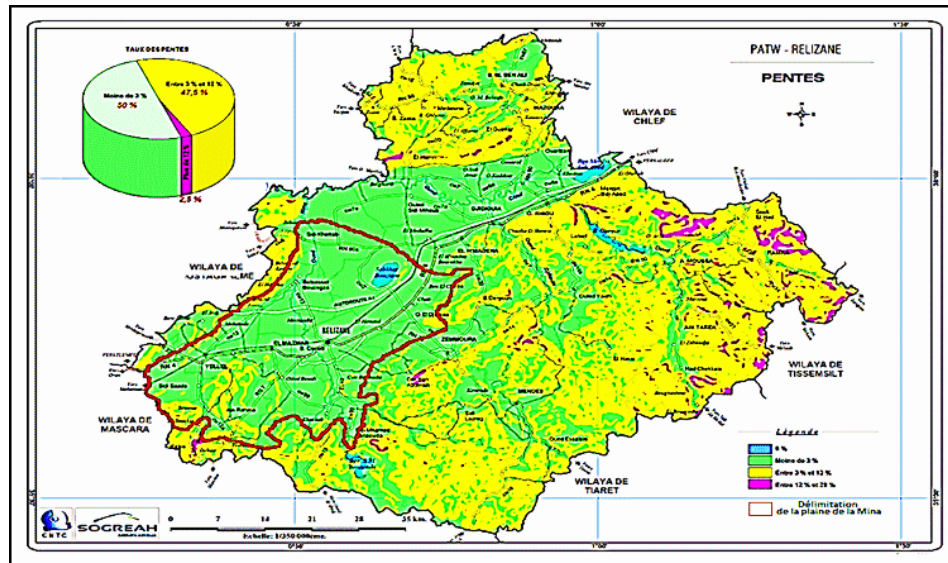


Figure n° 23 : Carte des pentes de la wilaya de Relizane (PATW ; SOGREAH, 2013).

En examinant cette carte (**figure n° 23**), on remarque la prédominance des territoires à faible pente, c'est-à-dire inférieure à 3%, correspondant aux zones de plaines, qui englobent les plaines de la Mina et du Bas-Cheliff, ainsi que les hautes plaines de Mazouna et les zones alluviales le long de la RN 23 et la RN 90. Ces terrains sont favorables à l'agriculture et à l'urbanisation, ce qui explique l'importance de la surface agricole utile (SAU). Les zones à fortes et à très fortes pentes (supérieures à 12%), représentent 2,5% seulement de la surface totale de la wilaya. Ces dernières, correspondent à la zone montagneuse, que l'on retrouve principalement dans la partie Sud-est, au niveau des monts de l'Ouarsenis.

Les terres, à pente moyenne, occupent environ 102 526 hectares. Elles correspondent, en général, aux piémonts et aux collines. On les retrouve autour des plaines et au contact des hautes plaines.

V.2.6. La 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, Oran, 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 argiles tertiaires, 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 al.*, 1974).



Chapitre VI :
ETUDE CLIMATIQUE



VI. L'étude climatique

VI.1. Introduction :

Le climat est défini par l'ensemble des actions de l'atmosphère (pluie, température, vent, etc.), c'est un facteur de distribution spatiale de la végétation et de la **pédogenèse** (formation des sols et leur évaluation) (**Pierre et al., 1970**).

La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques, annuelles et mensuelles, sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Ces analyses, permettent de classer les climats des différentes régions du monde selon leurs caractéristiques principales.

Emberger (1971), a étudié le climat méditerranéen en mettant progressivement au point une méthode, dont l'efficacité permet de le caractériser et d'y reconnaître les sous-unités. Depuis, lors, ces éléments ont été beaucoup travaillés, repris, discutés et appliqués, notamment dans les travaux d'**Ahdali et al. (1976 et 1981)** ; **Djellouli (1981)** et **Quezel et al. (1982)**.

Le climat de l'Algérie a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, notamment, par : **Seltzer (1946)** ; **Bagnouls et al. (1953)** ; **Emberger (1954)** ; **Chaumont et al. (1971)** ; **Stewart (1975)** ; **Bottner (1981)** ; **Le Houérou (1995)**. Tous ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen.

Ainsi, le climat méditerranéen se trouve caractérisé par deux (2) points importants, qui sont :

- Un **régime pluviométrique**, plus ou moins régulier, avec un maximum, en hiver, et un minimum, en été. Les précipitations sont inversement proportionnelles aux températures,
- Un été sec, avec des pluies qui se font rares pendant 04 à 06 mois en Afrique du Nord (**Belgherbi, 2002**).

Le climat est analysé à l'échelle d'une région, en se basant sur des données fournies par des stations météorologiques, la synthèse climatique de notre région d'étude est faite sur la base des données météorologiques de la station de Relizane, vu sa proximité de la plaine de la Mina (**tableau n° 14**).

Tableau n° 14 : Caractéristiques géographiques de la station de référence.

Caractéristiques de la station	Altitude	Latitude	Longitude
Relizane	79	35°44'48" N	0°33'36" E

VI.2. Les facteurs climatiques :

Cette étude a pour but de montrer l'évolution du climat dans le temps, d'où un probable changement climatique. Elle s'est basée sur la comparaison des données climatiques, en exploitant, d'une part, les anciennes données climatiques de **Seltzer (1946)**, de la période allant de 1913 à 1936, et, d'autre part, les données actuelles de la station de Relizane, d'une période s'étalant de 1987 à 2012.

Les principaux paramètres climatiques retenus dans cette étude, sont : les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative et l'évapotranspiration.

Les précipitations 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).

VI.2.1. Les précipitations :

Elles représentent la source principale d'eau, nécessaire pour une production de la biomasse, caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon le jour, les mois et aussi selon les années (Guyot, 1997).

En générale, l'origine des pluies en Algérie est plutôt **orographique**, en effet les paramètres climatiques varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagne et de l'exposition (Kadik, 1986).

L'un des traits originaux du climat en méditerranée 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 *et al.*, 1946).

D'après la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (figure n° 24), établie par l'ANRH (1993), on constate que la pluviométrie est :

- **Supérieure**, dans la partie Nord-est.
- **Moins importante**, dans la partie Nord-ouest.
- **Faible**, dans la partie Sud.

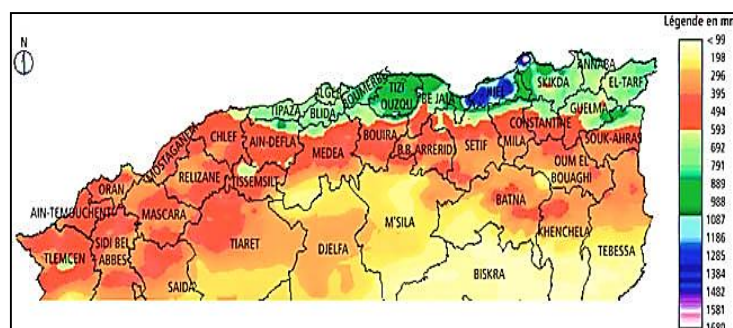


Figure n° 24 : Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (ANRH, 1993).

VI.2.1.1. Les précipitations (période 1913-1938) :

Le **tableau n° 15**, ci-dessous, décrit la pluviométrie moyenne mensuelle de la région d'étude, selon les travaux de Seltzer (1946), sur une période de 25 ans (1913-1938).

Tableau n° 15 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1913-1938) (en mm) (Seltzer, 1946).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P mm	20	35	30	53	47	37	40	32	23	5	2	3	327

L'analyse du **tableau n° 15**, montre une tranche pluviométrique annuelle assez bien répartie. Il est très important de disposer de données anciennes, telles que celles de Seltzer, et très intéressant de les comparer avec des données plus récentes.

VI.2.1.2. Les précipitations (période 1993-2018) :

Le **tableau n° 16**, ci-contre, donne la répartition des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude, selon l'ONM, de la période allant de 1913 à 1938.

Tableau n° 16 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (en mm) (1993-2018) (O.N.M).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P mm	14,86	29,33	35,6	49,22	42,3	35,62	24,12	15,76	5,58	2,04	0,98	1,1	256,51

A la lecture du **tableau n° 16**, ci-dessus, la plaine de la Mina est caractérisée par une irrégularité spatio-temporelle de la pluviosité. Elle reçoit une précipitation moyenne annuelle de 256,51 mm, durant la période 1993-2018. Le maximum des précipitations moyennes mensuelles, correspond au mois de Décembre, avec 49,22 mm, et le minimum, au mois de Juillet, avec 0.98 mm.

La hauteur moyenne des pluies est relativement assez faible dans la région d'étude. Elle n'excède qu'exceptionnellement les 400 mm/an (**figure n° 25**).

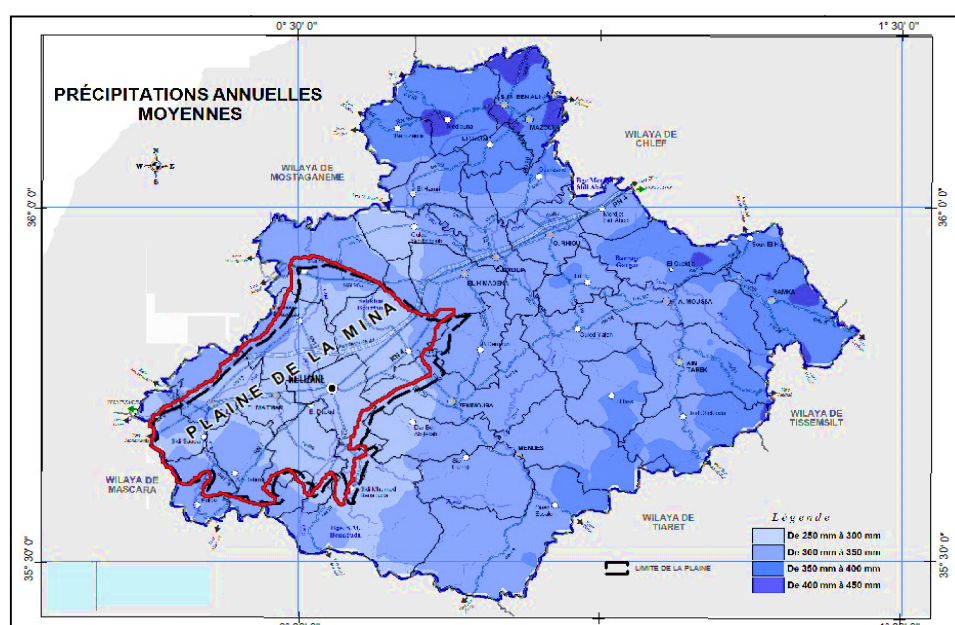


Figure n° 25 : Carte des précipitations annuelles moyennes (PATW, SOGREAH, 2013).

VI.2.1.3. La variabilité pluviométrique interannuelle :

Les précipitations sont des données climatiques très variables dans l'espace et dans le temps, cependant, ces variations observées dépendent du type de climat (**Guyot, 1997**).

Ce qui caractérise le climat méditerranéen est la grande irrégularité interannuelle des précipitations, appelée parfois « infidélité » du climat méditerranéen. Il semble que « l'infidélité » pluviométrique soit d'autant plus grande que le climat est plus aride (**Seigue, 1985 ; Guyot, 1997**).

En Afrique du Nord, entre les **isohyètes** de 600 à 400 mm, le coefficient de variation des pluies annuelles est de 25 à 35 %, ce pourcentage passe progressivement de 35 à 60 %, entre les isohyètes de 400 à 100 mm (**Le Houérou, 1995**).

Donc, le climat méditerranéen se distingue nettement des autres climats par une amplitude des fluctuations nettement plus grande (Guyot, 1997). La figure n° 26, ci-contre, donne une idée sur les fluctuations interannuelles de la pluviométrie de la région d'étude, sur une période de 25 ans (1993-2018).

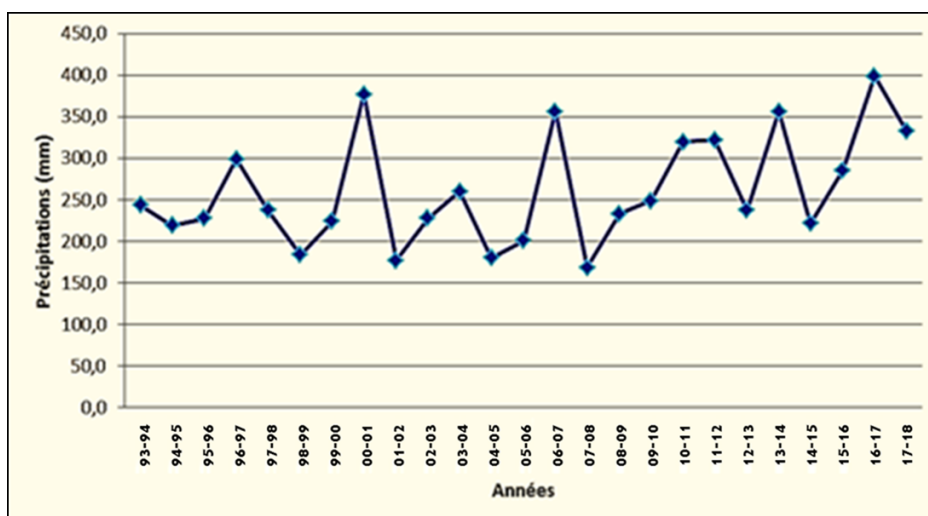


Figure n° 26 : Variation des précipitations moyennes annuelles (période 1993-2018).

VI.2.1.4. Le régime pluviométrique :

Il permet de voir la forme de répartition saisonnière des précipitations, cette répartition entraîne naturellement d'importantes conséquences écologiques et agronomiques. Défini par Musset (1981), un climat ne peut être méditerranéen que si et seulement si, le module pluviométrique estival est le plus faible des quatre modules saisonniers (figure n° 27) (tableau n° 17).

Dans la symbolique de Musset, l'indicatif d'une station devra donc être de type - - - E, pour être qualifié de climat méditerranéen.

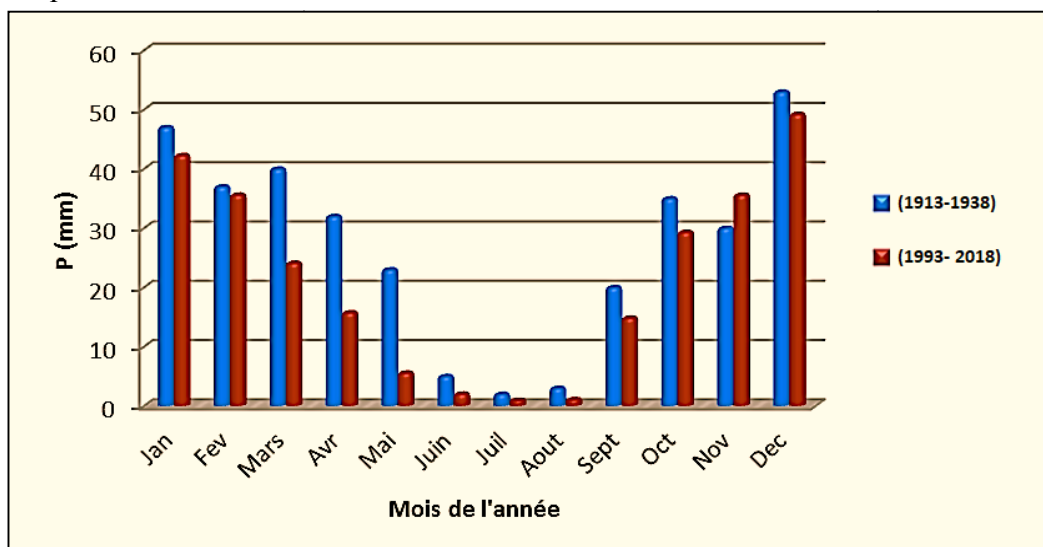


Figure n° 27 : Répartition moyenne mensuelle des précipitations (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).

Tableau n° 17: Précipitations moyennes saisonnières (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).

Saison Périodes	Automne		Hiver		Printemps		Eté		Moy. (mm)	Régime pluvio.
	Précipitations saisonnières (mm et %)									
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%		
1913-1938	85	25,99	137	41,89	95	37,03	10	3,05	327	HPAE
1993-2018	79,79	31,1	127,14	49,56	45,46	17,72	4,12	2,04	256,51	HAPE

HPAE : Hiver Printemps Automne Eté ; HAPE : Hiver Automne Printemps Eté.

On peut déduire du **tableau n° 17**, ci-dessus, que le régime pluviométrique est passé du régime hiverno-printanier à un régime hiverno-automnale, donc d'un **régime de type HP AE** (période 1913-1938), avec deux périodes bien distinctes : une pluvieuse, avec deux saisons successives (hiver et printemps), et une période moins arrosée, voire sec, avec deux saisons successives, aussi (été et automne), à un **régime de type HA PE** (période 1993-2018), avec deux périodes : une pluvieuse, avec deux saisons successives (automne et hiver), et une période moins arrosées, avec deux saisons successives, aussi (printemps et été).

La moyenne annuelle de la période (1913-1938), était de 327 mm (**Seltzer, 1946**), cette moyenne a connu une régression nette de 21.55%, avec une moyenne annuelle de 256,51mm, durant la période (1993-2018). Ce déficit se traduit par une nette tendance vers une phase de sécheresse, caractérisée par un cycle plus long des mois secs (fin Février, jusqu'à presque mi-octobre).

VI.2.2. Les températures :

La température est également 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**).

Elle joue un rôle majeur dans la détermination du climat régional. Les valeurs prises en considération sont celles ayant une signification biologique (**Emberger, 1955**), et sont :

- La moyenne des « minima », du mois le plus froid « m », en (°C).
- La moyenne des « maxima », du mois le plus chaud « M », en (°C).

Tableau n° 18 : Répartition des températures moyennes mensuelles(°C) (périodes 1913-1938 et 1993-2018).

Périodes	Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy°C	M-m °C
	1918-1938	m °C	17,6	12,8	9,1	5,5	4,5	5,7	7,1	9,1	12,3	15,1	18,6	19,7	11,4
M °C		32,5	26,4	19,9	16,1	15,3	16,9	20	23,4	27,8	32,1	37,2	37,7	25,4	
Moy °C		25,05	19,6	14,5	10,8	9,9	11,3	13	16,3	20,1	23,6	27,9	28,7	18,4	
1993-2018	m °C	16,6	14,8	9,2	7,8	6,2	6,8	9,1	10,9	15,5	17,6	21,8	20,1	13	14,2
	M °C	32,2	28,1	22,5	19,3	17,5	18,8	23	23,9	31,8	34,1	38,8	37,7	27,3	
	Moy °C	24,4	21,45	15,9	13,55	11,85	12,8	16	17,4	23,7	25,9	30,3	28,9	20,1	

Les températures moyennes, telles qu'enregistrées dans le **tableau n° 18**, ci-dessus, et la **figure n° 28**, ci-dessous, sont interprétées comme suit :

- Une **température moyenne annuelle** de **20,1°C**, durant la période (1993-2018), avec une hausse de 1,7°C, par rapport à la période (1913-1938), qui a enregistré une moyenne de 18,4°C.
- Une **température moyenne annuelle maximale** de **27,3°C**, durant la période (1993-2018), avec une hausse de 1,8°C, par rapport à la période (1913-1938), qui a enregistré une moyenne de 25,4°C, avec Juillet comme le mois le plus chaud de l'année, pour la période (1993-2018), avec 38,8°C.
- Une **température moyenne annuelle minimale** de **13°C**, durant la période (1993-2018), avec une hausse de 1,7°C, par rapport à la période (1913-1938), qui a enregistré une moyenne de 11,4°C, et avec 6,2°C, pour Janvier, comme moyenne mensuelle la plus basse de l'année, pour la période récente, avec une hausse de 1,7°C, par rapport à l'ancienne période, avec 4,5°C.

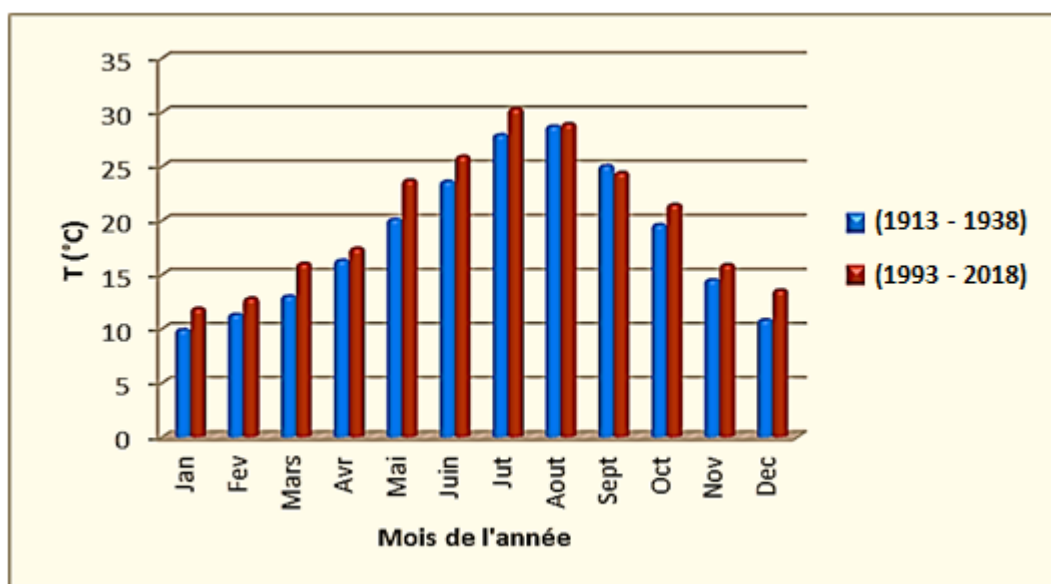


Figure n° 28 : Répartition des moyennes mensuelles des températures (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).

VI.2.3. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration, composante essentielle du bilan hydrologique, permet de comprendre les mécanismes régissant les relations entre eaux de surface et eaux souterraines (Xu, 2005).

D'autre part, l'étude de ce paramètre présente un grand intérêt pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation et celle de la fluctuation des niveaux piézométriques des nappes phréatiques, suite à des changements climatiques (Hamadi *et al.*, 2003).

Par définition, l'évapotranspiration est la somme des volumes d'eau utilisée par les plantes (eau de constitution, eau de végétation), avec l'eau évaporée par la surface du sol (Ollier *et al.*, 1981).

Tableau n° 19 : Evapotranspirations potentielles (ETP) moyennes (deux périodes 1913-1938 et 1993-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
1918-1938	124	80	35	19	17	21	36	78	112	139	183	182	966
1993-2018	151	100	52	40	44	62	99	133	175	196	230	235	1517

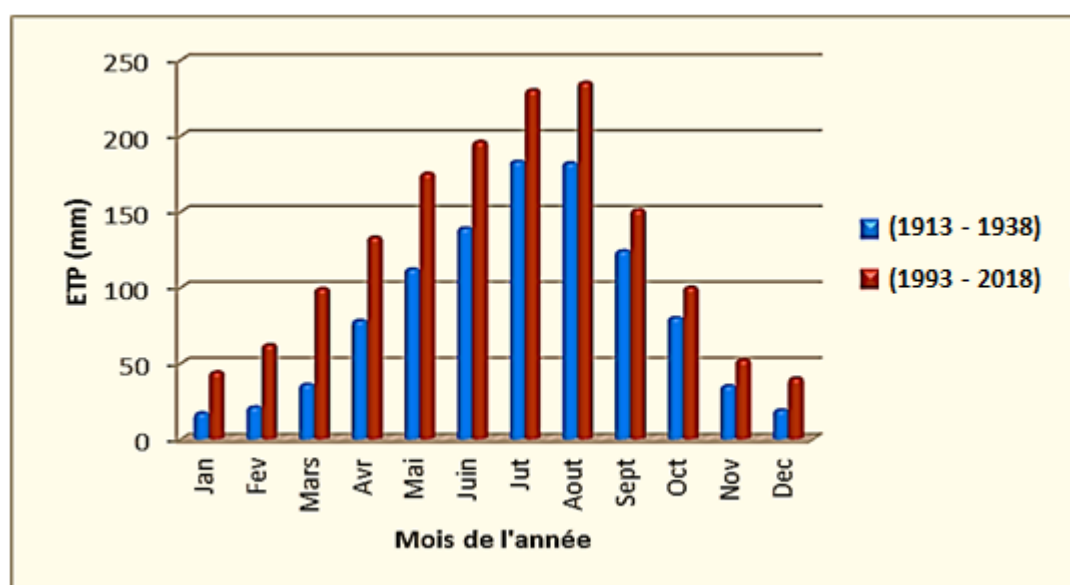


Figure n° 29 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (deux période 1913-1938 et 1993-2018).

Du **tableau n° 19** et de la **figure n° 29**, ci-dessus, on remarque une augmentation des valeurs de l'évapotranspiration mensuelle, durant toute la période (1993-2018), et ce, par rapport aux données de la période (1913-1938).

En outre, la comparaison des relevés mensuels de la pluviométrie et des valeurs de l'ETP (**tableau n° 20** et la **figure n° 30**), ci-dessous, montre un déficit hydrique important de l'ordre de **-1260,49 mm/an**. Ce déficit est accentué de manière considérable durant la période allant de mars à octobre.

Tableau n° 20 : Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et déficit hydrique (période 1993-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total annuel
P(mm)	14,86	29,33	35,6	49,22	42,3	35,62	24,12	15,76	5,58	2,04	0,98	1,1	256,51
ETP(mm)	151	100	52	40	44	62	99	133	175	196	230	235	1517
Dif(mm)	-136	-71	-16	9,22	-1,7	-26	-75	-117	-169	-194	-229	-233,9	-1260,49

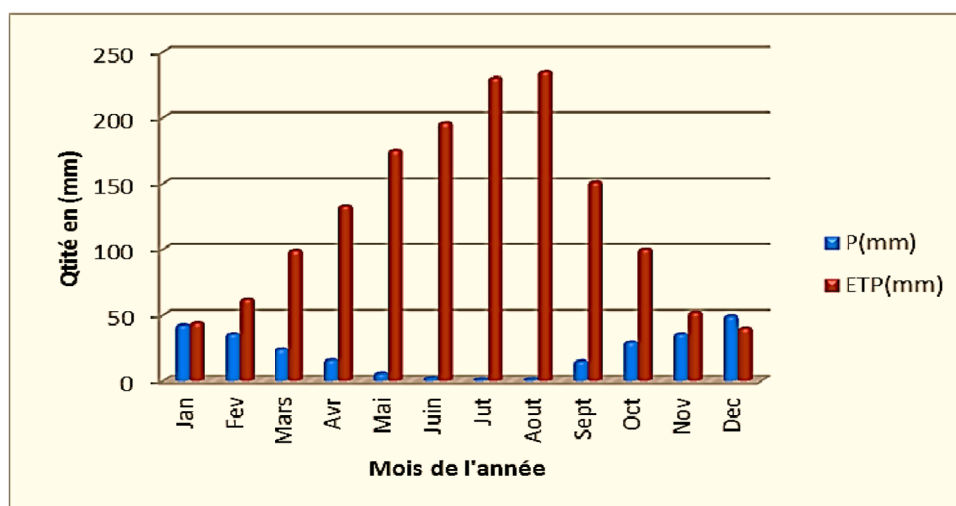


Figure n° 30 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évapotranspiration potentielle et des précipitations (période 1993-2018).

VI.2.4. Les vents :

Ils jouent un rôle très important dans le système climatique et affectent aussi le développement et la vie des plantes (**Beniston, 1984**) ; là où le vent souffle fréquemment, avec violence, les plantes ne peuvent se développer normalement (**Huetz de Lempis, 1970**).

Les actions du vent se manifestent, soit :

- en abaissant ou en augmentant la température, suivant les cas ;
- en augmentant la vitesse d'évaporation, il a donc un pouvoir desséchant.

Dans la région d'étude, la valeur de la vitesse du vent n'est pas constante, tout au long de l'année, mais sa variation mensuelle reste très peu prononcée (**tableau n° 21**).

Tableau n° 21 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents (période 1993-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août
Moy m/s	2,6	2,3	2,5	2,7	2,9	2,8	3,1	2,9	3	3,0	2,8	2,8

Les vents bénéfiques sont ceux de l'Ouest et du Nord-ouest, avec, respectivement 20% et 4% des fréquences. Ces vents déplacent des masses d'air instable, chargé d'humidité, laquelle se transforme en précipitations au contact des massifs (**tableau n° 22**).

Tableau n° 22 : Fréquence des vents soufflant sur la région d'étude (période 1993-2018).

Direction	N	N/E	E	S/E	S	S/O	O	N/O
%	20	2	5	2	17	3	13	4

Par contre, des vents violents et chauds sévissent dans le désert, appelés sirocco, qui se déplacent vers le Nord, en période de basse pression en méditerranée (en été et printemps, avec une fréquence de 17%) (**tableau n° 22**). Ces vents soufflent sur la région de 12 à 30 jours, en moyenne, par année, pour la période (1993-2018). Cette moyenne était de 7 à 17 jours, durant la période (1913-1938), de tels vents sont extrêmement néfastes à la végétation, à la fois, par leur capacité de dessèchement (sols et plantes) et leurs forces destructives (**Beniston, 1984**).

VI.2.5. La nébulosité :

Elle indique la fraction du ciel, couvert par des nuages. Elle joue un rôle important sur la température et l'évaporation. Un ciel totalement couvert, représente un indice 10, un ciel clair par 0.

D'après les données de la période d'observation, on constate que le mois le plus couvert de l'année est le mois de janvier et le mois le plus dégagé est celui de juillet (**tableau n° 23**).

Tableau n° 23 : Nébulosité de la région d'étude (période 1993-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moy année
Nébulosité	2,2	2,7	3,2	3,4	3,8	3,3	3,3	3,3	2,3	1,9	1,2	1,6	2,7

VI.2.6. L'humidité relative de l'air :

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa), à la pression de vapeur saturante (Pr), dans les mêmes conditions de mesure de température, lue au thermomètre sec et en pression.

L'humidité annuelle moyenne dans la zone d'étude est de 57,8%, avec Janvier, comme le mois le plus humide, et Août, comme le mois le plus sec, avec une humidité de seulement 39,6%, (**tableau n° 24**).

Tableau n° 24 : Répartition des moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en (%) (période 1993-2018).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy année
Moy (%)	51,8	60,1	70,9	75	79,5	65,8	60,6	55,3	50,7	42,9	41,4	39,6	57,8

VI.2.7. Les gelées :

Les basses températures brusques, peuvent avoir un effet létal sur la plante, soit par un effet de dessiccations des cellules, soit par formation de cristaux de glace dans l'espace intercellulaire. La sensibilité au gel varie selon le type de culture et l'espèce, mais également et surtout en fonction de son stade de développement, c'est pourquoi le nombre de jours de gel et son intensité s'avèrent très importants pour la végétation.

D'après les valeurs du **tableau n° 25**, on remarque que leur fréquence a doublé entre les deux périodes (1918-1938 et 1993-2018).

Tableau n° 25 : Répartition mensuelle du nombre de jours de gelées (périodes 1918-1938 et 1993-2018).

Mois périodes	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
(1918-1938)	0	0,2	2,7	7,5	1,1	0,6	2,4	1,2	0,3	0	0	0	16
(1993 2018)	0	0	2,4	9	11	8	4,6	3	0	0	0	0	38

VI.2.8. La synthèse bioclimatique :

Tous les facteurs climatiques, étudiés précédemment, sont liés les uns aux autres et constituent, pour les plantes, un milieu bioclimatique original (**Huetz De Lemps, 1970**), car dans la nature, les facteurs agissent de façon conjuguée et non séparée (**Aussenac, 1973**).

La répartition des précipitations, au cours de l'année, et les variations de la température, constituent deux éléments indissociables, dans la vie des plantes, et de nombreux spécialistes ont cherché à caractériser, par des indices et des diagrammes, les relations entre les divers facteurs climatiques (**Huetz De Lemps, 1970**).

Ces indices ont été utilisés, afin d'établir des critères de comparaison et de classification entre les climats (**Guyot, 1997**).

VI.2.8.1. L'indice de continentalité thermique :

Selon **Emberger (1971)**, "la vie du végétale se déroule entre deux pôles thermiques, la moyenne des minimas, du mois le plus froid (**m**), et la moyenne des maximas, du mois le plus chaud (**M**)". D'après **Debrach (in Alcaraz, 1982)**, on peut distinguer quatre (4) types de climats, suivant l'amplitude thermique :

- Climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}\text{C}$
- Climat littoral : $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$
- Climat semi-continental : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- Climat continental : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$

Tableau n° 26 : Indice de continentalité thermique de la zone d'étude.

Moy Périodes	M°C	m°C	M-m°C	Type de Climat
1918-1938	37,7	4,5	33,2	Climat semi-continental
1993-2018	38,8	6,2	32,6	Climat semi-continental

Du **tableau n° 26**, donné ci-dessus, et suivant les résultats des calculs, il ressort que la région d'étude est située dans un climat semi-continental, avec un écart thermique de $33,2^{\circ}\text{C}$, pour la période (1913-1938), et de $32,6^{\circ}\text{C}$, pour celle de (1993-2018).

VI.2.8.2. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен :

L'indice ombrothermique de **Gausсен (1952)** (ou **indice Gausсен-Bagnouls**), a franchi le temps à cause de sa simplicité et de son efficacité, car, pour **Gausсен**, un mois est considéré comme sec, si le quotient des précipitations mensuelles **P**, exprimé en mm, par la température moyenne **T**, exprimée en $^{\circ}\text{C}$, est inférieur à 2.

La représentation, sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles, avec en abscisse les mois, permet d'obtenir le diagramme ombrothermique, qui met immédiatement en évidence la période sèche et la période pluvieuse (**Guyot, 1997**).

Les échelles, prises en ordonnées, sont telles que, 1°C correspond à 2 mm de précipitations ; donc on a une période sèche, chaque fois que la courbe des températures passe

au-dessus de la courbe des précipitations (Le Houérou, 1995 ; Guyot, 1997), avec ce diagramme, la période sèche ou humide peut être facilement calculé (Hufty, 2001).

La période sèche est, par définition, celle où se manifeste, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique, plus ou moins intense et plus ou moins continue (Le Houérou, 1995).

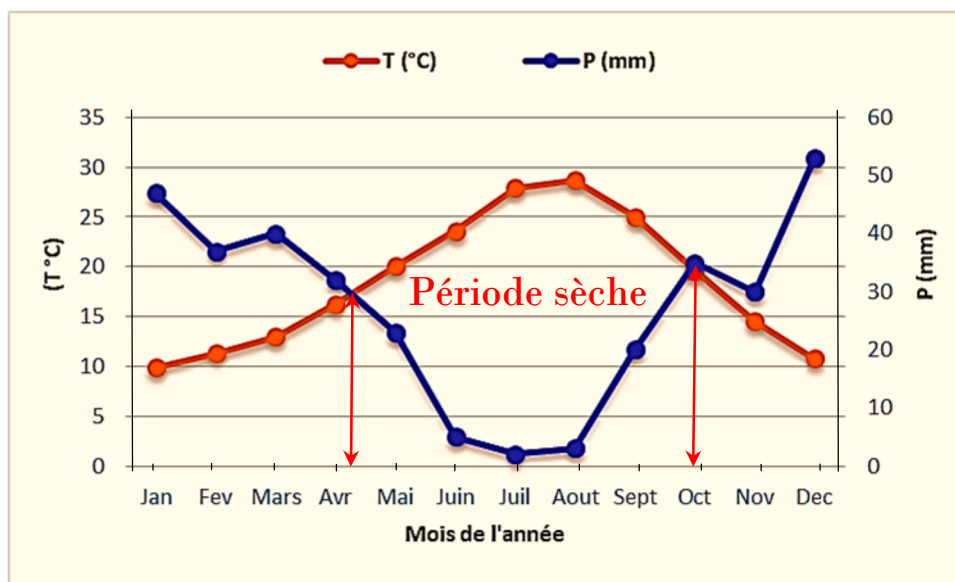


Figure n° 31 : Diagramme Ombrothermique de la région d'étude (période 1913-1938).

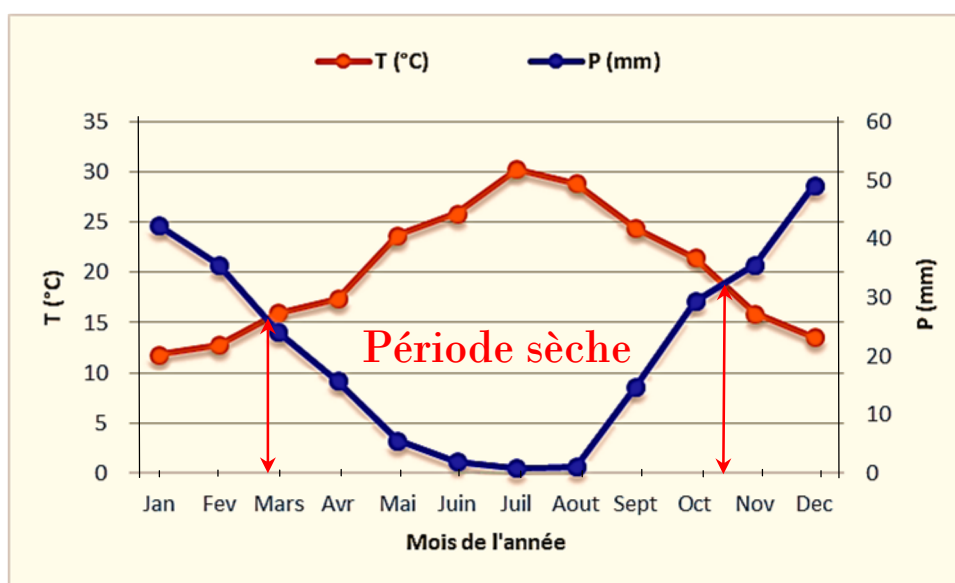


Figure n° 32 : Diagramme Ombrothermique de la région d'étude (période 1993-2018).

Les figures n° 31 et 32, ci-dessus, représentent les diagrammes ombrothermiques de la région d'étude des deux périodes, où on remarque que la période sèche y est très longue, et elle l'est encore beaucoup plus durant la période récente (1993-2018), avec pour :

- La période 1913-1938, ancienne, elle s'étale du début du mois d'Avril, jusqu'à la fin Septembre, soit sur presque 155 jours.
- La période 1993-2018, récente, elle va de la fin du mois de Février, jusqu'aux environs de la mi-octobre, soit presque 215 jours.

VI.2.8.3. L'indice d'aridité de Demartonne :

Cet indice a été très largement utilisé, du fait de sa simplicité, il permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température (Guyot, 1997), avec la variation correspondant aux changements de l'écoulement de l'eau pour une zone donnée (Hufty, 2001).

Cet indice, caractérise l'aridité du climat d'une région donnée. Il s'exprime comme suit :

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

- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **T** : Température moyenne annuelle en (°C).

Demartonne a proposé, ainsi, la classification des climats en fonction des valeurs de cet indice (tableau n° 27). Cette classification du climat, montre qu'un indice de 20, représente la limite de la sécheresse (Hufty, 2001), avec :

- 30 < I < 55 : Climat Humide.
- 20 < I < 30 : Climat Semi-Humide.
- 10 < I < 20 : Climat Semi-Aride.
- 5 < I < 10 : Climat Aride.
- 0 < I < 05 : Climat Hyper Aride.

Tableau n° 27 : Indice d'aridité de Demartonne de la zone d'étude (périodes 1913-1938 et 1993-2018).

Paramètres / Périodes	P(mm)	T(°C)	$I = \frac{P}{(T + 10)}$	Types de climat
1913-1938	327	18.4	11.51	Semi-Aride
1993-2018	256.51	27.3	6.87	Aride

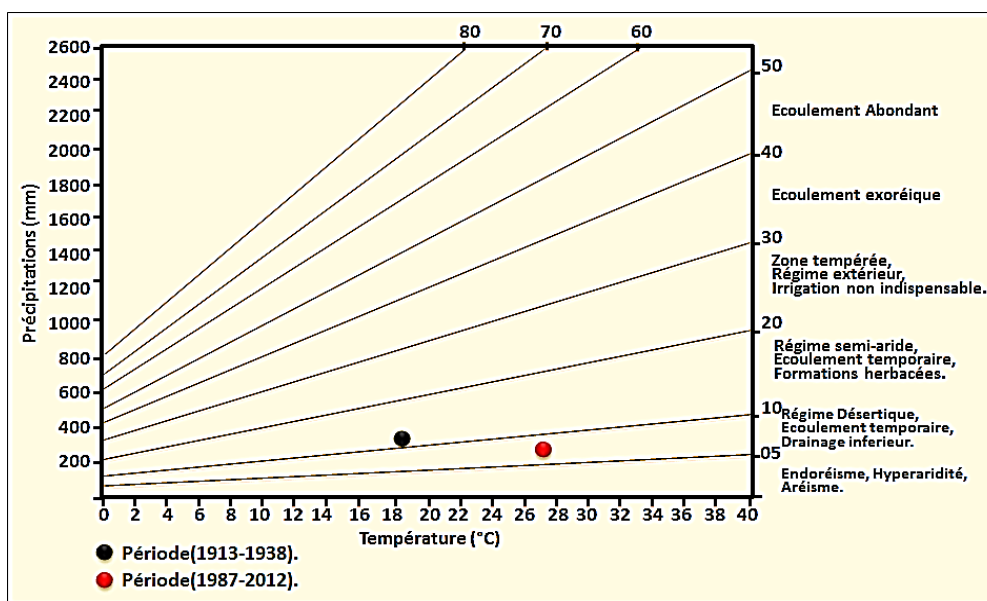


Figure n° 33 : Positionnement de la zone d'étude par rapport à la pluviométrie (M), et l'indice d'aridité.

L'indice d'aridité est de **11.51**, pour la période (1913-1938), donc la région se caractérise par un climat **Semi-aride**. Par ailleurs, il est de **6.87**, pour la période (1993-2018), d'où une régression du climat à un climat **Aride sec**, avec un écoulement temporaire et une tendance à la sécheresse (**figure n° 33**).

VI.2.8.4. Le Quotient pluviométrique et le climagramme d'Emberger :

Emberger, a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen, capable de rendre compte de la sécheresse (**Daget, 1977**). En effet, il a remarqué que dans la région méditerranéenne, l'amplitude thermique annuelle est un facteur important de la répartition de la végétation ; donc, outre la moyenne, entre la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), **Emberger** fait intervenir leur différence, c'est-à-dire, une idée de continentalité dans le quotient (**Hufty, 2001**).

Le quotient **Q₁**, a été formulé de la façon suivante :

$$Q_1 = \frac{P}{2 \frac{M+m}{2} (M-m)} \times 100$$

Avec :

- **P** : représente la pluviosité moyenne annuelle en (mm).
- **M** : la moyenne des maxima, du mois le plus chaud, en **degré centigrade (°K)**.
- **m** : la moyenne des minima, du mois le plus froid, en degré centigrade (°K).

Ce quotient, avec le temps, a subi des améliorations dans le sens d'une simplification (**Benabdeli, 1996a**), jusqu'à aboutir à **Q₂** :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Où :

- **P** : moyenne des précipitations annuelles (mm).
- **M** : moyenne des maxima, du mois le plus chaud, en degré Kelvin (T(°K)=T(°C)+273,2).
- **m** : moyenne des minima, du mois le plus froid, en degré kelvin (T(°K)= T(°C)+273,2).

Pour définir l'étage bioclimatique, nous avons utilisé le climagramme pluviothermique de **Sauvage (1963)**, qui combine les deux paramètres climatiques (température et pluviométrie) (**tableau n° 28**).

Tableau n° 28 : Ambiance bioclimatique de correspondance de la zone d'étude.

Paramètres Périodes	M (K°)	m (K°)	P(mm)	Q ₂	Ambiance bioclimatique	
					Etage	Variante
1913-1938	310,9	277,7	327	33,46	Aride supérieur	Tempéré
1993-2018	312	279,4	256.51	26,6	Aride inférieur	Tempéré

On peut observer du climagramme d'Emberger (figure n° 34), un décrochement significatif de la zone d'étude, durant la période actuelle, vers la droite, par rapport à la période ancienne, où la région est passé d'un **étage bioclimatique aride supérieur**, à hiver tempéré (période 1913-1938), à un **étage aride inférieur**, à hiver tempéré (période 1987-2012).

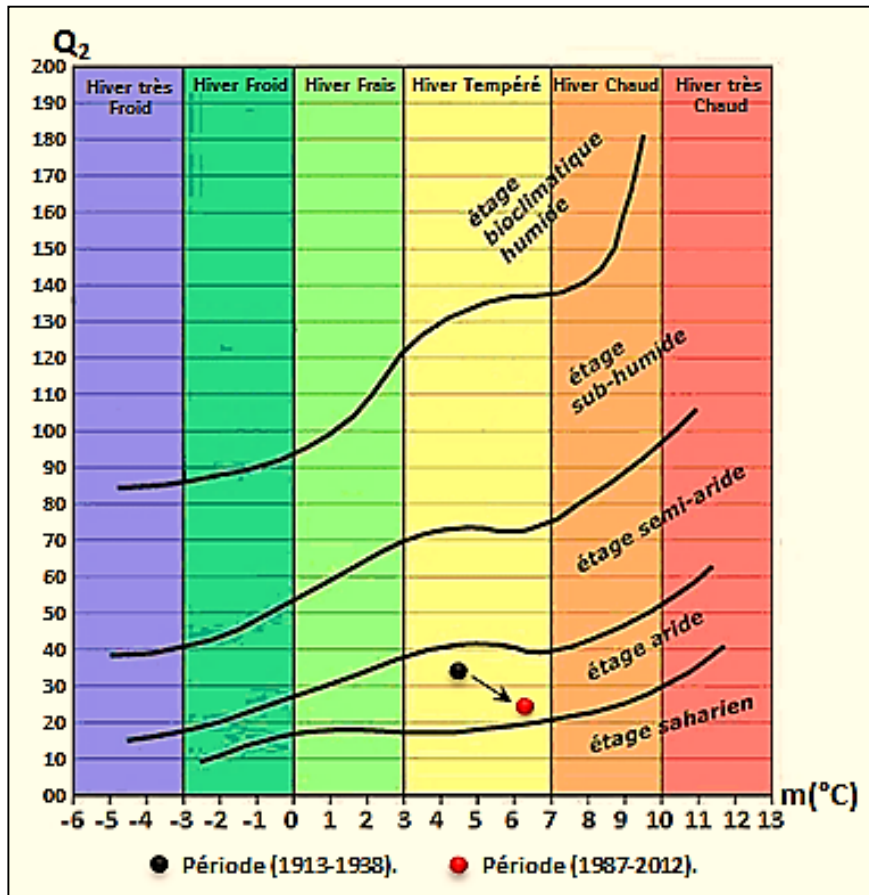


Figure n° 34 : Positionnement de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger (1953).

VI.2.8.5. L'indice xérothermique d'Emberger :

Comme le Q_2 ne tient pas en compte de la xéricité du climat ; **Emberger (1942)**, a été amené à caractériser l'intensité de la sécheresse estivale par l'indice $IS = PE / M$.

Où :

- **PE** : représente la somme des précipitations moyennes estivales.
- **M** : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

Un climat ne peut être réputé méditerranéen, du point de vue phytogéographique, que si $IS < 7$ (**Emberger, 1942**).

Tableau n° 29 : Indice de sécheresse estivale de la région d'étude.

Paramètres	M (°C)	PE(mm)	IS = PE / M
Périodes			
1913-1938	37,7	10	0,26
1993-2018	38,8	4,12	0,1

Il ressort du **tableau n° 29**, ci-dessus, que la valeur de l'indice de sécheresse (**IS**) pour notre zone d'étude est **inférieure à 1**, pour les deux périodes. Ces faibles valeurs de l'«**IS**», confirment la xéricité (l'ensemble des paramètres qui déterminent un milieu caractérisé par une aridité persistante et une végétation adaptée à la sécheresse, autrement dit xérique) de la saison sèche et la rareté des pluies estivales, la durée de sécheresse dépasse la saison estivale calendaire, empiétant ainsi sur le Printemps et l'Automne. Cette valeur caractérise nettement le climat méditerranéen.

VI.2.8.6. Conclusion :

En conclusion, sur le plan du climat, il ressort que la région d'étude se trouve caractérisée par :

- Une faiblesse des précipitations, avec une régression nette de 21.55%, par rapport aux données de **Seltzer (1946)**. Cette pluviométrie est caractérisée par une irrégularité interannuelle et inter-saisonnière très marquées.
- Un été sec et aride, avec une humidité réduite.
- Un nombre de jours de gelée important, avec 38 jours par année en moyenne.
- Une saison sèche qui s'étale de fin Février, jusqu'à la mi-octobre, soit sur presque 215 jours. La comparaison entre les données de **Seltzer** et les données actuelles, montre un allongement significatif de la période de sécheresse estivale et une accentuation de la sécheresse.
- La zone d'étude se trouve dans l'étage bioclimatique aride, de variante tempérée, où on observe du climagramme un décrochement évident du bioclimat vers plus d'aridité.
- La région enregistre un indice d'aridité de **11.51**, avec un climat **semi-aride**, pour la période (1913-1938), qui décroche à un indice de **6.87**, pour la période (1993-2018) ; donc, un climat **aride** sec, avec un écoulement temporaire et une tendance à la sécheresse.
- Le climat méditerranéen aride, représenté dans la région étudiée dans sa variante tempérée, permet l'existence de diverses formations végétales, allant de la garrigue à la forêt, ces formations végétales sont certes fragiles mais adaptées aux conditions édapho-climatiques locales (**Benabdelli, 1996a**).



Chapitre VII :

RESSOURCES EN EAU ET EN SOL



VII. Les ressources en eau

VII.1. Les ressources en eau en Algérie :

Elles sont de loin les plus vitales, pour la croissance et le développement du pays. Tout un ministère leur est dédié et une enveloppe budgétaire annuelle, conséquente, leur est consacrée. Ces ressources, sont limitées et subissent plusieurs pressions défavorables, telles que :

- L'augmentation de la demande urbaine, agricole et industrielle,
- La contrainte climatique, qui impose une aridification plus grande,
- La dégradation de la qualité des eaux, de surface et souterraine,
- Les pertes d'eau dans les réseaux et souvent la surconsommation.

Les ressources en eau superficielles sont estimées à 12 milliards de m³ et 2,4 milliards de m³ en eau souterraine, pour les régions nord du pays, et 5 milliards de m³ exploitables, dans les régions sahariennes. La disponibilité moyenne en eau par habitant est de 600 m³/hab./an.

VII.1.1. Les ressources renouvelables en eau douce :

Les ressources en eau, naturelle et renouvelable, sont définies par les écoulements superficiels et souterrains, formés ou entrant dans le territoire. Elles sont chiffrées sur la base des données hydrologiques, en se référant à une période assez longue, pour que les valeurs moyennes utilisées puissent être considérées comme stables. Durant cette période, les faits observés ont enregistré la même tendance à la hausse et ont évolué progressivement.

Les précipitations annuelles moyennes de cette dernière décennie sont évaluées à 91000 millions de m³, dont 87,6% évaporées naturellement. Le volume restant des précipitations, représente les flux internes auxquels s'ajoute l'apport externe d'eaux de surface et d'eaux souterraines, pour donner la quantité d'eau douce renouvelée.

Les ressources hydriques, disponibles et mobilisables en Algérie, sont réparties à travers cinq (5) régions hydrographiques, illustrées dans les **figures n° 35** et **36**, ci-dessous, avec :

- Oranie - Chott-Chergui,
- Cheliff - Zahrez,
- Algérois - Hodna - Soummam,
- Constantinois - Seybouse - Mellegue,
- Sahara.

Pour rappel, le territoire national est découpé en cinq (5) régions de bassins hydrographiques. Ce découpage s'inscrit dans la politique de la gestion de l'eau. L'agence de bassin et transferts (ANBT), a pour objet de faciliter les actions d'intérêt commun à la région dans le domaine de l'eau. Elle anime tout le système régional d'informations sur l'eau et apporte un concours technique aux personnes publiques ou privées, qui réalisent des opérations d'intérêt collectif.

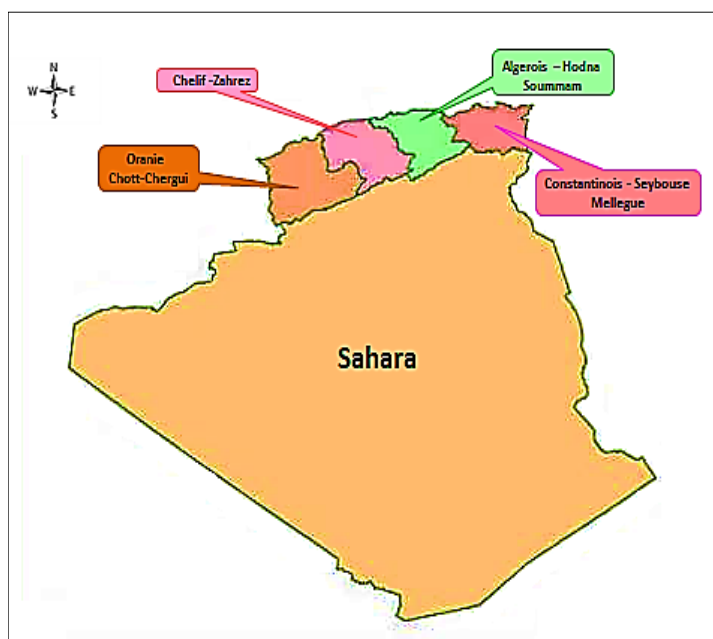


Figure n° 35 : Localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie.

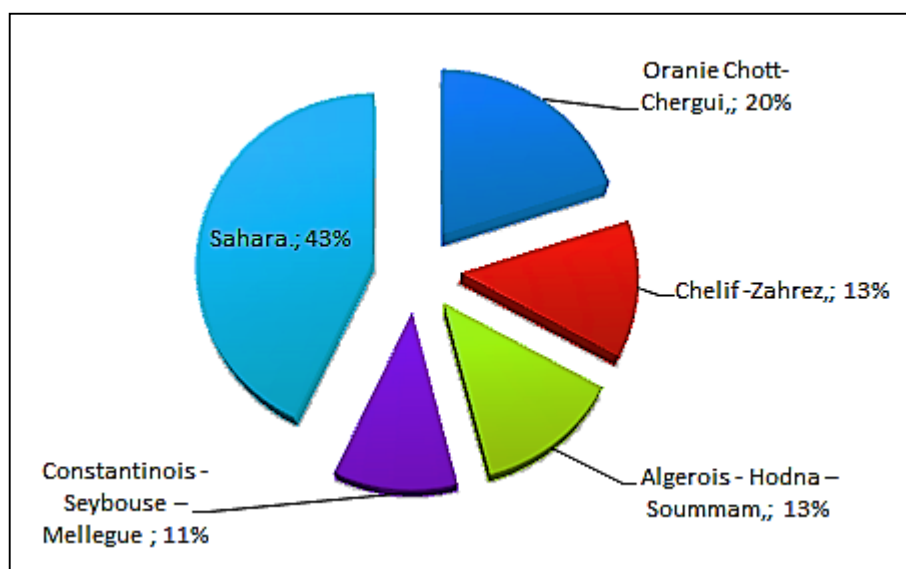


Figure n° 36 : Répartition de la superficie des régions hydrographiques.

VII.1.1.1. Les ressources en eau superficielles :

La superficie totale des régions hydrographiques du pays est de 393 745 km², soit 16,5% de la superficie totale du pays. La région du Sahara détient 43% de la superficie totale des cinq régions, dont 100 000 km² monopolisés par le bassin versant du Sahara.

Pour ce qui est de la région de l'Oranie – Chott-Chergui (20%), le plus grand bassin versant est le Haut Plateau Oranais, qui occupe 49 370 km². Concernant la région du Chelif-Zahrez (13%), le bassin versant du Chelif s'étend sur 43 750 km². La région hydrographique de l'Algerois, ainsi que celle du Constantinois, occupent des superficies moins importantes avec, respectivement, 51 089 km² (13%) et 44 219 km² (11%).

Les potentialités globales sont évaluées à 19.4 milliards de m³/an, dont seulement 12 milliards sont mobilisables. On a :

- 6.8 Milliards au Nord (5 Milliards de m³/an pour les eaux de surface, 1.8 Milliards de m³/an pour les eaux souterraines).
- 5.2 Milliards, dans les régions Sahariennes.

Ces potentialités correspondent, en 2002, à un taux de 600 m³/ hab. /an, qui est passé à 400 m³/hab. /an, à l'horizon 2020.

L'Algérie a connu, durant les 25 dernières années, une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important, évalué à près de 30%, sur l'ensemble du pays. Cette sécheresse a eu un impact négatif sur :

- Les régimes d'écoulement des cours d'eau,
- Le niveau de remplissage des réservoirs des barrages,
- La recharge des nappes souterraines...

De ce fait, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques, au regard du seuil de rareté, fixé à 1000 m³/hab./an.

Le secteur des ressources en eau, a connu la réalisation de nombreux projets, ayant permis l'approvisionnement en eau des différentes régions du pays et contribué à l'irrigation de grandes superficies de terres agricoles. En effet, plusieurs barrages et transferts ont aidé à l'amélioration de l'alimentation en eau potable et de l'irrigation des terres agricoles.

Ces dernières années se sont distinguées par la réception de plusieurs barrages, l'ensemble des barrages ont une capacité totale de stockage d'environ 8.7 milliards de m³. Cette capacité, qui était de l'ordre de 4 milliards de m³, en 2000, devra passer à 9 milliards de m³, en 2014, selon les services du Ministère des Ressources en Eau (MRE).

VII.1.1.2. Les ressources en eau souterraines :

Les ressources en eau souterraines en Algérie, sont subdivisées entre deux (2) domaines :

- a) **Domaine Nord** : L'histoire tectonique complexe a segmenté les principales unités géologiques du Mésozoïque au Cénozoïque, ce qui a donné lieu à un nombre important d'unités d'aquifères, compartimentées relativement petites et spatialement limitées. Il existe trois (3) principaux types d'aquifères :

- **Aquifères sédimentaires cénozoïques**, récents et quaternaires, non consolidés, dans la plaine côtière,
- **Aquifères de grès et de calcaire**, mésozoïques-cénozoïques, dans les zones montagneuses,
- **Aquifères alluviaux**, dans les vallées des rivières.

Au niveau régional, les aquifères les plus importants sont très fragmentés. Les aquifères les plus importants sont les aquifères du Hodna et Chott-Chergui, de l'Atlas Saharien, et l'aquifère côtier de la Mitidja et Annaba-Bouteldja.

- b) **Domaine du Sud (Sahara)** : Cette zone couvre plus de 80% du pays et comprend le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), formé par le Continental Intercalaire inférieur et le Complexe Terminal supérieur, qui constitue l'un des plus grands aquifères du monde. Les eaux souterraines de cet aquifère, sont généralement considérées comme des eaux fossiles (Moulla *et al.*, 2012 ; OSS, 2003), et en raison des très faibles précipitations dans le Sahara (<100 mm/an). La recharge active de ces aquifères est extrêmement faible.

L'exploitation des ressources en eaux souterraines du Sahara est donc, généralement, de type «minier», avec un déclin inexorable des ressources disponibles.

VII.1.1.3. Les types d'aquifères à travers le territoire national :

Il existe plusieurs types d'aquifères, suivant leurs natures lithologiques et leurs porosités. Il s'agit de :

a) **Sédiments non consolidés** : Récent-Quaternaire au Cénozoïque

- *Sédiments de la plaine côtière* : contenus dans les dunes côtières, formés par des dépôts de sable, avec une épaisseur et une étendue latérale très variables, généralement, allant de 5 à 10 m d'épaisseur, mais pouvant atteindre jusqu'à 150 m d'épaisseur, par exemple à Bouteldja. La perméabilité moyenne est de 10^{-4} to 10^{-8} m²/s et la transmissivité moyenne est de 10^{-2} to 10^{-3} m²/s. L'emménagement peut être de ~10%. La profondeur de la nappe est typiquement de 1 à 10 m.

La qualité de l'eau est généralement bonne, mais la perméabilité élevée de l'aquifère signifie que les eaux souterraines sont vulnérables à la pollution, et, en particulier, à l'intrusion saline. Une grande partie de la recharge provient des infiltrations directes des précipitations. Il existe une recharge annuelle active.

- *Dépôts d'alluvions* : Les dépôts alluviaux intra-montagneux (des wadis = oueds), forment des systèmes aquifères multicouches et complexes, caractérisés par une forte anisotropie, verticale et horizontale. Les eaux souterraines existent parfois dans des lentilles de graviers, presque isolées à l'intérieur de silt à faible perméabilité dominante. L'épaisseur moyenne des dépôts alluviaux à Djanet est de 15m. Les couches de graviers, isolées peuvent être captives, sinon les aquifères sont largement libres. La perméabilité moyenne est de 10^{-4} to 10^{-8} m²/s et la transmissivité moyenne est de 10^{-2} to 10^{-3} m²/s. L'emménagement peut être de ~ 10%.

Les débits dans le Hoggar, varient de 15 à 63 l/s. La profondeur de la nappe est typiquement de 1 à 10 m.

La qualité de l'eau est généralement bonne, mais la perméabilité élevée des aquifères signifie que les eaux souterraines sont vulnérables à la pollution. Une partie de la recharge provient de l'infiltration directe des précipitations. Au Hoggar et à Djanet, la recharge survient principalement lors des inondations. Là où les aquifères recouvrent les aquifères karstiques, la recharge peut se produire par un flux ascendant de ces mêmes aquifères.

- b) **Roches Ignées** : Les aquifères ignés existent à Zaccar, Djurdjura, Collo et l'Edough, à l'Est, et dans le Hoggar, plus au Sud. Les eaux souterraines traversent des fractures et des horizons érodés, et se déversent naturellement à travers des sources. Dans le Hoggar, les forages ont montré que les eaux souterraines se trouvent à une profondeur comprise entre 20 et 50 m. Les aquifères ont généralement une faible productivité.

Les totaux moyens des matières dissoutes (TDS) dans les eaux du Hoggar sont de 500 mg/l. Une importante recharge se produit dans les aquifères ignées du Nord.

- c) **Sédimentaire - flux inter-granulaire et de fracture** :

- *Grès et calcaires cénozoïques* : Ce sont des roches sédimentaires marines semi-consolidées, avec une porosité relativement élevée dans laquelle les eaux souterraines sont stockées et s'écoulent à la fois à travers la matrice inter-granulaire et les fractures.
- *Calcaires du Jurassique et Crétacé - Domaine Nord (Atlas)* : Ce sont des roches sédimentaires marines consolidées, avec une porosité karstique relativement élevée, dans lesquelles les eaux souterraines sont stockées et s'écoulent principalement à travers des fractures et des conduits karstiques. C'est souvent un aquifère hautement productif. Des débits de plus de 100 l/s sont observés au niveau du karst des Zibans, et beaucoup plus dans la formation Néritique de Constantine (900 l/s aux sources de Hamma, 400 l/s à Fourchi, 650 l/s à Boumerzoug). Dans certaines zones, il existe une grande décharge d'eau souterraine par l'intermédiaire de sources, par ex. à Zaccar (sources de Miliana), Djurdura, et son prolongement à Bejaia.
- *Complexe Terminal (Crétacé supérieur au Cénozoïque) et Continental Intercalaire (Paléozoïque au Crétacé supérieur) - Domaine Sud/Saharien* : Ces deux (2) aquifères font partie intégrante du système transfrontalier de l'aquifère nord-saharien (SASS), également connu sous le nom de Système Aquifère du Sahara du Nord-Ouest (SASNO) (voir la section sur les aquifères transfrontaliers ci-dessous). Ceux-ci, sont en grande partie enterrés profondément et peuvent avoir au moins 2000 m d'épaisseur. Une grande partie de l'aquifère est formée par des grès silico-clastiques ; certaines parties sont karstiques ; et il y a aussi des évaporites. C'est souvent un aquifère hautement productif. L'analyse des essais de pompage dans le Continental Intercalaire, dans la région d'Adrar, suggère des valeurs de conductivité hydraulique, comprises entre 3×10^{-4} et 3×10^{-5} m/s.

Dans certaines parties, il y a une décharge d'eaux souterraines par des sources, dans d'autres domaines, il n'y a pas de sorties identifiées, par ex. le Sétifien au sud. Le Continental Intercalaire a été exploité pendant des siècles autour de ses berges dans le Sahara par Foggaras (galeries d'eau).

VII.2. L'hydrographie de la région d'étude :

VII.2.1. La présentation du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez :

La région d'étude est localisée dans le bassin hydrographique de Cheliff-Zahrez (figures n° 37 et 38).

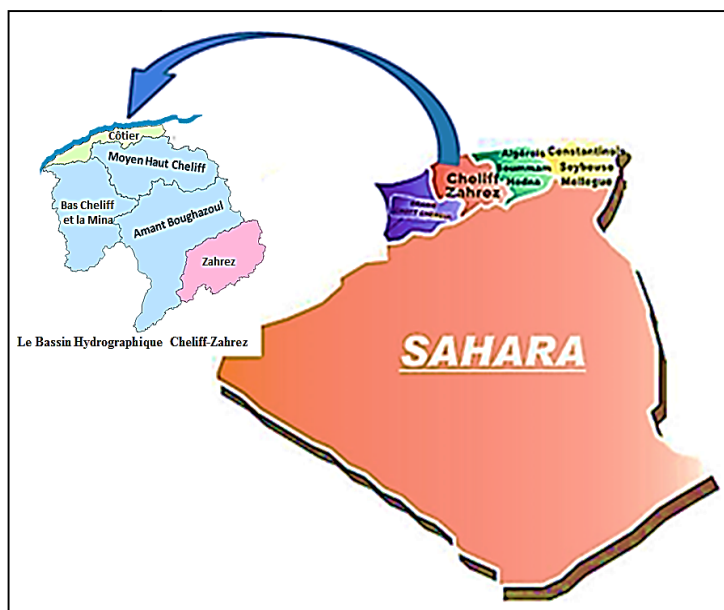


Figure n° 37 : Régions Hydrographiques en Algérie (ABH, 2006).

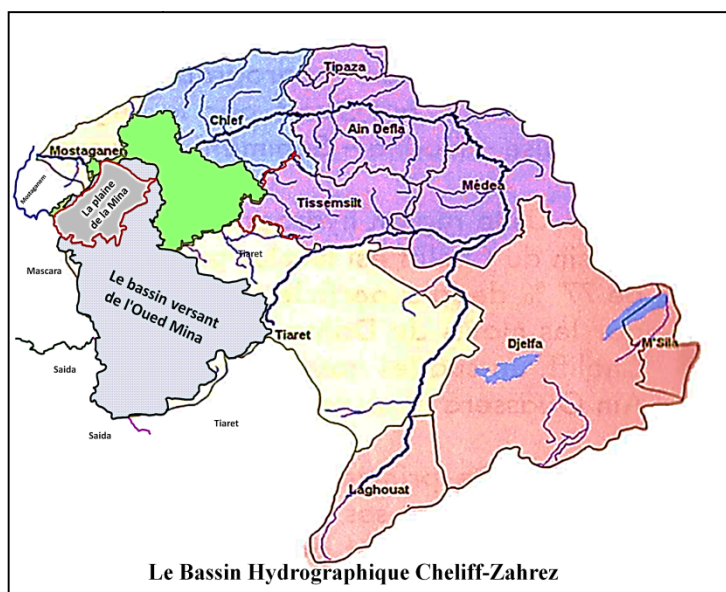


Figure n° 38 : Localisation de la zone d'étude dans le Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.

Le bassin Cheliff-Zahrez, s'étend sur une superficie de 56227 km² et couvre un réseau hydrographique de l'ordre de 6500 km. Il est délimité par la mer Méditerranée, au Nord, le Sahara, au Sud, l'Oranie, à l'Ouest, et par la région Algéroise, à l'Est. Il est découpé en trois (3) grands sous-bassins versants, qui sont :

- Le **bassin du Cheliff**, est le plus grand par la superficie en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez. Il comprend, au Nord, la vallée du Cheliff, au Sud, les hauts plateaux, allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Oussera et, au Centre, le massif de l'Ouarsenis.
- Le **bassin côtier du Dahra**, se compose de plusieurs bassins individuels, dont les plus importants, du point de vue pluviométrique, sont les oueds Damous, Kramis et Allalah.

- Le **bassin Zahrez**, est une cuvette dans les hauts plateaux et comprend : le Chott-Chergui et le Chott-Gharbi.

Cette région hydrographique est alimentée par plusieurs affluents et nappes souterraines, dont les trois (3) principales sont :

- La **nappe aquifère**, qui s'étend entre les plateaux du Cheliff et les lignes de crêtes des monts rouges,
- La **nappe des grès**, aux bordures Sud du mont de Dahra. Les formations gréseuses sont importantes et sont exploitées par plusieurs forages,
- La **nappe calcaire**, au Sud, qui est un système aquifère karstique, de capacité variable, suivant la profondeur. Le régime d'écoulement, mensuel et annuel, de l'oued Cheliff est permanent, mais extrêmement irrégulier. De ce fait, l'apport hydrique de cet oued est important, généralement, du mois de Septembre à Mai, pratiquement négligeable en période d'été.

Le bassin du Cheliff, qui s'étend sur 43125 km², est le plus vaste bassin hydrographique du Nord du pays. Il est compartimenté, à son tour, en trois (3) sous-bassins versants, à savoir :

- Le sous bassin de Cheliff-amont, du barrage de Boughzoul,
- Le sous bassin du Haut et Moyen Cheliff,
- Le sous bassin du Bas Cheliff et de la Mina.

VII.2.1.1. Le découpage administratif :

La région englobe trois (3) wilayas, toutes entières (Chleff, Tissemsilt et Relizane) et neuf (9) wilayas, en partie (Médéa, Tiaret, Aïn Defla, Mostaganem, Mascara, Tipaza, Djelfa, Laghouat et M'sila).

Ces douze (12) wilayas, forment le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez, qui comprend 255 communes, soit 393 agglomérations (**figure n° 39**).

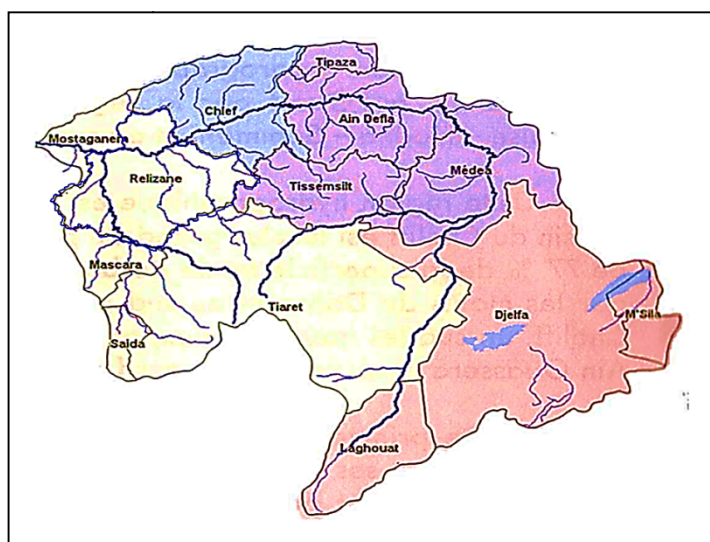


Figure n° 39 : Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.

VII.2.2. Les ressources en eau :**VII.2.2.1. Les ressources en eaux superficielles :**

Les potentialités en eau superficielle de la région hydrographique Cheliff-Zahrez, sont illustrées dans le **tableau n° 30**.

Tableau n° 30 : Potentialités en eau superficielle du bassin Cheliff-Zahrez.

Bassins versants	Superficie km ²	Apport Période Globale (Hm ³ /an)	Apport Période Sèche (Hm ³ /an)	Taux de réduction en %
Chélif	43 750	1 540	1 078	30
Zahrez	9 102	110	77	30

(Source : MRE, 2017)

Actuellement, et afin de répondre aux différentes demandes en eau pour tous les usages (alimentation en eau potable, irrigation et industrie), 16 barrages sont d'ores et déjà en exploitation, totalisant une capacité de stockage de 1 646,18 Hm³, régularisant ainsi un volume total de 554,60 Hm³/an (recalculé, récemment, par l'ABH) et d'un taux d'envasement moyen de 17,29%.

A l'avenir, nous estimons que les 25 barrages en exploitation, en construction et en projet permettront un contrôle de 71% des apports du grand bassin.

- **Barrages en exploitation :**

La région hydrographique Cheliff-Zahrez, régularise un volume de 733.5 Hm³/an, par quatorze (14) barrages en exploitation, comme illustré dans le **tableau n° 31**.

Tableau n° 31 : Barrages en exploitation du bassin Cheliff-Zahrez.

N°	Barrage	Wilaya	Oued	Type Ouvrage	Année mise en service	Capacité initiale Hm ³	Capacité Der.Levé (Hm ³)	Volume régularisé (Hm ³ /an)	Affectation
12	Merdja.S.Abed	Relizane	Chlef	Terre	1984	54,9	47,97	40	IRR
13	Gargar	Relizane	Rhiou	Terre	1988	450,0	358,28	120	Mixte
14	S.M.B.Aouda	Relizane	Mina	Terre	1978	235,0	153,71	100	Mixte
15	Bakhadda	Tiaret	Mina	Enroch	1959	56,0	39,94	44	AEP
16	Dahmouni	Tiaret	Nahr Ouassel	Terre	1987	41,0	39,52	9	IRR
17	C.Bougara	Tissemsilet	Nahr Ouassel	Terre	1989	13,0	11,32	5,5	IRR
18	Sidi-Yacoub	Chlef	Ardjen	Terre	1985	280,0	252,85	98	Mixte
19	Oued-Fodda	Chlef	Fodda	Poids	1932	228,0	102,85	69	IRR
20	Deurdeur	Ain Defla	Ain Defla	Terre	1984	115,0	105,12	40	Mixte
21	Harreza	Ain Defla	Hareza	Terre	1984	70,0	76,65	23	IRR
22	Ghrib	Ain Defla	Chlef	Enroch	1939	280,0	115,32	105	Mixte
23	S.M.B.Taiba	Ain Defla	Bda	Enroch	2005	95	75	21	Mixte
24	O.Mellouk	Ain Defla	Rouina	Terre	2003	127,0	127,00	38	Mixte
25	Kt.Rosfa	Tissemsilet	Fodda	Terre	2004	75,00	75,00	21	Mixte
26	Pr.Harbil	Medea			1988	1,00	0,20	Transf.	Transf.
TOTAL						2118,9	1580,73	733,5	

(Source : MRE, 2017)

- **Retenues collinaires :**

Si 145 retenues collinaires existent, 27 seulement sont en exploitation, avec une capacité de 16 Hm³, le reste est totalement envasé. Huit (8) retenues sont en construction,

d'une capacité de 9,570 Hm³. Aussi, 144 retenues collinaires ont été lancées, et sont en étude, par l'ANBT.

VII.2.2.2. Les ressources en eaux souterraines :

- **Plaine du Bas Cheliff :**

La plaine du Bas Cheliff s'étend sur près de 1180 km². Elle est limitée, au Nord, par les monts de Dahra, constitués de marne-calcaires, argiles et grès, à l'Est, par la plaine du Moyen Cheliff, à l'Ouest, par le plateau de Mostaganem, gréseux, au Sud, par les calcaires à *Lithothamnées*. Les alluvions grossières constituent un aquifère important, capté par plusieurs forages. Les nappes contiennent une eau douce. Par contre, en surface, les formations très fines (argiles et limons) contiennent, à faible profondeur, des eaux salées. Les calcaires à lithothamnées, cet ensemble est limité, au Nord, par la plaine du Cheliff, et, au Sud, par le massif de l'Ouarsenis.

- **Plaine de la Mina :**

La plaine de l'oued Mina est limitée, au Nord, par la plaine du Bas Cheliff, à l'Ouest, par la plaine de Ghriss, à l'Est, par les calcaires de Zemmoura, et le plateau de Saida, au Sud.

Deux (2) nappes principales y sont exploitées, qui sont :

- La nappe phréatique quaternaire, captée par de nombreux puits,
- La nappe des grès de l'Astien.

- **Djebel Nador :**

Les affleurements calcaires et dolomies, jurassiques, du djebel Nador, sont limités au Nord, par le plateau de Sersou, à l'Ouest par les monts de Saida, à l'Est par le bassin du Zahrez et au Sud par le djebel Amour.

- **Djebel Ben Hammad :**

Le djebel Ben Hammad est limité au Nord, par la plaine de Nahr Ouassel, à l'Est, par les alluvions de l'oued Touil, à l'Ouest et au Sud, par le djebel Nador.

Il est constitué par les calcaires fissurés et les dolomies du jurassique et du crétaqué, qui représentent de bons aquifères.

- **Plateau du Sersou :**

Le plateau du Sersou est limité au Nord, par le massif de l'Ouarsenis, à l'Est, par l'oued Nahr Ouassel et le versant Nord du djebel Nador.

Plusieurs aquifères ont été mis en évidence : - Les dépôts grossiers du Plio-Quaternaire, constituent un aquifère important ; - Les grès du Miocène inférieur ; - Les calcaires du Crétacé supérieur, les grès du Crétacé inférieur (Albien) et les dolomies fissurées du Jurassique supérieur, forment des aquifères profonds.

- **Monts de Saida :**

Les bassins des oueds El Abd et El Taht, font partie des monts de Saida, on rencontre deux (2) types d'aquifères :

- Les aquifères argilo-gréseux à grés-argileux (Callovo-Oxfordien et tertiaire).
- Les aquifères constitués de dolomies et d'alluvions grossiers (Jurassique inférieur et moyen, Lusitanien et Kimméridgien) et alluvions récentes, le long des oueds.

VII.3. Le réseau hydrographique de la wilaya de Relizane :

D'un point de vue hydrologique, la wilaya de Relizane chevauche sur trois (3) grands bassins versants (**figure n° 40**), à savoir :

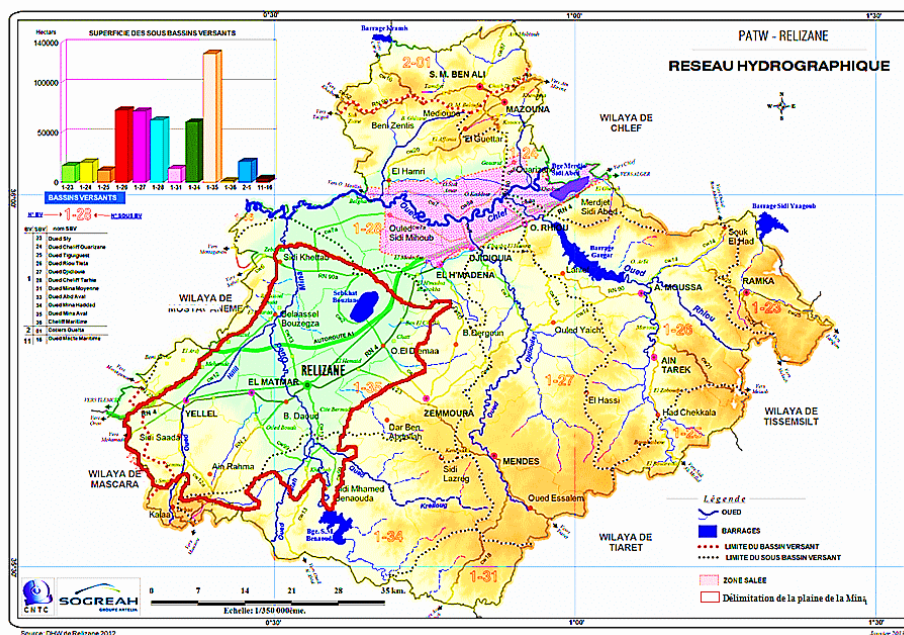


Figure n° 40 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Relizane (PATW, SOGREAH, 2013).

VII.3.1. Le bassin versant de l'oued Chellif :

Ce bassin, couvre 94,16% de la superficie totale de la wilaya de Relizane, il est situé dans le sens d'écoulement d'oued Cheliff. Il est composé de plusieurs sous bassins versant, à savoir :

- A l'extrême Est, une portion du sous-bassin versant de l'oued El Ardjem, qui rejoint l'oued Sly, dans la wilaya de Tissemsilt.
- A l'est, les sous-bassins versants de l'oued Rhiou et ses affluents : oued Tleta et oued Sennsig.
- Au centre, le sous-bassin versant de l'oued Djidiouia et ses affluents : oued Mellah et oued Menasfa.
- A l'ouest, les sous-bassins versants de l'oued Mina, avec sa partie supérieure, l'affluent oued El Abd, les affluents de l'oued Mellah et oued Krenoug et sa partie

avale, avec l'affluent oued Ain Hallouf. La Sebkhia de Benziane, se situe dans ce sous-bassin versant, au Nord-est.

- Au nord, les sous-bassins versants de l'oued Cheliff, sa partie haute qui vient de la wilaya de Tissemsilt et l'affluent oued Ouarizane, sa partie centrale et l'affluent oued Tarhia, sa partie basse qui continue dans la wilaya de Mostaganem.

VII.3.2. Le bassin versant de la Macta :

Il est constitué par une portion du sous bassin versant d'oued Mellah, qui couvre 1,15% de la superficie de la wilaya, il est situé dans l'extrémité Sud-ouest de la wilaya (une partie des communes de Kalaa, Sidi Saâda et Yellel). Le volume ruisselé, est de 777 000 m³, et le volume mobilisable, est de 155 000 m³.

VII.3.3. Le bassin versant des Côtiers Algérois :

Ce bassin, est constitué par une portion de sous bassin versant, couvrant uniquement 4,69% de la superficie de la wilaya. Il est situé dans l'extrême Nord-est.

VII.3.4. Les ressources en eau :

VII.3.4.1. Les ressources en eaux superficielles :

L'essentiel des ressources superficielles se trouvent dans le bassin versant du Cheliff.

Le volume total brut ruisselé annuel est estimé à 93 Hm³, dont 19 Hm³ sont mobilisables.

Les ouvrages de mobilisation, contribuant à l'approvisionnement en eau de la wilaya, pour différents usages, sont :

- Les barrages destinés à l'alimentation en eau potable et industrielle, ainsi qu'à l'irrigation,
- Les retenues collinaires destinées à l'irrigation, uniquement,
- Les petits barrages destinés à l'irrigation, seulement.

a) Barrages et retenues collinaires de la wilaya de Relizane :

La wilaya de Relizane dispose de trois (3) **barrages**, ayant une capacité de stockage de 561 millions m³ (**tableau n° 32**) (**figure n° 41**). Toutefois, en raison des dérèglements climatiques, le volume stocké actuellement est de 295 Hm³, ce qui représente 52,6% des capacités de remplissage. Ainsi que de trois (3) **retenues collinaires**, avec une capacité de stockage de 90000 m³ (**tableau n° 33**).

Tableau n° 32 : Barrages de la wilaya de Relizane.

Nom du barrage	Localisation	Capacité théorique (Hm ³)	Capacité réelle (Hm ³)	Réserve réelle (Hm ³)	Taux d'envasement (%)	Usages	Périmètres irrigués
Sidi M'hamed Benaouda	Sidi M'hamed Benaouda	225	153	108	32	AEP – Irrigation	La Mina
Gargar	Oued Rhiou	450	358	212	21	AEP - Irrigation	Le Bas Cheliff
Merdjet Sidi Abed	Merdjet Sidi Abed	58	50	15	14		

(Source : ANDI, Relizane, 2015)

Tableau n° 33 : Retenues collinaires de la wilaya de Relizane.

Retenue collinaire	Capacité (m ³)	Usages	Périmètres irrigués
Sidi M'hamed Benaouda	30 000	Irrigation	La Mina
Yellel	46 000	Irrigation	
Kalaa	14 000	Irrigation	Bas Cheliff

(Source : DRE, Relizane 2015)

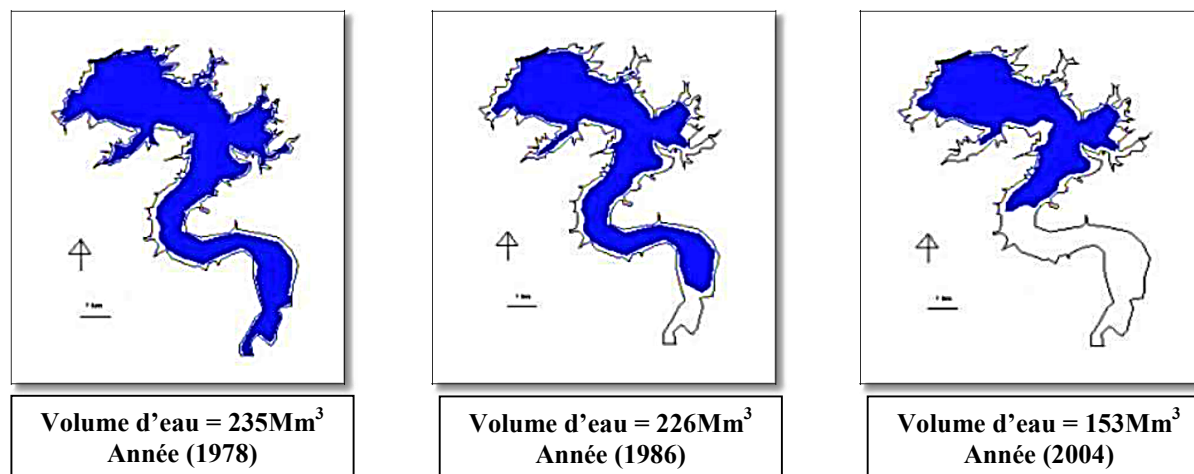


Figure n° 41 : Evolution de la morphologie de la cuvette et de la surface en eau libre du barrage Sidi M'Hamed Benaouda (Remini *et al.*, 2011, in Toumi, 2013).

La capacité théorique totale de mobilisation des ressources superficielles sur l'ensemble de la wilaya est de 733.685Hm³. La capacité réelle de stockage est estimée à 561.685Hm³. Le taux moyen d'envasement sur l'ensemble des barrages de la wilaya de Relizane est de 22.33%. Cependant, les réserves réelles sont de 335.685 Hm³, soit 45% de la capacité théorique.

VII.3.4.2. Les ressources en eaux souterraines :

Les ressources en eau souterraines, captées dans la wilaya de Relizane, sont utilisées pour l'agriculture, l'AEP et l'industrie, et ont pour origine les principales formations aquifères suivantes :

- Nappes alluviales monocouches des vallées alluviales (des oueds Rhiou, Djidiouia, Mina et El Ardjem),
- Nappe Alluviale de la plaine du Bas Chélif / la Mina,
- Les formations sédimentaires imperméables ou semi-perméables, du Massif de l'Ouarsenis et des Monts du Dahra (peu productives),
- Les formations karstiques, à surface libre, localisées au sein du Massif de l'Ouarsenis,
- La nappe libre du plateau de Mostaganem, en limite Ouest de la wilaya de Relizane.

Le **tableau n° 34**, ci-dessous, représente les différentes nappes souterraines, leurs localisations et leurs réserves utiles en eau dans la wilaya de Relizane.

Tableau n° 34 : Nappes de la wilaya de Relizane.

Dénomination de la nappe	Localisation	Région agricole	Réserves utiles (Hm ³)
Quaternaire de la Mina	Yellel, Matmar, Relizane, Oued Djemaa, Sidi Khattab, Belhacel Bouzegza	Plaine de la Mina	23
Quaternaire du Cheliff	Hamri, Oued Sidi Mihoub, Ouarizane, Oued Rhiou, Merdja, Djidiouia	Plaine du Bas Cheliff	19
Calcaires à lithothamniées	Oued Rhiou		12
Calcaire et grès de Zemmora	Zemmora / Draa Ben Abdellah	Massif de l'Ouarsenis	05
Calcaire de Kalaa	Kalaa	Monts de Béni Chougrane	01

(Source : DRE, Relizane, 2015)

Les données actualisées de la fin de l'année 2012, transmises par la direction des ressources en eaux (DRE) de la wilaya de Relizane, montrent une augmentation du nombre de forages en exploitation (AEP et irrigation) (**tableau n° 35**). Les données actualisées sont :

- Le nombre des forages destinés à l'AEP, à travers la wilaya qui sont gérés par l'ADE et les APC (dernier forage réalisé, en 2007), est de 140 ; le débit total est de 58.63 Hm³/an.
- Le nombre des forages destinés à l'irrigation (dernier forage réalisé, en 2007), est de 17 ; le débit total est de 11 Hm³/an.
- Le nombre total des forages réalisés (fin 2011 et 2012) et en cours de réalisation, est de 22. Ces forages sont répartis, comme suit :
 - ✓ 14 forages, destinés pour l'AEP, ont été réalisés (équipement et électrification), et 02 forages, en cours de réalisation en 2012-2013.
 - ✓ Le débit total des 12 forages, après leur mise en service, est de 7.16 Hm³/an (les débits des deux forages en cours ne sont pas connus).
 - ✓ 03 forages, destinés pour l'irrigation, ont été réalisés en 2012 (programme d'urgence). Le débit total de ces forages est 0.788 Hm³/an.
 - ✓ 03 forages, destinés pour l'irrigation, ont été développés en 2012.

Si on comptabilise les forages en cours de réalisation et d'équipement, le nombre total des ouvrages de mobilisation des eaux souterraines de la wilaya de Relizane est de 179 forages, avec un débit total d'environ 77.6 Hm³/an.

Partant de ce fait, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (**ANRH, 2012**), estime que les potentialités hydriques souterraines renouvelables, disponibles, seraient de l'ordre de 60 Hm³/an.

- 87% des forages, sont destinés à l'AEP, avec un débit de 65.8 Hm³/an.
- 13% sont destinés à l'irrigation, avec un débit de 11.8 Hm³/an.

Tableau n° 35 : Forages exploités destinés à l'irrigation.

Forages exploités destinés à l'irrigation						
n°	Dénomination forages	Communes	Année de réalisation	Exploitation ouvrage		
				Débit (l/s)	Périmètre	Gestionnaire
1	station 5a	Djidiouia	2006	15	Bas Cheliff	OPI
2	station 4b	oued Rhiou	2005	15		
3	bcr	oued Rhiou	2006	20		
4	obno a1	oued Rhiou	2005	20		
5	station 7a	Ouarizane	2005	35		
6	Merdja	Merdja	1950	35		
7	Si Lakhdar	Ouled Sidi Mihoub	2005	15		
8	station 5b	oued Rhiou	2006	25		
9	obno b2	oued Rhiou	2007	20		
10	station 7b	Ouarizane	2006	25		
11	station 5b	Djidiouia	2007	25		
12	station 5c	Djidiouia	2007	25		
13	Taiba	Relizane	2006	20	Mina	
14	canal se1	Bendaoud	2006	13		
15	canal se2	Bendaoud	2006	12		
16	Messiouene	El Matmar	2006	12		
17	canal m extrémité	oued Djamaa	2006	15		

(Source : DRE, Relizane, 2015)

VII.4. Le réseau hydrographique de la plaine de la Mina :

La disposition du réseau hydrographique est liée, en grande partie, à l'évolution des phénomènes structuraux, qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et qui se poursuit jusqu'à l'actuel.

Selon, **Toumi (2013)**, le bassin de l'oued Mina, dont fait partie notre zone d'étude, 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 Cheliff (33 m). 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 les djebels d'Argoub, Toukiret, Moualek et 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 n° 42**) (**Bouabdelli, 2014**).

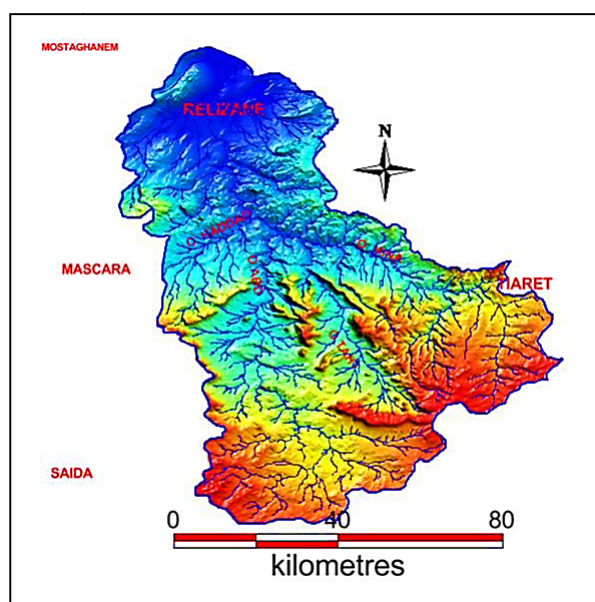


Figure n° 42 : Carte de l'hydrographie du bassin de l'oued Mina (Bouabdelli, 2014).

La **figure n° 43**, représente le profil au long de l'oued Mina. A 200 m d'altitude, se situe le barrage de Sidi M'Hamed Benaouda sur l'oued Mina, qui rejoint l'oued Cheliff, à environ 80 km à l'aval du site du barrage. A quelques kilomètres en amont du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda, l'oued Mina est contrôlé par le barrage de Bakhada (à 600 m), qui draine un bassin de 1300 km² (Toumi, 2013).

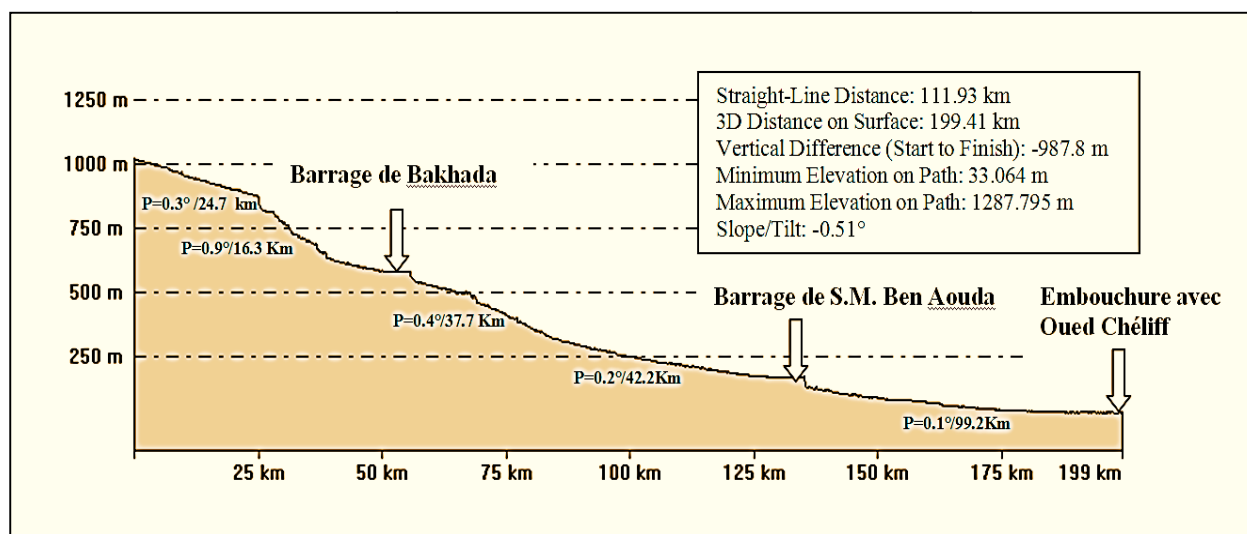


Figure n° 43 : Profil du cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Mina (Toumi, 2013).

III.4.1. L'hydrogéologie de la plaine de la Mina :

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 détailler la plaine de la Mina en cinq (5) aquifères potentiels connus, du plus récent au plus ancien :

- Les alluvions récentes
- Les alluvions anciennes, y compris les sables des dunes continentales
- Les grès à Hélix
- Les grès à Ostréa
- Les calcarénites du sommet des marnes bleues (**figure n° 44**) (Safa, 2010).

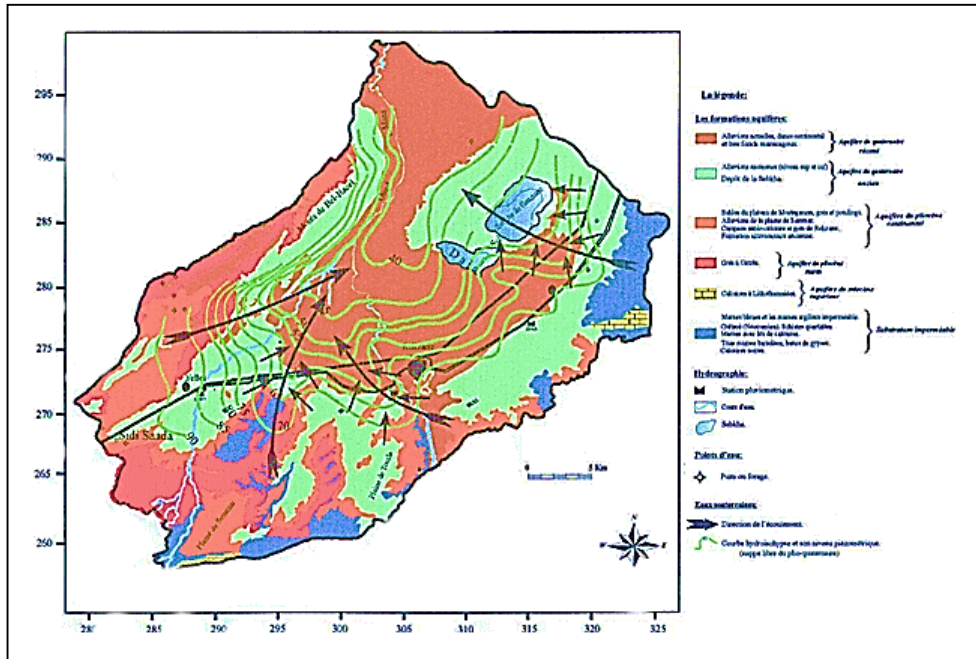


Figure n° 44 : Carte hydrogéologique de la plaine de la Mina (Safa, 2010).

VII.5. Les ressources en sols :

La superficie agricole totale (SAT), est égale à 297 387 ha, soit 61% de la superficie totale de la wilaya. Les forêts occupent 10,5%, de la superficie totale.

La wilaya de Relizane occupe la 12^{ème} place au niveau national, avec 3,36% de la surface agricole utile nationale (SAU), et 1,80%, de la superficie irriguée (Série B).

Cette wilaya, dispose d'une superficie agricole utile (SAU) de près de 281 000 ha, représentant plus de 50% du territoire de la wilaya de relizane.

Tableau n° 36 : Ressources en sols de la wilaya de Relizane.

Communes	Surfaces Agricoles Utiles (SAU) (ha)	Pacages et Parcours, y compris les terres non défrichées et les broussailles (ha)	Terres Improductives (ha)	Surfaces agricoles totales (SAT) (ha)
Ammi Moussa	5 666	120	500	6 286
Ouldja	5 428	0	500	5 928
Ramkaa	3 613	0	550	4 163
Souk El Had	3 835	0	121	3 956
Ain Tarek	7 385	0	407	7 792
Had Echkala	6 760	0	200	6 960
Ouled Yaich	10 352	0	300	10 652
El Hassi	6 391	0	471	6 862
Eemmoura	9 836	168	190	10 194
Béni Dorgoun	8 053	100	150	8 303
Oulad Abdellah	6 588	370	200	7 158
Mendes	12 580	200	212	12 992
Oued Slem	19 547	0	33	19 580
Sidi Lazreg	8 403	300	893	9 596
Lahlef	6 153	400	100	6 653
Massif de l'Ouarsenis	120 590	1 658	4 827	127 075
Relizane	8 405	400	144	8 949
Bendaoued	6 414	59	200	6 673
Oued Djemaa	9 996	335	300	10 631
El Matmar	5 313	100	100	5 513
Yellel	9 698	222	100	10 020
Sidi Saada	7 038	26	140	7 204
Belhacel	6 492	60	250	6 802
Sidi Khattab	8 843	140	700	9 683
Djidiouia	12 282	544	305	13 131
Hamri	3 761	600	329	4 690
Ouled sidi Mihoub	5 996	508	305	6 809
Hmadna	10 628	202	100	10 930
Oued Rhiou	8 756	190	10	8 956
Ouarizane	6 151	70	190	6 411
Merdja Sidi Abed	1 213	140	277	1 630
Plaines Mina et Bas-Cheliff	110 986	3 596	3 450	118 032
Sidi M'Hamed Benaouda	13 906	601	200	14 707
Ain Rahma	10 066	0	127	10 193
Kalaa	4 596	0	156	4 752
Massif de Béni Chougrane	28 568	601	483	29 652
Mazouna	1 973	30	105	2 108
Guettar	4 256	40	113	4 409
Médiouna	6 787	50	180	7 017
Sidi M'Hamed Benali	4 508	60	202	4 770
Béni Zenthis	4 208	27	90	4 325
Monts du Dahra	21 731	207	690	22 628
Wilaya de Relizane	281 875	6 062	9 450	297 387

(Source : DSA, Relizane, 2015)

Cette SAU, est inégalement répartie sur les différents ensembles physiques de la wilaya, comme suit (tableau n° 36) :

- Le **massif de l'Ouarsenis**, se classe en premier, avec une SAU de 120 590 ha. Cependant, avec la pratique d'un assolement biennal, chaque année, près de 50% de la SAU est laissée en jachère,
- En deuxième position, c'est **la plaine**, qui occupe près de 111 000 ha, avec 80 000 ha, réservés aux cultures herbacées, et 12 000 ha, par les cultures pérennes. La pratique de la jachère, représente moins de 17% de la SAU,
- Le **massif des Béni Chougrane**, avec un peu plus de 28 000 ha, est une région,

La superficie forestière est faible, avec 12% de la superficie, dont plus de 50% est constituée de maquis. Cette superficie, ne représente, à vrai dire moins de 15 000 ha (**figure n° 46**) (PATW, SOGREAH, 2013).

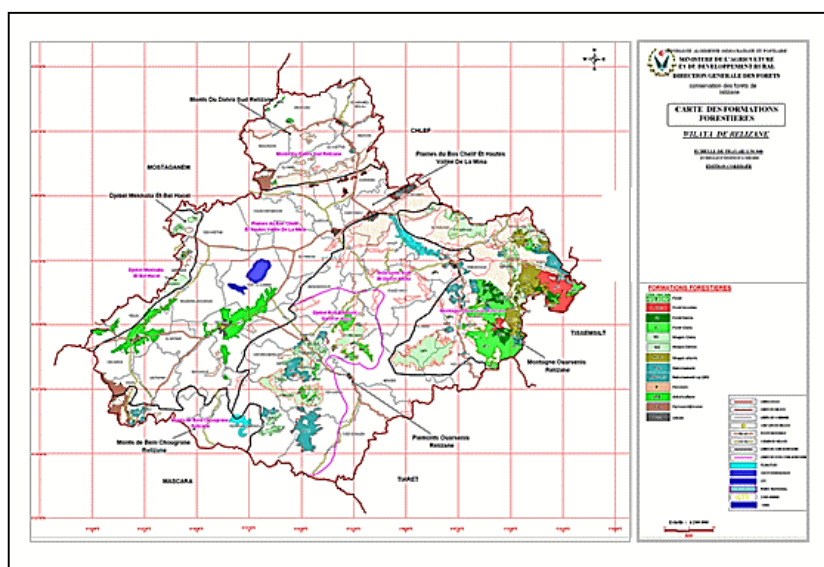


Figure n° 46 : Carte forestière de Relizane (PATW, SOGREAH, 2013).

VII.5.1. L'agriculture :

Le secteur agricole, demeure la principale activité économique dans la wilaya de Relizane. Il continue, en effet, à occuper un effectif important en matière d'emploi. Compte tenu de la vocation agricole de la wilaya, liée à l'importance du potentiel en sol, il est important d'inscrire cette dernière dans une stratégie de développement durable, faisant du secteur agricole et du développement rural l'épine dorsale de l'économie locale. Pour ce faire, il est important de consolider les actions déjà engagées par l'état dans le domaine de :

- La lutte contre la dégradation des sols,
- La protection des ressources naturelles et de l'environnement,
- L'amélioration des performances de l'agriculture, pour une contribution plus effective et plus large à la sécurité alimentaire des populations,
- La reconversion et l'adaptation de l'agriculture au contexte bioclimatique et du milieu physique, en générale.
- Du renouveau rural.

L'analyse, à travers ce chapitre, se fera sur la base des données que nous avons obtenues auprès de la direction des services agricoles (DSA) de la wilaya de Relizane.

VII.5.2. La place de l'agriculture dans l'économie de la wilaya :

La wilaya de Relizane occupe la 12^{ème} place, au niveau national, avec 3,36% de la SAU nationale, et 1,80% de la superficie irriguée. Les principales productions agricoles (**tableau n° 37**), sont :

Tableau n° 37 : Classement national de la wilaya de Relizane.

Spéculations	Rang au niveau national
Artichauts	1
Petits Pois	5
Agrumes	6
Olives	6

(Source : DRE, Relizane, 2015)

Comme le montre le **tableau n° 37**, ci-dessus, pour les cultures de plein champ, ce sont les artichauts et les petits pois qui constituent la production de référence de cette wilaya. La culture d'artichaut, est conduite en irriguée, alors que les petits pois, sont travaillés en sec. La production de melons est, également, importante dans cette région.

Pour l'arboriculture, la wilaya de Relizane est connue pour sa production d'olives et d'agrumes. Ces deux cultures, occupent la majeure partie des terres sur les Grands Périmètres d'Irrigation (GPI).

La superficie irriguée globale est de l'ordre de 24 000 ha, pour les GPI et la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH).

VII.5.3. Les grandes zones agricoles :

La wilaya de Relizane se divise en quatre (4) régions agricoles, à savoir :

- Le **massif de l'Ouarsenis (photo n° 01)**, regroupant 15 communes et couvrant 47% du territoire de la wilaya, avec 22% de la population (156 136 hab.) et une SAU de 120 600 ha, soit un ratio de 0,77 ha/hab.



Photo n° 01 : Paysage de l'Ouarsenis.

Cependant, avec la pratique d'un assolement biennal, chaque année, près de 50% de la SAU est laissée en jachère.

- La **plaine de la Mina (photo n° 02)** et du **bas Cheliff**, avec également 15 communes, couvre 34% du territoire, avec cependant 60% de la population (436 264 hab.) et une SAU de 110996 ha, soit un ratio de 0.25 ha/hab. Une grande part de la SAU de cette zone (80 000 ha), est réservée aux cultures herbacées, alors que seulement 12 000 ha, sont affectés pour les cultures pérennes. La pratique de la jachère représente moins de 17% de la SAU.



Photo n° 02 : Paysage de la plaine de la Mina.

- Le **massif des Béni Chougrane (photo n° 03)**, avec 3 communes, occupe 10% de l'espace où vivent 4% de la population (30 254 hab.) et une SAU de 28 568 ha, soit un ratio de 0.94ha/hab. Une région, où on pratique un assolement céréales – Jachère.



Photo n° 03 : Paysage des Béni Chougrane.

- Les **monts du Dahra (photo n° 04)**, avec 5 communes, occupent 9% du territoire et 14% de la population (103528 hab.) et une SAU de 21 731 ha, soit un ratio de 0.21ha/hab. Cette région, développe une agriculture plus intensive que les deux massifs du Sud, avec une polyculture : céréales – fourrages – arboriculture – viticulture.



Photo n° 04 : Paysage du Dahra.

Compte tenu des paysages, cités précédemment, nous pouvons distinguer deux (2) types d'agriculture :

- L'**agriculture intensive**, au niveau de la **plaine** et du **Dahra** de basses montagnes,
- Une **agriculture extensive**, au niveau du reste du territoire.

VII.5.4. Les exploitations agricoles :

Le Recensement Général de l'Agriculture (**RGA**), nous renseigne sur la structure foncière du secteur agricole. Avec près de 27 000 exploitations, pour les 281 550 ha de la SAU, la taille moyenne des exploitations agricoles est d'une dizaine d'hectares (**tableau n° 38**).

Tableau n° 38 : Répartition et importance des exploitations agricoles selon le statut foncier par région agricole.

Périmètres	Exploitation individuelles		EAI - EAC		EURL - SARL Concessions Société civile Société familiale		APFA		Fermes pilotes Stations Coopératives Groupement		Terres en locations		Total exploitations	
	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)	Nbre emploi	Sup (ha)
Massif Béni Chougrane	1818	24989.78	57	639.12	29	1142	8	18.51	4	141	179	1394.65	2095	28325
Massif Ouarsenis	7960	88164.93	1384	25563.92	233	3500.5	2	25	4	2130	236	2460.99	9819	121845.34
Monts du Dahra	2703	19512.99	180	3109	5	124.25	1	13	0	0	136	794.27	3025	23553.34
Plaine de la Mina et Bas Cheliff	7777	64654.42	3131	37442.23	188	1758	167	1268.3	13	631.25	197	2071.66	11473	107826.58
Total wilaya	20258	197322.12	4752	66754.34	455	6625.65	178	1324.8	21	2902.2	748	6721.57	26412	281555.7
Part en %	76.7	70.1	18	23.7	1.7	2.3	0.7	0.5	0.1	1	2.8	2.4	97.2	100

(Source : DSA, Relizane, 2015)

Du **tableau n° 38**, ci-dessus, il ressort que les **terres du secteur privé** représentent 77% des exploitations et occupent 70% de la SAU, en deuxième position, les terres dites "**EAI-EAC**", représentent 18% des exploitations et près de 24% des terres. Ainsi à elles deux, leurs deux statuts fonciers représentent 95% des exploitations et 94% des terres.

VII.5.5. L'agriculture irriguée :

L'agriculture irriguée, avec un peu plus de 24 000 ha, représente près de 98% de la SAU de la wilaya. On remarque que l'irrigation est pratiquée, principalement, sur plus de 81%, dans la plaine de la Mina et du bas Cheliff. Les trois (3) autres régions, se partagent respectivement, 10% de l'irrigation, dans l'Ouarsenis, 8%, dans les Béni Chougrane et, seulement 0,2%, dans le Dahra (**tableau n° 39**).

L'irrigation est pratiquée à plus de 57%, pour l'arboriculture fruitière, et 41%, pour les cultures maraichères.

Tableau n° 39 : Répartition des terres irriguées par commune.

Communes	Céréales	Cultures Fruitières	Cultures Maraichères	Total superficies irriguées (ha)	Part en %
Relizane	3	2 661	290	2 954	12,10%
Bendaoued	0	455	270	725	2,97%
Oued Djemaa	2	1 934	300	2 236	9,16%
El Matmar	0	112	660	772	3,16%
Yellel	0	2 412	1 490	3 902	15,99%
Sidi Saada	0	360	450	810	3,32%
Belhacel	0	888	300	1 188	4,87%
Sidi Khattab	0	428	480	908	3,72%
Djidiouia	270	181	380	831	3,41%
Hamri	0	29	150	179	0,73%
Ouled Sidi Mihoub	0	176	200	376	1,54%
Hmadna	0	62	2 200	2 305	9,44%
Oued Rhiou	75	168	539	782	3,20%
Ouarizane	0	1 444	534	1 978	8,10%
Plaines Mina et Bas Cheliff	350	11 310	8 243	19 946	81,73%
Ammi Moussa	0	144	90	234	0,96%
Ouldja	0	122	20	142	0,58%
Ramkaa	0	151	30	181	0,74%
Souk El Had	0	130	6	136	0,56%
Ain Tarek	0	216	210	426	1,75%
Had Echkala	0	122	250	372	1,52%
Ouled Yaich	0	75	100	175	0,72%
Lahlef	0	0	0	0	0,00%
Zemmoura	0	242	14	256	1,05%
Beni Dorgoun	0	50	23	73	0,30%
Douar Ben Abdellah	0	48	5	53	0,22%
Mendes	0	71	5	76	0,31%
Oued Slem	0	60	22	82	0,34%
Sidi Lazreg	0	79	0	79	0,32%
El Hassi	0	75	0	75	0,31%
Massif de l'Ouarsenis	0	1 585	775	2 360	9,67%
Merdja Sidi Abed	0	84	187	271	1,11%
Sidi M'Hamed Benaouda	0	14	245	259	1,06%
Ain Rahma	0	540	170	710	2,91%
Kalaa	0	360	450	810	3,32%
Massif Béni Chougrane	0	998	1 052	2 050	8,40%
Mazouna	0	15	2	17	0,07%
Guettar	0	22	10	32	0,13%
Mediouna	0	0	0	0	0,00%
Sidi Mohamed Benali	0	0	0	0	0,00%
Beni Zenthis	0	0	0	0	0,00%
Monts Dahra	0	37	12	49	0,20%
Wilaya	0	13 930	10 082	24 405	100%

(Source : DSA, Relizane, 2015)

VII.5.5.1. L'irrigation à partir de la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH):

L'agriculture, de cette wilaya, est concentrée dans la plaine de la Mina et du Bas Cheliff, située entre les Monts du Dahra, au Nord, et les massifs de l'Ouarsenis et des Béni Chougrane, au Sud. Environ 82%, à savoir 19 946 ha de l'agriculture irriguée de la wilaya de Relizane est pratiquée dans cette plaine, avec environ 60%, dans le cadre des 2 GPI, et 40%, dans le cadre de la PMH (photo n° 05).

Au total, l'agriculture irriguée est conduite à 60%, en PMH, et 40%, en GPI, avec, cependant, une présence non négligeable de puits et de forages individuels au sein de ces périmètres irrigués.



Photo n° 05 : Zone d'irrigation par la Petite et Moyenne Hydraulique dans la région de Yellel.

a) **Les périmètres collectifs actuels :**

L'inventaire de la PMH, de 2013, n'a recensé que deux petits périmètres en collectif, localisés dans la commune de Mazouna. Situés en zone montagneuse, les deux périmètres sont irrigués à partir de deux sources (**tableau n° 40**).

Tableau n° 40 : Périmètres collectifs conduits en PMH par région agricole.

Région agricole	Nbre périmètres d'irrigation collective	Nbre exploitations irriguées	SAU irriguée physique (ha)	SAU irriguée développée (ha)	SAU irrigable (ha)	Coefficient d'intensification
Plaines de la Mina et du Bas Cheliff	0	0	0	0	0	0,00
Massif de l'Ouarsenis	0	0	0	0	0	0,00
Monts du Dahra	2	17	13	17	20	1,31
Total wilaya	2	17	13	17	20	1,31

(Source : Inventaire, PMH, 2013, SOGREAH)

Pour le périmètre de Bouloufa, la superficie irriguée physique est de 8 ha, avec un coefficient d'intensification culturale de 1,5. Les 12 exploitants effectuent les irrigations sur la base d'une entente mutuelle, selon un calendrier horaire préétabli. Les terres sont de statut juridique privé et les cultures pratiquées sont le maraîchage, avec dominance de la pomme de terre et la courgette.

Pour le second périmètre d'Ain Safi, la superficie irriguée physique est de 5 ha, avec un coefficient d'intensification culturale de 1. La gestion de l'eau est établie de la même manière que le premier périmètre, par les 5 exploitants privés. Il s'agit d'un petit périmètre d'arboriculture, les cultures pratiquées sont l'olivier, le grenadier et le figuier.

b) **Les périmètres du programme «de mise en valeur par la concession» :**

Quatre (4) périmètres de mise en valeur par la concession ont été mis en place sur les communes d'El Ouldja, Yellel, Sidi Saada et Ain Rhama. Il s'agit de mise en valeur en sec.

Seul le périmètre de mise en valeur par la concession de Yellel a bénéficié du

creusement de 5 puits, avec la mise en place de bassins pour l'irrigation de petites plantations arboricoles sur le versant, après déroctage des terrains (programme de 2005).

c) Les zones d'irrigation individuelle :

L'inventaire de la PMH, réalisé par **SOGREAH** en **2008**, a regroupé les exploitations pratiquant l'irrigation selon une concentration spatiale dans des zones dites zones géographiques individuelles (ZGI).

Sur la wilaya de Relizane, 66 zones géographiques d'irrigation (ZGI) individuelles ont été inventoriées.

Tableau n° 41 : Inventaire des zones géographiques d'irrigation individuelle par région agricole.

Région agricole	Nombre de zones géographiques d'irrigation	Nombre exploitations irriguées	SAU Irriguée (ha)	Coefficient d'intensification
Plaine Mina et Bas Cheliff	22	1206	7244	1,12
Massif de l'Ouarsenis	43	778	3280	1,05
Monts du Dahra	1	21	51	1,11
Total wilaya	66	2005	10 574	1,09

(Source : Inventaire PMH, SOGREAH, 2013)

De la lecture du **tableau n° 41**, ci-dessus, il ressort ce qui suit :

➤ **La plaine de la Mina et du Bas Cheliff :**

Cette région agricole, en plus de son importance en ce qui concerne la superficie en terres irriguées en GPI, représente 67% de la PMH de la wilaya.

➤ **Les massifs de l'Ouarsenis et des Béni Chougrane :**

Pour cette région agricole, qui regroupe 18 communes de la wilaya, il a été inventorié 43 zones d'irrigation individuelle, pour une superficie irriguée physique de 3 137 ha.

Cette superficie, représente 32,4% de la PMH. Cependant, 69% de la superficie irriguée de cette région sont concentrés sur cinq (5) communes, à savoir : Ain Tarek, avec 502 ha, Had Echkala, avec 455 ha, Zemmoura, avec 300 ha, Kalaa, avec 541 ha et Ain Rahma, avec 617 ha.

Pour les communes d'Ain Tarek et Had Echkala, toutes les deux situées au Sud-ouest du chef-lieu de la wilaya et sur l'oued Rhiou, l'agriculture est pratiquée de manière traditionnelle, à partir de puits creusés à proximité des berges de l'oued. La dominance est la culture de la pastèque.

Pour la commune de Zemmoura, les 300 ha des terres irriguées sont consacrés, en priorité, à l'arboriculture (254 ha), l'olivier étant présent avec 50% des 300 ha, de cette commune.

La commune de Kalaa et la commune d'Ain Rahma, qui représentent 541 ha de la SAU irriguée, pour la première, et 617 ha de la SAU irriguée, pour la seconde, sont des communes à vocation arboricole, avec, également, une superficie maraîchère non négligeable, pour la commune de Kalaa (158 ha).

➤ **Les Monts du Dahra :**

Dans cette région agricole, qui regroupe cinq (5) communes de la wilaya, il a été inventorié une (1) zone d'irrigation individuelle, ayant une superficie irriguée physique de 30 ha, pour une superficie irriguée physique totale en individuel de 46 ha, la différence correspond à de petites exploitations agricoles éparpillées, ici et là. Les principales spéculations, par ordre d'importance, sont : le maraîchage (artichaut, melon, pastèque) et la vigne.

d) La synthèse de l'agriculture en irriguée :

L'agriculture en irriguée est responsable d'environ 70% du prélèvement total d'eau douce dans cette région agricole, principalement par l'irrigation.

L'évaluation des terres fournit des données et recommandations qui permettent de décider du type de culture à pratiquer et où, et de répondre à d'autres questions de ce genre. Elle aboutit au choix de la terre et du système de culture qui conviennent ainsi que des options en matière d'irrigation et d'aménagement qui sont viables. La classification des terres est le fruit principal des études à conduire au titre de l'évaluation. Elle indique l'aptitude de différents types de terre, à différentes utilisations (**photo n° 06**) (**tableau n°42**).



Photo n° 06 : Cultures en GPI.

Tableau n° 42 : Extension de la PMH par région agricole.

Région agricole	Nombre de zones géographiques d'irrigation	Nombre d'exploitations irriguées	SAU irriguée physique (ha)	SAU irriguée développée (ha)	Coefficient d'intensification
Plaine de la Mina et du bas Cheliff	22	1 206	6 492	7 244	1,12
Massif de l'Ouarsenis	43	778	3 137	3 280	1,05
Monts du Dahra	3	38	59	68	1,15
Total wilaya	68	2 022	9 687	10 591	1,09

(Source : Inventaire PMH, SOGREAH, 2013)

VII.5.5.2. L'irrigation à partir des Grands Périmètres Irrigués :

Trois (3) barrages sont implantés sur le territoire de la wilaya de Relizane (**tableau n°43**). Il s'agit de :

➤ **Le barrage de Gargar dans la commune d'Oued Rhiou :**

D'une capacité de 450 Hm³, son volume actuel est estimé à 431 Hm³. Il sert à l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran et à l'irrigation du périmètre du Bas Cheliff.

➤ **Le barrage de Sidi M'Hamed Benaouda dans la commune du même nom :**

Sa capacité est de 225 Hm³, son volume actuel est estimé à 148 Hm³. Il sert à l'alimentation en eau potable des villes de la wilaya de Relizane et à l'irrigation du périmètre de la Mina.

➤ **Le barrage Amel de la commune de Merdja Sidi Abed :**

De capacité de 58 Hm³, son volume est estimé à 10 Hm³. Il sert à l'irrigation du périmètre du Bas Cheliff.

Il existe dans la wilaya de Relizane deux (2) grands périmètres qui se partagent la plaine de la Mina et du bas Cheliff, il s'agit de :

- Unité du Bas Cheliff, qui couvre la partie Est de la plaine
- Unité de la Mina, qui couvre la partie Ouest de la plaine.

Tableau n° 43 : Présentation des GPI de la wilaya de Relizane.

Bas Chélif	
Ressources	Retenue de Merdja Sidi Abed : 6 Millions de m ³ fournis en 2007 et 9 forages (programme d'urgence) d'un débit 250 l/s
Surfaces	Surface classée : 28 249 ha Surface irrigable : 15 000 ha Surface équipée : 14 575 ha Nombre adhérents recensés : 2 000 Campagne 2006/07, nombre d'adhérents servis : 789
Localisation	Le périmètre du Bas Cheliff s'étend sur une longueur de 48 km, sur le long de la RN 4, de part et d'autre de l'Oued Cheliff. Délimité, au Nord, par les Monts Dahra, au Sud, par les Monts du Gargar, il s'étend, d'Est en Ouest, sur les communes de Boukadir, Merdja, Oued Rhiou, Ouarizane, Djidiouia, Hamadena, Hamri et Ouled Sidi Mihoub. Le périmètre est divisé en 10 zones d'irrigation, de basses et hautes pressions.
Observations	Merdja Sidi Abed (1969) : Capacité initiale 56 Hm ³ Le Barrage Gargar (1989) : Capacité Initiale 450 Hm ³ . Depuis 2005, l'eau est utilisée en totalité pour l'AEP Des 13 forages du programme d'urgence (2006), seuls 9 forages sont opérationnels. Principales cultures irriguées (2006/07) : Oliviers, 1000 ha, agrumes, 790 ha, autres, 200 ha. Gros problèmes de salinité des sols, dus à la sécheresse et au manque de lessivage et drainage des sols.
La Mina	
Ressources	Barrage de Sidi M'Hamed Benaouda : 2,45 Millions de m ³ , pour 2006/07, et 1,05 Millions de m ³ , par forages (10 ouvrages)
Surfaces	Surface classée : 18 275 ha Surface irrigable : 17 235 ha Surface équipée : 17 235 ha Nombre adhérents recensés : 1 300 Campagne 2006/07, nombre d'adhérents servis : 593
Localisation	Le périmètre de la Mina est implanté dans l'Ouest de la wilaya de Relizane, de part et d'autre de l'Oued Mina, il s'étend sur les communes d'Oued Djemaa, Relizane, El Matmar, Belahcel, Sidi M'hamed Benaouda, Bendaoud et Yellel.
Observations	Sur les 10 forages, du programme d'urgence 2006, seuls 2 sont fonctionnels, à cause : pannes, eau agressive (sel) qui rongent les colonnes d'exhaure. Principales cultures : agrumes et oliviers ; et maraîchage : artichauts et autres.

(Source : Etude Inventaire PMH, SOGREAH, 2013)



Photo n° 07 : Canal d'irrigation dans la plaine de la Mina.

Les deux (2) GPI, regroupant l'agriculture irriguée de sept (7) communes en totalité, une (1) commune, avec plus de 93%, et pour deux (2) communes, un peu plus du tiers ($\frac{1}{3}$) de leur superficie irriguée respectivement.

La répartition par région agricole, est la suivante :

- Plaine de la Mina et du Bas Cheliff, 10 345 ha, soit 99% des superficies irriguées, développées en GPI (**photo n° 07**) ;
- Massif de l'Ouarsenis, avec 1% (**photo n° 08**).

L'arboriculture occupe plus des deux tiers ($\frac{2}{3}$) de la SAU irriguée, avec, en culture principale, les agrumes, dans la zone de la plaine de la Mina, et l'olivier, pour la zone du Bas Cheliff.

Les deux (2) grands périmètres du Bas Chélif et de la Mina, souffrent du manque d'eau. Les travaux de réhabilitation et d'extension (17 235 ha, sur la plaine de la Mina, et 14 576 ha, dans le Bas Chélif), qui ont été menés entre 1980 et 2007, n'ont pas encore permis de mettre en eau les réseaux, du fait, du déficit hydrique enregistré (**DRH, W. de Relizane, 2007**).



Photo n° 08 : Exemple d'irrigation dans la région de l'Ouarsenis.

VII.5.6. Les cultures pratiquées :

Les cultures céréalières occupent 80%, de la sole cultivée, le reste est partagé entre l'arboriculture, avec près de 10%, le maraichage, à hauteur de 9%, et la viticulture, à 1% (tableau n° 44) (photo n° 09).

Tableau n° 44 : Importance des cultures pratiquées.

Cultures pratiquées	Superficie (ha)	Part en % par rapport au groupe des cultures	Part en % par rapport à l'ensemble des cultures
Pomme de Terre Avant saison	1 090	5,93%	0,53%
Pomme de Terre Saison	2 100	11,42%	1,02%
Tomate	530	2,88%	0,26%
Oignon	420	2,28%	0,20%
Melon & Pastèque	1 275	6,93%	0,62%
Artichaut	3 100	16,85%	1,51%
Fèves Vertes	1 670	9,08%	0,81%
Petits Pois	7 140	38,81%	3,47%
Autres Légumes	1 070	5,82%	0,52%
Total cultures Maraichères	18 395	100,00%	8,93%
Céréales d'hiver	135 500	82,72%	65,79%
Légumes Secs	4 650	2,84%	2,26%
Fourrages	23 663	14,45%	11,49%
Total Grandes Cultures	163 813	100,00%	79,54%
Vigne de cuve	227	11,40%	0,11%
Vigne de table	1 765	22,80%	0,86%
Total Viticulture	1 992	100,00%	0,97%
Olivier	7 740	35,57%	3,76%
Agrumes	4 563	20,97%	2,22%
Arbo noyaux & pépins	4 867	22,37%	2,36%
Figuier	603	2,77%	0,29%
Total Arboriculture	21 757	100,00%	10,56%
Total Wilaya	205 957	100,00%	100,00%

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)



Photo n° 09 : Vue des terres agricoles et cultures.

VII.5.6.1. Les grandes cultures :

Les 135 500 ha de céréales sont occupés à plus de 80% par les blés durs et tendres. Pour les légumes secs, c'est surtout la fève qui domine. Les fourrages cultivés sont l'orge, la vesce-avoine. Parfois, en année de sécheresse, le déclassement des céréales, reconverties en pâturage. La céréaliculture est pratiquée sur l'ensemble du territoire, avec, cependant, une céréaliculture extensive, dans la région de l'Ouarsenis et des Béni Chougrane, et une céréaliculture plus intensive, dans la plaine.

VII.5.6.2. Les cultures maraichères :

Elles représentent 9% de la superficie cultivée. Dans cette catégorie, les principales cultures sont les petits pois et les fèves, avec 47%, la pomme de terre et l'artichaut, avec, respectivement, 17,5% et 17%, les melons et pastèques, avec 7%, et le reste des légumes, pour 11,5%. On a :

- L'**artichaut**, est pratiqué principalement dans la plaine, avec une concentration de près de 53% des superficies dans les communes situées dans le Bas Chélif, avec Oued Rhiou et Ouarizane, Oued Djemaa et Djidiouia. Sur les terres, les plus salées, l'artichaut est une culture qui s'adapte beaucoup mieux à la salinité ;
- La **pomme de terre**, est concentrée dans la commune de H'Madna, avec près de 2200 ha, représentant 68% de la sole réservée à cette culture ;
- Les **petits pois**, sont concentrés dans le massif des Béni Chougrane, les deux communes d'Ain Rahma et Sidi Saâda, représentant 70% de la culture des petits pois.

VII.5.6.3. La viticulture :

Elle concerne quasiment le raisin de table, où cette culture est localisée à plus de 90% dans les Monts du Dahra.

VII.5.6.4. L'arboriculture :

Elle se trouve pratiquer sur l'ensemble des communes, du territoire de plus de trois (3) wilayas, avec certaines espèces d'arbres fruitiers.

Tableau n° 45 : Répartition des espèces arboricoles par région agricole.

Communes	Oliviers	Part en %	Agrumes	Part en %	Figuier	Part en %	Noyaux & pépins	Part en %	Total (ha)	Part en%
Plaine de la Mina et du bas Chélif	5 110	66,0%	4 561	99,96%	167	27,7%	2 232	45,9%	12 070	67,9%
Massif de l'Ouarsenis	1 407	18,2%	0	0,00%	206	34,2%	1 119	23,0%	2 732	15,4%
Monts du Dahra	616	8,0%	0	0,00%	204	33,8%	1 113	22,8%	1 933	10,9%
Massif des Béni Chougrane	607	7,8%	2	0,04%	26	4,3%	403	8,3%	1 038	5,8%
Wilaya	7 740	100%	4563	100%	603	100%	4867	100%	17773	100%

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)

Les deux tiers ($\frac{2}{3}$) de l'arboriculture, sont concentrés dans la plaine. Seul, le figuier, est localisé dans les zones de montagne. L'agrumiculture, avec plus de 4500 ha, sont cultivées dans la plaine. Cependant, pour les espèces à noyaux et pépins, on remarque que les zones de montagne disposent de plus de 50% du verger (**tableau n° 45**).

VII.5.7. L'importance de l'élevage :

La wilaya de Relizane enregistre près de 2% du cheptel bovin national, estimé à 1.6 millions de têtes, et se classe à la 18^{ème} place, par rapport aux 48 wilayas du pays. Le cheptel se trouve concentrer dans la plaine, avec 60% des effectifs (**tableau n° 46**).

Tableau n° 46 : Effectif des races bovines et ovines par région.

Région	Bovins	Ovins	Total
Béni Chougrane	1 450	19 520	20 970
Dahra	5 325	30 720	36 045
Ouarsenis	4 875	94 570	99 445
Plaine	19 450	215 990	235 440
Total Wilaya	31 100	360 800	391 900

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)

En outre, pour l'ovin, la wilaya se classe à la 20^{ème} place, pour près de 2%, avec également 60% des effectifs dans la plaine (**photo n° 10**).



Photo n° 10 : Exemple d'abreuvement du cheptel, région de Sid M'Hamed Benaouda.

C'est surtout dans les zones de montagne, que l'activité avicole, particulièrement, le poulet de chair est pratiqué. Pour la dinde, par contre, l'activité est concentrée dans la plaine.

Tableau n° 47 : Effectif des petits élevages par région.

Région	Poules pondeuses	part en %	Poulets de chair	part en %	Dindes	part en %
Béni Chougrane	120 000	18,5%	270 000	6,8%	0	0,0%
Dahra	66 400	10,2%	1 108 600	27,7%	10 000	5,4%
Ouarsenis	52 200	8,0%	1 085 015	27,1%	4 000	2,2%
Plaine	411 400	63,3%	1 536 385	38,4%	172 000	92,5%
Total Wilaya	650 000	100%	4 000 000	100,0%	186 000	100,0%

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)

VII.5.8. Les niveaux de production :

Les niveaux des rendements sont à peine moyens. Les volumes d'eaux alloués, sont faibles et accentués par une salinité des sols, sur la partie basse de la plaine de la Mina, et constituent les principales entraves à des niveaux de production, au vu du potentiel des sols et des agriculteurs, expérimentés, ayant une tradition certaine dans la conduite des cultures phares de la wilaya. Les productions agricoles dominantes de la wilaya de Relizane (**tableau n° 48**), sont :

- L'avoine
- Les fèves sèches
- Les artichauts
- Les fèves vertes
- Les petits pois
- Les melons et pastèques
- Les fourrages
- Les agrumes
- Les olives
- Les grenades.

Tableau n° 48 : Répartition de la production agricole par produit.

Spécifications	Année					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Blé Dur	786 800	793 300	803 000	816 800	862 500	865 002
Blé Tendre	434 900	451 600	462 000	468 100	503 000	509 699
Orge	386 100	390 200	396 500	401 600	408 000	413 001
Avoine	66 400	70 500	75 600	82 000	90 500	94 899
Céréales	1 674 200	1 705 600	1 737 100	1 768 500	1 864 000	1 882 601
Fourrages	906 200	946 100	985 900	1 025 700	1 069 100	1 108 200
Légumes Secs	24 200	28 300	32 000	33 360	36 400	39 702
Maraîchage	1 381 400	1 499 200	1 600 100	1 690 400	1 831 000	1 927 500
Dont 1 Pommes de terre	440 000	517 000	594 000	671 000	748 000	825 000
2 Oignons	52 360	40 900	43 800	46 800	50 000	54 100
Viticulture	85 600	95 500	107 600	114 400	119 000	130 101
Agrumes	910 000	959 800	1 024 400	1 066 600	1 089 500	1 149 801
Noyaux Pépins	419 600	433 600	447 200	461 200	476 000	489 597
Olives	354 400	355 000	358 800	367 600	391 100	391 201
Dont Olives à Huile	15 000	15 400	15 600	16 000	17 000	17 201
Dattes	0	0	0	0	0	0
Production Végétale	1 769 600	1 843 900	1 938 000	2 009 800	2 075 600	4 939 585
Bovins (croit en têtes)	31 260	31 445	31 630	31 900	32 200	33 536
Ovins (croit en têtes)	386 650	390 750	394 180	398 000	402 000	428 194
Caprins (croit en têtes)	50 000	54 000	60 000	65 000	70 000	74 565
Croit Élevage						15 903
Viandes Blanches (Qx)	78 850	81 070	84 370	87 750	91 210	94 761
Elevages	0	0	0	0	0	0
Lait 103 litres	59 814	62 327	65 398	68 793	72 370	77 088
Œufs 103 unités	125 000	133 750	142 500	151 260	160 000	164 801
Miel (Qx)	700	780	850	920	1 000	1 087
Laine (Qx)	4 650	4 970	5 070	5 380	5 580	5 968

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)

Tableau n° 49 : Niveau de production des spéculations stratégiques.

Filières	2014		2015		2016		2017		2018	
	Sup	Prod	Sup	Prod	Sup	Prod	Sup	Prod	Sup	Prod
Céréales	134 165	1 788 000	135 200	1 737 500	135 476	2 502 560	136 000	1 864 000	136 200	1 882 600
Pomme de terre	1 690	518 160	3 600	1 162 000	3 190	892 780	3 100	748 000	3 200	825 000
Légumes	3 625	37 850	3 885	40 100	4 650	47 690	4 700	36 400	4 800	39 700
Oliviers	6 300	390 000	6 600	429 000	7 700	370 000	7 800	391 100	7 820	391 200
Production animale										
Laits (103 L)		65 030		65 795		71 200		72 370		77 086
Viande blanches		86 845		89 000		88 000		91 210		94 760
Viandes rouges		68 560		68 790		68 970		70 400		72 770

(Source : DSA, wilaya de Relizane, 2018)

Où :

- **Sup = Superficie**
- **Prod = Production.**

Du **tableau n° 49**, ci-dessus, on peut constater l'augmentation exponentielle des superficies réservées à la filière des **céréales**, de la **pomme de terre**, des **légumes secs**, ainsi que pour les **oliviers**, et ce, afin d'arriver à l'autosatisfaction des besoins exprimés par les consommateurs. Par contre, pour la production animale, on a enregistré des hausses légères de 2014 à 2018.



Chapitre VIII :

FLORE DE LA REGION D'ETUDE



VIII. La flore de la région d'étude

L'écosystème de la région d'étude est très fragile, les données bioclimatiques, les paramètres édaphiques et les actions anthropiques, influent directement sur la présence, l'abondance et la répartition géographique de la flore et de la faune dans cette région.

VIII.1. Les plantes spontanées :**VIII.1.1. Définition :**

Les plantes spontanées sont des espèces végétales qui se développent naturellement à l'état sauvage, sans l'intervention de l'homme (**Marouf, 2000**). On emploie souvent le nom arabe "Acheb", qui couvre un tapis presque continu, mais éphémère, de vastes surfaces (**Ozenda, 1977 ; Benkhetou, 2010 ; Benchelah et al., 2011**). La plantule est apparue, a fleuri, puis produit ses graines qui attendront une prochaine averse, peut être pendant des années (**Ozenda, 1977 ; Benchelah et al., 2011**).

VIII.1.2. La répartition spatiale des plantes spontanées :

La répartition des espèces végétales et leurs colonisations, en groupement, sont liées à la disponibilité de l'eau, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques du sol et de la topographie (**Ozenda, 1982**). Lorsque ces facteurs sont suffisamment remplis, le tapis végétal atteint son plein développement (**Ozenda, 1958**).

VIII.2. Les flores spontanées remarquables :**VIII.2.1. L'*Atriplex halimus* :**

D'après **Berger (1909)** : *Atriplex*, signifie : n'a pas trois angles, il est composé de « a », du grec, et « Triplex », du latin.

Composé en presque 200 espèces, c'est le plus grand genre en **Chénopodiacées**, une famille cosmopolite, qui inclut plus de 1400 espèces d'herbes et d'arbustes.

Parmi les espèces les plus ou moins vulgarisées, cinq (5), seulement, présentent un réel intérêt pratique : *Atriplex halimus*, *Atriplex canescens*, *Atriplex mollis*, *Atriplex glauca*, *Atriplex nummularia* (**Le Houerou et al., 1988**).

Atriplex halimus, est un arbuste buissonneux, d'un aspect blanc argenté, de 1 à 2 mètres, étalé, très ample (**Mottet et al., 1968**). Lorsqu'elle n'est pas soumise au pâturage, elle peut atteindre quatre (4) mètres et constituer un fourré difficilement pénétrable par les animaux (**Negre, 1966**).

On peut représenter la systématique d'*Atriplex halimus*, comme suit :

Embranchement : Spermaphytes (*Phanérogames*)

Sous-embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Dicotylédones*

Sous-classe : *Apétales*

Ordre : *Centrospermales*

Famille : *Chénopodiacées*

Espèce : *Atriplex halimus*

Nom commun : *Pourpier de mer*

Nom arabe : « *Guettaf* », connu à l'ouest Algérien sous le nom de « *Chenane* » (**photo n° 11**).

Photo n° 11 : *Atriplex halimus*.

VIII.2.2. Le *Tamarix* sp. :

- Règne** : Plantae
Famille : Tamaricaceae
Genre : Tamarix

Cet arbuste peut atteindre 5 mètres. Ses feuilles ont une forme en écailles serrées, sur des rameaux grêles. Ses minuscules fleurs, roses, sont regroupées en épis. La présence de sel ne le dérange pas. Ses racines aident à fixer les dunes.

- Nom scientifique** : Tamarix sp.
Nom commun : Tamaris, Salt Cedar
Fleur Couleur : Rose, blanc
Type : Arbre, arbustes, vivaces
Hauteur : 3 à 6 m de hauteur ou plus

Le *Tamarix* présente une structure qui donne sa protection contre le vent le long de la côte et il est, aussi, très tolérant à la rosée de sel et le salé terre (**photo n° 12**) (**Bock, 2009**).

Distribution : Afrique (Egypte, Lybie, Tunisie, Algérie, Djibouti, Ethiopie, Somalie, Kenya), Asie (Turquie, Liban, Syrie, Palestine, Iraq, Iran, Pakistan, Afghanistan, Arabie).

Photo n° 12 : *Tamarix* sp. (Bock, 2009).

VIII.2.3. Le *Juncus* sp. :

Famille	:	Juncaceae
Espec	:	<i>Juncus</i> sp
Ordre	:	Juncales

Il existe de très nombreuses variétés de Joncs, parfois spontanées dans nos bassins. Ce sont généralement des plantes vivaces, glabres, dressées en touffe. A la différence des carex, ils possèdent de petites fleurs, vertes ou brunâtres, pourvues de 6 tépales.

Leaf : rondes ou aplaties, laissent habituellement la croissance de la base de la plante, avec une gaine, à la base des feuilles. Rendement : 30 cm de long. Parfois, ressemblant à des cheveux, lorsque submergée, avec crosswalls.

Tige : Habituellement, ronde, parfois aplatie, avec la moelle remplie de tiges. Spreading Rush : formulaires les plus fréquemment de nouvelles plantes aux nœuds.

Fleur : Minute, parcheminée, verdâtre, brunâtre, fleurs ont chacun 3 sépales et 3 pétales (tépales). Apparaissent en grappes, à l'extrémité souches, bien sur plusieurs espèces d'une tige, comme les causes bractées, les fleurs à apparaître à émerger du côté de la tige.

Fruit : Capsule, contenant de nombreuses graines minuscules. Graines souvent pointues, à l'un ou aux deux extrémités. Spreading : capsules de plus de tépales.

Racine : fibreuse, surgissant à l'usine de base à partir de rhizomes, partiellement ou totalement, enterrés.

Multiplication : les semences, rhizomes.

Répartition : Europe, Asie, Afrique et Amérique boréales, Australie (**photo n° 12**) (Froidefond, 2007).



Photo n° 13 : *Juncus* sp. (Froidefond, 2007).

VIII.2.4. Le *Chamaerops humilis* :

Règne :	Plantae
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Liliopsida
Ordre :	Arecales
Famille :	Arécacée

Noms communs : Palmier nain, Palmier de Méditerranée.

Le **palmier nain** ou **faux palmier "doum"** (*Chamaerops humilis* L.), est aujourd'hui la seule espèce du genre *Chamaerops* (genre monotypique, qui doit son nom au grec χᾶμαι - *chamai*, bas ; *rops*, buisson). Les autres espèces, initialement classées dans ce genre, ayant été reclassées dans des genres voisins, notamment *Chamaerops fortunei*, devenu *Trachycarpus fortunei*.

C'est un palmier de petite taille, originaire des régions bordant la Méditerranée occidentale, apprécié dans les jardins méditerranéens, qui appartient à la famille des Arécacées, à la sous-famille des *Coryphoideae* et à la tribu des *Corypheeae*.

Noms vernaculaires : palmier nain, palmier éventail, palmier doum, doum ou faux doum. Ce palmier ne doit pas être confondu avec le vrai palmier doum, *Hyphaene thebaica* (L.) Mart., originaire d'Afrique tropicale.

Ce magnifique palmier, ornemental, peut atteindre 8 mètres de hauteur, avec plusieurs stipes inclinés. Il est très rustique, au froid, très résistant à la sécheresse et aux embruns. Il peut survivre à des températures de -12°C, où les feuilles peuvent être atteintes mais rarement le cœur (**photo n° 14**) (Bock, 2009).



Photo n° 14 : *Chamaerops humilis* (Bock, 2009).

VIII.2.5. La *Salicornia sp.* :

Règne :	Plantae
Espèce :	<i>Salicornia sp</i>
Famille :	Chénopodiacées
Ordre :	Juncales

Nom latin : *Salicornia sp.*

Autres noms : haricot de mer, cornichon de mer, passe-pierre, salicot.

Etymologie : des mots latins *sal*, le sel, et *cornu*, la corne.

Description, écologie :

Espèce vivace, halophile, basse, charnue, constituée de rameaux cylindriques qui semblent articulés, terminés par un épi fertile. On s'en sert pour produire de la soude végétale.

Les salicornes sont des plantes à tiges succulentes, articulées, et à feuilles écailleuses, en paires opposées et fusionnées à la tige. Leurs fleurs sont minuscules et discrètes, qui sont intégrées dans les pousses, apparaissent de Juillet à Octobre. Les salicornes vivaces appartiennent au genre *Sarcocornia* (autrefois *Arthrocnemum*). Elles poussent sur le schorre (ou pré-salé), en bordure de marais salants et partout où remonte l'eau de mer.

Les différentes espèces sont difficiles à distinguer (**photo n° 15**) (Froidefond, 2007).



Photo n° 15 : Salicornia sp. (Froidefond, 2007).

VIII.2.6. La Salsola kali :

Soude brûlée, dicotylédones, Chenopodiaceae.

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Caryophyllales

Famille : Chenopodiaceae

Généralités, présentation sommaire :

Salsola kali, est une Chenopodiaceae annuelle, herbacée, halophile, épaisse, à tige rougeâtre, plus ou moins pubescente.

Localisation et comportement :

Salsola kali, peut se rencontrer entre les étangs salés et les sansouïres, mais il est principalement localisé sur les **dunes littorales**.

Intérêt de la plante et particularités :

Salsola kali, a longtemps servi les industries du verre et du savon.

Remarque : Aux stades jeunes, *Salsola kali* peut se confondre avec une autre soude annuelle, *Bassia crassifolia* (Pall.) Soldano, qui croît principalement sur les cordons coquilliers, entre l'étang du Vaccarès et la mer (**photo n° 16**) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 16: *Salsola kali* (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.7. La *Malva sylvestris* L. :

Synonyme(s) du nom scientifique : *Malva erecta* Gilibert, *Althaea sylvestris* Garcke

Classification : Malvacées, Dicotylédones

Nom commun : mauve sylvestre

Type biologique : Bisannuelle, Vivace

- Feuilles simples, arrondies, à dents espacées.
- Hauteur : 30 à 50 cm.
- Tiges ligneuses à la partie inférieure, ramifiées, velues, couchées à dressées.
- Feuilles palmatifides, longuement pétiolées, arrondies ou réniformes, basales, de 3 à 7 lobes à encoches irrégulières, de forme très variable.
- Fleurs, rose-violette, par 2 à 6 axillaires. Pétales profondément échancrés au sommet et à cils dressés à la base, à rayures sombres.
- Fruits en forme de disque, de 9 à 11 carpelles, bosselés et cannelés en réseau sur le dos, glabres ou peu velus.
- Plante utilisée en infusion émolliente, mucilagineuse, légèrement laxative (**photo n° 17**) (<http://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 17 : *Malva sylvestris* L. (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.8. Le *Bellis annua* L. :

- Racine annuelle
- à fibres très grêles
- tiges de 3-10 cm, rarement plus, grêles, droites ou couchées à la base, ascendantes, flexueuses, pubescentes, simples ou plus ordinairement rameuses et feuillées à leur partie inférieure, longuement nues au sommet
- feuilles minces et molles, pubescentes, dentées ou crénelées dans leur moitié supérieure, obovales-spatulées, rétrécies en pétiole
- involucre herbacé à folioles ovales-lancéolées
- akènes très petites, velus
- capitules petites, 15 mm de diamètre environ, solitaires, terminaux
- ligules blanches, purpurines en-dessous, oblongues-linéaires.

Écologie : Terrains salés, lieux frais, pelouses.

Répartition : Espagne et littoral méditerranéen, Afrique septentrionale, Orient.

Floraison : Février-juin (**photo n° 18**) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 18 : *Bellis annua* L. (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.9. Le *Medicago minima* Grufb. :

- Plante annuelle, de 5-40 cm, étalée ou dressée, toute pubescente-blanchâtre
- folioles petites, obovales ou oblongues en coin, denticulées au sommet, non tachées
- stipules entières ou peu dentées
- fleurs jaunes, petites (3-4 mm), 1-5 sur des pédoncules courts, aristés, égalant à peine la feuille
- pédicelles plus courts que le tube du calice
- ailes plus courtes que la carène
- gousse pubescente, petite, globuleuse, à 3-5 tours de spire peu visibles, ainsi que les faces, à bords étroits obtus, hérissés d'épines nombreuses, rapprochées, dressées, fines, un peu crochues à la pointe
- graines oblongues en rein.

Écologie : Lieux secs, rocailleux ou sablonneux.

Répartition : Presque toute l'Europe, Asie occidentale, Afrique septentrionale.

Floraison : Mai - Juillet (**photo n° 19**) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 19 : *Medicago minima* Grufb. (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.10. L'*Aegilops triuncialis* L. :

Synonyme(s) du nom scientifique : *Aegilops elongata* Lamarck, *Triticum triunciale* (L.) Raspail, *Aegilops echinata* Presl.

Classification : Graminées, Monocotylédones

Nom commun : égilope à 3 arêtes

Type biologique : Annuelle

Description de la plantule :

- Préfoliation enroulée, gaine cylindrique.
- Limbe, de 20 à 50 fois plus long que large, feuille plus ou moins poilue.
- Ligule membraneuse dentée, oreillettes courtes.

Description de la plante adulte :

- Hauteur : 20 à 30 cm. Plante cespiteuse.
- Feuilles velues, assez étroites, plates, molles, aiguës.
- Inflorescence : épi de 4 à 6 cm de long, comprenant 4 à 7 épillets. Chaque épillet comprend 3 à 4 fleurs vertes, pâles et un peu glauques. Glumes oblongues non ventruées, avec 2 à 3 arêtes. La déhiscence se produit aux nœuds de l'épillet fertile basal (**photo n° 20**) (<https://www.florealpes.com>).



Photo n° 20 : *Aegilops triuncialis* L. (<https://www.florealpes.com>).

VIII.2.11. Le *Papaver rhoeas* L. Coquelicot :

- Plante annuelle, velue-hérissée
- Tige de 20-60 cm, dressée, rameuse
- Feuilles pennatipartites, à segments lancéolés-aigus, incisés-dentés, les caulinares sessiles, à segment terminal très développé
- Pédoncules à poils très étalés
- Fleurs d'un rouge vif, grandes
- Filets des étamines filiformes
- Stigmates 7-12, sur un disque lobé, à lobes se recouvrant par les bords
- Capsule courtement obovale, glabre. Plante polymorphe.

Écologie : Champs et moissons.

Répartition : Europe centrale et méridionale ; Asie occidentale et centrale ; Afrique septentrionale.

Floraison : Mai-juillet (**photo n° 21**) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 21 : *Papaver rhoeas* L. Coquelicot (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.12. L'*Echium vulgare* L. :

- Plante bisannuelle, de 30-80 cm, verte, hérissée de poils raides, étalés, espacés, faiblement tuberculeux
- Tige dressée, ordinairement très rameuse
- Feuilles hispides, oblongues-lancéolées, les inférieures pétiolées, à 1 nervure, les autres sessiles, aiguës
- Fleurs bleues ou violacées, assez grandes, en grappes formant une panicule oblongue, généralement étroite
- Calice hispide, à lobes linéaires, dressés
- Corolle de 12-18 mm, à tube inclus dans le calice, à limbe élargi et irrégulier, 1-2 fois aussi longue que le calice
- Etamines saillantes, à filets glabres
- Carpelles de 2 mm, brièvement tuberculeux. Varie à étamines incluses, fleurs petites.

Écologie : Lieux secs et pierreux.

Répartition : Europe ; Asie occidentale ; Algérie ;

Floraison : Mai-août (**photo n° 22**) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 22 : *Echium vulgare* L. (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).

VIII.2.12. La Calendula officinalis :

Calendula officinalis, est une plante annuelle, de la famille des Astéracées (Asteraceae), aux feuilles alternes, de forme simple, découpée. Les fleurs sont en grappe de capitules, de couleur orange. Elle fleurit de Mai à Novembre. Elle est comestible et médicinale.

Type : Herbacée

Cycle : Annuelle

Floraison : Mai, Novembre

Répartition : Sud-ouest de l'Asie, de l'Europe occidentale, de la Macaronésie et de la Méditerranée. Elle est principalement cultivée en Europe centrale, dans les Balkans, en Allemagne et aux États-Unis.

Sol : Calcaire, Argileux, Drainé.

Propriétés médicinales : Anti-inflammatoire, Anti-oxydante, Cicatrisante, Emménagogue, Fongicide (photo n° 23) (<https://www.herboristerieduvalmont.com>).



Photo n° 23 : *Calendula officinalis* (<https://www.herboristerieduvalmont.com>).

VIII.2.13. La Sanguisorba minor :

Sanguisorba minor, appelée aussi *Poterium sanguisorba*, est une vivace aromatique, qui porte le nom tout mignon de "petite pimprenelle" et ses minuscules fleurs d'été mousseuses.

Il s'agit d'une plante en touffe rhizomateuse, très rustique, à port rampant, avec des feuilles persistantes pennées en rosettes, à la base, et des folioles très dentées.

Elle doit son nom botanique, *Sanguisorba*, à ses vertus médicinales : sanguis (sang) et sorbere (absorber), puisque depuis l'Antiquité on lui reconnaît la capacité à faire cesser les hémorragies.

Nom scientifique : *Sanguisorba minor*

Famille : Rosacées

Type : vivace

Origine : Europe, Afrique du Nord

Plantation : printemps

Floraison : été

Hauteur : 60 cm (photo n° 24) (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



Photo n° 24 : Sangisorba minor. (<https://www.tela-botanica.org/eflore>).



3^{ème} Partie

MATERIEL ET METHODES





Chapitre IX :

MATERIEL ET METHODES



IX. Matériel et méthodes

IX.1. Introduction :

La caractérisation des sites pollués nécessite, souvent, l'échantillonnage et l'analyse des sols et des eaux, dans le but d'identifier les polluants présents, d'apprécier la répartition spatiale de la contamination et les niveaux de concentration. Cette opération est obligatoire, vu son importance dans l'évaluation des risques et les mesures de protection à entreprendre. L'échantillonnage est donc un des points-clés de la problématique.

IX.2. Définition :

L'échantillonnage, est l'ensemble du processus ayant pour objet la réalisation d'échantillons représentatifs d'un milieu initial (sols, eaux de surfaces ou eaux souterraines, déchets...).

L'opération d'échantillonnage des sols et des eaux ne constitue en aucun cas une simple prise d'échantillons, prélevés sans réflexion préalable et transportés dans n'importe quelle condition vers les laboratoires.

La mise au point d'un protocole d'échantillonnage, doit être conçue pour atteindre un objectif préalablement défini et doit répondre à un ensemble d'imperatifs complexes.

Dès lors, il est important de définir, cas par cas, les différents paramètres à prendre en compte, mais dans tous les cas ces paramètres doivent permettre de choisir au mieux, ce qui suit :

- La stratégie d'échantillonnage,
- Les techniques de forage et de mise en place de piézomètres,
- Les techniques de prélèvements,
- Les conditions de conditionnement, stockage, transport et préparation des échantillons **(Lallemand-barres, 1993)**.

Les compétences nécessaires pour réaliser cette tâche sont multiples, à savoir :

- Pédologie, géologie et hydrogéologie, pour la prospection des sols et des eaux,
- Chimie et physico-chimie, pour le prélèvement et l'analyse des sols et des eaux,
- Biologie et médecine, pour les études toxicologiques et éco-toxicologiques,
- Assurer la sécurité des opérateurs,
- Gestion-économique et technique, pour étudier le rapport intérêt
- Informations/coût,
- Expérience et connaissance verticale du terrain à l'analyse en laboratoire **(Pellet *et al.*, 1993)**.

IX.3. Objectif :

L'objectif d'un échantillonnage, doit d'être le plus représentatif possible du milieu qu'il est censé représenter. La qualité de cette phase est capitale, car elle conditionne un grand nombre de décisions, et peut constituer la base d'actions importantes et coûteuses.

On peut résumer les objectifs de l'échantillonnage du sol et des eaux, comme suit :

- Échantillonnage, visant à déterminer la qualité globale du sol ou des eaux de surfaces ou souterraines,

- Échantillonnage, visant à préparer une cartographie de la qualité des sols ou des eaux,
- Échantillonnage, visant à appuyer une action légale ou réglementaire,
- Échantillonnage, dans le cadre d'une évaluation des risques,
- L'identification des pollutions potentielles et le constat sommaire de l'impact sur la santé humaine et sur l'environnement des activités, présentes ou passées, pratiquées sur ces sites,
- Le recueil des informations indispensables, pour mettre en œuvre la méthode d'évaluation simplifiée des sites et d'hierarchisation des interventions (**Pepin, 1997**).

IX.4. La stratégie d'échantillonnage :

La mise au point d'une stratégie d'échantillonnage nécessite la réalisation des phases suivantes :

- Etude préliminaire :
 - Identification du contexte (étude préliminaire ou diagnostic approfondi, cartographie d'un site ou évaluation des risques ...),
 - Définition des objectifs et de la recherche (en fonction du contexte, choix du niveau d'information recherché et choix des paramètres cibles),
 - Élaboration d'un plan d'échantillonnage,
 - Choix des méthodes et des techniques appropriées,
 - Validation technico-économique.
- Mise en œuvre de la campagne sur le terrain.
- L'étude des connaissances disponibles sur l'environnement et l'étude de la vulnérabilité du site :
 - Pour les sols : nature pédologique et lithologique des différentes formations rencontrées,
 - Pour les eaux : caractéristiques hydrogéologiques et hydrauliques du milieu souterrain.
 - Situation géographique,
 - Superficie utile,
 - Pollutions, des sols et des eaux, reconnues,
- Analyses des prélèvements sur site et/ou au laboratoire,
- Intégration des données,
- Prises des décisions.

IX.4.1. Le plan d'échantillonnage des sols :

Aucune démarche systématique ne peut être proposée. Le choix dépend des objectifs fixés. Les principales caractéristiques d'un plan d'échantillonnage, sont les suivantes :

- Nombre de points d'échantillonnage (optimisation en fonction des objectifs de qualité et du coût, compromis entre les objectifs visés, la taille du site, le type de contamination et le degré de précision souhaité),
- Profondeur des échantillons (fonction de l'étendue de la contamination et de la géologie locale),
- Nombre et types d'échantillons à prélever,
- Disposition des points de prélèvements.

Le choix des techniques d'échantillonnage utilisées, dépend de divers paramètres, notamment :

- Des analyses et mesures effectuées sur les échantillons prélevés,
- Des caractéristiques topographiques, géologiques et hydrogéologiques de la zone d'investigation,
- De l'accessibilité du site, des infrastructures existantes,
- Des données climatiques,
- Des risques potentiels pour les opérateurs,
- Du coût supportable.

IX.4.2. L'échantillonnage des sols :

IX.4.2.1. Le prélèvement :

Suivant la nature de l'échantillon, que l'on souhaite collecter, le volume et la profondeur du prélèvement, il existe des dispositifs, plus ou moins sophistiqués, de prélèvement.

Par ordre de complexité de mise en œuvre, on peut citer :

- Les prélèvements manuels (pelle, tarière, sonde...) :
 - Coût faible,
 - Profondeur très réduite,
 - Rapide.
- Les prélèvements du type excavation (pelle mécanique) :
 - Coût moyen,
 - Profondeur moyenne, le creusement de tranchées permet une visualisation des terrains,
 - Rapide.
- Les prélèvements par forage en destructif :
 - Coût moyen à plus élevé, suivant la profondeur atteinte,
 - Profondeur importante,
 - Lent.
- Les prélèvements par carottage :
 - Coût très élevé,
 - Profondeur importante et précise, obtention de carottes non remaniées,
 - Très lent.

IX.4.2.2. Le protocole d'échantillonnage :

Il n'existe pas de mode opératoire valable en toute circonstance, toutefois, les étapes fondamentales de tout protocole, sont les suivantes :

- Enregistrement des données susceptibles d'influencer le prélèvement (conditions climatiques, température, localisation, description du site ...),
- Collecte de l'échantillon dans un récipient de collecte, en adéquation avec les analyses prévues et description de l'échantillon,
- Conservation idoine de l'échantillon,
- Stockage et transport,
- Préparation de l'échantillon pour le laboratoire (tamisage, homogénéisation, division de l'échantillon, séchage).

IX.4.3. L'échantillonnage des eaux souterraines :

L'échantillonnage des eaux souterraines nécessite un forage ou un puits, susceptible de permettre le prélèvement d'un échantillon d'eau représentatif.

IX.4.3.1. Le protocole d'échantillonnage :

De même, comme le protocole d'échantillonnage des sols, il n'existe pas de mode opératoire valable en toute circonstance, toutefois, les étapes fondamentales de tout protocole, sont les suivantes :

- Enregistrement des données susceptibles d'influencer le prélèvement (conditions climatiques, température, localisation...),
- Mesure du niveau de l'eau et, éventuellement, des paramètres hydrauliques avant l'échantillonnage,
- Purge du puits (les volumes et les débits de purge sont déterminants),
- Collecte de l'échantillon dans un récipient, en adéquation avec les analyses prévues,
- Description de l'échantillon et, éventuellement, mesure de paramètres in situ (pH, conductivité...),
- Conservation adéquate de l'échantillon,
- Stockage et transport.

IX.5. L'échantillonnage et la conservation des échantillons de sols avant analyse :

Trente (30) échantillons de sol et d'eau, ont été prélevés. Le choix des sites de prélèvements, vient après prospections et cartographie de la zone d'étude, en se basant sur des études antérieures, des cartes topographiques et des images satellitaires.

IX.5.1. La période d'échantillonnage :

Il n'y a pas de moment de l'année absolu, pour effectuer les prélèvements. L'échantillonnage à la fin de l'été ou à l'automne a, cependant, l'avantage de permettre des résultats significatifs.

Les échantillons de sol ont été prélevés en deux périodes distinctes, comme suit :

1. **Août**, représentant la période la plus sèche de l'année.
2. **Février**, représentant la reprise de l'activité microbienne et le changement dans le bilan hydrique, après les pluies automnales et hivernales.

IX.5.2. L'horizon de prélèvement :

Les horizons de prélèvements sont choisis, selon l'objectif et le type d'études menées. Pour l'étude que nous menons et qui a une partie microbiologique, les échantillons sont prélevés dans la couche superficielle du sol (30 cm). Etant donné que l'activité biologique est maximale dans l'horizon de surface et décroît, plus ou moins rapidement, avec la profondeur (**Nicolardot, 2007**).

Les échantillons d'eau, nécessaires à l'analyse physico-chimique, ont été prélevés selon la méthode décrite par **Rodier et al. (2009)**, dans des flacons jetables, en matière plastique, et conservés à 4°C, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent.

IX.5.3. La conservation des échantillons :

Les déterminations biologiques s'appliquent, obligatoirement, à des échantillons de sol "frais". Il convient, donc, de considérer l'échantillon de sol comme un "être vivant", avec toutes les contraintes que cela suppose, en matière de transport et de stockage.

Après le prélèvement, l'échantillon de sol doit être entouré de soins, afin que les mesures biologiques qui seront réalisées au laboratoire soient aussi proches que possible de l'état in situ. Pratiquement, les mesures doivent être effectuées dans les 48 à 72 heures qui suivent le prélèvement, les échantillons de sols devant être conservés au frais (environ 4°C) et en aérobose, si un délai supplémentaire s'avère nécessaire (**Jamar, 2007**).

Le séchage des échantillons, tue une partie de la microflore et rend impossible la détermination de la biomasse par fumigation-incubation, même après réhumectation des sols, avant analyse.

Il devient très difficile, sinon impossible, de comparer des échantillons frais et séchés. Chaque analyse nécessite un contact préalable avec le laboratoire, pour bien réaliser la prise d'échantillon qui convient à l'analyse en question.

IX.6. Les analyses et les méthodes :**IX.6.1. Les analyses physico-chimiques du sol :**

Une fois séchée, la terre est tamisée par un tamis à mailles de 2 mm (**Afnor, 1987**), séparant les éléments grossiers de la terre fine inférieure à 2 mm. Les méthodes utilisées sont celles exposées par **Aubert (1978)**, dans son manuel d'analyse des sols.

IX.6.1.1. La granulométrie :

L'analyse granulométrique par la méthode internationale (**pipette de ROBINSON**). Cette analyse permet de connaître la répartition des particules minérales inférieures à 2mm, selon la classe de grosseur, il s'agit de déterminer la répartition statistique des particules d'un échantillon dans ses différentes classes granulométriques (**Baize, 1988**).

Selon la méthode internationale, la destruction de la matière organique est faite par l'eau oxygénée (H₂O₂), la dispersion des argiles a été réalisée par addition de pyrophosphate de sodium.

Le prélèvement des argiles et limons fin, a été effectué par la **pipette de ROBINSON**, les sables ont été récupérés par tamisage. La composition granulométrique est exprimée en pourcentage.

IX.6.1.2. L'humidité :

L'utilisation de la méthode, par prélèvement d'échantillons : la pesée, avant et après le passage à l'étuve (100 à 105°C), durant 24h. C'est la perte de poids exprimée en pourcentage (%) (ou pour mille (‰)), par rapport à la terre séchée à l'air (%).

IX.6.1.3. Le calcaire total :

Fondé sur la réaction caractérisée du carbonate de calcium (CaCO₃), avec l'acide Chlorhydrique (HCl), le dosage du calcaire total est réalisé à l'aide du **Calcimètre de Bernard**.

Le principe de dosage est fondé sur la réaction caractéristique, suivante :



L'échelle d'interprétation des carbonates, permet de déterminer la quantité du CaCO_3 comprise dans un échantillon du sol.

IX.6.1.4. Le pH :

Le pH des sols est mesuré par la méthode de l'électromètre, il est mesuré par une suspension de terre fine de l'eau distillée. Le rapport sol/liquide est égale 1/2.5, après deux heures de repos.

Le pH est mesuré, la lecture s'effectue à l'aide d'un pH mètre préalablement étalonné.

IX.6.1.5. La conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique (C.E) des sols est une méthode qui, petit à petit, s'est imposée pour la mesure de la salinité des sols (**De Jong et al., 1979**).

On détermine la conductivité sur une solution d'extraction aqueuse (rapport sol/eau est égale à 1/5), exprimée en milliSiemens par centimètre (mS/cm), à l'aide d'un conductivimètre.

La capacité du sol à conduire le courant électrique est en fonction de la concentration en électrolytes de la solution du sol (**Rieu et al., 1976**).

IX.6.1.6. Le Carbone organique :

Le dosage du carbone organique est effectué par la méthode de **Walkley et Black**. Le carbone de la matière organique est oxydé par bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), en présence d'acide sulfurique.

L'excès du bichromate dans la réaction est dosé par une solution de sel de Mohr, la quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. La matière organique est obtenue par la formule suivante : $\text{MO}\% = \text{C}\% \times 1.72$.

IX.6.1.7. La capacité d'échange cationique (CEC) :

Sa détermination est réalisée par la méthode de **Metson**, en saturant le sol à une solution d'acétate d'ammonium N, à pH 7.

Le NH_4^+ , en excès, est éliminé par l'alcool éthylique, tandis que le fixé par le complexe adsorbant est déplacé par une solution de KCl N, puis dosé par distillation.

- Utilisation d'acétate de sodium, pour l'extraction de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ .
- Lavage à l'éthanol.
- Déplacement de sodium, par une solution d'acétate d'ammonium, puis déterminer la CEC.

IX.6.1.8. Le dosage des anions :

A partir du rapport sol/eau, 1/5 et 1/10, avec :

Cl^- : par titrimétrie à nitrate d'argent : **méthode de MOHR**.

SO_4^{--} : par la méthode gravimétrique, au **BaCl₂**.

HCO_3^- et CO_3^{--} : méthode titrimétrie, avec **H₂SO₄**.

IX.6.1.9. Le dosage des cations :

Na^+ et K^+ , sont dosés par spectrophotomètre à flamme.

Ca^{++} et Mg^{++} , sont dosés par l'absorption atomique.

IX.6.2. Les analyses microbiologiques du sol :

L'estimation de la masse microbienne est indispensable pour étudier les flux dans le sol de certains éléments, tels que le carbone et l'azote. Or, la plupart des techniques actuellement disponibles ne peuvent donner des valeurs absolues et des résultats fiables.

Cependant, il s'avère que les méthodes de dénombrement sont les plus anciennes, mais leurs bases solides et les perfectionnements techniques importants qu'elles ont connus font qu'elles sont les plus utilisées.

La **première**, consiste en un comptage indirect sur des milieux de culture (**Josephson et al., 2000**). La **seconde méthode**, consiste en un comptage direct par observation au microscope (**Roane et al., 2000**). Parmi les méthodes de dénombrement indirectes, les deux méthodes les plus utilisées sont la méthode standard de culture sur boîte de pétri, et la technique de dénombrement dite « technique du nombre le plus probable » (MPN) (**Josephson et al., 2000**). Cette dernière, est très utilisée, car elle permet l'estimation des populations bactériennes ayant des fonctionnalités données, comme la dénitrification.

IX.6.2.1. La numération microscopique directe :

Nous avons utilisé, pour la numération microscopique directe, la méthode de **Jones et al. (1948)**. Cette méthode a comme avantage essentiel, d'éviter l'hétérogénéisation des films de suspension de sol, étendus sur une surface donnée (1cm^2) de la masse porte-objet, pendant la dessiccation de la suspension, sous l'effet des forces de tension superficielles. Elle a en commun, avec les autres méthodes de numération microscopique directe (sauf, celle qui utilise des colorants spécifiques pour les cellules vivantes), une surestimation d'un à deux ordres de grandeur, par rapport à la numération par culture.

A cet effet, 2g de sol sont triturés dans un mortier, avec 25 ml d'eau distillée, ajoutés en trois (3) fois. La suspension est décantée, pour laisser sédimenter les particules minérales les plus grossières (quartz, notamment), qui pourraient rayer l'objectif à immersion, lors de l'examen des films bactériens sur lame.

On ajoute au surnageant, 50 ml de gélose stérile, à 1.5 g d'agar Difco par litre, maintenue à 45°C, au bain-marie. Après mélange de ces 50ml de suspension de sol, on homogénéise rapidement, pour éviter la gélification de la gélose, puis on dépose une goutte sur la plateforme d'un hémostomètre de 0.1mm de profondeur. Le film, d'épaisseur bien connue, est flotté sur un porte-objet et est soumis à dessiccation, à la température ordinaire, à l'abri des poussières. On colore, pendant 5 heures, au bleu d'aniline phéniqué, puis on examine à l'immersion.

IX.6.2.2. Le dénombrement indirect :

Le principe de la méthode, s'appuie sur des cultures en milieu liquide ou solide, après ensemencement avec des suspensions-dilutions du sol.

Les préparations des suspensions-dilutions, consistent à disposer sur un portoir une série de 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, et contenant chacun 9ml d'eau distillée, peser 1g du sol, préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans le **tube 1**, agiter vigoureusement, c'est la

suspension-dilution 10-1, le transférer dans le **tube 2**, contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension-dilution 10-2, agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes, en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10-3, 10-4, 10-5, 10-6, 10-7, 10-8, 10-9. Les suspensions-dilutions, doivent être utilisées aussitôt, après leur préparation.

a) Les analyses microscopiques et lectures des résultats :

• **Les champignons :**

Pour la préparation des milieux de culture, on procède aux étapes suivantes : les champignons sont cultivés sur un milieu solide (boite de Pétri) etensemencés avec des suspensions-dilutions du sol d'un support gélosé, pour l'ensemencement, deux (2) gouttes de suspension-dilution 10-6, soit 0,1ml, sont déposées sur chaque boite et étalées avec soin sur toute la surface ; verser la solution nutritive préparée auparavant, on homogénéise, puis on incube à 28°C.

La lecture des résultats se fait à compter de sept (7) jours d'incubation, pour déterminer le nombre de colonies des champignons développées sur chaque boite de Pétri.

• **Les actinomycètes :**

Principe

Ensemencement, avec des suspensions-dilutions du sol, d'un milieu gélosé, favorisant particulièrement la culture des actinomycètes, en inhibant la partie de celle des autres micro-organismes, numération des colonies développées.

Ensemencement

L'ensemencement, avec des suspensions-dilutions de terre, préparées selon la technique habituelle, on inoculera 3 boites de dilutions 10-5. Incubation à 28°C, en position retournée.

Lecture des résultats

On compte, après 7 jours d'incubation, le nombre de colonies d'actinomycètes développées sur chaque boite de Pétri.

• **Les bactéries aérobies :**

Principe

Les bactéries aérobies, sont cultivées sur milieu solide etensemencées avec des suspensions-dilutions, du sol support gélosés. Dénombrement des colonies apparues, après incubation prolongée.

Ensemencement

Deux (2) gouttes de la suspension dilution 10-6, soit 0,1ml, sont déposées sur chaque boite et aussitôt étalées, avec soin sur toute la surface, verser la solution nutritive préparer avant, homogénéiser, incuber à 28°C.

Lecture des résultats

Après sept (7) jours d'incubation, compter le nombre de colonies dans chaque boite et faire la moyenne des trois boites.

- **Les azotobacters :**

Ensemencement

Ensemencer avec les suspensions-dilutions du sol, un milieu gélosé, favorisant la culture des azotobacters.

Lecture des résultats

Numération des colonies développées, après incubation, pendant 7 jours, à l'étuve à 28°C.

Calcul du nombre de germes dans 1g du sol ;

N: La moyenne des colonies développées dans les trois boites.

X: Inverse de la dilution X coefficient de sécheresse X10.

Coefficient de sécheresse = $1 / (1 - \text{Taux d'humidité})$.

- **Les germes ammonifiants :**

Principe

Ensemencement avec des suspensions-dilutions du sol, d'un milieu liquide de salin, additionné d'asparagine, comme seule source de carbone et d'azote, recherche de l'apparition d'ammoniaque par le réactif de Nessler.

Ensemencement

Utiliser les suspensions du sol, préparées selon la technique habituelle, 0,1ml par tube, par dilution, de 10⁻³ à 10⁻⁹, dans l'étuve à 28°C.

Lecture des résultats

Les lectures sont faites après 21 jours, par l'addition de réactif de Nessler.

Tube+ = Trouble jaune – orange

Tube- = pas de coloration.

Déterminer le nombre de germes ammonifiants, par gramme du sol, à l'aide de la table de Mac-Crady.

- **Les germes nitrifiants :**

Principe

Nous recherchons l'activité des ferments nitriques, l'azote est fourni sous forme de nitrite de sodium et on dit, après incubation, la dilution limite contenant des nitrates.

Ensemencement

Utiliser les suspensions-dilutions de terre préparées, selon la technique habituelle : 0,1ml par tube, 3 tubes par dilution, de 10⁻³ à 10⁻⁹, dans l'étuve à 28°C, pendant 21 jours.

Lecture des résultats

Elle se fait après 21 jours à l'aide de Zinc en poudre, plus quelques gouttes de NaOH, on chauffe en mettant, en même temps, un papier tournesol sur le tube.

Le résultat est positif, lorsque le papier tournesol vire au bleu, on détermine le nombre de tubes positifs et on calcule le nombre par gramme de terre.

- **Les germes dénitrifiants :**

Le principe

Ensemencement avec des suspensions-dilutions de terre préparées auparavant, d'un milieu liquide où l'azote est fourni sous forme de nitrate, on recherche la disposition de ces nitrates en fonction du temps et des dilutions.

Ensemencement

Utiliser les suspensions-dilutions de terre, 0,1 ml par tube, 3 tubes par dilution.

Lecture des résultats

De la même façon que les nitrifiants, seulement les tubes où le papier tournesol vire au bleu, sont les tubes (-) et là où le papier ne vire pas sont les tubes (+).

IX.6.3. Les analyses physico-chimiques de l'eau :

Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif recherché. Cinq (5) principaux critères, pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, qui sont :

- Salinité : contenu total en sel soluble,
- Ions et Cations, majeurs : **Anions** : Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- ; **Cations** : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ;
- Concentration en éléments, qui peuvent être toxiques,
- pH de l'eau d'irrigation.

Les échantillons d'eaux ont été analysés par les méthodes suivantes :

IX.6.3.1. Le pH :

La mesure du pH, a été réalisée par la méthode électrométrique, à l'aide d'un pH-mètre qui permet une mesure assez précise de la valeur du pH, à condition d'être correctement étalonné.

IX.6.3.2. La conductivité électrique (dS/m) :

La méthode électrique. Les sels minéraux en solution sont constitués de cations, chargés positivement, et d'anions, chargés négativement, et, lorsqu'une tension est appliquée entre deux (2) électrodes plongées dans l'eau, ils vont transmettre le courant électrique. Le conductimètre affiche directement une conductivité. Plus il y a d'ions présents, plus élevée est la conductivité.

IX.6.3.3. Le sodium et le potassium :

Ils sont dosés par le spectrophotomètre à flamme.

IX.6.3.4. Le calcium et le magnésium :

Sont dosés par l'absorption atomique.

IX.6.3.5. Les chlorures et les sulfates :

Il s'agit de la méthode de dosage par la chromatographie ionique, avec détecteur conductivimétrique. Cette méthode est utilisée pour déterminer les chlorures et les sulfates, dans les eaux souterraines, les eaux de surface et l'eau potable.

IX.6.3.6. Les carbonates et les bicarbonates :

La détermination des carbonates et bicarbonates, est réalisée par titrimétrie, par l'acide chlorhydrique 0.01N, sur un titrateur automatisé.

Deux (2) domaines de pH sont considérés :

- De pH 4 à pH 8.5 : bicarbonates,
- Au-delà de pH 8.5 : carbonates.



4^{ème} Partie

RESULTATS ET DISCUSSION





Chapitre X :

CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHMIQUES DES ECHANTILLONS DU SOL



X. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol

X.1. L'échantillonnage :

Durant les années 2018 et 2019, on a mené deux (2) campagnes de prélèvements (mois d'août et de février), où 30 échantillons de sol ont été prélevés, à 30cm de profondeur dans la plaine de la Mina (**figure n° 47**).

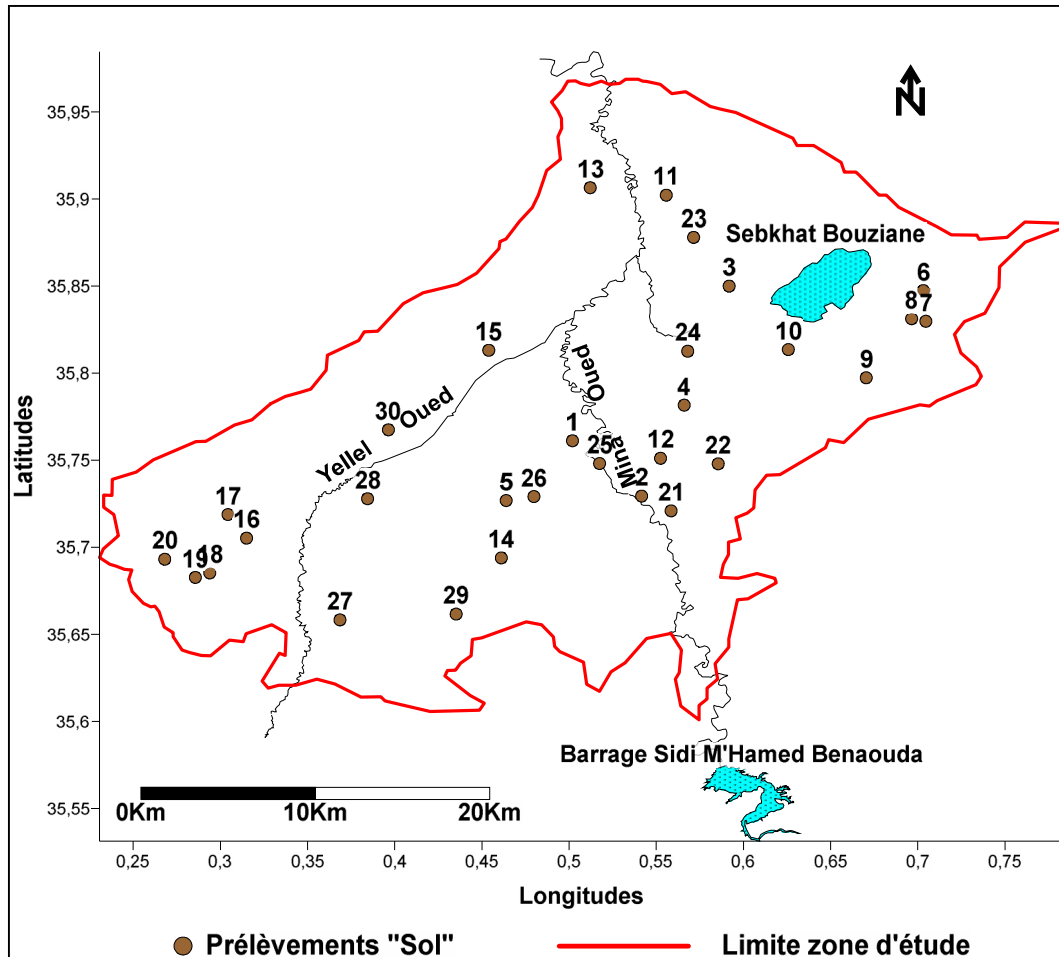


Figure n° 47 : Répartition spatiale des points de prélèvements des sols dans la plaine de la Mina.

X.2. Les résultats des analyses des échantillons des sols :

Dans le **tableau n° 50**, ci-dessous, sont résumés les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons des sols, concernant la région de l'étude.

Tableau n° 50 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols de la région d'étude.

Paramètres		Valeurs		
		Min	Max	Moy
Granulométrie	A (%)	10,7	46,6	26,2
	L (%)	28,7	63,1	46,7
	S (%)	6,03	53,3	23,2
H %		4,2	18,3	11,19
CE dS/m		3,97	23,88	12,43
SAR		9	46	27,5
ESP		11	61	36
CEC		18	29,01	23,50
pH		7,8	8,9	8,35
CaCO ₃ (%)		14,05	24,2	19,51
MO (%)		0,25	2	0,95
C (%)		0,334	1,65	0,9
N (%)		0,03	0,1	0,075
C/N		11,13	16,5	12
Bilan ionique de la solution du sol	Ca ⁺⁺ (mg/l)	89	701	344
	Mg ⁺⁺ (mg/l)	45	499	201
	Na ⁺ (mg/l)	349	1223	699
	K ⁺ (mg/l)	12	77	42
	Cl ⁻ (mg/l)	312	3095	1248
	SO ₄ ⁻ (mg/l)	210	512	306
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	177	565	282

X.3. L'interprétation et la discussion des résultats :

X.3.1. L'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique, est une étape fondamentale pour la classification d'un sol. Cela consiste à mesurer la dispersion des grains d'un sol, suivant leurs dimensions (Weill *et al.*, 2010). Cette composition granulométrique est, généralement, représentée par l'appartenance à une classe texturale située dans un diagramme triangulaire, rectangle ou équilatéral (Richer de Forges *et al.*, 2008). Étant donné que les sols sont un mélange de particules de différentes tailles, les sols sont classés en différents types texturaux du sol. La texture a une grande influence sur la capacité de rétention d'eau, la capacité de conduite de l'eau et les propriétés chimiques des sols (Henderson *et al.*, 2005 ; Nemes *et al.*, 2006 ; Saxton *et al.*, 2006 ; Al Majou *et al.*, 2007).

Les résultats de la distribution des fractions granulométrique des sols sont présentés dans le **tableau n° 50**, ci-dessus. La première lecture de la répartition des fractions granulométriques montre que la majorité des sols de la région d'étude présentent des **teneurs élevées en limons**. Une grande variabilité des fractions de texture est également observée. Les valeurs de la **fraction limoneuse** varient entre 28,7 et 63,1%, avec une valeur moyenne de 46,7%, pour tous les échantillons. Vient, en deuxième position, la **fraction argileuse**, car elle oscille entre 10,7 et 46,6%, avec une moyenne de 26,2%. Par contre, la **fraction sableuse**, vient en troisième place, avec des valeurs variant entre 6,03 et 53,3% et une moyenne de 23,2%. Nous déduisons que la fraction fine est la plus dominante dans la région d'étude.

Spatialement, les résultats granulométriques montrent la dominance de la fraction limoneuse dans la majorité des sols de la région d'étude et surtout dans la partie Est, en convergeant vers la sebkha de Benziane, où le pourcentage (%) de **limon** dépasse 62,5%, alors que la fraction d'**argile** présente des teneurs assez réparties dans la région d'étude, tandis que les sols de la partie Ouest, sont enrichis en **sables**, où les valeurs dépassent 49.9% (**figur n° 48**).

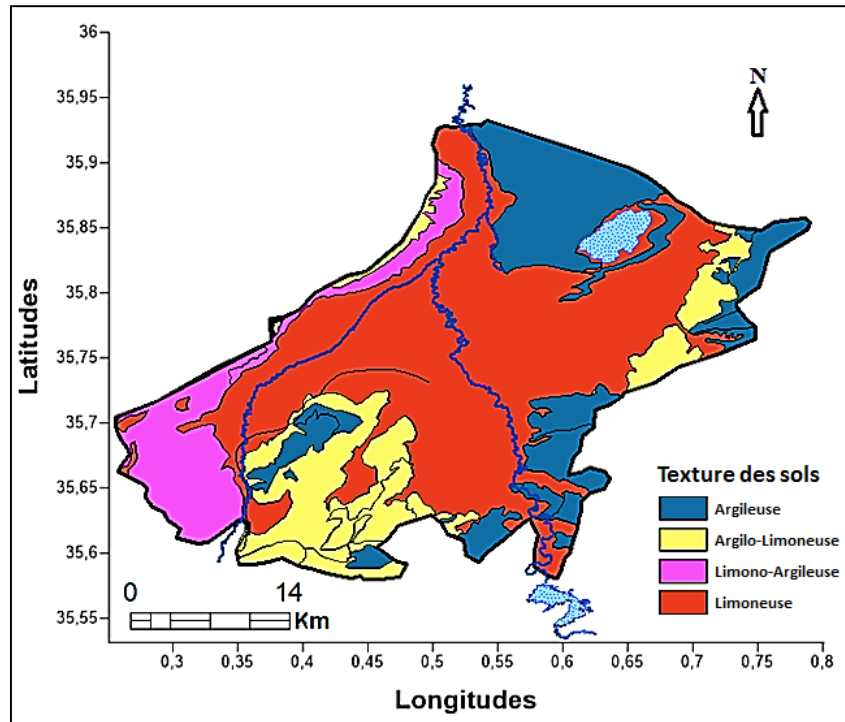


Figure n° 48 : Cartographie de la répartition des résultats granulométriques (Argile, Limon, Sable).

Les sols analysés, par le biais du triangle texturale, révèlent l'existence de cinq (5) textures de sol dans la région d'étude (Argileuse, Limoneuse, Argilo-limoneuse, Limono-Argileuse et Limono-Sableuse). Les cinq types texturaux sont répartis, comme suit : **36,7%** des sols, présentent une **texture Limono-Argileuse**, couvrant la partie Sud-ouest et Ouest de la région ; **33,33%** des sols échantillonnés, ont une **texture Limoneuse**, qui couvre les parties Nord et Est de la région ; **13,33%** des sols, sont de **texture Argilo-Limoneuse**, située dans le Sud-ouest et à l'Est ; **10%**, ont une **texture Argileuse**, distribuée entre le Nord, l'Est, le Sud-est et le Sud-ouest ; et les **6,64%** des sols qui restent, d'une **texture Argilo-Sableuse**, rencontrée à l'état isolé au Centre et à l'Est de la région d'étude (**figures n° 48 et 49**).

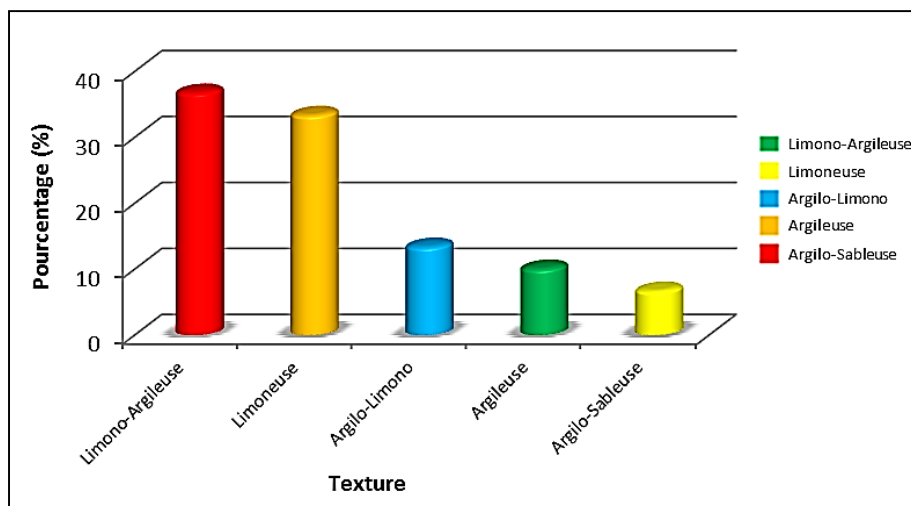


Figure n° 49 : Répartition en pourcentage des textures du sol de la zone d'étude.

X.3.2. La réaction du sol, le « pH » :

La mesure de pH d'un sol, permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité. Le pH du sol a souvent été appelé la variable maîtresse des sols. Il influence considérablement de nombreuses réactions et processus chimiques du sol. Le pH permet de définir l'acidité d'un sol. Les plages de pH du sol ont été classées par plusieurs auteurs comme suit (**tableau n° 51**) (Sparks, 2003) :

$$\text{Où : } \text{pH} = 1/\log (\text{H}^+)$$

Tableau n° 51 : Termes descriptifs pour différentes plages de pH du sol (Sparks, 2003).

Termes descriptifs	Gamme pH
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Modérément acide	5,6 – 6,0
Légèrement acide à neutre	6,1 – 7,3
Légèrement alcalin	7,4 – 7,8
Fortement alcalin	> 7,8

Le pH se mesure sur une suspension de terre fine (**Aubert, 1978**). Un pH compris entre 8 et 9 est retenu, généralement, comme limite de la dégradation de la structure (**Aubert, 1983**).

De même, la mesure du pH d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité (ou **statut acido-basique**). Pour la plupart des sols, on note des valeurs comprises entre 4 et 8,5 (**tableau n° 52**).

Tableau n° 52 : Statut acido-basique des sols, selon le projet PNUD/FAO.

Echelle	0	2	3	4	5	6	7	8	8,5	
pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
Degré	Très acide		Acide		Peu acide		Neutre	Peu alcalin		Alcalin

La valeur du pH détermine les comportements physiques (stabilité de la structure, résistance à la battance...), chimiques (fonctionnement de la CEC, assimilabilité du phosphore, biodisponibilité des oligo-éléments et micro éléments...) et biologiques (humification et

minéralisation des matières organiques) du sol. Cette valeur du pH est soumise à des variations saisonnières. Elle varie avec l'état hydrique du sol, la température, la présence ou non d'une culture en période de croissance active, soit avec les saisons. Ainsi, le pH a tendance à baisser en saison sèche (acidité) et à augmenter en hivernage (basicité).

De ce fait, suite aux mesures du pH effectuées sur les échantillons des sols de la zone d'étude, les résultats obtenus sont représentés dans la **figure n° 50**, ci-contre.

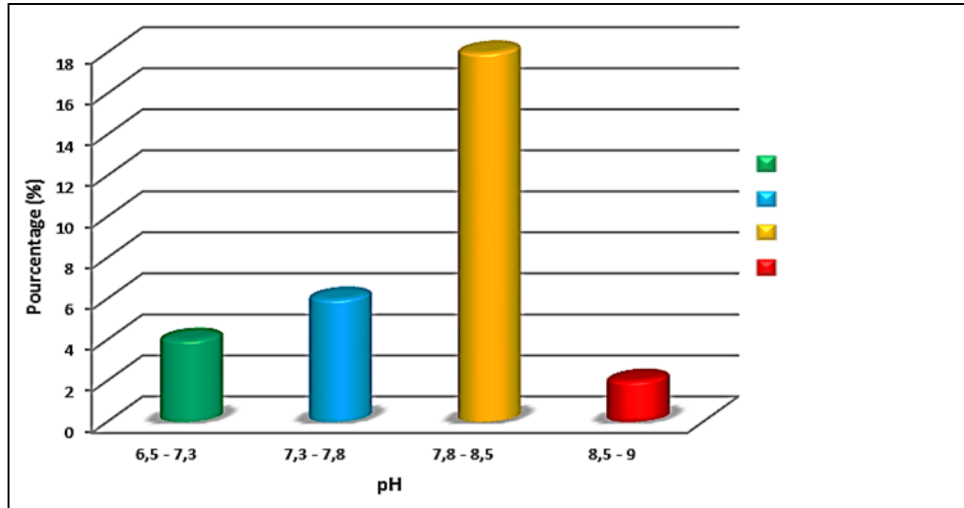


Figure n° 50 : Répartition en pourcentage du pH du sol de la zone d'étude.

La lecture des résultats de la **figure n° 50**, ci-dessus, montrent que le pH des sols de la plaine de la Mina, se situe entre 7,8 et 8,9, avec une moyenne de 8,35.

L'examen des résultats de la répartition spatiale du pH, révèle une homogénéité très remarquable sur la quasi-totalité des sols de la zone d'étude, mise à part la zone Nord-est, limitrophe de la Sebkhah Benziane, qui se caractérise par une augmentation assez sensible. Les régions Nord-ouest et Sud-ouest, se caractérisent par une baisse de leur pH. Celle-ci peut s'expliquer par le taux (%) de matière organique (M.O), assez élevé, où la zone Sud-est se trouve caractériser par une intensification agricole (**figure n° 51**).

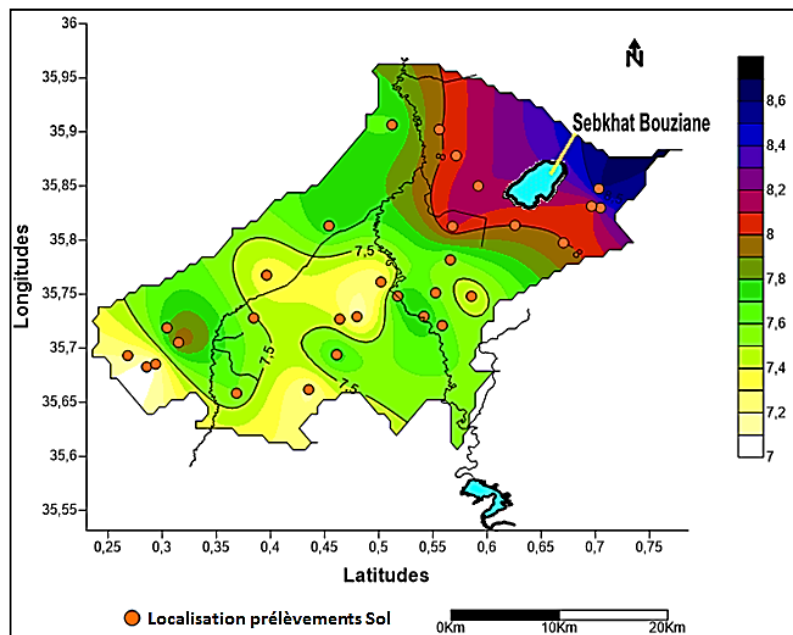


Figure n° 51 : Répartition spatiale du pH des sols de la plaine de la Mina.

X.3.3. La salinité (CE) :

Le degré de la salinité des sols est déterminé par la conductivité électrique (CE), (**Guessoum, 2001**). La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol.

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique (**CEAEQ, 2015**).

Les résultats obtenus, montrent une variabilité importante de la CE dans la couche arable des sols (0-30 cm), car les valeurs oscillent entre 3,97 à 23,88 mS/cm, avec une moyenne de 12,43 mS/cm (**figure n° 52**).

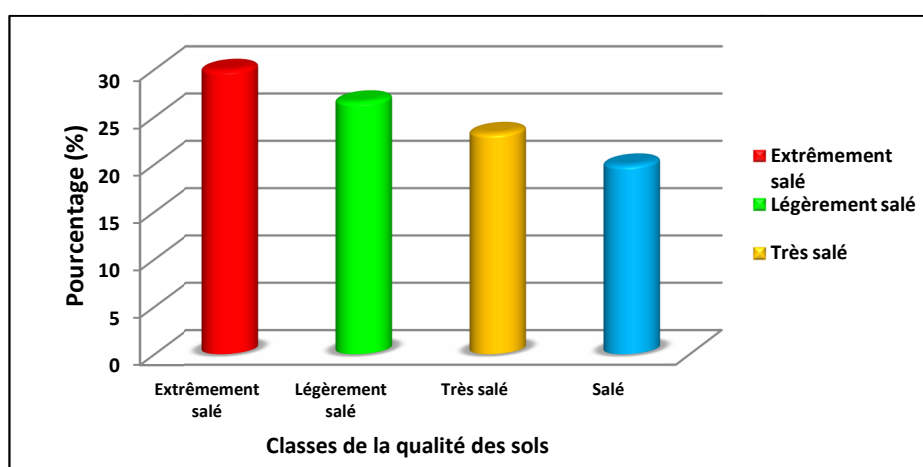


Figure n° 52 : Répartition des classes de la qualité des sols de la zone d'étude.

Selon l'échelle de **Durand (1983)** (**tableau n° 53**), nous classons nos sols en quatre (4) classes, des **sols extrêmement salés**, présentant un taux de 30% ; en deuxième position, des **sols très salés**, représentés avec 23,33% ; des **sols légèrement salés**, occupent ; la 3^{ème} place, avec un taux de 26,67% ; et, en dernière position, des **sols salés**, avec un taux de 20% (**figure n° 52**).

Tableau n° 53 : Classe de la qualité des sols, selon l'échelle de Durand (1983).

Classe	CE en $\mu\text{S/cm}$ à 25 °C	Qualité du sol	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles aux sels
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la pluparts des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent des rendements satisfaisants
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Les prélèvements ont été réalisés durant deux (2) campagnes (**Août et Février 2018-2019**). Les résultats montrent une augmentation assez nette de la salinité des sols entre les échantillons des deux périodes. En effet plus le sol est sec, sa CE augmente, du fait de la concentration des sels, due à une évapotranspiration intense et une sécheresse qui dure depuis

plus de six (6) mois. La texture lourde des sols, l'irrigation, le manque de système de drainage et le climat de la région, vont influencer à long terme la salinisation de ces sols.

Afin d'identifier les zones vulnérables, on a réalisé une carte de la répartition spatiale des valeurs de la CE des sols de la région d'étude (**figure n° 53**). Nous remarquons régulièrement que le gradient de la salinité qui augmente de l'Ouest vers l'Est, dans le sens de l'écoulement des eaux en convergeant vers la Sebkhha Benziane. Concernant la variabilité spatiale de la CE, entre les deux (2) campagnes, une augmentation de la salinité très remarquable est enregistrée.

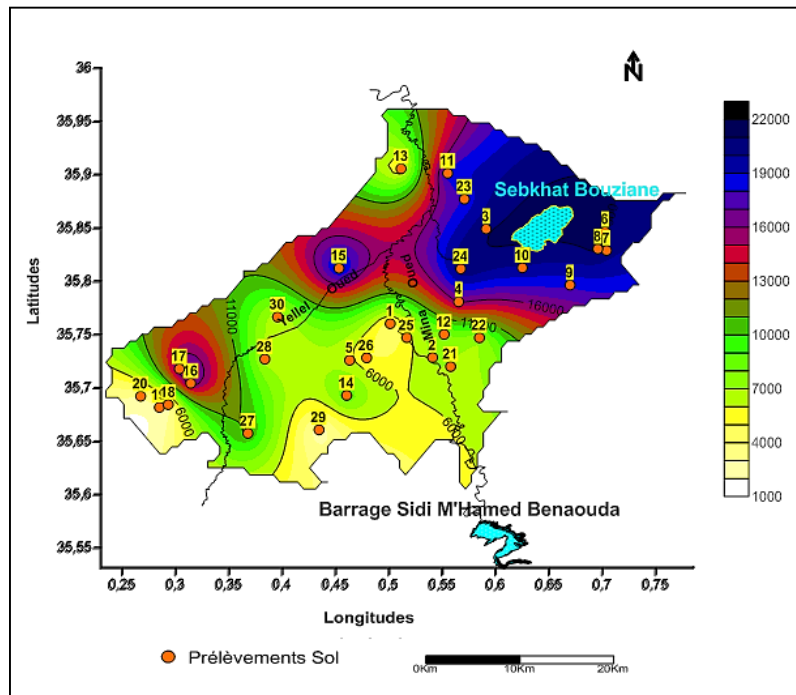


Figure n° 53 : Répartition spatiale de la CE des sols de la plaine de la Mina.

De cette **figure n° 53**, ci-dessus, on peut conclure que la zone la plus affectée par le sel est située essentiellement dans la partie Nord-est et, à moindre degré, au Sud-ouest de la région, et ce, pour les deux campagnes. Les valeurs les plus élevées de la CE sont, principalement, enregistrées dans les sites d'échantillonnage proches de la Sebkhha Benziane. Ceci suggère que les valeurs de la CE sont bien associées à la dissolution des minéraux accumulés, qui sont présents dans les dépôts de la Sebkhha. Ajoutant à cela, l'augmentation de la salinité en profondeur, qui peut s'expliquer par la migration et l'accumulation des sels dans les couches profondes du sous-sol, par les processus de lessivage et le mauvais drainage des sols de la région étudiée.

X.3.4. La matière organique (M.O) :

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols, de par sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, la fixation des éléments minéraux et comme substrat pour les micro-organismes du sol.

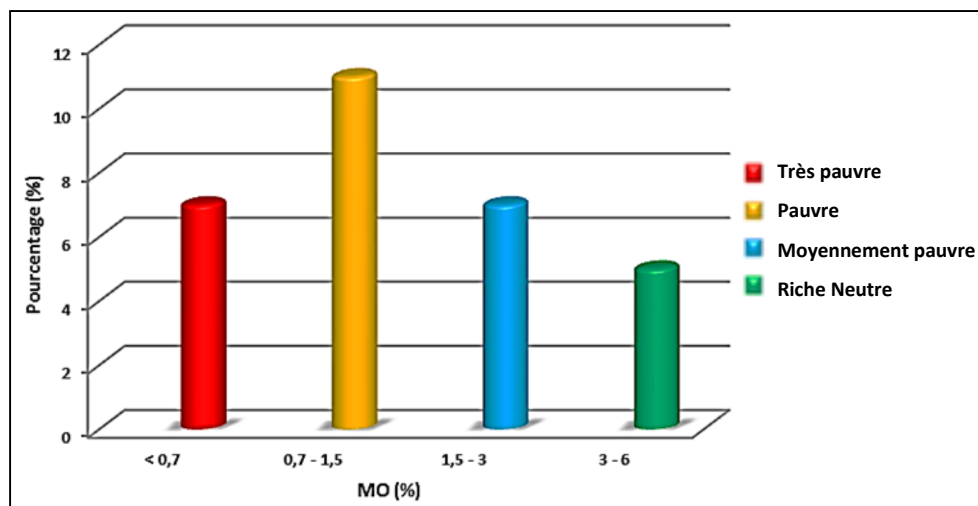


Figure n° 54 : Répartition en pourcentage de la M.O. des sols de la zone d'étude.

A la lecture de la **figure n° 54**, ci-dessus, les valeurs du taux de la matière organique (M.O) ont permis de distinguer une variation notable, d'une zone à une autre, de 0,25 à 2%, avec une moyenne de 0,95%, pour la région d'étude. Les résultats des sols étudiés montrent que la majorité des sols analysés sont pauvres en matière organique. Identiquement, la répartition spatiale de la matière organique présente deux (2) zones : les sols, de la zone limitrophe de la sebkha de Benziane, sont caractérisés par un taux pauvre, en matière organique, et les sols de la deuxième zone, située au Centre et à l'Ouest de la plaine, sont moyennement pauvres, qui peut s'expliquer par l'activité agricole, très intense dans cette zone par apport à la première. De ce fait, l'utilisation des apports organiques comme amendement pour améliorer le rendement de ces sols est très recommandée, vu qu'ils sont classés comme des sols lourds.

- **Le taux d'azote dans les sols de la région d'étude :**

Sur la base des analyses effectuées pour déterminer le taux de l'azote, contenu dans les sols de la région étudiée, les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau n° 54**, ci-contre.

Tableau n° 54 : Normes d'interprétation pour l'azote (Calvet *et al.*, 1986).

Azote (%)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
	< 0,05	0,05- 0,1	0,1- 0,15	0,15- 0,25	> 0,25

Selon les normes d'interprétation pour l'azote de Calvet *et al.*(1986) (tableau n° 54) (figure n° 54), il ressort que les sols de la région d'étude sont classés de : très pauvres à pauvres, ce qui concorde avec les résultats des taux de la matière organique.

- **Le taux du rapport C/N dans les sols de la région d'étude :**

Ce rapport, C/N, est un **indicateur de la capacité d'un produit organique à se décomposer**. Lorsqu'une plante ou amendement organique est déposé au sol, il est dégradé par les micro-organismes. Or ceux-ci ont besoin d'azote pour leur constitution.

Si le C/N est **supérieur à 25**, il y a trop de carbone par rapport à l'azote. Les micro-organismes vont puiser dans les réserves du sol au lieu d'en libérer. C'est le phénomène de faim d'azote.

A l'inverse, si le C/N est **inférieur à 25**, les micro-organismes vont libérer l'azote en excès, à disposition des plantes.

La classification, de ce rapport C/N dans les sols, est définie dans le projet **PNUD/FAO Gui 72/004 (LCA, 2008)**, (**tableau n° 55**), comme suit :

Tableau n° 55 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008).

6	8	9	10	11	12	14	>14
Très faible	Faible	Normal			Légèrement élevé	Élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

Plus le rapport C/N est **élevé (>12)**, plus l'activité biologique est réduite et la minéralisation rencontre des difficultés.

D'après le classement des sols en fonction de leur rapport C/N (**LCA, 2008**) (**tableau n°55**), la majorité des sols de la région d'étude sont caractérisés par une activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique (**tableau n° 56 et figure n°55**).

Tableau n° 56 : Résultats du C/N dans les sols de la région d'étude.

C/N	Min	Max	Moy
	11,33	16,5	12

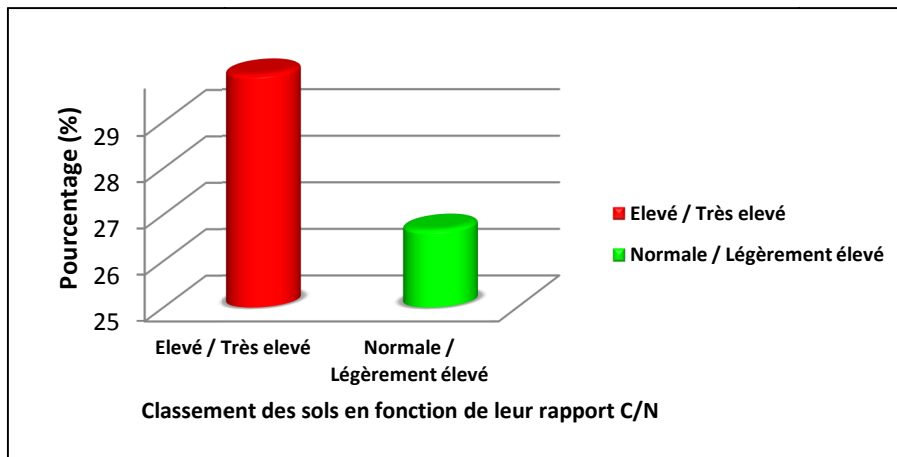


Figure n° 55 : Classement des sols de la zone d'étude en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008).

X.3.5. Le taux de Sodium Adsorbé (SAR) :

Un indice largement accepté pour caractériser la sodicité du sol, qui décrit la proportion de Sodium à Calcium et de Magnésium dans la solution du sol. Le **SAR** a été utilisé avantageusement pour diagnostiquer des problèmes de sodicité (**US Salinity Laboratory Staff, 1954 ; Sposito, 2008 ; Lesche et al., 2009**). Le SAR reflète les conditions du sol qui peuvent prévaloir sur le terrain, seulement après l'irrigation. Par conséquent, la SAR est peut-être la meilleure valeur pour relier l'état de sodium du sol à la croissance des plantes (**Nadler et al., 1981**). Dont ci-dessous, la formule de calcul de cet indice :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Les résultats obtenus, indiquent une grande variabilité des valeurs de SAR, entre 9 et 46, avec une moyenne de 27,5. Nous remarquons une augmentation appréciable des valeurs du SAR, tout en convergeant vers la Sebkha de Benziane. D'après les valeurs du SAR, on classe nos sols comme des sols sodiques.

Dans le cadre d'identifier les zones les plus touchées par le risque de sodisation, une carte de répartition spatiale des valeurs de SAR a été réalisée, elle montre un gradient ascendant de l'Ouest vers l'Est, avec quelques poches de valeurs, inférieures à 10, au Centre de la région.

Nous remarquons une corrélation linéaire moyenne (**SAR** vs **CE**), dans la partie superficielle du sol, et surtout les points situés à l'Est, proches de la dépression de la Sebkha, l'une des origines de la salinisation.

X.3.6. Le taux de sodium échangeable (ESP) :

Le pourcentage de sodium échangeable (ESP), est un autre indice utilisé dans la classification des sols salins et alcalins ou pour déterminer s'il existe un risque de sodium (**US Salinity Lab Staff, 1954**). La présence de quantités excessives de sodium échangeable, inverse le processus d'agrégation et provoque des agrégats de sol à se disperser. Ceci est connu comme la **déflocculation** et se produit dans le sol sodique (**Pisinaras et al., 2010**). Dont la formule est donnée, ci-contre :

$$ESP = \frac{Na +}{CEC} \cdot 100$$

Les données recueillies, montrent que les valeurs de l'ESP varient entre 11 et 61, avec une moyenne de 36, correspondant à des sols à tendance alcaline, ce qui constitue un risque très élevé de forte alcalinisation des sols de la région (**figure n° 56**).

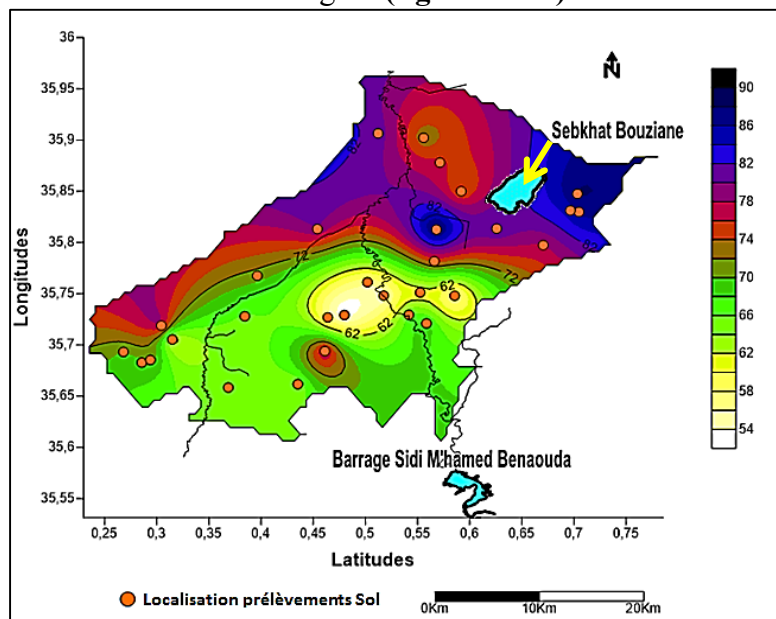


Figure n° 56 : Répartition spatiale de l'ESP des sols de la plaine de la Mina.

X.3.7. La capacité d'échange cationique (CEC) :

En général, la CEC des sols dépend de la teneur en matière organique et du type d'argile (FAO, 1990). Dans notre cas, c'est le taux d'argile qui conditionne les valeurs de la CEC, sachant que les échantillons étudiés sont pauvres en matière organique.

Les valeurs de la CEC varient de 18 à 29,01 meq/100g, avec une moyenne de 23,5 meq/100g (figure n° 57 et tableau n° 57).

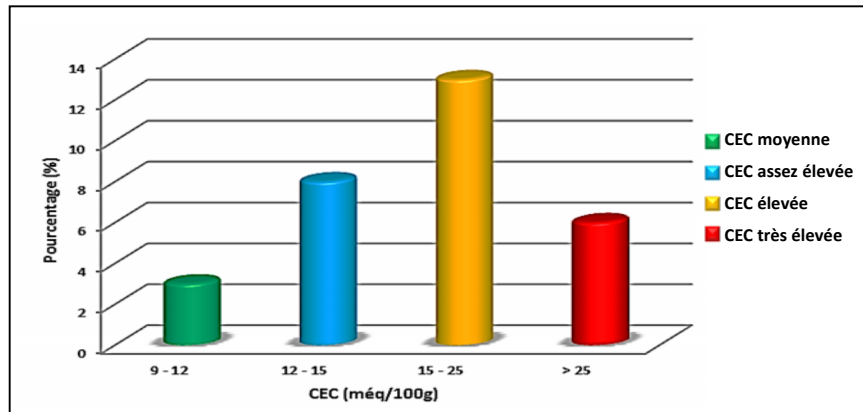


Figure n° 57 : Répartition en pourcentage de la CEC du sol de la zone d'étude.

Tableau n° 57 : Interprétation de la valeur de la CEC (Programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie, France, 2016).

CEC méq/100g)	1 à 8	8 à 15	15 à 25	25 à 35
	<ul style="list-style-type: none"> • C.E.C Faible • Sols à dominance sableuse • Echange facile 	<ul style="list-style-type: none"> • C.E.C Moyenne • Sols à dominance limoneuse • Echange assez facile 	<ul style="list-style-type: none"> • C.E.C Elevée • Sols à dominance limono-argileuse • Echange peu facile 	<ul style="list-style-type: none"> • C.E.C très Elevée • Sols à dominance argileuse et/ou humifère • Echange difficile

D'après le **tableau n° 57**, ci-dessus, d'interprétation de la valeur de la CEC, établi par le Programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie (France, 2016), la majorité de nos sols sont caractérisés par une CEC élevée, reflétant une dominance de la **texture limono-argileuse**.

En outre, la répartition spatiale de la capacité d'échange cationique (CEC) de la zone d'étude, à savoir les sols de la plaine de la Mina, est donnée dans la **figure n° 58**, ci-dessous, montre que sa valeur est faible vers le SSW, qui va en nette augmentation dans le Centre de la plaine et atteint son maximum, qui devient du côté de l'Est avec des valeurs plus ou moins faibles.

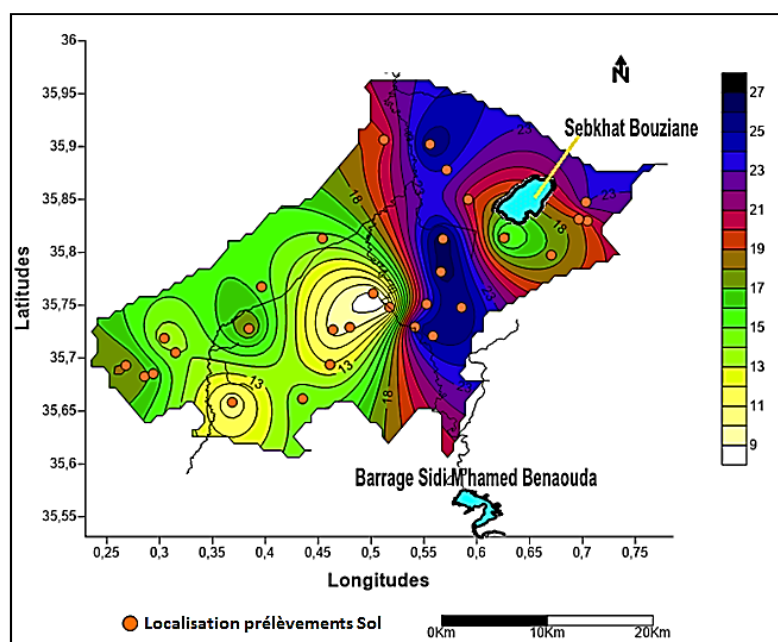


Figure n° 58 : Répartition spatiale de la CEC des sols de la plaine de la Mina.

X.3.8. Le Carbonate de calcium (CaCO_3) :

La présence de calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques, en termes de comportement physique et chimique, et influe sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide, suivant le contexte pédoclimatique, qu'il est nécessaire de compenser par des amendements (chaulage). La teneur en calcaire du sol est déterminante pour le choix de la forme des engrais à préconiser et, notamment, celle des fertilisants sulfatés (**tableau n° 58**) (**Gagnard *et al.*, 1988**).

Tableau n° 58 : Appréciation du taux de CaCO_3 dans le sol (D'après ISO 11464:1994).

Taux de CaCO_3 total à l'analyse	Qualification du sol
$\text{CaCO}_3 \text{ T} \leq 5\%$	Sol non calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 \text{ T} \leq 12,5\%$	Sol faiblement calcaire
$12,5 < \text{CaCO}_3 \text{ T} \leq 25\%$	Sol modérément calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 \text{ T} \leq 50\%$	Sol fortement calcaire
$\text{CaCO}_3 \text{ T} > 50\%$	Sol très fortement calcaire

Les résultats de la caractérisation des sols montrent que les valeurs des carbonates de calcium dans les sols de la zone d'étude sont variables. Cependant, le taux de CaCO_3 varie de 14,05 à 24,2, avec une moyenne de 19,51 % pour la totalité des échantillons. Généralement, c'est au niveau des zones Nord et Sud, qui sont proches des massifs montagneux, qu'on note les valeurs les plus élevées.

D'après les normes d'appréciation du taux de CaCO_3 dans le sol, établies par (**ISO 11464:1994**), on peut déduire que nos sols sont qualifiés de sols modérément calcaires, avec des taux supérieurs à 12,5%.

X.4. Conclusion :

Les sols, dans la plaine de la Mina, sont en majorité de **texture limono-argileuse**, avec un **pH** qui **tend vers l'alcalinité** et sont **modérément calcaires**. Le rapport élevé du **C/N**, démontre une faible activité microbienne dans ces sols.

Ils sont généralement, salés à excessivement salés, avec un réel risque d'alcalinisation, le chlore et le sodium sont les sels les plus répandus dans toute la région d'étude, le faciès chimique dominant de ces sols est de type chloruré-sodique.



Chapitre XI :

CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES DES ECHANTILLONS D'EAU



XI. La caractérisation physico-chimique des eaux de la zone d'étude

XI.1. L'échantillonnage et les analyses :

La technique d'échantillonnage détermine la fiabilité des résultats. La répartition des échantillons s'est faite en fonction de la disponibilité d'un point d'eau d'irrigation et une bonne répartition dans la zone d'étude.

Les échantillons des eaux souterraines ont été prélevés à partir de puits destinés à l'irrigation. Ces eaux ont été recueillies dans des bouteilles en polyéthylène de 1.5 L, nommées par des codes, bien fermées et conservées à 4°C, jusqu'au moment des analyses.

Durant la saison estivale de l'année 2018, trente (30) échantillons d'eaux ont été prélevés, à partir des forages utilisés pour l'irrigation, et analysés (**figures n° 59 et 60**).

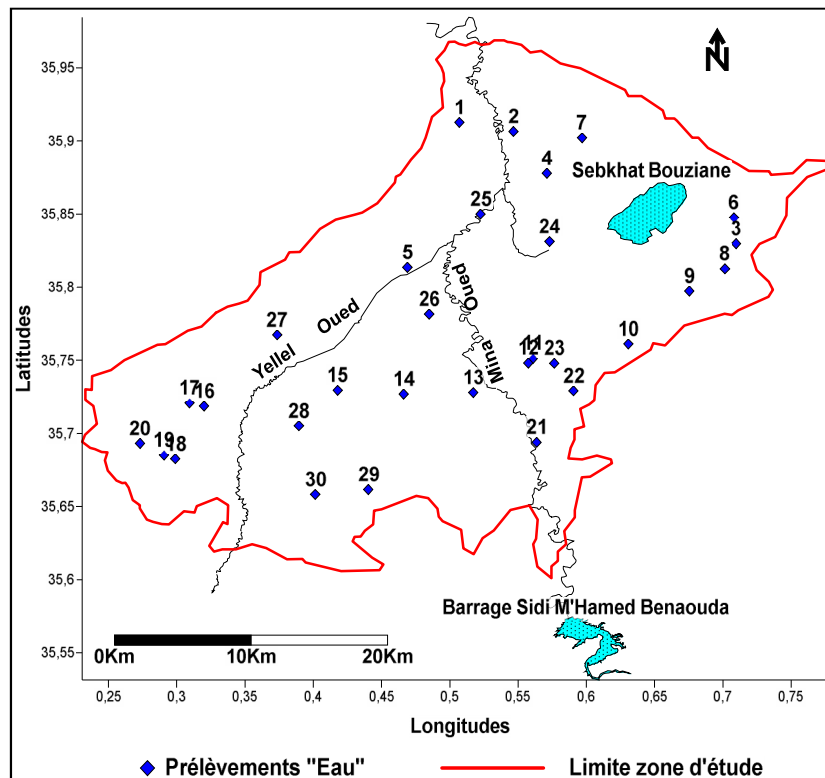


Figure n° 59 : Localisation des points des prélèvements des échantillons d'eau dans la plaine de la Mina.

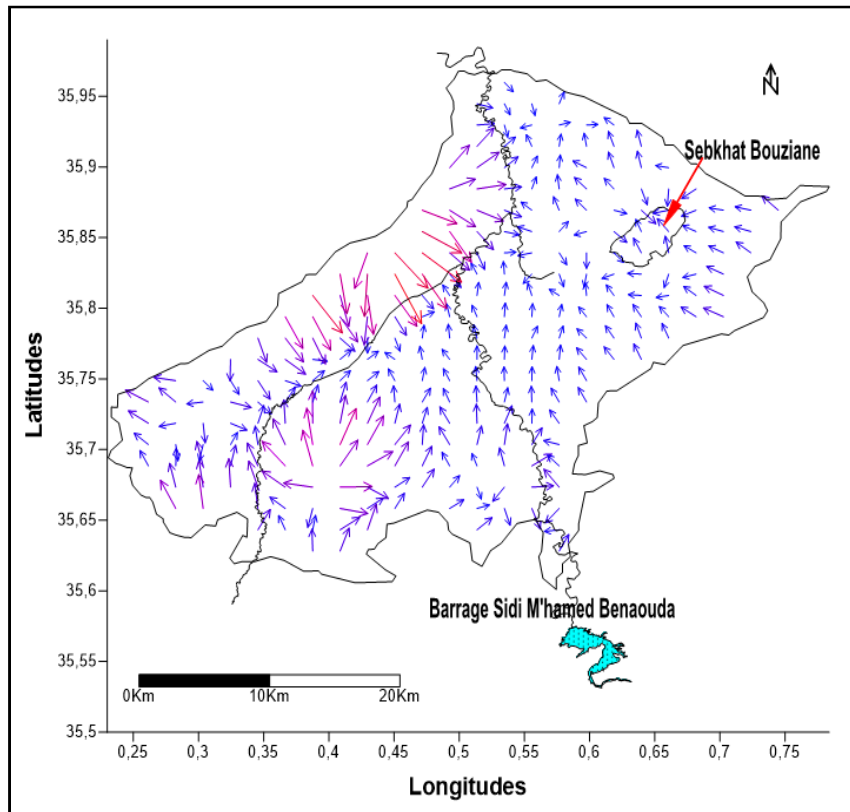


Figure n° 60 : Sens des écoulements des eaux dans la zone d'étude.

Les paramètres analysés sont :

- **Cations** : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ;
- **Anions** : Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- ;
- La **conductivité électrique** (CE) et le **pH**.

Pour évaluer la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mina, en vue d'un usage agricole, nous avons utilisé le **diagramme de PIPER**, pour la détermination des faciès chimiques, et les **diagrammes de L.V. WILCOX (1948)** et **L.A. RICHARDS (1954-diagramme de Riverside)**, pour établir le risque de salinisation et de sodisation des sols.

XI.2. Les résultats et la discussion :

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de la Mina, pendant la période d'observation, ont porté sur les paramètres majeurs, utilisés habituellement pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation. Parmi ces paramètres, on dénombre la **salinité**, exprimée par la Conductivité électrique (CE), le **SAR** (Sodium Absorption Ratio), le **%Na** et la **toxicité des chlorures** et le **pH**. Les résultats des analyses, représentant la moyenne de trente (30) points d'eau, sont reportés dans le **tableau n° 59**, ci-dessous.

Tableau n° 59 : Valeurs minimales, extrêmes et moyennes des paramètres des eaux souterraines de la plaine de la Mina.

Paramètres	pH	c25°C	SAR	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)
Min.	6,65	1,8	6,21	14,2	0	1,87	4,32	7,70	1,98	0,10	0,10
Max.	8,42	13,91	60,76	160	2,01	9,05	37,66	111	48,2	1,5	8,74
Moy.	7,45	5,16	20,67	56,58	0,40	4,32	12,66	45,94	12,70	0,47	4,02

XI.2.1. L'étude de la qualité des eaux :

Les caractéristiques de l'eau pour l'irrigation sont discutées en se référant aux classifications physico-chimiques de l'eau, établies par (Rui Manuel *et al.*, 2017), telles que données dans le **tableau n° 60**, ci-contre.

Tableau n° 60 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Rui Manuel *et al.*, 2017).

Critères d'interprétation / Unités	Valeurs limites (FAO)	Intensité des problèmes
CE (mS/cm à 25°C)	< 0.7 0.7 à 3 > 3.0	Pas de problème Problème croissant Problème grave
Cl (meq/l)	< 4 4 à 10 >10	Pas de problème Problème croissant Problème grave
SAR	< 3 3 à 9 > 9	Pas de problème Problème croissant Problème grave
HCO ₃ (meq/l)	< 1.5 1.5 à 8.5 > 8.5	Pas de problème Problème croissant Problème grave
pH	< 6.5 6.5 à 8.3 > 8.4	Pas de problème Problème croissant Problème grave
%Na	< 40% 40-60% > 60%	Pas de problème Problème croissant Problème grave

XI.2.1.1. La conductivité électrique (CE) :

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca²⁺), de magnésium (Mg²⁺), de sodium (Na⁺), les chlorures (Cl⁻), les sulfates (SO₄²⁻) et les bicarbonates (HCO₃⁻). Une valeur élevée de la salinité, signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et les éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux (2) façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT), exprimé en mg/l, ou, plus couramment, par la conductivité électrique (CE). La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm, est l'équivalent de 1 mS/cm, qui est l'équivalent de 1 desiemens

par mètre (dS/m) et, en moyenne, à 640 ppm de sel (Couture, 2003, AGRI-VISION 2003-2004).

Cependant, le **tableau n° 61**, ci-contre, nous donne une vue très claire sur la répartition des sols et leur salinité, du périmètre de l'Issen, selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008).

Tableau n° 61 : Répartition des classes de la salinité des sols étudiés du périmètre d'Issen, selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008).

Classe du sol	CE (dS/m)	% des sites
Non salin	< 4	13.33
Peu salin	4-8	36.66
Salin	8-16	10.00
Fortement salin	16-32	40.00
Très fortement salin	> 32	0

Sur la base des données du **tableau n° 61**, ci-dessus, qui renseignent sur les différentes classes de la salinité des sols, les résultats obtenus, concernant la conductivité électrique (CE) des sols de la zone d'étude, sont représentés dans la **figure n° 61**, ci-dessous.

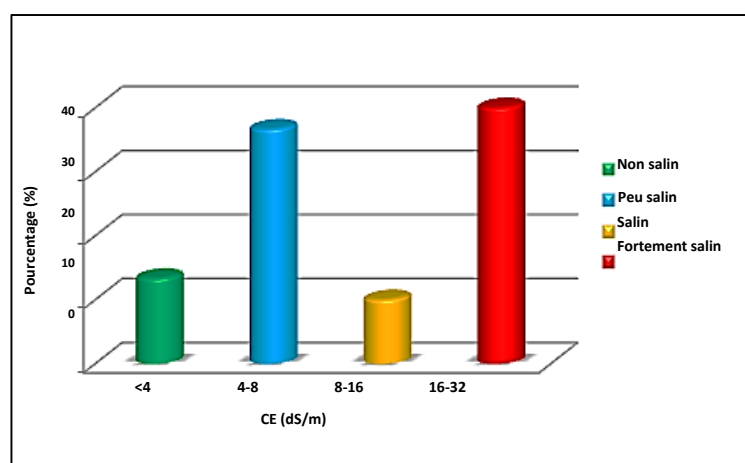


Figure n° 61 : Diagramme des classes de la salinité des sols étudiés, selon les normes (DIAEA/DRHA/SEEN, 2008).

En se basant uniquement sur ces paramètres majeurs, on déduit que les eaux souterraines de la plaine de la Mina, avec une valeur moyenne de la CE égale à 5,92 dS/m, sont d'une salinité très élevée, déconseillée et normalement inutilisable pour l'irrigation (FAO and ITPS, 2015).

On a noté, également, des valeurs très élevées de la CE, de l'ordre de 13,91dS/m, ce qui correspond à une salinité excessive, due aux conditions climatiques très arides, produisant une forte évaporation, qui concentre la solution du sol (Dima, S J., 2006). Néanmoins, un certain nombre (13.33%) de points d'eau sont de meilleure qualité, avec une CE inférieure à 2 dS/m.

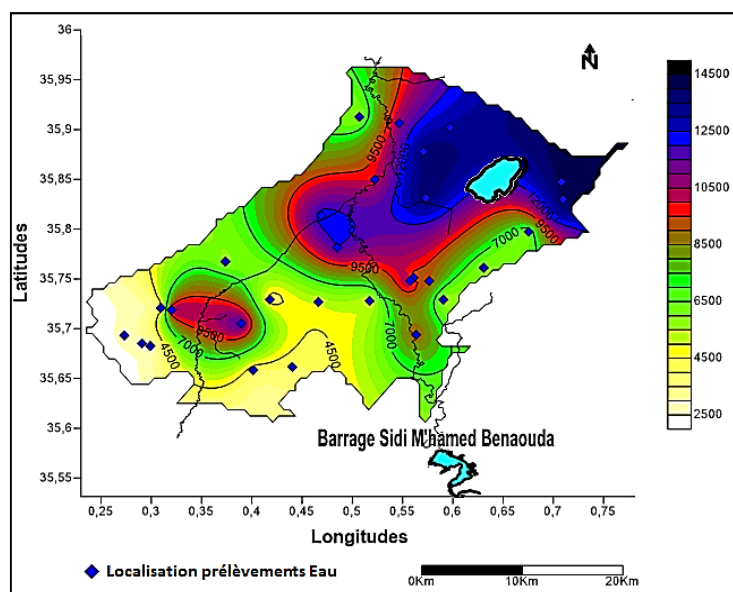


Figure n° 62 : Carte de la salinité des eaux souterraines de la zone d'étude.

Sur cette **figure n° 62**, donnée ci-dessus, sont représentées les différentes zones de la salinité des eaux souterraines de la zone d'étude, à savoir la plaine de la Mina, où on constate que les valeurs de la salinité sont très élevées dans toute la partie NE, et des valeurs basses à très basses, dans toute la zone SW, avec, cependant, une petite auréole de valeur, plus ou moins élevée.

XI.2.1.2. Le SAR (Sodium Adsorption Ration) :

Le sodium, est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément, est à l'origine de l'altération des roches et des sols, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal, avec une grande quantité de sodium, est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau.

L'élément sodium, remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact, lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

La perméabilité des sols sableux, peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds, lorsque irrigués avec une eau de forte teneur en sodium ; cependant, un problème potentiel existe. Le sodium, contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques unes.

De grandes quantités de sodium, combinées avec du chlorure, donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles. La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (SAR).

Le SAR décrit la quantité de sodium en excès, par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés, relativement, grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Voici la formule dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium et le magnésium sont exprimé en meq/l) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Sur la **figure n° 63**, ci-dessous, le SAR enregistre une valeur moyenne égale à 20,67, qui indique un danger potentiel de sodisation très élevé. Cependant, on remarque que 26.66 % des points d'eau se caractérisent par un SAR inférieur à 9, traduisant ainsi un léger risque de sodisation (FAO, 2002).

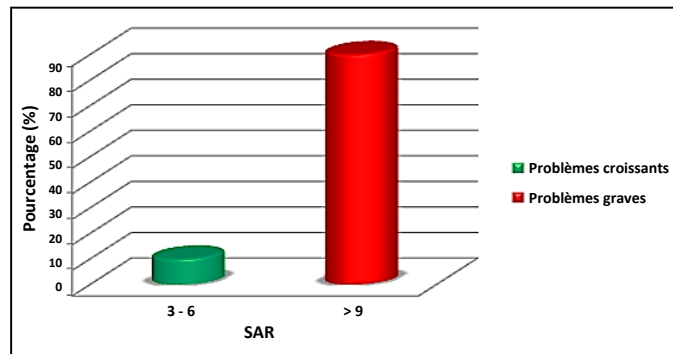


Figure n° 63 : Répartition en pourcentage du SAR du sol de la zone d'étude.

En outre, sur la **figure n° 64**, ci-contre, de la **répartition spatiale du rapport d'adsorption de sodium des eaux**, les teneurs en chlorures sont très élevées, ces chlorures pourraient provenir de la percolation à travers les terrains salés (Daouadi *et al.*, 2004).

La toxicité par les chlorures est évidente avec 80% des points d'eau qui dépassent largement 10 meq/l, représentant le seuil maximum admissible pour les plantes (FAO and ITPS., 2015).

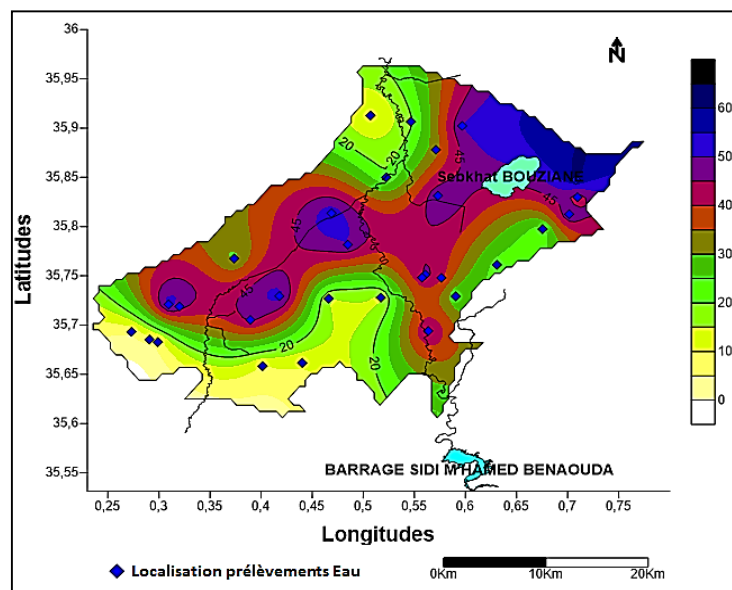


Figure n° 64 : Répartition spatiale du rapport d'adsorption de sodium des eaux.

XI.2.1.3. La réaction du sol, le pH :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H⁺). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H⁺, à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 est 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus acide.

Tableau n° 62 : Répartition des classes des pH des eaux étudiées, selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008)

Classe du sol	pH	% des sites
Acide	< 6	0
Faiblement acide	6 - 6,5	0
Neutre	6,5 - 7,3	23,33
Faiblement basique	7,3 - 7,8	63,33
Moyennement basique	7,8 - 8,5	10
Tendance alcaline	8,5 - 9	3,33
Très alcaline	> 9	0

Les résultats de l'analyse du pH de la zone d'étude, à savoir la plaine de la Mina, sont représentés dans les **figures n° 65 et 66**, données ci-dessous, montrant que les sols étudiés sont à 59%, faiblement basique, à 30%, neutre, à moins de 10%, moyennement basique, et à moins de 1%, de tendance alcaline.

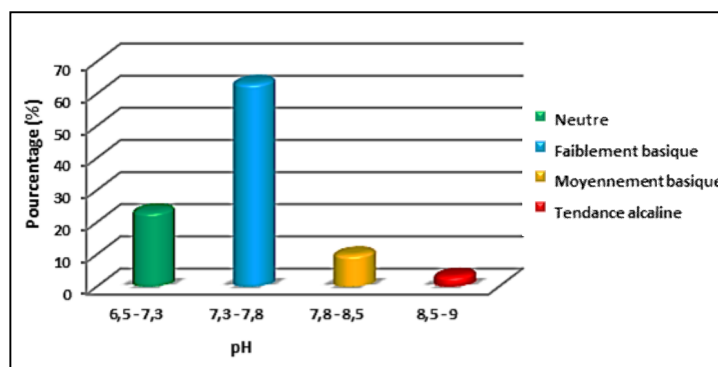


Figure n° 65 : Répartition en pourcentage des classes des pH des sols étudiés, selon les normes DIAEA/DRHA/SEEN (2008).

De même, il ressort de la carte du rapport d'adsorption de sodium des eaux de la zone d'étude (**figure n° 66**) que la majorité des sols, ont des pH moyennement basiques à tendance alcalines. Ils varient de 7 à 8,6, avec une moyenne de 7,8. Les valeurs du pH semblent être en accord avec le niveau d'alcalinité rencontré dans les sols étudiés qui est généralement faible.

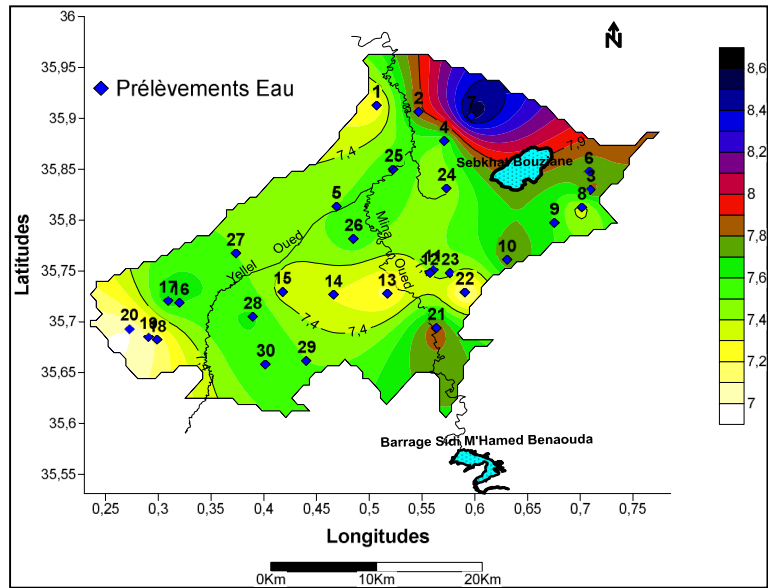


Figure n° 66 : Carte du rapport d'adsorption de sodium des eaux de la zone d'étude.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

XI.2.1.4. La détermination des faciès hydrochimiques des eaux :

La représentation des 30 échantillons, analysés, sur le diagramme de Piper (figure n° 67), nous montre la présence de différents faciès chimiques, à savoir :

- **Un faciès prédominant :** le faciès chloruré-sodique.
- **Les autres faciès :** sulfaté-sodique et chloruré-calcique.

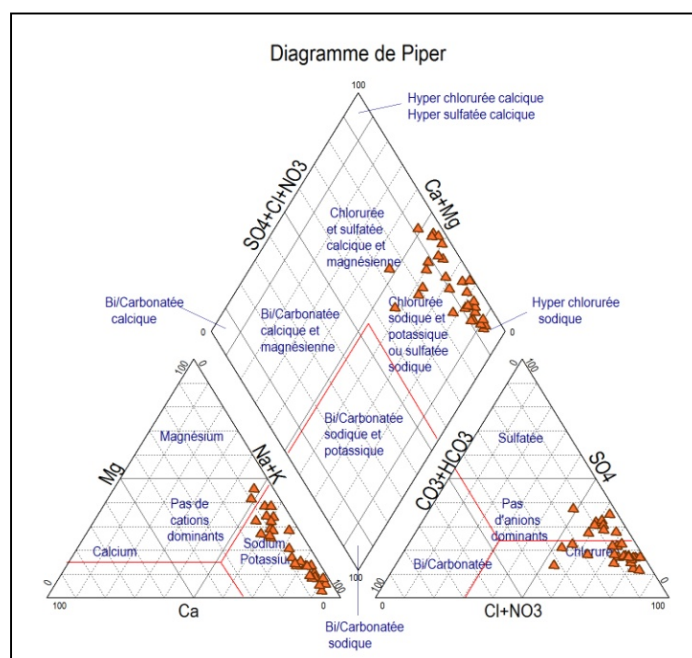


Figure n° 67 : Répartition des points d'eau dans le diagramme de Piper.

XI.2.1.5. L'état de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole :

Le problème de la salinité est un phénomène mondial, mais il est plus grave dans les zones de pénurie d'eau, telles que les zones arides et semi-arides. La salinisation est probablement le principal risque pour les sols irrigués, principalement les zones arides ; il peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation. Cependant, la sodisation et l'alcalinisation des sols, constituent un autre risque majeur. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable SAR (Sodium Absorption Ratio) de l'eau d'irrigation (**Pooja *et al.*, 2015**).

Les méthodes de Riverside (**Richards, 1954**) et **Wilcox (1948)**, sont utilisées, respectivement, pour évaluer la qualité des eaux destinées à l'irrigation dans la région d'étude. Ces méthodes font appel aux couples **CE-SAR** et **CE-%Na**, permettant de classer les eaux en fonction de leur aptitude à l'irrigation.

XI.2.1.6. L'évaluation des classes d'irrigation selon la méthode de Riverside :

Après avoir reporté tous les **points d'eau** sur le diagramme de Riverside (**Richards, 1954**) (**figure n° 68**), selon la conductivité électrique (CE) et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des **classes d'irrigation** (**tableau n° 63**), ainsi que leur **évolution spatiale** (**figure n°69**), comme il suit :

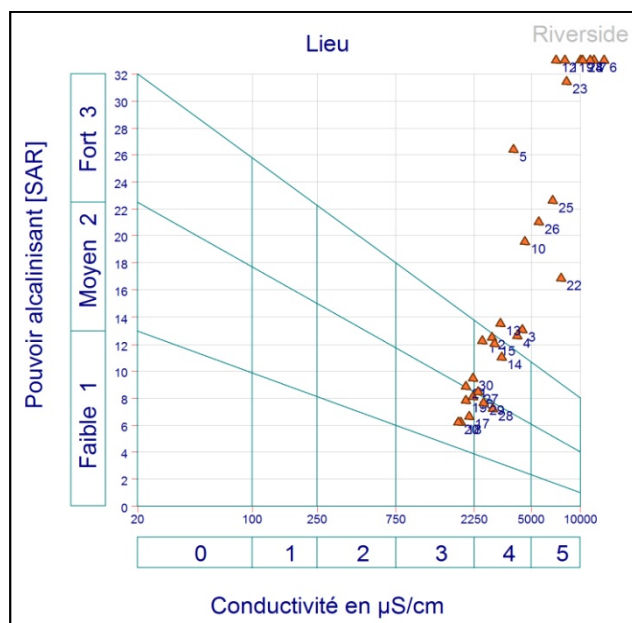


Figure n° 68 : Evolution des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside.

Tableau n° 63 : Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside (Richards, 1954).

Classification de Riverside	Nombre Points d'eau	Pourcentage (%)
C ₃ S ₂	18-19-20	10,00
C ₃ S ₃	29-30	6,66
C ₄ S ₂	13-14-17-15	13,33
C ₄ S ₃	1-10-21-22-27-9	20,00
C ₄ S ₄	2-11-12-16-23-25-28	23,33
C ₅ S ₄	3-4-5-6-8-7-24-26	26,66

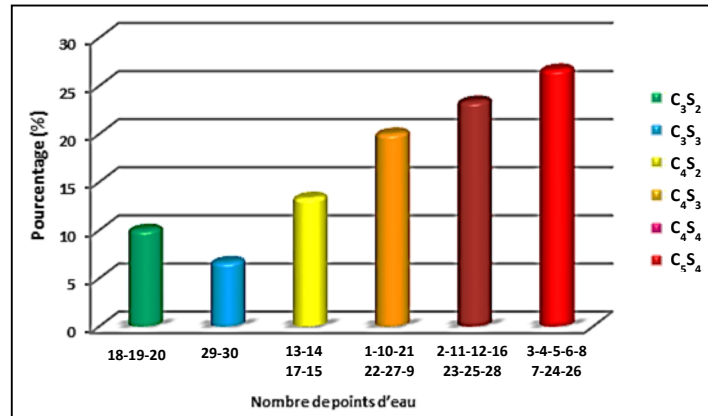


Figure n° 69 : Evolution des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Riverside.

- **C₃S₂** : la **meilleure classe de ces eaux**, avec 4 échantillons seulement (13.33 %), elle est de **qualité convenant**, généralement, **à l'irrigation** pour des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés, en excluant les sols lourds. Cependant, l'évolution de la salinité doit être bien contrôlée.
- **C₃S₃ et C₄S₂** : la C₃S₃, **classe la moins présente**, avec 2 échantillons seulement (6.66%), et C₄S₂, représentée avec 4 points d'eau (13.33 %). Leur **eau est fortement minéralisée, pouvant convenir à l'irrigation**, avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes aux sels. Avec un risqué élevé, où les lessivages et les apports en gypse sont indispensables.
- **C₄S₃-C₄S₄ et C₅S₄** : les 2 premiers, enregistrent un pourcentage de présence de 13.33%, avec 4 échantillons chacune ; or la classe C₅S₄ est la plus représentative, avec ses 11 points d'eau, dominante, avec un taux de présence de 36.66%. Ces **eaux ne conviennent pas**, généralement, **à l'irrigation**, elles sont déconseillées. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles et sous certaines conditions (Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel).

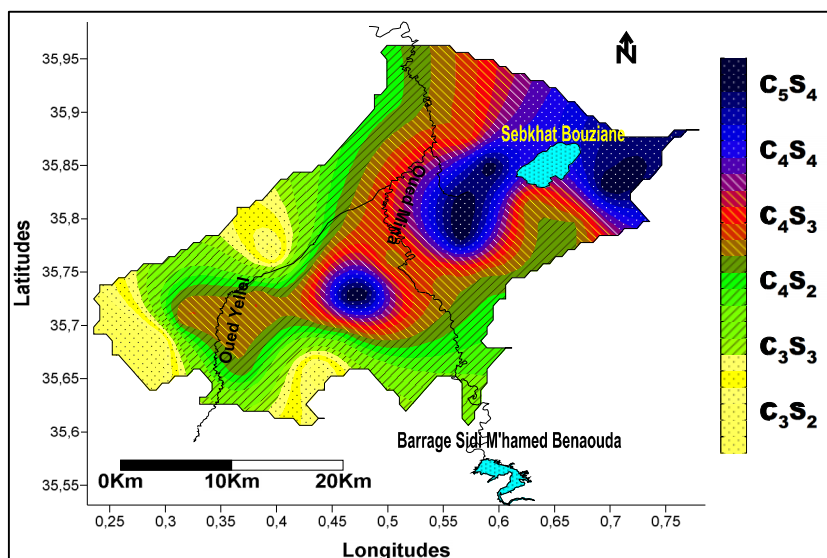


Figure n° 70 : Carte correspondant aux différentes classes d'irrigation de la zone d'étude, telles que définies par la méthode de Richards (1954).

A la lecture de la carte (**figure n° 70**), ci-dessus, correspondant aux différentes classes d'irrigation de la zone d'étude, à savoir la plaine de la Mina, définies conformément à la méthode de **Richards (1954)**, on constate ce qui suit :

Les classes d'irrigation sont réparties spatialement sur tout le territoire de la plaine de la Mina, selon leur qualité, avec :

- **C₃S₂** : de qualité convenant à l'irrigation, car leur eau est plus ou moins bonne, parmi toutes les autres classes, distribuée sur les parties périphériques externes de la plaine ;
- **C₃S₃ et C₄S₂** : leur eau est fortement minéralisée, pouvant convenir à l'irrigation, mais avec plus ou moins d'attention dans leur utilisation, réparties aussi à la périphérie interne de la zone d'étude ;
- **C₄S₃-C₄S₄ et C₅S₄** : leurs eaux ne conviennent pas à l'irrigation, du fait de leur qualité ne permettant pas leur utilisation dans des conditions ordinaires, sont déconseillées et n'être utilisées que dans des conditions extrêmes et exceptionnelles, occupant une petite partie centrale de la plaine et aux périphéries de la Sebka de Benziane. Cette dernière peut expliquer les causes de non utilisation de ces eaux dans l'irrigation, où les taux (%) des sels sont élevés.

XI.2.1.7. L'évaluation des classes d'irrigation, selon la méthode de Wilcox :

Cette évaluation est basée sur le diagramme de Wilcox, et ce, pour évaluer le risque de salinisation et de sodisation des sols.

Les résultats des analyses physico-chimiques des 30 échantillons d'eau utilisée pour l'irrigation, selon la méthode Wilcox, pendant la période d'étude, a montré que la majorité des points d'eau de la zone étude sont caractérisés par la dominance des faciès C₃S₂, C₃S₃, C₄S₂, C₄S₃ et C₄S₄ (**figure n° 71**), avec des taux (%) qui varient de 13,33% à 26,33 (**tableau n° 64**).

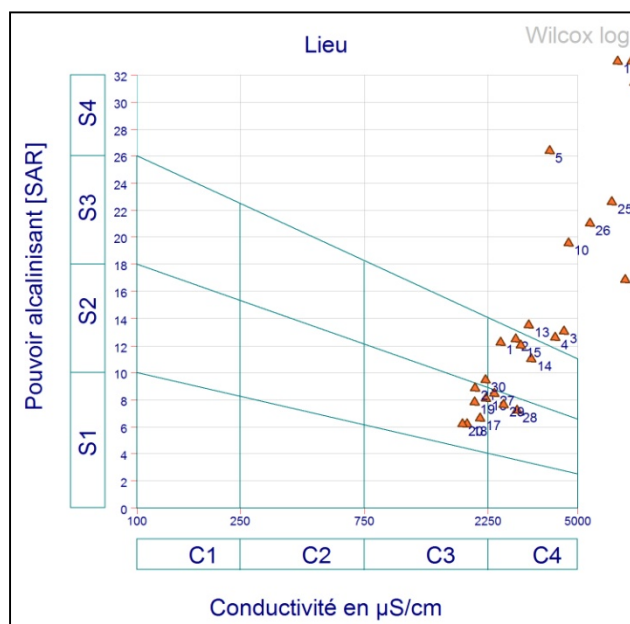


Figure n° 71 : Evaluation des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Wilcox (CE - SAR).

Tableau n° 64 : Classification des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox(CE - SAR).

Classification de Wilcox	Nombre Points d'eau	Pourcentage (%)
C ₃ S ₂	17-18-19-20	13,33
C ₃ S ₃	30-29-15-14	13,33
C ₄ S ₂	1-9-13-10-22-27-21	23,33
C ₄ S ₃	2-11-12-16-23-25-28	23,33
C ₄ S ₄	3-4-5-6-8-7-24-26	26,33

Cette démarche a montré que les eaux souterraines de la plaine de la Mina, selon la classification de Wilcox, appartiennent aux classes illustrées dans les **tableaux n°s 64 et 65**, et les **figures n°s 72 et 73**, ci-dessous :

- **Classes C₃S₂ et C₃S₃** : regroupent les **eaux de qualité admissible**, qui sont faiblement minéralisées, on les rencontrent à proximité des bordures, dans les périphéries, de la paline de la Mina. Leur présence n'a pas dépassé 13,33 %, et ce, pendant toute la campagne des prélèvements ;

- **Classes C₄S₂ et C₄S₃** : désignent les **eaux de qualité médiocre**, qui sont plus minéralisées que celles des classes précédente. Elles se manifestent au centre, au Sud-ouest et au Nord-est de la plaine, dont chacune représente 23,33 % des échantillons des deux (2) campagnes.

- **Classe C₄S₄** : représente les eaux de mauvaise qualité, qui se situent au centre et au Est-nord-est de la plaine concernée, à proximité de la Sebka de Benziane. Ces eaux sont les plus répandues, avec 26,33 % .

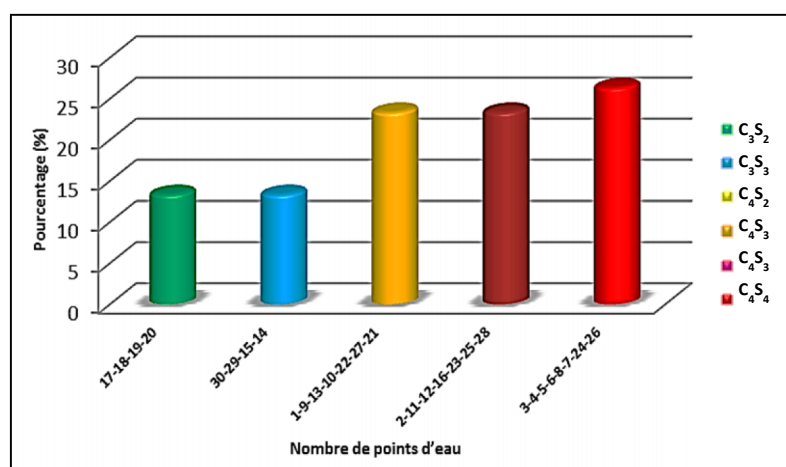


Figure n° 72 : Evaluation des classes d'irrigation de la zone d'étude, selon la méthode de Wilcox (CE - SAR).

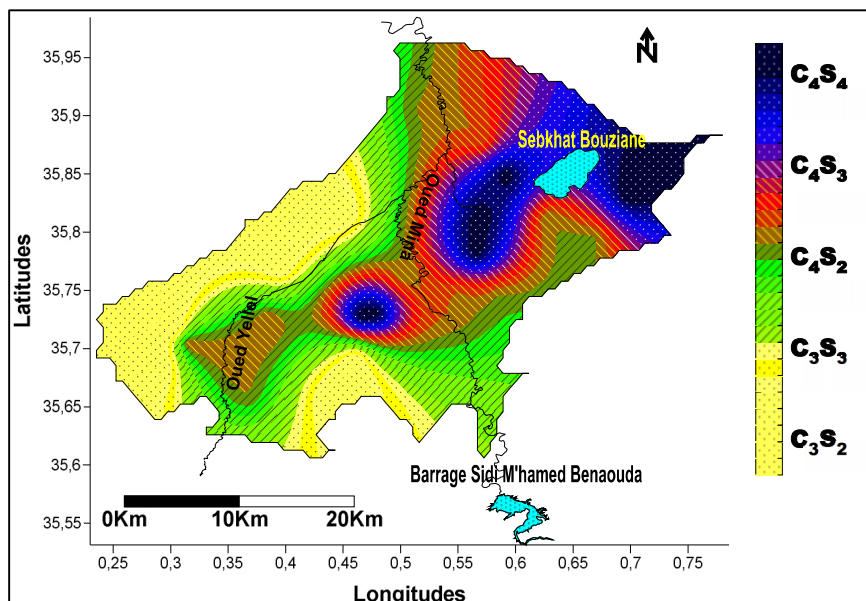


Figure n° 73 : Carte correspondant aux différentes classes définies par la méthode de Wilcox (CE - SAR).

Tableau n° 65 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na).

Qualité des eaux	Nombre Points d'eau	Pourcentage %
Admissible	18-19-20-29-30-15	20,00 %
Médiocre	1-27-14-13-22-10-9-17-21	30,00 %
Mauvaise	2-3-4-5-6-7-8-11-12-16-23-24-25-26-28	50,00 %

Sachant que les plantes supportent et tiennent mal dans les sols saturés en sodium (Na), la qualité des eaux des puits a aussi été estimée à l'aide du diagramme de Wilcox, par rapport à leur aptitude à l'irrigation, donc en fonction du risque de salinisation mesuré en abscisse, par la conductivité, et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage (Na%), en ordonnées (figure n° 74).

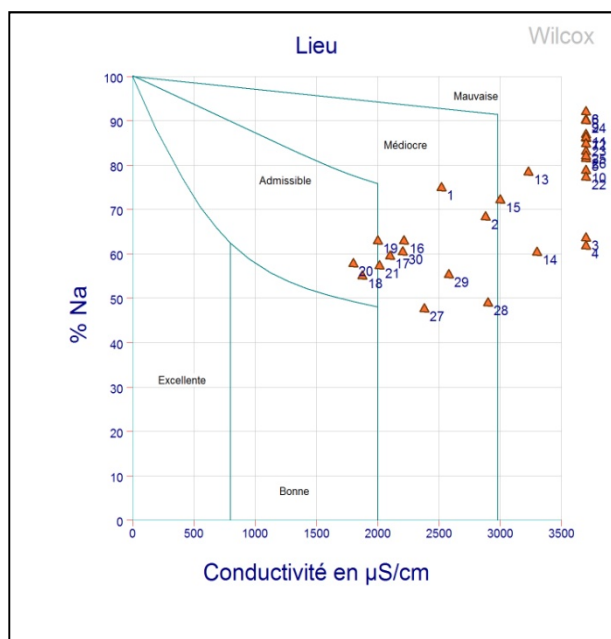


Figure n° 74 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na).

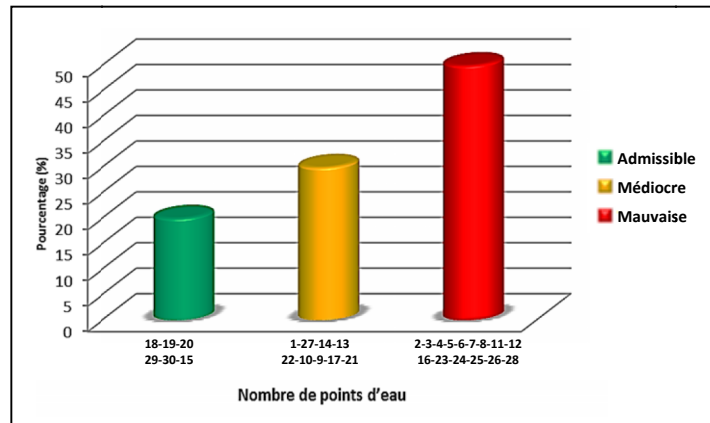


Figure n° 75 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, selon la méthode de Wilcox (CE - %Na).

Le report des points d'eau de la zone d'étude sur le diagramme Wilcox (figure n° 74), nous a permis de déterminer trois (3) catégories de qualités d'eau pour l'irrigation (figures n° 75 et 76), qui sont :

- **Eau de qualité admissible**, la moins représentée, avec quatre (4) échantillons et un taux (%) de présence égal à 13,33% ;
- **Eau de qualité médiocre**, avec huit (8) points d'eau et un taux de présence de 26,66% ;
- **Eau de qualité mauvaise**, la catégorie dominante avec ses dix huit (18) échantillons, totalisant un taux de présence de 60%.

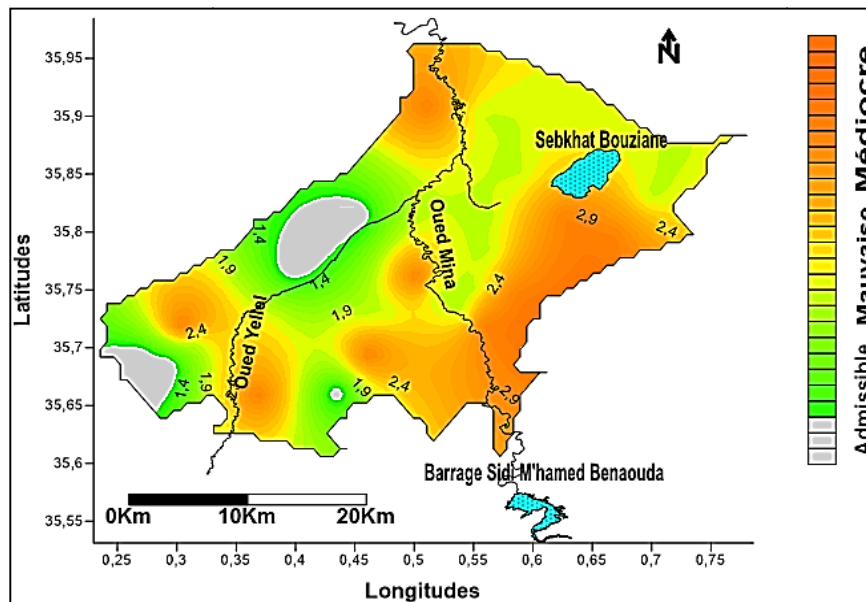


Figure n° 76 : Carte de la qualité des eaux de la plaine de la Mina, selon le diagramme de Wilcox (CE - % Na⁺).

Les résultats d'évaluation, ainsi obtenus, viennent confortés et appuyés ceux enregistrés dans l'évaluation des classes d'irrigation selon les méthodes de Riverside et Wilcox (CE - SAR).

XI.3. Conclusion :

La plaine de la Mina, avec un climat aride à semi-aride, une forte évapotranspiration et une sécheresse qui perdure, a obligé les agriculteurs à choisir les eaux souterraines comme source unique d'irrigation. Suite au constat de la salinisation des sols, qui commence à prendre de l'ampleur, les eaux souterraines de la région sont les premières soupçonnées d'être la source du problème. D'où l'intérêt de cette étude qui a pour objectif l'évaluation de la qualité de ces eaux souterraines utilisées en irrigation.

En tenant compte des résultats obtenus, suite aux analyses des eaux souterraines, l'évaluation de leurs qualités, par des méthodes classiques, ont montré que la majorité de ces eaux sont d'une salinité très élevée, avec une moyenne égale à 5.92, représentant un danger de sodisation très élevé, avec une moyenne de SAR égale à 20,67, notamment au Centre et à l'Est de la plaine, à proximité de la Sebkha de Benziane.

L'utilisation des méthodes de Richards et de Wilcox, ont permis de mettre en évidence trois (3) types de qualité d'eau. **Eau de qualité admissible, médiocre et mauvaise**, qualité qui est la catégorie dominante.

Les classifications de Richards et de Wilcox, ont donc permis de classer les eaux de la région et montré que la salinité et le risque de sodicité, croît du Nord vers l'Est de la plaine, et ce, tout en s'approchant de la Sebkha de Benziane, avec l'établissement des cartes d'aptitude des eaux souterraines, qui confirment les résultats obtenus par les deux méthodes, sus-citées. Ces eaux sont, en générale, déconseillées pour l'irrigation. Néanmoins, l'utilisation de quelques points est toléré, sous certaines conditions et avec beaucoup de précautions. L'influence du bassin endoréique (Sebkha de Benziane, située à l'Est de la région d'étude) se traduit par des teneurs élevées en chlorures et sodium.

Plusieurs facteurs naturels, géologiques et climatiques, ainsi qu'anthropiques, ont contribué à l'acquisition de cette minéralisation et peuvent être tenus pour responsables de la salinité des eaux souterraines de la plaine de la Mina, par :

- Principalement, par la contamination lithologique, car les éléments rencontrés sont d'origine géologique. Généralement, ce type de salinisation se développe dans les dépressions soumises à un climat évaporant ;
- Les évaporites, riches en Cl, Na, SO₄, et Ca, issus de l'augmentation des concentrations en sels jusqu'à leurs précipitations, notamment dans les zones arides. Ces évaporites, sont une source considérable de contamination des eaux souterraines ;
- Les sels solides, formés dans les périmètres agricoles irrigués de la plaine de la Mina et le bassin endoréique (Sebkha de Benziane), sous les effets des évapotranspirations très importantes et successives ;
- Les pratiques d'irrigation, qui requièrent de plus en plus l'exploitation des nappes par pompage, favorisent des échanges verticaux, faisant remonter des eaux salines profondes.



Chapitre XII :

CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES DU SOL



XII. La caractérisation microbiologique du sol

XII.1. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol (mois d'Août) :

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols étudiés sont présentés dans le (tableau n° 66).

L'analyse granulométrique des trois (3) échantillons, et selon les taux (%) des trois (3) fractions, montre les textures suivantes :

- Echantillon 1, du prélèvement n° 10 : de texture, **argilo-limono-sableuse**, à **argile dominante** ;
- Echantillon 2, pour le prélèvement n° 01 : est de texture, **limono-argilo-sableuse**, à **tendance limoneuse** ;
- Echantillon 3, au prélèvement n° 20 : a une texture, **limono-argilo-sableuse**, à **dominance de limon**.

En général, les textures ainsi caractérisées sont **limono-argileuses**, avec un **faible pourcentage (%) de sable**.

Les **éléments nutritifs** révèlent des résultats plus ou moins disparates entre les trois (3) échantillons de sols étudiés, où les valeurs sont significatives pour les prélèvements n° 10-20, telles que données dans le **tableau n° 66**, ci-contre.

Au sujet du **bilan ionique**, c'est l'échantillon 1, du prélèvement n° 10, qui présente les valeurs les plus essentielles par rapport aux deux autres échantillons (**tableau n° 66**).

Tableau n° 66 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des échantillons des sols (mois d'Août).

Valeurs		Echant. 1 (Prélév n° 10)	Echant. 2 (Prélév n° 01)	Echant. 3 (Prélév n° 20)
Granulométrie	A (%)	41,04	37,32	25,15
	L (%)	39,27	41,68	52,78
	S (%)	20,21	21	22,06
H (%)		5,8	10,1	12,9
CE (dS/m)		23,15	11,00	5,08
SAR		41,1	20,01	11,1
ESP		85,03	62,9	50,8
CEC		23,62	22,77	20,82
pH		8,6	8	8,42
CaCO₃ (%)		17,12	16,22	20,55
MO (%)		0,95	1,01	1,21
C (%)		0,66	0,88	1,1
N (%)		0,04	0,065	0,089
C/N		16,5	13,53	12,35
Bilan ionique de la solution du sol	Ca⁺⁺ (mg/l)	201	124	345
	Mg⁺⁺ (mg/l)	136	99	91
	Na⁺ (mg/l)	3095	1213	652
	K⁺ (mg/l)	77	41	23
	Cl⁻ (mg/l)	2995	1479	569
	SO₄⁻ (mg/l)	512	311	315
	HCO₃⁻ (mg/l)	165	176	322

XII.2. Le dénombrement de la biomasse microbienne (mois d'Août) :

Le **tableau n° 67**, ci-contre, affiche les résultats du dénombrement microbien exprimé en nombre de germes/g sol sec des échantillons prélevés au mois d'Août, ainsi que leur représentation graphique (**figure n° 77**).

Tableau n° 67 : Résultats du dénombrement microbien (nombre de germes/g sol sec) des prélèvements du mois d'Août.

Mois d'Août	Echantillons	Nombre de germes/g de sol					Total des germes
		Champignons	Bactéries Cellulolytiques	Azotobacters	Ammonifiants	Nitrifiants	
	Echant. 1 (Prélév n° 8)	3700	22000	28500	13500000	500000	14054200
	Echant. 2 (Prélév n° 14)	3000	19000	24000	10800000	400000	11246000
	Echant. 3 (Prélév n° 18)	2300	11000	20000	3000000	208000	3241300

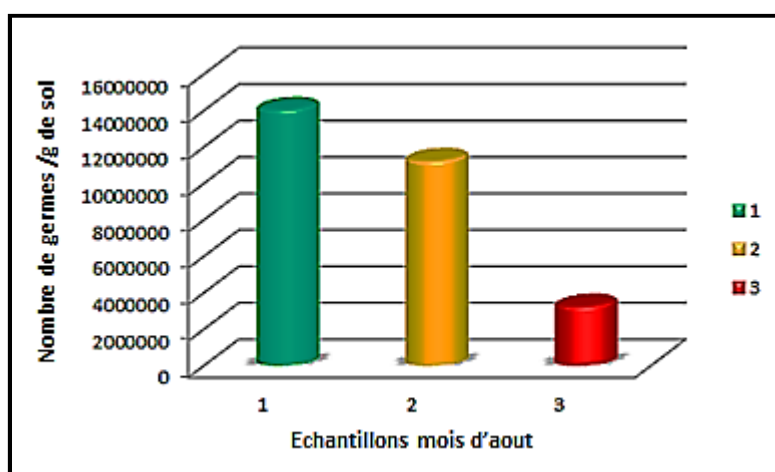


Figure n° 77 : Représentation graphique du dénombrement microbien des prélèvements (mois d'Août).

Les résultats obtenus (**tableau n° 67**), ci-dessus, montrent que dans la même période, les échantillons 1 et 2 se rapprochent dans le nombre de germes, mais l'échantillon 3 enregistre un faible nombre total de germes qui est de **3241300** germes/g de sol sec.

XII.3. Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol (mois de Février) :

La **caractérisation granulométrique** de trois (3) échantillons de sols a permis de mettre en évidence la domination de la **fraction limoneuse** et la texture **limono-argilo-sableuse**, pour les trois (3) échantillons des prélèvements n°s 10-01-20, avec le taux (%) le plus élevé de **limon (50.78)** dans l'échantillon n° 3, du prélèvement n° 20 (**tableau n° 68**), ci-dessous.

Concernant les **éléments nutritifs**, on remarque que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de l'échantillon n° 1, du prélèvement n° 10, suivi, respectivement, par les échantillons 2 et 3, des prélèvements n°s 01 et 20 (**tableau n° 68**).

De même que pour le **bilan ionique**, c'est aussi l'échantillon 1, du prélèvement n° 10, qui montrent les valeurs les plus importantes par rapport aux deux autres échantillons (**tableau n° 68**).

Tableau n° 68 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques des échantillons des sols (mois de Février).

Valeurs		Echant. 1 (Prélév n° 10)	Echant. 2 (Prélév n° 01)	Echant. 3 (Prélév n° 20)
Granulométrie	A (%)	39,14	34,32	28,15
	L (%)	41,23	43,68	50,78
	S (%)	19,1	21,9	21,06
H (%)		9,1	12,9	15,8
CE (dS/m)		19,88	8,34	3,8
SAR		36,1	18,61	10,55
ESP		69,23	52,97	41,58
CEC		22,54	20,22	19,82
pH		8	8,2	7,9
CaCO ₃ (%)		16,98	18,22	16,55
MO (%)		1,04	1,87	1,98
C (%)		0,67	1	0,97
N (%)		0,045	0,075	0,08
C/N		14,88	13,33	12,12
Bilan ionique de la solution du sol	Ca ⁺⁺ (mg/l)	204	130	353
	Mg ⁺⁺ (mg/l)	139	105	99
	Na ⁺ (mg/l)	3098	1219	660
	K ⁺ (mg/l)	80	47	31
	Cl ⁻ (mg/l)	2998	1485	577
	SO ₄ ⁻ (mg/l)	515	317	323
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	168	182	330

XII.4. Le dénombrement de la biomasse microbienne (prélèvements du mois de Février) :

Le **tableau n° 69**, suivant, donne les résultats du dénombrement microbien exprimé en nombre de germes/g de sol sec des échantillons prélevés au mois de Février, où on remarque que c'est au niveau de l'échantillon 1, du prélèvement n° 8, que le nombre de germes est le plus élevé. Il est suivi, d'abord, par l'échantillon 2, du prélèvement n° 14, et, ensuite par l'échantillon 3, du prélèvement n° 18.

Tableau n° 69 : Dénombrement microbien (nombre de germes/g sol sec) des prélèvements du mois de Février.

Mois de Février	Echantillons	Nombre de germes/g de sol					Total des germes
		Champignons	Bactéries Cellulolytiques	Azotobacters	Ammonifiants	Nitrifiants	
	Echant. 1 (Prélév n° 8)	6700	50000	48000	27500000	750000	28354700
	Echant. 2 (Prélév n° 14)	5900	44000	41500	20100000	580000	20771400
	Echant. 3 (Prélév n° 18)	3400	24500	29000	32900000	310000	3656900

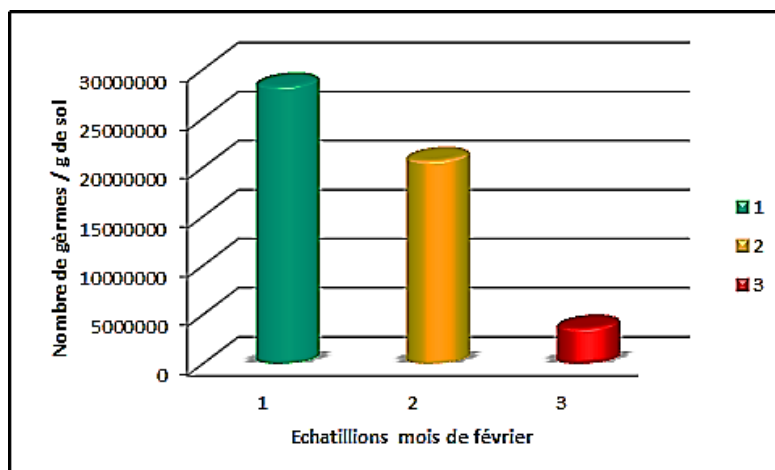


Figure n° 78 : Représentation graphique du dénombrement microbien des prélèvements du mois de Février.

Les résultats obtenus (**tableau n° 69** et **figure n° 78**), montrent que durant la même période du mois de Février, les échantillons 1 et 2 ont une faible variation dans le nombre total de germes, et où l'échantillon 3 se démarque par un très faible nombre de germes qui est de l'ordre de **3656900** germes/g de sol sec.

Cependant, en comparant les résultats microbiologiques des totaux des germes, obtenus pendant les deux (2) périodes des mois d'Août et de Février, il ressort très nettement ce qui suit :

- Le total des germes des trois (3) échantillons du mois de Février, avec 52.783.000, est égal à presque 2 fois plus que celui enregistré au mois d'Août, tel que donné dans le **tableau n° 70** et les **figures n° 79** et **80**.

Tableau n° 70 : Totaux des germes des échantillons des deux périodes (nombre de germes/g de sol sec)

Prélèvements	Echantillons mois d'Août	Echantillons mois de Février
Total des germes des échantillons	28.541.500	52.783.000

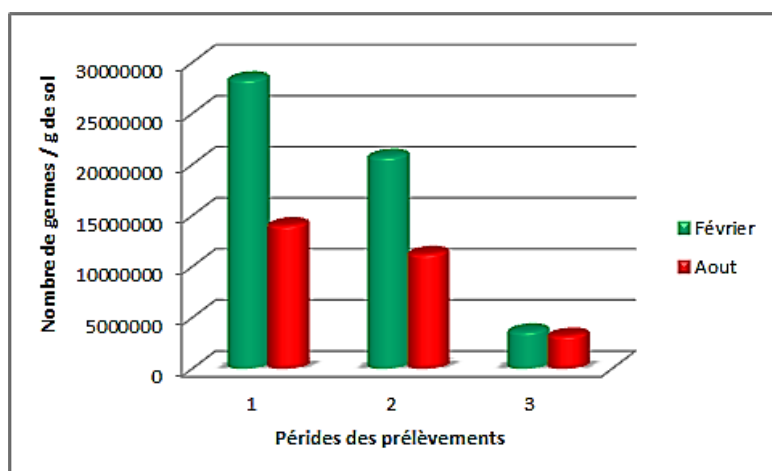


Figure n° 79 : Représentation graphique des totaux des germes des trois échantillons des deux périodes.

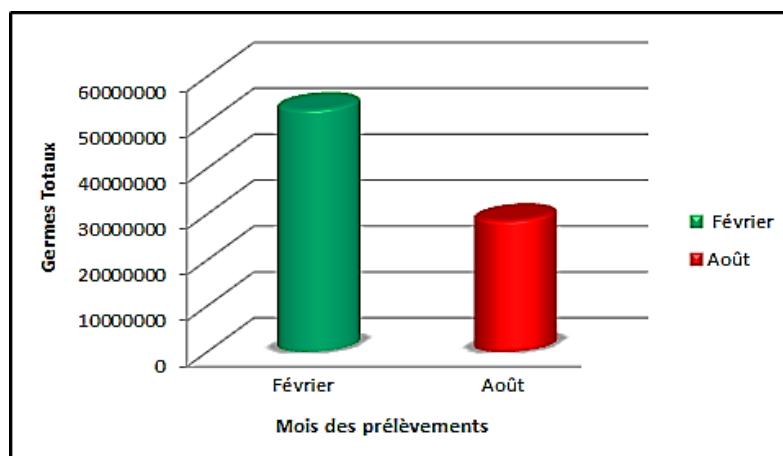


Figure n° 80 : Représentation graphique synthétique globale des totaux des germes des échantillons des deux périodes.

L'analyse du **tableau n° 70**, ci-dessus, montre clairement la différence entre les totaux des germes des deux périodes, Août et Février. La densité microbienne enregistrée au mois de Février est nettement supérieure à celle du mois d'Août, à l'exception pour l'échantillon 3 où ses taux (%) sont très faibles, comparativement à ceux des échantillons 1 et 2.

XII.5. Les analyses statistiques et l'interprétation des résultats de la caractérisation microbiologique du sol :

L'analyse statistique est réalisée par le logiciel STATISTICA, concernant les résultats des dénombrements microbiens de tous les échantillons de sols des deux périodes, Août et Février.

XII.5.1. L'effet de la période sur les paramètres du sol :

La période de prélèvement des échantillons est très importante dans la présente étude, vu les variations que subissent les facteurs climatiques durant toute l'année.

A cet effet, tous les paramètres climatiques sont pris en considération, principalement l'**humidité**, la **température** et la **vitesse des vents**, car elles régissent tous les autres facteurs climatiques (évaporation, évapotranspiration, sécheresse, etc.) qui influent directement sur toutes activités biologiques.

Vu le climat méditerranéen qui règne dans la région d'étude et les données climatiques collectées, on distingue deux périodes, (1) période sèche (dessiccation), (2) période humide (humectation).

IV.5.1.1. L'effet de la période d'échantillonnage sur l'humidité du sol :

Le graphe, représenté par la **figure n° 81 (période / H%)**, exprime la corrélation entre les périodes des prélèvements et les taux (%) d'humidité des échantillons.

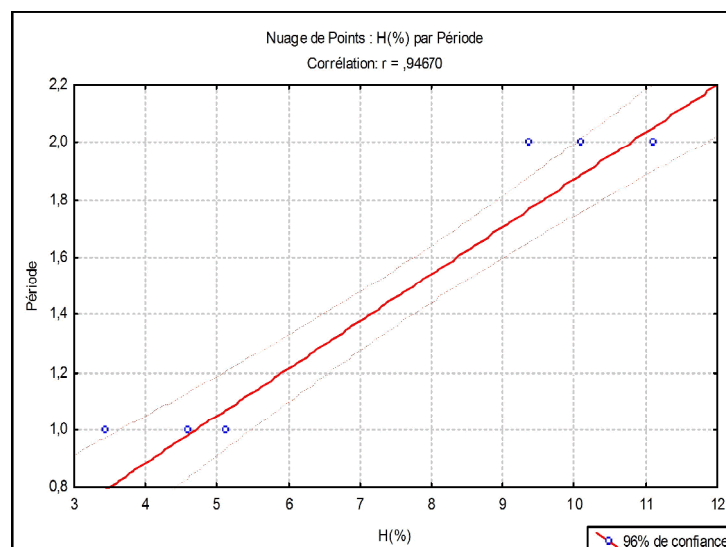


Figure n° 81 : Graphe de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et H% du sol.

Cette corrélation, hautement significative positivement, où $r = 0,94670$, montre clairement l'effet de la période sur l'humidité. Sur le graphe, on a **(1,0)** qui représente la **période sèche** (Moy T = 22,66°C, V-Vent = 14,45 km/h) et un taux d'humidité très faible ; et **(2,0)**, concerne la **période humide** (Moy T = 13,63°C, V-Vent = 9,93 km/h), avec un taux d'humidité appréciable.

XII.5.1.2. L'effet de la période d'échantillonnage sur la conductivité électrique du sol :

Le graphe, de la **figure n° 82 (période / CE)**, représente la corrélation entre la période des prélèvements et les résultats de la conductivité électrique (CE) du sol des échantillons analysés.

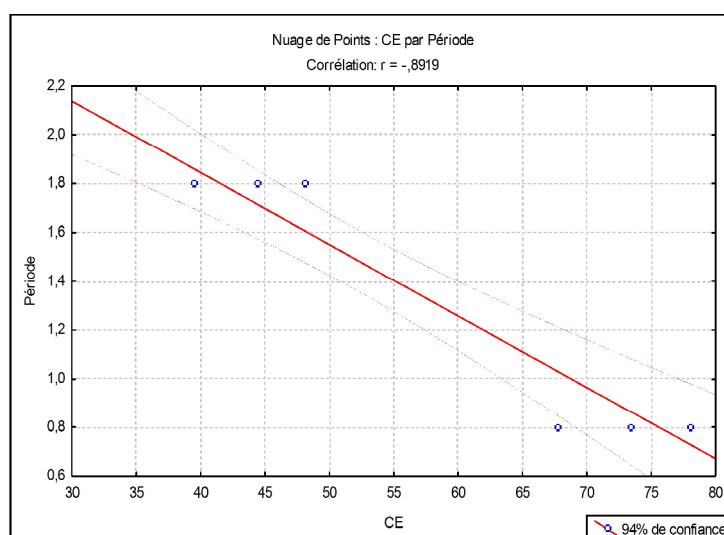


Figure n° 82 : Graphe de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et la CE du sol.

Cette corrélation, très significative négativement, avec $r = -0,8919$, démontre que plus le sol est sec, plus la CE de ce dernier augmente du fait de la concentration des sels. Avec **(0,8)**,

exprimant une **période sèche** où la CE augmente ; et (1,8), représentant la **période humide**, de dilution des sels, et la CE diminue.

XII.5.1.3. L'effet de la période d'échantillonnage sur les micro-organismes du sol :

Ce graphe, tel qu'exprimé par la **figure n° 83 (période / germes)**, représente la corrélation entre la période des prélèvements et les résultats du dénombrement de la microflore du sol, effectué pendant les deux périodes.

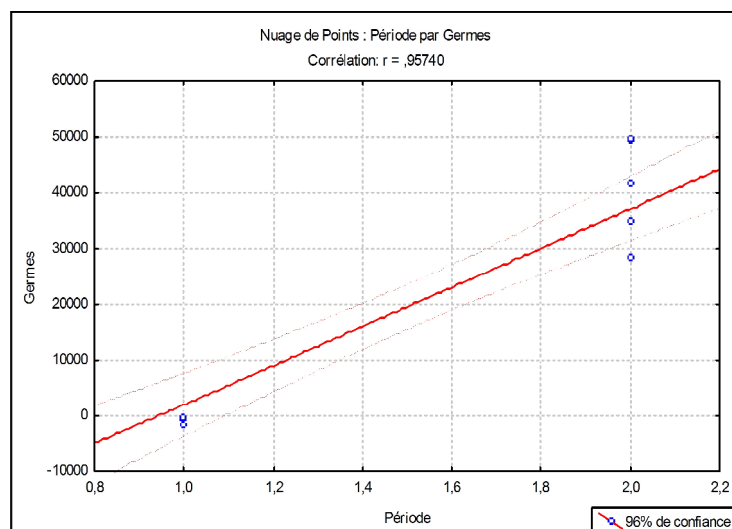


Figure n° 83 : Graphe de corrélation entre les périodes de prélèvements des échantillons et micro-organismes du sol.

Cette corrélation, très significative positivement où $r = 0,95740$, montre une allure ascendante de la population microbienne au fur et à mesure que l'humidité augmente, avec un pic automnal très marqué pendant l'année, révélant ainsi la reprise de l'activité biologique microbienne après la période de sécheresse.

Les températures les plus élevées peuvent faire disparaître une partie de la microflore, des températures qui dépassent les 50°C sont souvent létale pour quelques espèces, mais au contraire favorable à la microflore thermophile (**Dommergues, 1977**).

Les températures basses (inférieures à 0°C), exercent une action néfaste sur un certain nombre d'espèces de la microflore du sol, mais cette action est beaucoup moins marquée que celle de la dessiccation.

Le nombre total des micro-organismes dans le sol présente deux (2) maxima, au cours de l'année :

1. **Printemps** (mars, avril), en rapport avec l'élévation thermique qui succède au froid de l'hiver,
2. **Automne** (octobre, novembre), en liaison avec l'accroissement des nutriments mis à la disposition des germes par la mort des plantes annuelles et la chute des feuilles et l'augmentation du taux d'humidité, avec les premières pluies automnales.

Le minimum le plus accentué est en hiver, mais il y a également une baisse en été (**Pochon et al., 1948**).

XII.5.2. L'effet de l'humidité sur la CE du sol :

Sur le graphe de la **figure n° 84 (H% / CE)**, est représentée la corrélation entre l'humidité et la conductivité électrique.

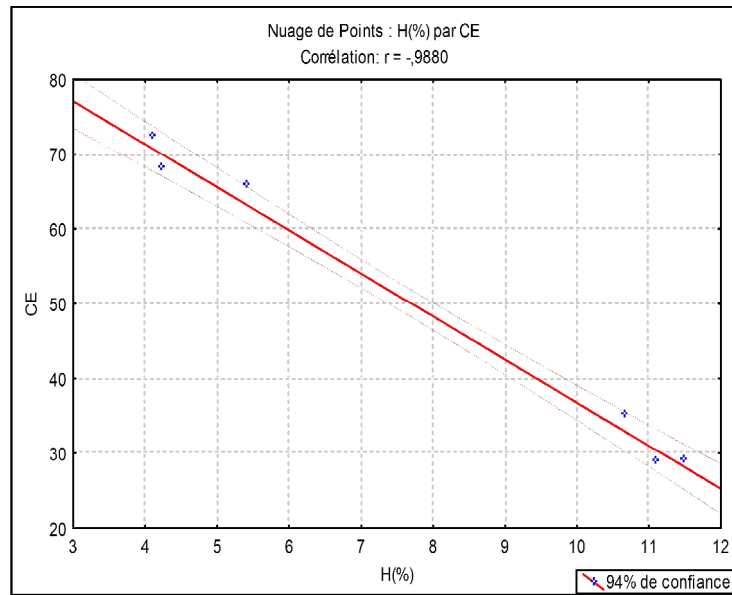


Figure n° 84 : Graphe de corrélation entre H% et la CE du sol.

Cette corrélation, qui est aussi hautement significative négativement, avec $r = -0,9880$, ne peut que conforter l'explication donnée précédemment (cf. **corrélation période/CE**), car elle montre clairement que plus on tend vers l'humectation, plus la CE diminue (phénomène de dilution et concentration des sels) (**figure n° 85**).

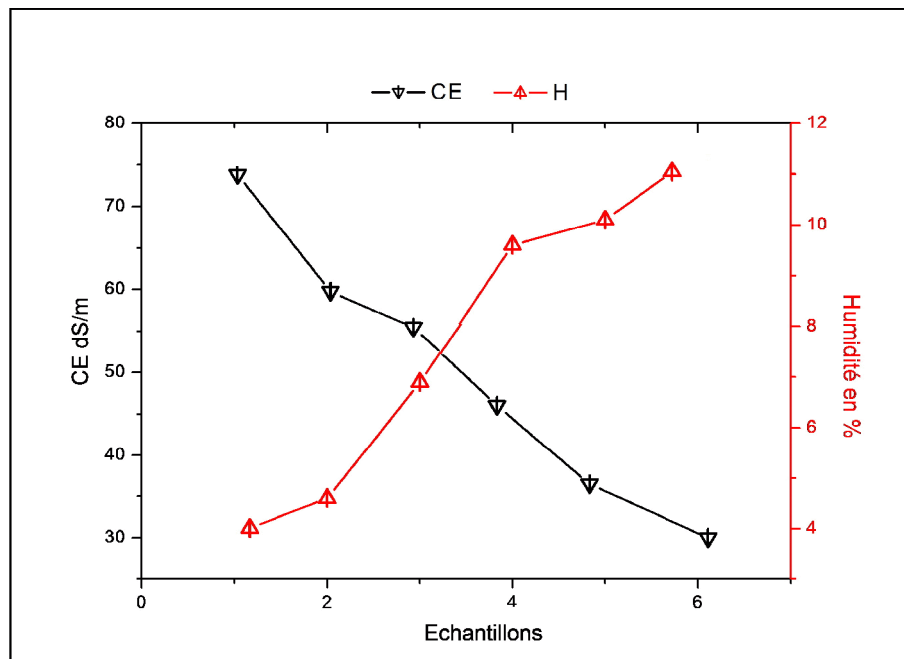


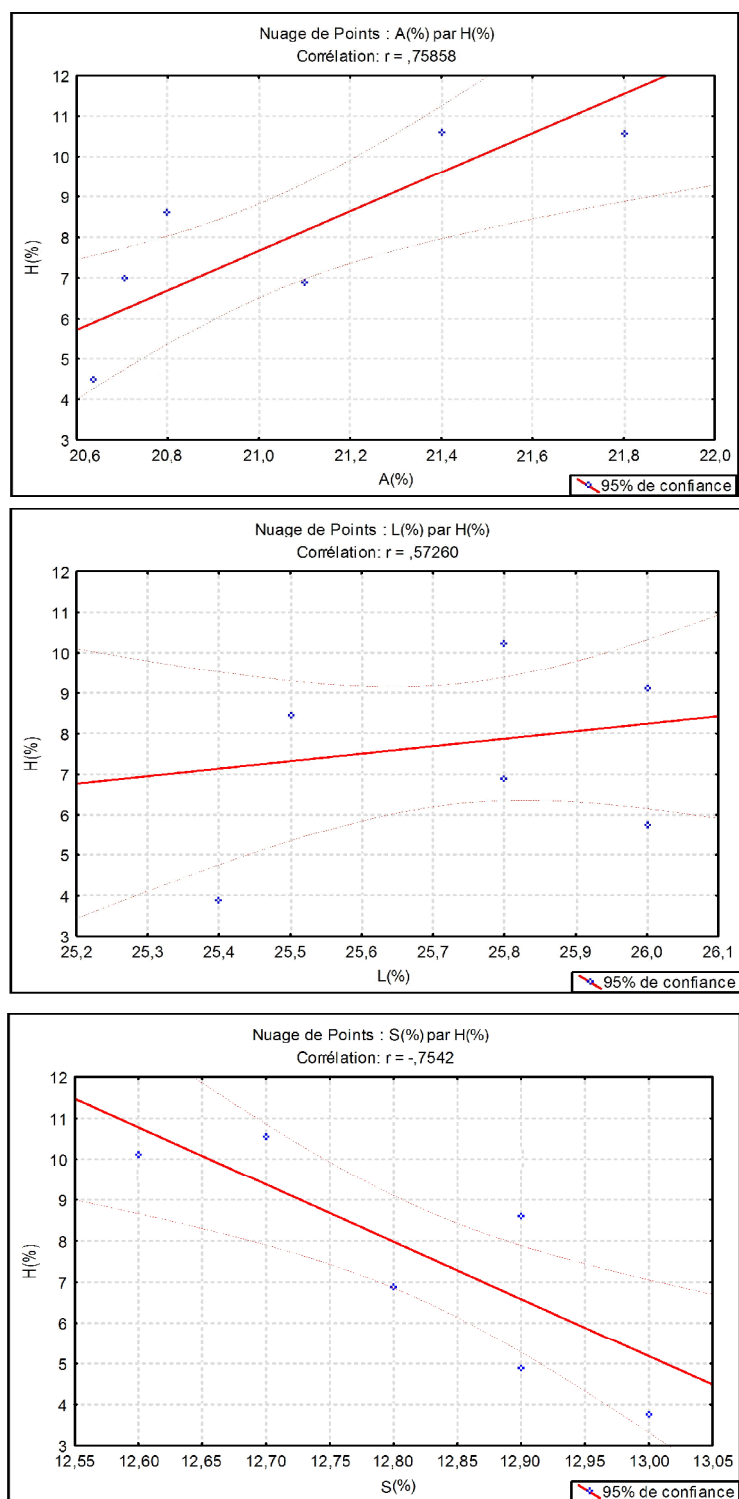
Figure n° 85 : Influence de l'humidité sur la conductivité électrique (CE).

XII.5.3. L'effet de la texture sur l'humidité du sol :

Le **tableau n° 71** et la **figure n° 86**, ci-contre, montre les résultats de la correction entre l'humidité (H%) et la texture du sol.

Tableau n° 71 : Matrice de corrélation entre la texture et H% du sol.

	Argiles	Limons	Sables
H%	0,75858	0,57260	-0,7542

**Figure n° 86 : Graphes de corrélations entre la texture et H% du sol.**

Les composantes, texturale et structurale, de la porosité sont étroitement liées aux propriétés physico-chimiques des différentes fractions granulométriques du sol (argiles, limons et sables).

Les **sables** diminuent la cohésion des terres et augmentent la porosité texturale ce qui rend les sols très sensibles aux phénomènes de dégradations et diminuent leurs rétentions en eaux.

Les **argiles** et les **limons** favorisent la formation d'agrégats et augmentent ainsi la cohésion et la porosité structurale du sol et par conséquent ils augmentent sa capacité de rétention en eau et limitent la sensibilité du sol aux phénomènes de dégradations (**Christen, 2008**).

En effet, c'est ce que démontrent les **graphes** de la **figure n° 86 (H% / texture du sol)** représentant la corrélation entre l'humidité du sol et ces fractions granulométriques, mettant en évidence les capacités de rétention en eau de chaque fraction.

Ainsi, nous observons une **corrélation significative positivement**, liant les **argiles** et les **limons fins et grossiers** à l'**humidité (H%)** du sol. Mais cette **corrélation devient significative négativement**, pour les **sables fins et grossiers**.

XII.5.4. L'effet de la texture sur les micro-organismes du sol :

Le **tableau n° 72** et la **figure n° 87**, ci-dessous, exposent les résultats de la correction entre les micro-organismes et la texture du sol.

Tableau n° 72 : Matrice de corrélation entre les micro-organismes et la texture du sol.

	Argiles	Limons	Sables
Germes	0,77576	0,55944	-0,4108

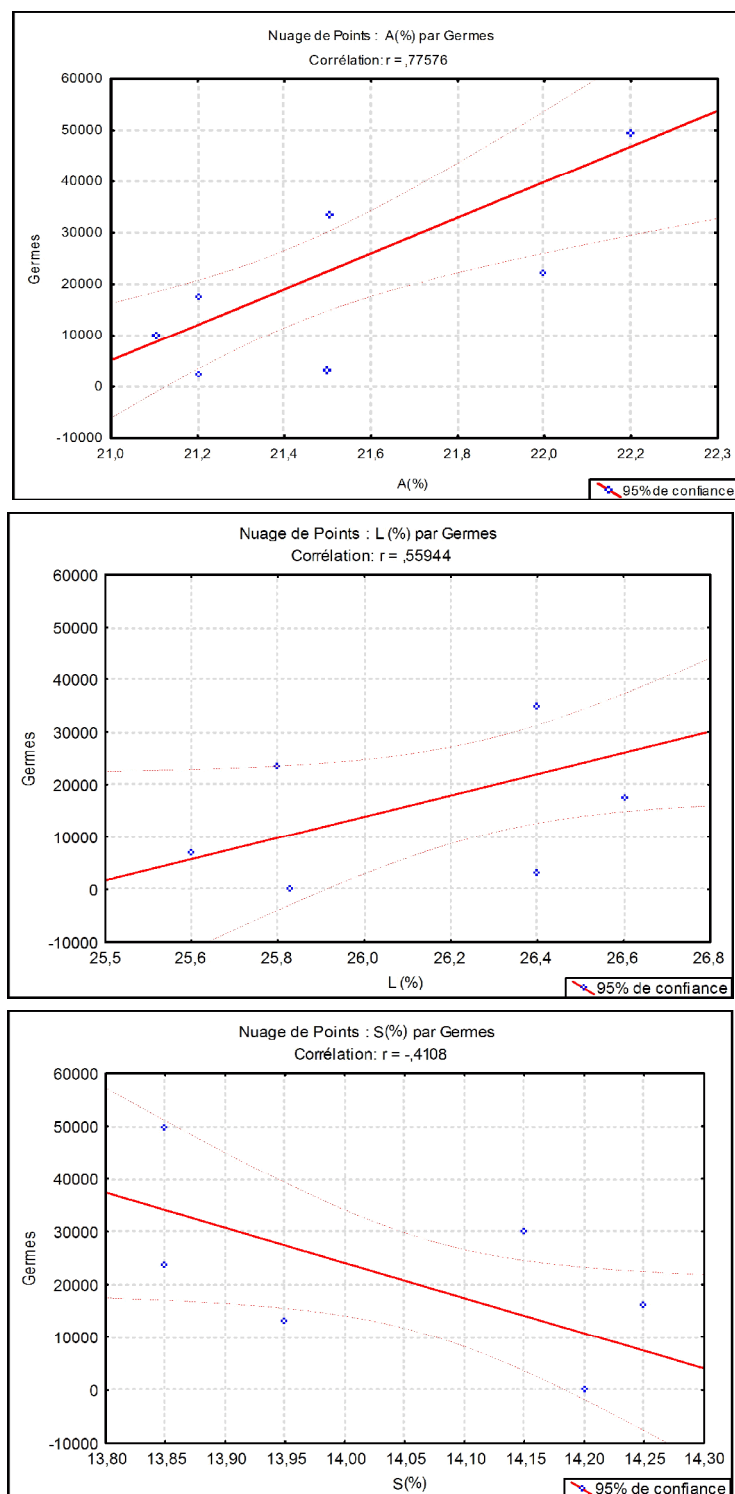


Figure n° 87 : Graphes de corrélation entre les micro-organismes et la texture du sol.

Les graphes de la figure n° 87, ci-dessus, représentent la corrélation entre les résultats des dénombrements microbiens et les différentes fractions granulométriques du sol.

Comme pour le paramètre humidité, nous observons que le nombre des micro-organismes du sol est fortement corrélé aux teneurs des sols en **argiles** et **limons** et, inversement, corrélé aux teneurs en **sables fins** et **grossiers**.

Ces résultats sont dus, entre autres, à la capacité de ces fractions pour la rétention en eaux et l'augmentation de la porosité structurale, ce qui confère aux micro-organismes deux (2) facteurs indispensables à leur prolifération, qui sont : l'**air** et l'**humidité**.

Les résultats qu'on a obtenu concordent avec ceux des travaux de **Sbih et al. (2002, in N'Dyegamiye, 2007)**, concernant l'influence de la texture du sol et sa porosité sur la minéralisation du carbone (C) et de l'azote (N). En effet, les résultats de ces travaux ont démontré que les particules minérales du sol jouent un rôle déterminant dans ce phénomène (**tableau n° 73**).

Tableau n° 73 : Corrélation (R^2) entre les particules minérales et les paramètres de minéralisation de C et N du sol.

	Sable	Limon	Argile
C	-0.61***	0.59***	0.58***
N	-0.76***	0.73***	0.71***
Nm	-0.71***	0.72***	0.63***
Cm	-0.51**	0.54***	0.42**
No	-0.63**	0.68***	0.50**

*, **, *** : $P \geq 0.05, 0.01$ et 0.001 , respectivement.

C, N : carbone et azote.

Cm, Nm : C et N minéralisés.

No : N potentiellement minéralisable.

Ainsi, l'activité des micro-organismes est faible dans les conditions de sol sec. Par exemple, les **sols sablonneux**, bien drainés, ayant une grande porosité, perdent rapidement leur contenu en eau, soit par infiltration ou par évaporation. Par contre, les **sols contenant de l'argile** ou du **limon**, présentent des pores plus petits et peuvent contenir suffisamment d'eau, même en période de sécheresse (cas de notre étude), pour satisfaire les besoins des micro-organismes du sol (**N'Dyegamiye, 2007**).

La texture fine du sol ($<50 \mu\text{m}$), aurait un effet de protection sur la biomasse microbienne totale, due à la plus forte proportion de micropores par rapport à un sol sableux et par la limitation du développement des prédateurs de micro-organismes (mésosofaune) (**N'dyegamiye, 2007**).

XII.5.5. L'effet de l'humidité sur les micro-organismes du sol :

Le **tableau n° 74** et la **figure n° 88**, ci-contre, affichent les résultats de la correction entre l'humidité et les micro-organismes du sol.

Tableau n° 74 : Matrice de corrélation entre H% et les micro-organismes du sol.

	Germes
H %	0.778

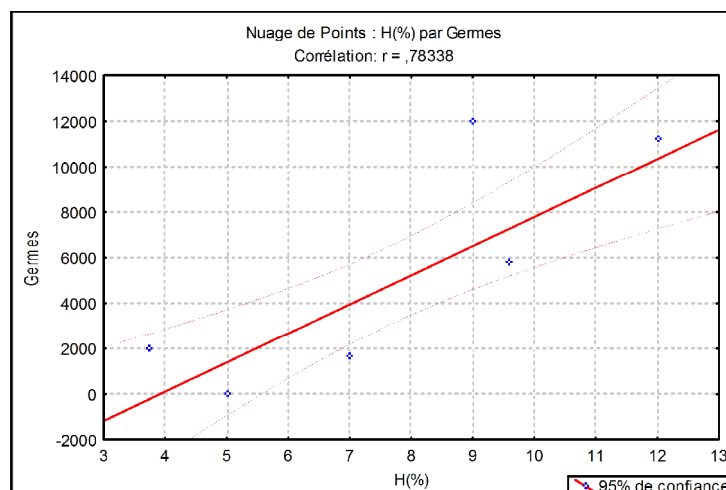


Figure n° 88 : Graphes de corrélation entre H% et les micro-organismes du sol.

Lorsque le sol se dessèche à une humidité inférieure à celle qui correspond au point de flétrissement permanent, c'est-à-dire lorsque le **pF** dépasse **4,2**, certains secteurs de la microflore tellurique manifestent encore une activité, parfois importante.

Mais cette activité tend à s'annuler lorsque l'on se rapproche de **pF 5,5**. Au niveau et au-delà de ce seuil, certaines cellules microbiennes commencent à subir l'action létale d'un **pF excessif**, on quitte alors le domaine des **faibles humidités** ($4,2 < \text{pF} < 5,5$) pour entrer dans celui de la **dessiccation** ($\text{pF} > 5,5$) (**Dommergues, 1964**).

Les résultats des corrélations entre l'humidité et les micro-organismes (par groupe ou globalement) sont représentés par les **graphes** de la **figure n° 89**, donnée ci-dessus. Ces résultats unanimes montrent que les micro-organismes sont fortement corrélés aux taux d'humidité du sol (**r** varie entre **0.75** et **0.80**). Ainsi, le nombre de germes varie sensiblement en passant de **18493** germes/g de sol, durant la période sèche, à **334380** germes/g, durant la période humide.

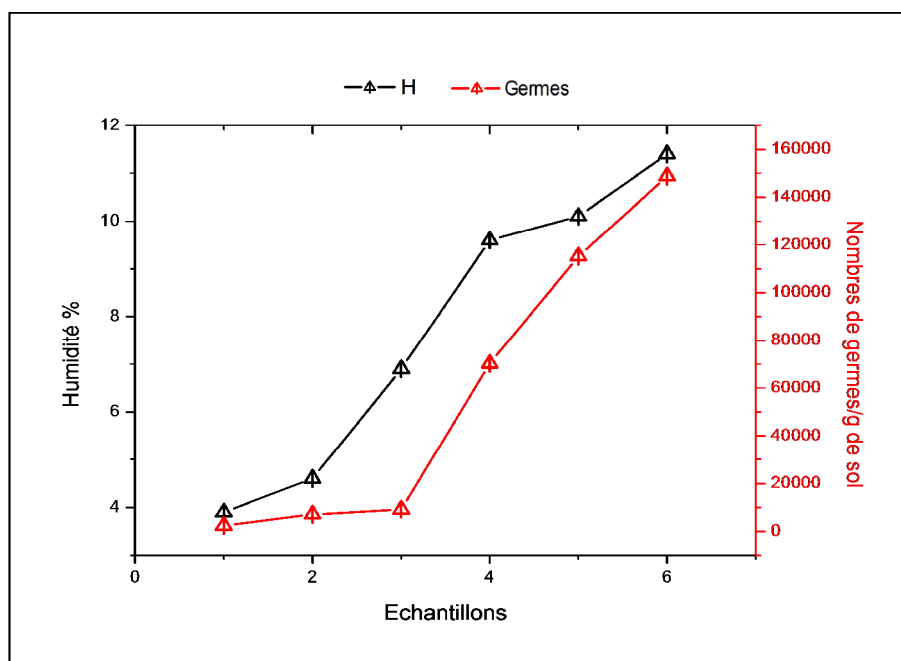


Figure n° 89 : Influence de l'humidité sur la densité microbienne.

L'humidité est nécessaire à la vie des micro-organismes et aussi à leurs déplacements, la quantité d'eau nécessaire pour la migration et le développement optimum varie avec l'espèce du microbe considéré et avec la nature des sols (Gaucher, 1968).

Le taux de minéralisation d'azote dépend aussi de l'humidité et de la température du sol. Jusqu'à une certaine limite, les activités biologiques et le taux de minéralisation d'azote augmentent ainsi avec les valeurs de la température et de l'humidité dans les sols (Gasser, 2000, in N'Dyegamiye, 2007).

XII.5.6. L'effet de la CE sur les micro-organismes du sol :

Le **tableau n° 75** et la **figure n° 90**, suivants, montrent les résultats de la correction entre l'humidité et les micro-organismes du sol.

Tableau n° 75 : Matrice de corrélation entre la CE et les micro-organismes du sol.

	Germes
CE	-0.945

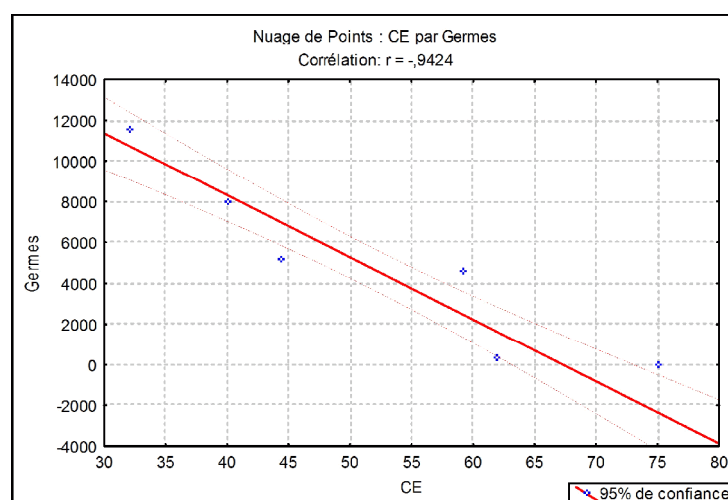


Figure n° 90 : Graphe de corrélation entre la CE et les micro-organismes du sol.

Le comportement de la microflore (par groupe ou globalement) est hautement significatif négativement (r varie entre **-0.923** et **-0.971**), par rapport aux concentrations salines du sol (**tableau n° 74**). En effet, les résultats des dénombrements microbiens effectués pendant les deux périodes montrent une hausse significative pour les nombres de germes par gramme de sol, au fur et à mesure que la conductivité électrique baisse (**figure n° 91**).

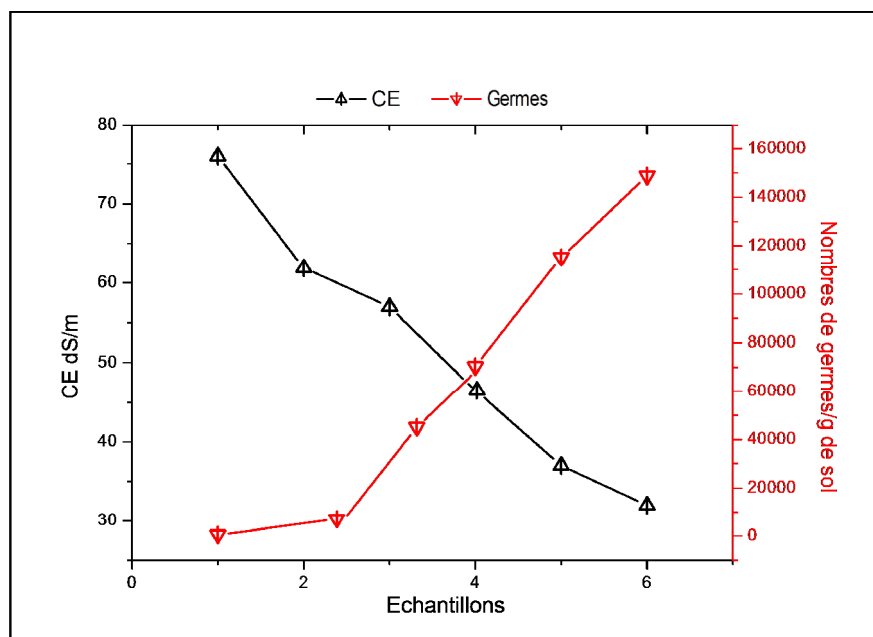


Figure n° 91 : Influence de la conductivité électrique sur la densité microbienne.

Malgré leur pouvoir élevé de tolérance vis-à-vis de la salinité, ces micro-organismes n'arrivent plus à résister à la hausse des concentrations saline ($CE > 70 \text{ dS/m}$), où on se rapproche d'une courbe qui tend vers l'absence totale de ces germes au niveau de la sebkha. D'ailleurs de nombreux auteurs ont montré que ces germes cessent de se multiplier dès que la teneur en sel dépasse 5%, et l'activité diminue même avant que le seuil de toxicité ne soit atteint.

Dellal *et al.* (1992), a trouvé que la valeur de 22.3 dS/cm , pour la CE, se présente comme une valeur seuil, entraînant une réduction de la teneur de cette population microbienne.

Des valeurs proches ont été trouvées par **Haimoud *et al.* (1980)** dans la sebkha de Boughzoul.

Etant donné que la valeur la plus basse de la conductivité électrique, enregistrée dans cette étude est de : $CE = 32 \text{ dS/m}$, dépassant de loin celles trouvées par les autres auteurs, elle justifie amplement la déficience de cette population microbienne (avec une valeur totale de 334380 germes/g de sol), par rapport aux résultats de ces derniers.

XII.5.7. L'effet de la matière organique sur les micro-organismes du sol :

Le **graphe de la figure n° 92 (MO% /germes du sol)**, ci-dessous, présente la corrélation entre les résultats des démembrements microbiens et les taux de la matière organique des échantillons analysés.

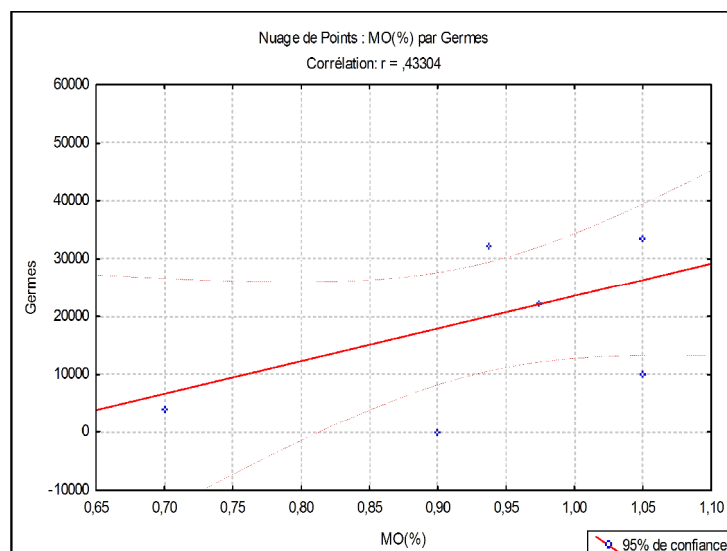


Figure n° 92 : Graphe de corrélation entre la matière organique et les micro-organismes du sol.

La matière organique influence le rythme de croissance des micro-organismes. Il est connu que la matière organique, facilement minéralisable, augmente et diversifie la microflore du sol (Cluzeau *et al.*, 1994).

Les micro-organismes du sol sont largement hétérotrophes, ils dépendent strictement d'une source de matière organique pour en tirer leur énergie et se multiplier.

Cette corrélation est positive, mais peu significative, avec un $r = 0,363$, qui peut être expliqué par les très faibles taux de matière organique (varie entre 0.67 et 1.05), vu l'absence presque totale du couvert végétal dans la zone d'étude.

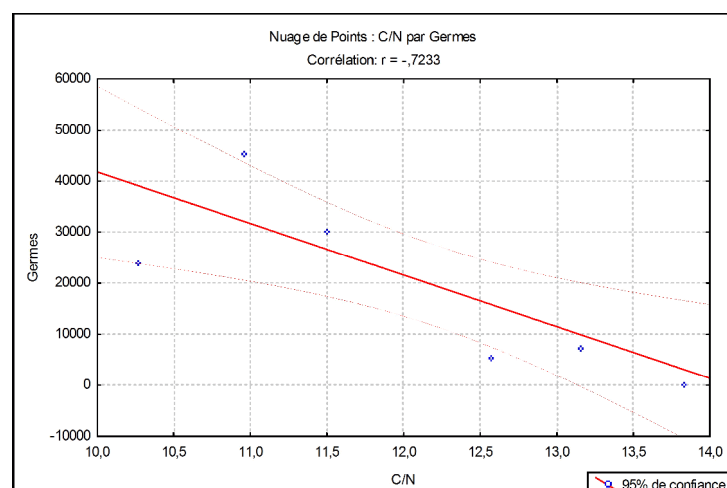


Figure n° 93 : Graphe de corrélation entre le rapport C/N et les micro-organismes du sol.

Le rapport carbone/azote (C/N) du sol est un indicateur du plus ou moins bon fonctionnement du sol. Quand il est élevé (> 12), il est le signe d'une dégradation trop lente de la matière organique. Quand il est faible (< 8), il met en évidence une activité trop importante au niveau du sol.

Le **graphe de la figure n° 9) ((C/N) /germes du sol)**, représente la corrélation entre les résultats des démembrements microbiens et ceux du rapport C/N des échantillons analysés, cette **corrélation est significative négativement** avec un **$r = -0,6217$** .

Ces résultats obtenus montrent que plus la densité des micro-organismes est faible plus le rapport C/N est élevé. Ces rapports varient entre 9.66 et 13.25.

Cet état des faits peut s'expliquer par la diminution de l'activité microbienne, due aux très faibles densités bactériennes, causées par les concentrations salines élevées ainsi que les conditions climatiques difficiles.

XII.5.8. Conclusion :

Dans le but d'inventorier et d'étudier les populations microbiennes des sols des régions semi-arides salins, nous avons utilisé la méthode de numération et comptage des colonies ; et malgré les limites de cette opération (**Jenkinson *et al.*, 1976**), l'utilisation de cette dernière a apporté certaines informations :

Malgré l'infime tranche d'eau, les fortes chaleurs et les taux de salinité élevés, ces sols renferment toujours une certaine proportion de micro-organismes (une activité restreinte, mais réelle).

Les densités des populations microbiennes dans les sols de la zone d'étude sont, remarquablement, très faibles. La microflore microbienne est affectée à des degrés variables par les quatre saisons de l'année (l'humidité, sécheresse et salinité). On note, par ailleurs, une certaine relation entre le dénombrement de la biomasse microbienne et les propriétés physico-chimiques des sols. Les résultats de cette étude montrent que certaines fonctions biologiques du sol sont dépendantes du degré de salinité du sol.



Chapitre XIII :

APPROCHE ET ANALYSE DE LA COMPOSITION FLORISTIQUE DE LA REGION D'ETUDE



XIII. Approche et analyse de la composition floristique de la région d'étude

La végétation est l'ensemble des plantes qui poussent en un lieu donné, selon leur nature. De la notion de végétation découlent les notions connexes de tapis végétal, de paysage végétal, de type de végétation et de formation végétale. On distingue la végétation naturelle composée de plantes sauvages, dites spontanées, de la végétation artificialisée composée de plantes cultivées. On considère ce qui pousse sur une surface donnée de sol, ou dans un milieu aquatique. On parle aussi de « couverture végétale » ou de « paysage végétal » (**Trochain, 1980**).

La phytosociologie est la branche de la botanique qui étudie la manière dont les plantes, dans la nature, s'associent dans l'espace et dans le temps pour composer les différentes entités de végétation. Les populations d'espèces végétales qui exploitent un même habitat naturel, ou biotope, constituent des phytocénoses, dont la phytosociologie cherche à décrire la composition et les variations floristiques, mais aussi la dynamique. Constatant que les diverses espèces de plantes ne se répartissaient pas au hasard et que l'on retrouvait souvent les mêmes espèces cohabitant dans des mêmes formes de végétation, les précurseurs de la phytosociologie, tel **Château (1866-1952)**, ont défini les associations végétales comme unités structurelles fondamentales de la couverture végétale (**Dupieux, 2004**).

D'autres phytosociologues, comme **Braun-Blanquet (1884-1980)** ou **Emberger (1897-1969)**, ont construit un système complexe de classification hiérarchisée, analogue à celui des espèces vivantes, prenant pour base l'association végétale considérée comme représentée par des «individus d'association».

Ce système a constitué un socle théorique pour le développement des outils pratiques de la connaissance écologique, notamment les inventaires floristiques, et il a permis de mettre de l'ordre dans la compréhension des affinités entre les communautés d'espèces et entre celles-ci et le milieu naturel (**Daurby, 2007**).

L'échantillonnage constitue la base de toute étude floristique, il désigne l'ensemble des opérations qui ont pour objet de relever dans une population les individus devant constituer l'échantillon (**Gounot, 1969**).

L'échantillonnage des communautés végétales doit comprendre deux (2) phases :

- La première, est constituée par l'analyse des échantillons eux-mêmes pour vérifier s'ils répondent aux critères d'homogénéité et de représentativité.
- La deuxième, correspond à la comparaison des échantillons pour tirer des conclusions valables sur les communautés.

XIII.1. Le choix des stations :

Pour lever toute ambiguïté, il s'avère nécessaire de définir le terme « Station ». La station est la surface dans laquelle on a effectué le relevé phytoécologique, elle représente une surface où les conditions écologiques sont homogènes et où la végétation est uniforme (**Guinochet, 1973**).

Ainsi, le choix des stations tient compte de la physionomie de la végétation (densité du couvert, composition floristique...) et des conditions écologiques (texture du sol, position topographique, microclimat, exposition des versants...) (**Guinochet, 1973**).

XIII.2. La méthode et les caractères analytiques des relevés :

L'analyse de la structure végétale prend en compte la méthode des relevés floristiques qui se résument à une liste exhaustive de toutes les espèces végétales présentes. Cette liste floristique change d'une station à une autre, d'une année à l'autre dans une même station.

Les relevés ont été réalisés au printemps, saison considérée comme optimale, où chacun de ces relevés comprend des caractères écologiques, d'ordre stationnel, ou mesurés sur le terrain, comme suit :

- Localisation géographique de la station,
- Topologie (pente, exposition),
- Altitude,
- Nature du substrat,
- Recouvrement,
- Type physionomique de la végétation.

Actuellement, la méthode des relevés s'appuie sur la **méthode de Braun-Blanquet** «aire minimale (**Braun-Blanquet, 1952 ; Gounot, 1969**) », qui rend compte de la nature de l'association végétale.

XIII.2.1. L'Aire minimale :

La méthode de l'aire minimale a été établie par **Braun-Blanquet (1952)**, puis revue par **Gounot et al. (1973)**. Cette aire varie sensiblement en fonction du nombre d'espèces annuelles au moment de l'exécution des relevés et, par conséquent, des précipitations et des conditions d'exploitation (Djebli 1984).

Par la courbe aire-espèce, on détermine l'aire minimale qu'il faudra échantillonner pour avoir une représentativité optimale.

Sur le terrain, à l'aide de mètre et de cordes, on trace, en premier lieu, une surface d'un mètre carré (1m²) pour identifier uniquement les nouvelles espèces qui apparaissent et ainsi de suite (4m², 8m², 16m²,.....), jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'espèces nouvelles (**figure n° 94**) (**Gounot, 1969**).

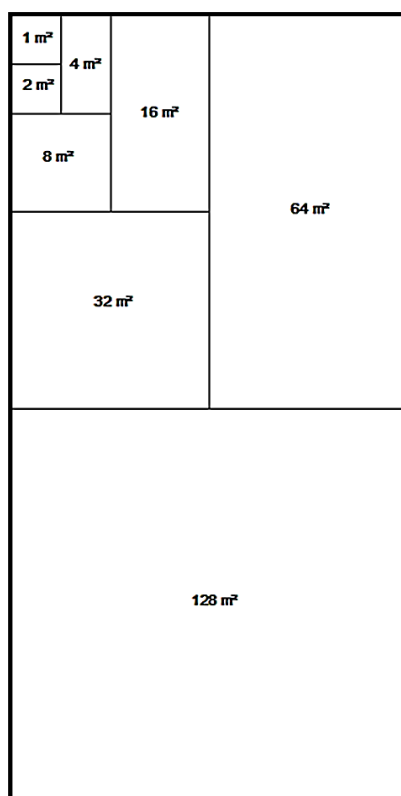


Figure n° 94 : Schéma dispositif classique pour déterminer la courbe aire-espèce (Gounot, 1969).

XIII.2.2. Le Coefficient d'abondance/dominance :

L'**abondance**, est le nombre total des individus de chaque espèce dans l'échantillon total, et la **dominance**, est l'aire occupée par une espèce, par aire unitaire, calculée à partir de la surface terriers ou recouvrement. C'est une expression de l'espèce relative, occupée par l'ensemble des individus de chaque espèce, espace qui est déterminé à la fois par leur nombre et par leur dimension (Guinochet, 1973).

Le recouvrement, est une estimation moyenne qui est définie théoriquement comme : le pourcentage de la surface du sol qui serait recouverte si l'on projetait verticalement sur le sol des individus de l'espèce (Gounot, 1969).

Braun-Blanquet (1953), a adapté une échelle qui varie de + à 5, selon le nombre d'individus dans le recouvrement :

Echelle mixte d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Meddour, 2011) :

r : individus très rares et leur recouvrement est négligeable

+ : individus rares et recouvrement très faible

1 : individus peu ou assez abondants, de recouvrement faible < 1/20 de la surface

2 : individus abondants ou très abondants, recouvrant 1/20 à 1/4 de la surface

3 : nombre d'individus quelconque, recouvrant de 1/4 à 1/2 de la surface

4 : nombre d'individus quelconque, recouvrant de 1/2 à 3/4 de la surface

5 : nombre d'individus quelconque, recouvrant plus de 3/4 de la surface.

XIII.2.3. L'Indice de Stabilité :

Cet indice, traduit la tendance au groupement des individus d'une espèce (**Gounot, 1969**).

Echelle de sociabilité (ou d'agrégation) de Braun-Blanquet (Meddour, 2011) :

- 1 : individus de l'espèce isolés (répartis de façon ponctuelle ou très diluée)
- 2 : en petits groupes (formant des peuplements ouverts, ± étendus, à contours diffus)
- 3 : en groupes (formant des peuplements fermés mais fragmentés en îlots peu étendus)
- 4 : en colonies (formant des peuplements fermés assez étendus, à contours nets)
- 5 : en peuplements denses (formant des peuplements denses et très étendus).

XIII.2.4. L'indice de Fréquence :

C'est un indice à caractère synthétique ; la présence indique le nombre de relevés où l'espèce « x » est présente, il s'exprime par la formule ci-après :

$$F\% = \frac{n}{N} \times 100$$

Dont :

- F** : l'indice de fréquence
- n** : le nombre de relevés où l'espèce « x » existe
- N** : le nombre total de relevés effectués.

En fait, la **fréquence** traduit la régularité de la distribution d'une espèce dans une communauté végétale.

Rietz (1920), a ensuite rangé les fréquences en cinq (5) classes :

- Classe I** : F entre 0 et 20 % (espèce très rare)
- Classe II** : F entre 20 et 40 % (espèce rare ou accidentelle)
- Classe III** : F entre 40 et 60 % (espèce fréquente)
- Classe IV** : F entre 60 et 80 % (espèce abondante)
- Classe V** : F entre 80 et 100 % (espèce très abondante ou constante).

L'un des objectifs de notre étude, porte également sur l'analyse des groupements floristique de la région d'étude. Ces groupements sont caractérisés par une grande diversité floristique qui est liée principalement aux facteurs écologiques et anthropiques.

Ainsi, cette analyse pourra nous renseigner sur la présence de ces groupements, leurs dispositions spatiales et l'impact de la salinité et des changements climatiques sur cette diversité floristique.

Pour l'analyse de la composition floristique, nous avons choisi de se rapprocher auprès de la station d'El Hamadna (Wilaya de Relizane), pour les raisons suivantes :

1. La proximité de cette station de la zone d'étude
2. L'importance des données collectées par les services de cette station.

XIII.3. La description de la composante floristique de la région d'étude :**XIII.3.1. L'analyse de la flore totale et identification des groupements :****XIII.3.1.1. Les types biologiques :**

Les types biologiques, ou formes biologiques, désignent le comportement adaptatif de l'espèce. Elles renseignent sur le type de la formation végétale, son origine et ses transformations.

Les types biologiques d'une plante sont des caractéristiques morphologiques, grâce auxquelles les végétaux sont adaptés aux milieux dans lesquels ils vivent (**Dajoz, 1996**).

Selon **Raunkiaer (1934)**, les types biologiques sont considérés comme une expérience de la stratégie adaptative de la végétation aux conditions du milieu.

La classification des espèces, selon les types biologiques de **Raunkiaer (1934)**, s'appuie principalement sur l'adaptation de la plante à la saison défavorable, en s'organisant pour traverser la période critique du cycle saisonnier, qui peut être l'hiver, à cause du froid, ou l'été, à cause de la sécheresse.

La classification à laquelle nous nous sommes référés est celle de **Raunkiaer**. Elle se base sur la position qu'occupent les méristèmes, en dormance, par rapport au niveau du sol durant la saison difficile. **Raunkiaer**, a regroupé ses formes en type biologique dont chacun traduit un équilibre adaptatif avec les conditions du milieu. Parmi les principaux types biologiques définis, on peut évoquer les catégories suivantes :

• **Phanérophytes (PH) : (Phanéros = visible, phyte = plante).**

Plantes vivaces, principalement arbres et arbrisseaux, les bourgeons, pérennes, situés sur les tiges aériennes, dressés et ligneux, à une hauteur de 25 à 50 m au-dessus du sol, les feuilles tombent ou non et les zones les plus sensibles (méristèmes) sont protégées par des structures temporaires de résistance : les **bourgeons**.

On peut les subdiviser en :

Hauteur :

- Macro-phanérophytes : plus de 30 m
- Méso-phanérophytes : de 10 à 30 m
- Micro-phanérophytes : de 2 à 10 m
- Nano-phanérophytes : de 0.5 à 2 m.

Feuillaison :

- Caducifolié
- Sempervirent.

Aspect de la plante :

- Lianes
- Succulentes
- Herbacées tropicales
- Drageonnâtes ou macrottantes.

• **Chamaephytes (CH) : (Chami = à terre).**

Herbes vivaces et sous arbrisseaux, dont les bourgeons hibernants sous à moins de 25 cm, au-dessus du sol, les feuilles tombent ou non, les bourgeons les plus bas bénéficient d'une protection.

Rameaux :

- Ligneux
- Herbacées.

Feuillaison :

- Caducifolié
- Sempervirent.

Aspect de la plante :

- Lianes, arquées et courtes
- Succulentes et charnues
- Avec stolons Herbacées
- Coussinet
- Bulbes au-dessus du sol
- Rosettes perchées.

• **Hémicryptophytes (HE) : (crypto = caché).**

Plantes vivaces, à rosettes de feuilles étalées sur le sol, les bourgeons prenant sont au ras du sol ou dans la couche superficielle du sol, stratégie mixte qui combine celle des **cryptophytes** et des **chamaephytes**, la partie aérienne est herbacée, elle disparaît à la mauvaise saison.

Durée de vie :

- Bisannuelles
- Vivaces.

Forme :

- Lépreuses
- Rosette renouvelée chaque année.

• **Cryptophytes (ou géophytes) (GE).**

Espèces pluriannuelles, herbacées, avec organes souterrains portant les bourgeons. Ces plantes passent la période froide protégées par le sol, la partie aérienne meurt et les bourgeons sont cachés dans le sol. Peuvent être des **cryptophytes** à **bulbe**, à **rhizome** ou à **tubercule**.

Forme de l'organe souterrain :

- bulbes
- tubercule
- rhizome plus ou moins tubérisé, entre-nœuds courts
- stolons plus ou moins tubérisé, entre-nœuds longs.

Forme :

- lianes
- autres.

• **Thérophytes (TH) : (theros = été) (plantes annuelles).**

Plantes qui germent après l'hiver et font leurs graines avec un cycle de moins de 12 mois, ces plantes passent l'hiver à l'état de graine, l'ensemble de la plante meurt.

- Annuelles d'été, sous appareil végétatif l'hiver
- Annuelles d'hiver, avec appareil végétatif l'hiver.

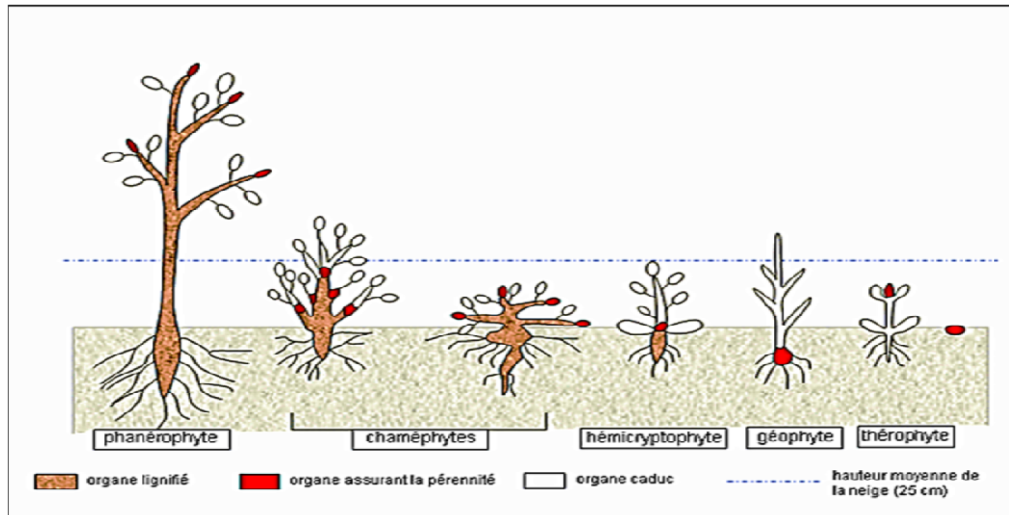


Figure n° 95 : Végétaux et froid, classification selon Raunkiaer (Ramade, 1984).

L'étude des types biologiques au niveau de la station d'El Hamadna (wilaya de Relizane), a donné la répartition suivante, avec la présence de cinq (5) types et l'abondance, en premier, des Thérophytes, suivis, ensuite, par les Chamaephytes, Hémicryptophytes, Géophytes et Phanérophytes (tableau n° 76).

Tableau n° 76 : Répartition des types biologiques au niveau de la station d'El Hamadna.

Types biologiques	Station El Hamadna	
	Présence %	Abondance %
Thérophytes	54,24	53,17
Chamaephytes	28,15	37,44
Géophytes	7,99	2,78
Hémicryptophytes	6,47	4,5
Phanérophytes	3,11	2,1

Ils sont groupés en cinq (5) types biologiques, selon les pourcentages suivants :

- Thérophytes : 53,70%
- Chamaephytes : 32,79%
- Hémicryptophytes : 5,48%
- Géophytes : 5,38%
- Phanérophytes : 2,60%

On a, donc : **Th > Ch > Hém > Gé > Ph**.

Il convient de signaler que certaines espèces peuvent changer de type biologique sous climat aride, c'est le cas, par exemple, d'espèces décrites comme des Hémicryptophytes mais se comportant comme des Thérophytes sous climat aride. C'est le cas de *Crepis vesicaria*, *Leontodon* sp. ou *Plantago albicans* (Aidoud, 1989).

Cette étude a permis d'identifier 175 taxons, pour la plupart, halophiles (halophytes, vraies et facultatives), appartenant à 127 genres et 39 familles. Parmi ceux-ci, nous avons noté 36 espèces, rares ou assez rares, et 5 endémiques. Les familles des Asteraceae et Poaceae, sont

les mieux représentées. Avec un lot important de thérophytes, le spectre biologique semble être typique de l'ambiance bioclimatique semi-aride, ce qui a été également observé sur le plan climatique régional. Par ailleurs, cette thérophytisation a vraisemblablement aussi une autre origine qui serait le pâturage, très intense dans ces régions.

Il s'avère, ainsi, que ces deux facteurs (changement climatique et surpâturage) ont joué un rôle important dans la variation floristique observée au niveau de ces bassins fermés. Les longues saisons sèches, associées aux remontées de sel, ainsi que le broutage continu dans l'espace et dans le temps, ont affecté certainement leur extension et composition floristique. Les espèces citées par **Dubuis et al. (1960)**, qui n'ont pas été retrouvées à l'issue de la présente étude, devraient faire l'objet de sérieuses réflexions quant à leur existence et à leur statut de conservation.

Ces zones humides de la région d'Oran, qui jouent un rôle important dans le maintien d'une biodiversité floristique et faunistique importante, méritent une protection et une conservation digne de leurs classements dans la convention Ramsar.

Pour la **station d'El Hamadna**, les thérophytes dominent soit en nombre d'espèces (Présence) ou en abondance. Pour la présence, la station a enregistré (53.57%), en ce qui concerne l'abondance, elle a enregistré un taux de (52.57%).

Pour **Grime (1997, in El Hadj Mimoun et al., 2004)** : « cette thérophytisation est liée encore aux perturbations du milieu par le pâturage ». Aussi, **Floret et al. (1992)** signalent que plus un système est influencé par l'homme (surpâturage, culture), plus les thérophytes y prennent de l'importance.

Les Chamaephytes enregistrent un taux de présence de 28.57%, et en abondance, avec un taux de 38,97%. Elles sont les plus fréquentes dans les **matorrals** et sont mieux adaptées à l'aridité (**Ellenberg et al. 1968**).

Les Chamaephytes sont mieux adaptées à la sécheresse, car elles sont plus xérophiles. Le pâturage favorise, d'une manière globale, les Chamaephytes souvent refusées par les troupeaux (**Benabadi et al., 2002**).

Les Hémicryptophytes et les Géophytes, ont le même taux de présence de 07.14%, mais qui diffèrent en abondance relative, où on a : 04.77%, pour les Hémicryptophytes, et 02.20%, pour les Géophytes. Ce faible pourcentage, enregistré par les Hémicryptophytes et les Géophytes, peut s'expliquer par la pauvreté du sol en matière organique (M.O), phénomène confirmé par **Barbero et al. (1989)**.

Enfin, le faible pourcentage des Phanérophytes de 9,80 % à 6,82 %, nous a permis de confirmer la dégradation du tapis végétal. Ceci peut être expliqué par le défrichage et la sur-utilisation du bois (**figure n° 96**).

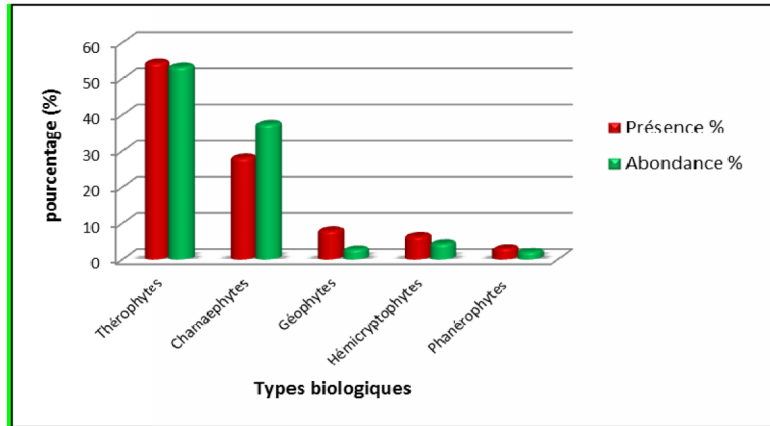


Figure n° 96 : Taux de répartition des types biologiques au niveau de la station d'El Hamadna.

XIII.3.1.2. Les types morphologiques :

Les herbacées annuelles dominent, avec un taux de présence enregistrée de 53.57% et un pourcentage d'abondance de 52.57%. L'accroissement des herbacées annuelles, est dû à l'envahissement des thérophytes, qui sont en général des herbacées annuelles (**tableau n° 77** et **figure n° 97**). Pour **Romane (1987)** et **Gadrot (1999)** : « il y a une bonne corrélation entre les types biologiques et de nombreux caractères phénomorphologiques ».

Tableau n° 77 : Répartition des types morphologiques au niveau de la station d'El Hamadna.

Station	El Hamadna	
	Présence %	Abondance %
Types morphologiques		
Ligneux vivaces	60,49	56,78
Herbacées vivaces	29,62	38,11
Herbacées annuelles	9,89	5,1

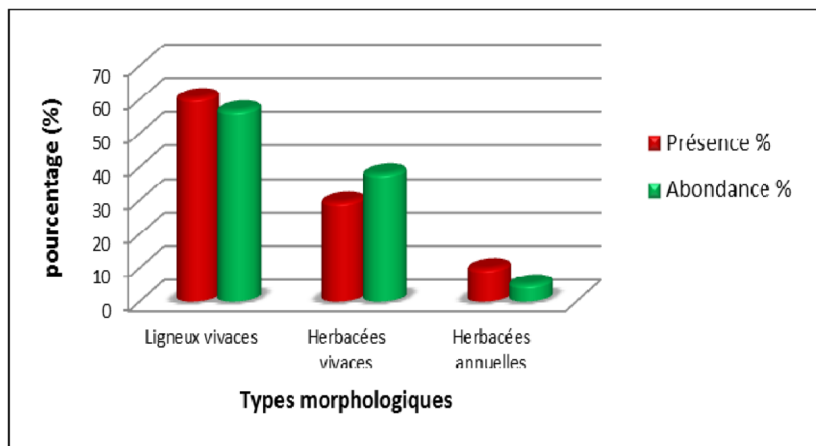


Figure n° 97 : Taux de répartition des types morphologiques à la station d'El Hamadna.

XIII.3.1.3. La liste floristique :

La flore de la zone d'étude englobe plusieurs espèces de plantes spontanées. Les plantes inventoriées sont groupées dans la liste floristique (**tableau n° 78**). Le type morphologique, le type biologique, et le type de distribution biogéographique sont affectés pour chaque espèce.

Tableau n° 78 : Espèces inventoriées dans la zone d'étude (Espèces, famille, type morphologique, biologique et biogéographique).

N°	Espèces	Familles	Type biologique	Type morphologique	Type biogéographique
01	Salsola kali	Amaranthaceae	Thérophyte	H.A	Paléo. Temp
02	Halopeplis amplexicaulis	Amaranthaceae	Thérophyte	H.A	Méd.
03	Malva sylvestris	Malvaceae	Thérophyte	H.A	Euras
04	Bellis annua	Asteraceae	Thérophyte	H.A	Circum Méd.
05	Convolvulus althaeoides	Convolvulaceae	Thérophyte	H.A	Macar. Méd.
06	Halogeton sativus	Amaranthaceae	Thérophyte	H.A	W. Méd.
07	Medicago minima	Fabaceae	Thérophyte	H.A	Cosmop.
08	Trifolium angustifolium	Fabaceae	Thérophyte	H.A	Méd.
09	Scabiosa stellata	Caprifoliaceae	Thérophyte	H.A	W. Méd.
10	Aegilops triuncialis	Poaceae	Thérophyte	H.A	Méd.
11	Plantago lagopus	Plantaginaceae	Thérophyte	H.A	Méd.
12	Bromus rubens	Poacées	Thérophyte	H.A	Paléo. Sub.
13	Papaver rhoeas	Papaveraceae	Thérophyte	H.A	Paléo. Temp
14	Calendula arvensis	Asteraceae	Thérophyte	H.A	Sub. Méd.
15	Calendula	Astéracées	Thérophyte	H.A	Sub. Méd.
16	Atriplex halimus	Amaranthaceae	Chamaephytes	L.V	Cosmop
17	Salsola tetragona	Amaranthaceae	Chamaephytes	L.V	Sah.
18	Atriplex glauca	Amaranthaceae	Chamaephytes	L.V	Sah. Méd.
19	Cistanche lutea	Orobanchaceae	Chamaephytes	L.V	Sah. Méd.
20	Juncus maritimus	Juncaceae	Chamaephytes	H.V	Cosmop
21	Arthrocnemum glaucum	Amaranthaceae	Chamaephytes	H.V	Ancien monde
22	Suaeda mollis	Amaranthaceae	Chamaephytes	H.V	Sah. Sind
23	Salicornia fruticosa	Amaranthaceae	Chamaephytes	L.V	Cosmop
24	Chamaerops humilis	Arecaceae	Chamaephytes	H.A	Méd.
25	Echium vulgare	Boraginaceae	Hémicryptophyte	H.V	Méd.
26	Pallenis spinosa	Asteraceae	Hémicryptophyte	H.V	Eur. Méd.
27	Sanguisorba minor	Rosaceae	Géophyte	H.V	Euras
28	Aelurops littoralis	Poaceae	Géophyte	H.V	Méd.
29	Tamarix gallica	Tamaricaceae	Phanérophytes	L.V	Méd.

- **H.A** : Herbacée Annuelle ; **L.V** : Ligneux Vivace ; **H.V** : Herbacée Vivace.

Cependant, le relevé floristique réalisé au niveau de la station concernée, pendant la période d'étude, a révélé les espèces et les taux (%) les concernant, tels que donnés dans le **tableau n° 79**, ci-dessous.

Tableau n° 79 : Relevé floristique de la station d'El Hamadna.

Station	El Hamadna	Relevé floristique de la station d'El Hamadna															
Exposition	Nord-Ouest																
Pente	3% à 12%																
Substrat	Dépôts fins																
% recouvrement																F	P%
N° du relevé		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	F	P%
Espèces																F	P%
Salsola kali	3	3		2	2	1	+	+	1	2	1	0	1	2	13	86,66	
Halopeplis amplexicaulis		3	1		3		1			2	+	1	1	2	11	66,33	
Malva sylvestris	2	2				2			+					+	09	35,66	
Bellis annua	4	2		3					2	2	3				11	66,66	
Convolvulus althaeoides	1					1	+		+	r			1		04	16,66	
Halogeton sativus	r			+	1				1	1		+	1		11	26,66	
Medicago minima	+			+		2		1	1						09	30,33	
Trifolium angustifolium	+				+	r				1	+			1	01	6,66	
Scabiosa stellata	1				1		+	2			1	1	1	2	13	60	
Aegilops triuncialis		1		1					+	r					03	13,33	
Plantago lagopus						+	1				1	1			09	16	
Bromus rubens	r				+	1		1		1			1	1	11	26,36	
Papaver rhoeas						r	+								02	6,66	
Calendula arvensis		+	r			1	+				1	+	1	+	09	20	
Calendula	+				1								+	1	03	6,66	
Atriplex halimus			r				1			r	+	1			02	6,33	
Salsola tetragona	1			r	1		+		+	+					02	6	
Atriplex glauca						2		+	1						01	6,66	
Cistanche lutea				1			1		2	1				2	05	33,33	
Juncus maritimus	+		+	+		2	1						r		01	13,66	
Arthrocnemum glaucum				+	1						+		+		02	6,33	
Suaeda mollis						3					+	1		+	04	16,66	
Salicornia fruticosa	+	1		1		+			r	1	+	1			05	33	
Chamaerops humilis			+	r				1	+	1			+	1	07	30,66	
Echium vulgare		1	+		+	r			1			+	1		09	23,33	
Pallenis spinosa				r	r	1			+	r	+				06	13,33	
Sanguisorba minor	+	r			1	+	1			+	1			+	01	13,66	
Aelurops littoralis		+	r				1	+	1			+	1		02	13,33	
Tamarix gallica	2				+	3			1				+		11	66,33	

XIII.4. L'analyse floristique par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) :

Le traitement statistique est un outil qui peut nous aider à déterminer quelques facteurs écologiques, qui régissent la composition floristique de la région d'étude.

L'analyse phytoécologique permet de préciser l'effet des facteurs écologiques sur la dispersion, le développement, l'abondance et l'agencement des espèces. Deux approches prévalent dans l'analyse d'un même lot de données phytoécologiques (**Traoré, 1991 ; Le Bourgeois, 1991, in Allout, 2013**) : l'approche analytique, ou méthode des profils écologiques, et l'approche globale, ou méthode d'analyses multivariées, c'est le cas de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) utilisée dans cette étude. Elle s'avère très adaptée aux études phytosociologiques et phytoécologiques, en ce sens qu'elle permet d'obtenir une vision synthétique des liaisons entre espèces et facteurs du milieu (**Romane, 1972, in Allout, 2013**). Elle donne la possibilité de résumer, en quelques dimensions importantes (ou axes factoriels indépendants), la plus grande variabilité de la matrice des données.

Cette technique décrite, en particulier sous forme graphique, le maximum d'informations contenues dans un tableau de données, croisant des variables et des individus (relevés et espèces), à visualiser la structure générale des données.

Le gros avantage que nous voyons dans la méthode d'analyse factorielle (AFC) est qu'elle donne directement la figure représentative de l'ensemble à classer, et ce, avec une totale objectivité, évidemment (**Roux et al., 1967**).

On peut alors représenter, variables et individus dans un même espace de dispersion et connaître la quantité d'information expliquée par ces axes factoriels indépendants (**Legendre et al., 1984**), rendant ainsi compte du maximum de covariance entre les descripteurs. Il s'agit donc d'une approche globale qui dégage les relations essentielles existant entre la végétation et le milieu.

L'AFC, permet de savoir dans quelle mesure la répartition des espèces peut être expliquée par les conditions du milieu inventoriées (**Lebreton et al., 1991**).

Décrite aussi par **Géhu (1980)**, comme l'une des meilleures techniques d'ordination appliquée au traitement des données phytosociologiques, introduite et développée très tôt par l'équipe du Professeur Guinochet.

Compte tenu des données disponibles, l'analyse statistique adéquate pouvant répondre à nos objectifs est l'analyse factorielle des correspondances (AFC).

Afin de pouvoir répondre aux attentes concernant la distribution des espèces végétales en fonction des différents facteurs, écologiques et anthropiques, nous avons effectué une AFC des données concernant les groupements floristiques collectées par la station d'El Hamadna qui a donné les résultats suivants (**tableau n° 80**) :

Tableau n° 80 : Résultats de l'AFC pour les deux axes étudiés au niveau de la station d'El Hamadna.

Taxons	Code	Axe 1	Axe 2
Atriplex halimus	ah	2,8264	2,09262
Tamarix gallica	tg	0,27675	-0,58675
Salsola kali	sk	0,90764	1,04229
Salsola tetragona	st	0,55336	1,72719
Atriplex glauca	ag	-0,60096	-0,47217
Cistanche lutea	cl	0,48204	-0,28573
Juncus maritimus	jm	1,22359	-0,2343
Arthrocnemum glaucum	arg	-1,07766	2,84426
Suaeda mollis	sm	-0,97342	-0,29197
Halopeplis amplexicaulis	ha	-0,56447	0,65428
Salicornia fruticosa	sf	0,06977	-0,21622
Echium vulgare	ev	-1,15265	-0,43557
Malva sylvestris	ms	1,08775	-0,62915
Bellis annua	ba	1,58007	-0,39396
Convolvulus althaeoides	cal	0,98405	-0,11034
Medicago minima	mm	-1,27969	-1,27754
Pallenis spinosa	ps	-1,31662	-0,19256
Trifolium angustifolium	ta	-0,21128	0,31217
Scabiosa stellata	ss	-0,18118	1,03703
Plantago lagopus	pl	0,17186	0,96186
Papaver rhoeas	pr	-0,68957	0,18038
Sanguisorba minor	sam	-0,07842	-0,84794
Calendula arvensis	ca	-1,45881	-0,49932
Aelurops littoralis	al	0,43633	-0,09619
Brachypodium distachyum	bd	-0,51609	-0,39565
Halogeton sativus	hs	1,19893	0,36991
Bromus rubens	br	-0,67609	-0,62565
Aegilops triuncialis	at	-0,49609	-0,76565

XIII.4.1. L'interprétation de l'axe 1 :

Du tableau n° 80, donné ci-dessus, représentant les groupements floristiques collectés à la station d'El Hamadna, ont constitué une base de données, et ce, afin de les interpréter selon l'Axe1, dans le plan factoriel des espèces (Axe 1 – Axe 2) (**figure n° 98**).

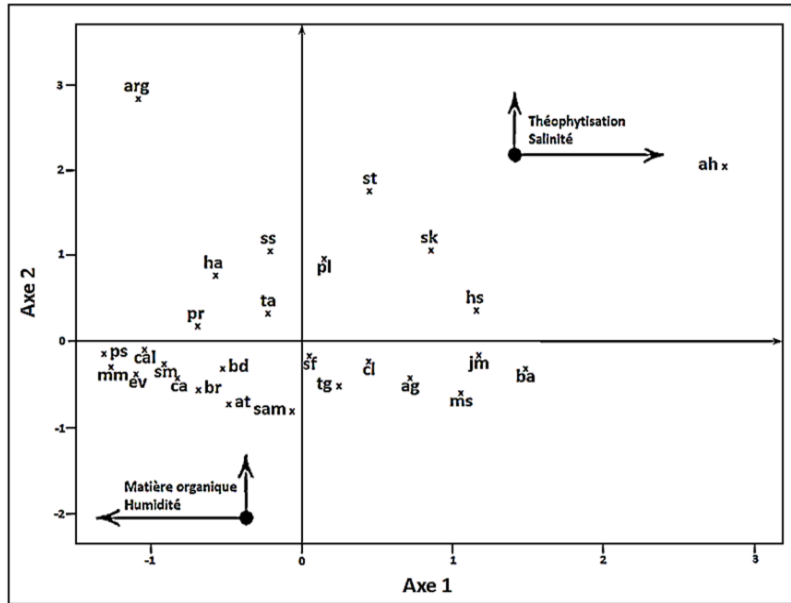


Figure n° 98 : Plan factoriel des espèces (Axe 1 – Axe 2) de la station d'El Hamadna.

En outre, dans le **tableau n° 81**, ci-contre, sont consignés les taxons à fortes contributions qui ont servi à représenter les données des deux axes, 1 – 2, et leur interprétation du côté positif (Axe1), ainsi que du côté négatif (Axe2).

Tableau n° 81 : Taxons à fortes contributions pour l'axe 1 de l'AFC.

Côté positif de l'axe 1	Côté négatif de l'axe 1
Tamarix gallica (0.27)	<i>Medicago minima</i> (-1.27)
Plantago lagopus (0.17)	<i>Echium vulgare</i> (-1.1)
Atriplex gaura (0.75)	<i>Pallenis spinosa</i> (-1.31)
Salsola tetragona (0.5)	<i>Trifolium angustifolium</i> (-0.21)
Cistanche lutea (0.48)	<i>Arthrocnemum glaucum</i> (-1.07)
Juncus maritimus (1.2)	<i>Suaeda mollis</i> (-0.9)
Salsola kali (0.9)	<i>Halopeplis amplexicaulis</i> (-0.55)
<i>Malva sylvestris</i> (1.08)	<i>Sanguisorba minor</i> (-0.07)
Halogeton sativus (1.19)	<i>Scabiosa stellata</i> (-0.18)
<i>Bellis annua</i> (1.5)	<i>Bromus rubens</i> (-0.67)
<i>Atriplex halimus</i> (2,82)	<i>Calendula arvensis</i> (-1.4)
<i>Salicornia fruticosa</i> (0.06)	<i>Aegilops triuncialis</i> (-0.49)
	<i>Papaver rhoeas</i> (-0.68)
	<i>Halopeplis amplexicaulis</i> (-0.56)
	<i>Pallenis spinosa</i> (-1.31)
	<i>Brachypodium distachyum</i> (-0.51)

Du **côté positif**, à l'extrémité de l'axe, s'individualise un groupe d'espèces relevant du domaine pré-forestier et indiquant un milieu plus ou moins riche en matière organique : *Medicago minima*, *Echium vulgare*, *Pallenis spinosa*, *Convolvulus althaeoides* et *Trifolium angustifolium*. Puis un deuxième groupe, constitué de trois (3) halophytes, dont deux (2) préférant un milieu hygrohalophile : *Arthrocnemum glaucum* et *Halopeplis amplexicaulis*.

Dans ce cas, on peut dire que ce côté, de l'**Axe1**, exprime vraisemblablement une certaine humidité (H) et un taux (%) de matière organique (M.O) appréciable.

Du **côté négatif**, on a des espèces halophytes : *Atriplex halimus*, *Halogeton sativus* et *Salsola kali*, mêlées à deux (2) thérophytes : *Bellis annua* et *Malva sylvestris*, vue l'ogmentation de la salinité de ce côté de l'axe1.

XIII.4.2. L'interprétation de l'axe 2 :

Le **tableau n° 82**, suivant, représente l'emplacement des taxons à fortes contributions pour l'Axe 1 de l'AFC, sur les deux côtés de l'axe1, positif et négatif.

Tableau n° 82 : Taxons à fortes contributions pour l'axe1 de l'AFC.

Côté positif de l'axe 2	Côté négatif de l'axe 2
<i>Trifolium angustifolium</i> (0.31)	<i>Tamarix gallica</i> (-0.58)
<i>Arthrocnemum glaucum</i> (2.8)	<i>Atriplex glauca</i> (-0.47)
<i>Halopeplis amplexicaulis</i> (0.65)	<i>Cistanche lutea</i> (-0.28)
<i>Scabiosa stellata</i> (1.03)	<i>Juncus maritimus</i> (-0.2)
<i>Papaver rhoeas</i> (0.18)	<i>Malva sylvestris</i> (-0.62)
<i>Salsola tetragona</i> (1.72)	<i>Bellis annua</i> (-0.39)
<i>Plantago lagopus</i> (0.96)	<i>Salicornia fruticosa</i> (-0.21)
<i>Salsola kali</i> (1.04)	<i>Medicago minima</i> (-1.27)
<i>Halogeton sativus</i> (0.36)	<i>Echium vulgare</i> (-0.43)
<i>Atriplex halimus</i> (2,09)	<i>Pallemis spinosa</i> (-0.19)
	<i>Suaeda mollis</i> (-0.29)
	<i>Sanguisorba minor</i> (-0.84)
	<i>Bromus rubens</i> (-0.6)
	<i>Calendula arvensis</i> (-0.49)
	<i>Aegilops triuncialis</i> (-0.76)
	<i>Brachypodium distachyum</i> (-0.39)
	<i>Convolvulus althaeoides</i> (-0.11)

D'après le **tableau n° 81**, ci-dessus, nous remarquons que les espèces halophytes dominent les deux côtés de l'axe2 (négatif et positif).

Du **côté positif**, *Malva sylvestris* et *Bellis annua* sont les plus contributantes : **-1.58** et **-1.43**.

Sur le **côté négatif**, se démarque *Atriplex halimus*, avec sa contribution élevée (3.67), suivi de *Tamarix gallica* (1.13) et *Salicornia fruticosa* (0.93).

La répartition des espèces halophytes tout le long de l'Axe2, donne l'impression que celui-ci exprime un gradient croissant de salinité

XIII.5. Conclusion :

L'écosystème de la plaine de la Mina est très fragile, les données bioclimatiques, les paramètres édaphiques et les actions anthropiques, influent directement sur la présence, l'abondance et la répartition géographique de la composition floristique spontanée de cette région.

Sur un espace où se conjuguent des facteurs climatiques, géographiques, lithologiques, activités humaines anarchiques et irréfléchies, une mauvaise gestion des espaces et un

développement non durable, on assiste à une dégradation continue dans le temps et dans l'espace de la biodiversité de la région d'étude.

Le taux (%) de recouvrement végétal oscille entre 20 et 30% dans la station d'El Hamadna, ce sont les facteurs édaphiques (salinité, humidité et matière organique) qui expliquent la répartition et les gradients formés par les groupes d'espèces.

Du point de vue de type biologique, les thérophytes dominant soit en nombre d'espèces (présence ou abondance). Cette situation résulte des changements climatiques et des multiples facteurs de dégradation que connaît la région. En effet, plusieurs auteurs, à l'exemple de **Sauvage (1960)**, **Gaussen (1963)**, **Nègre (1966)**, **Daget (1980-a)** et **Barbero *et al.* (1990)**, présentent la thérophytie comme étant une forme de résistance à la sécheresse, ainsi qu'aux fortes températures des milieux arides. La thérophytie est un indicateur de stade de dégradation ultime (**Quézel, 2000**).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), nous a permis de connaître les divers facteurs qui ont une influence sur le développement du tapis végétal et la répartition des espèces dans leurs milieux.

On peut conclure que la région d'étude est, généralement, menacée par deux (2) facteurs majeurs, à savoir : l'activité anthropique et le changement climatique.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Cette thèse a pour but principal de mettre en évidence les indicateurs de dégradation des eaux et des sols de la plaine de la Mina (Relizane), le suivi du processus et l'origine de leurs salinisations, ainsi que l'influence de cette salinité sur la biodiversité de la région d'étude. Aux termes de notre travail nous avons pu obtenir quelques résultats et fait des constats, qui peuvent contribuer à améliorer la connaissance des ressources en eau et sol de la région d'étude, ainsi que les états de ces derniers.

La région d'étude de la plaine de la Mina, qui tire son nom du dernier affluent important d'oued Cheliff, se situe dans un domaine qui comporte une région déprimée au nord-ouest de l'Algérie sur une superficie de 900 km². Elle est limitée au Nord, par le plateau de Mostaganem et les monts de Dahra, au Sud, par les monts de Béni Chougrane, à l'Ouest, par la plaine d'El-Habra et le massif de Bel Hacel, à l'Est, par le massif de l'Ouarsenis. Elle est caractérisée par sa topographie plane (60 à 100 m d'altitude).

Elle est classée dans l'étage bioclimatique aride, de variante tempérée, où la précipitation annuelle ne dépasse pas les 300 mm, avec une régression nette de 21.55%, par rapport aux données de Seltzer, cette pluviométrie est caractérisée par une irrégularité interannuelle et inter-saisonnière très marquée. Une saison sèche qui s'étale de fin février, jusqu'à presque mi-octobre soit sur presque 215 jours, la comparaison entre les données de Seltzer et les données actuelles, montre un allongement significatif de la période de sécheresse estivale et une accentuation de la sécheresse. Une température moyenne annuelle de 20,1°C avec une hausse de 1,7°C par rapport à la période étudiée par Seltzer (1913-1938) qui a enregistré une moyenne de 18,4°C.

L'évapotranspiration (ETP) potentielle annuelle est de 1517 mm. La comparaison des relevés mensuels de la pluviométrie et des valeurs de l'ETP, montre un déficit hydrique important de l'ordre de 1260,49 mm/an. Ce déficit est accentué de manière considérable durant la période allant de mars à octobre. Le climagramme enregistre un décrochement évident du bioclimat vers plus d'aridité et une tendance à la sécheresse, ce climat aride de la région est caractérisé par un été, chaud et sec, et un hiver, doux et peu humide. La combinaison de ces facteurs rend cette zone exposée au phénomène de salinisation. Tous ces résultats s'accordent avec l'hypothèse de changements climatiques.

Le climat méditerranéen aride, qui caractérise la région étudiée dans sa variante tempérée, permet l'existence des diverses formations végétales allant de la garrigue à la forêt, ces formations végétales sont certes fragiles mais adaptées aux conditions édapho-climatiques locales.

La plaine de la Mina occupe une superficie de 900 km², sa géologie forme une vaste dépression, comblée de dépôts Plio-quadernaires et du Miocène, profonds. La région est encadrée par : des massifs, essentiellement du Crétacé et Trias. La plaine est occupée, au Nord-est, par la Sebkhha de Benziane, d'une dimension de 1 600 hectares. Le remblaiement de la plaine de la Mina, s'est effectué au cours du Flandrien, grâce aux apports limoneux et argileux des oueds et des Chaâbets.

Le contexte hydrogéologique de la région d'étude est caractérisé par un réseau hydrographique bien développé où la totalité des oueds ont un écoulement temporaire, ils traversent la plaine et aboutissent dans la dépression salée. Deux (2) nappes principales y sont exploitées, qui sont :

- La nappe phréatique quaternaire, captée par de nombreux puits,
- La nappe des grès de l'Astien.

Les terrains quaternaires sont le lieu de bonnes circulations d'eau, l'épaisseur saturée de cette formation est suffisante (il est formé de plusieurs niveaux grossiers, sables, graviers, conglomérats bien développés).

A l'issue de cette étude, il ressort que les sols analysés sont majoritairement de texture limono-sableuse, avec un pH qui tend vers l'alcalinité et modérément calcaire. Leur faible teneur en matière organique leur confère une faible capacité d'échange cationique.

Cette étude a révélé aussi que les sols sont généralement salés à excessivement salés avec un réel risque d'alcalinisation, le chlore et le sodium sont les sels les plus répandus dans toute la région d'étude, le faciès chimique dominant de ces sols est de type chloruré-sodique.

Les ressources en eau de la région dépendent essentiellement des nappes souterraines, les eaux de ces nappes sont généralement médiocres et salées, leurs faciès chimiques sont semblables à celui des solutions des sols, ils sont de type chloruré-sodique, ces eaux sont de mauvaise qualité de façon générale, non utilisable pour l'irrigation.

La présence de ces nappes phréatiques dans le sous-sol est marquée par les mouvements de ses eaux qui modulent le mouvement des sels, en créant une dynamique verticale ascendante qui, en l'absence de lessivage et sous l'effet de l'évapotranspiration, favorise la remontée des sels par capillarité, surtout en période chaude. Ces nappes jouent un grand rôle dans la salinité des sols de la région. L'excès de salinité était observé durant la période sèche, dans les parties limitrophes de la Sebka de Benziene.

Ainsi, l'étude met en lumière que l'une des causes de cet excès de salinité est due aussi à l'évaporation intense des eaux très salées de la sebka, entraînant de fortes concentrations des sels.

L'autre cause de la salinité des sols est la présence de nappes phréatiques salées, peu profondes, riches essentiellement en chlorures et en sodium. Outre ce phénomène, s'ajoutent des apports extérieurs participant à la salinisation des sols et des nappes elles-mêmes, nous pouvons mettre en cause l'irrigation intensive et l'infiltration des eaux salées des oueds, des bassins versants, qui se déversent dans la plaine de la Mina, sans oublier les dépôts éoliens à base de matière salée.

L'analyse de la répartition spatiale de la conductivité électrique, a mis en évidence une dynamique spatiale de la salinité, en relation avec le climat (aride), l'activité anthropique, le mauvais drainage et la topographie.

Dans un autre contexte, la caractérisation et l'étude microbiologique, effectuées pendant les deux périodes de l'année (le mois d'août, représentant la période sèche, et le mois de février,

la période humide), mettent en évidence que la densité de la microflore totale et son comportement sont différents, d'une période à une autre, et démontrent aussi l'influence des constituants du sol et ses paramètres sur la dynamique de la microflore.

Les facteurs climatiques ayant régné au cours des deux périodes d'échantillonnage, ont influé directement sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques du sol, étant donné que la zone d'étude est pauvre en matière organique et que la variation des résultats des autres paramètres est très faible, exception faite pour l'humidité et la salinité du sol, qui restent les facteurs les plus remarquables de par leurs distinctions pour chaque période et leurs effets déterminant sur les densités et l'activité microbienne.

En effet, les éléments de la granulométrie n'agissent pas directement sur la distribution des populations microbiennes mais, au contraire, c'est l'humidité qui est liée à ces derniers qui influence cette répartition. Ainsi, les densités des micro-organismes les plus élevées sont enregistrées dans les échantillons aux fortes teneurs en argiles et limons. Car les sols contenant de l'argile ou du limon, présentent des pores plus petits et peuvent contenir suffisamment d'eau, même en période de sécheresse, et ce, pour satisfaire les besoins des micro-organismes.

La matrice de corrélation a révélé que l'humidité et la salinité sont fortement corrélées, et ce, durant la période de prélèvement des échantillons. Ainsi, pendant la période sèche, l'humidité enregistrée est au plus bas niveau, c'est le contraire de la conductivité électrique qui marque son plus haut pic, grâce à la concentration des sels, après les fortes évapotranspirations enregistrées. Nous notons par contre, l'effet inverse durant la période humide où l'abondance des pluies (réhumectation) permet la dilution des sels, d'où la baisse considérable des concentrations salines.

Ces deux paramètres influents directement sur les populations microbiennes, selon les résultats obtenus, l'humidité favorise la prolifération et l'activité microbienne ; par contre, la salinité inhibe cette activité et devient, à de fortes concentrations, létale pour les micro-organismes du sol. En effet, l'étude affiche une valeur totale de 28.541.500 germes/g de sol, durant la période sèche, et de 52.783.000 germes/g de sol, pendant la période humide, soit un taux d'évolution considérable qui avoisine les 54,07%.

Malgré toutes ces contraintes, les micro-organismes dénombrés sont toujours présents et, parfois, avec des teneurs relativement appréciables, ce qui témoigne de leur forte aptitude d'adaptation à la sécheresse et aux taux de salinité, et ce, par augmentation de leur potentiel osmotique intracellulaire et l'utilisation des eaux condensées figées à l'intérieur des micros capillaires du sol.

L'étude floristique réalisée a été basée sur l'analyse et la caractérisation de la composition et la diversité des espèces végétales de la région d'étude. Le taux de recouvrement végétale oscille entre 25 et 30% dans la station d'El Hamadna, réparti sur cinq (5) types biologiques, Thérophytes : 53,70%, Chaméphytes : 32,79%, Hémicryptophytes : 5,48%, Géophytes : 5,38%, Phanérophytes : 2,60%, ainsi que trois (3) types morphologiques, dont les ligneux vivaces : 60,49%, Herbacées vivaces : 29,62%, Herbacées annuelles : 9,89%.

L'étude du tapis végétal de la plaine de la Mina montre que le cortège floristique est dominé, surtout, par les Thérophytes et les Chamaephytes, qui sont liés aux perturbations du milieu par une forte variation des conditions climatiques et les actions anthropozoogènes. On remarque que les communautés végétales des écosystèmes de notre zone d'étude, peuvent être évaluées d'une manière régressive, du point de vue dynamique, en réponse des espèces aux perturbations.

En effet, la thérophytie est présentée comme étant une forme de résistance à la sécheresse, ainsi qu'aux fortes températures des milieux arides. La thérophytie est un indicateur de stade de dégradation ultime.

La Thérophytisation des structures végétales fait penser à la dégradation de certains écosystèmes qui ont tendance à se transformer en pelouses. Les Phanérophytes et les Chamaephytes, nous renseignent sur le pâturage. La diminution de leur fréquence, voire de leur nombre, témoigne d'un phénomène de surpâturage.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), nous a permis de connaître les divers facteurs qui influencent le développement du tapis végétal et la répartition des espèces dans leurs milieux. A travers cette analyse, nous avons utilisé divers gradients dynamiques de la végétation (salinité, dégradation, surpâturage, humidité, aridité...) pour expliquer la signification écologique des axes sur le plan factoriel.

Du côté positif, à l'extrémité de l'axe1, s'individualise un groupe d'espèces relevant du domaine pré-forestier ; dans ce cas, on peut dire que ce côté de l'axe1, exprime vraisemblablement une certaine humidité et un taux de matière organique appréciable.

La répartition des espèces halophytes, tout le long de l'axe2, confirme que celui-ci exprime un gradient croissant de salinité, tout en convergeant vers la sebkha de Benziene.

On s'est penché aussi, dans notre étude, sur la dynamique régressive de la végétation spontanée qui a révélé les principaux changements suivants, avec :

- Une diminution du nombre d'espèces végétales
- La réduction du taux de recouvrement, qui passe de 25-30% à 15-20%
- La baisse de la fréquence de quelques espèces et la disparition de certaines
- Une augmentation de la fréquence des espèces résistantes à la sécheresse et les espèces halophytes.

Au terme de ce travail, on doit attirer l'attention sur la réduction inquiétante de la biodiversité de la plaine de la Mina, l'exploitation massive et non raisonnée de ses ressources. Dans une course à l'hyperconsommation, les sols sont surexploités, les surfaces naturelles régressent ou subissent une pollution massive, aussi bien que les sols et les eaux superficielles ou souterraines, ainsi que le couvert de la végétation spontanée. Les effets conjugués de la pression anthropique croissante sur les ressources naturelles et les conditions climatiques sévères, engendrent des dysfonctionnements de l'écosystème terrestre. Ces effets sont amplifiés par les modes et les systèmes inappropriés d'exploitation des ressources naturelles disponibles.

Les résultats de cette étude peuvent être considérés comme une alerte sur l'ampleur de la dégradation de la biodiversité dans la plaine de la Mina, l'utilisation de ces résultats et ceux des études antérieures, à prendre comme une référence, pour les politiques de protection de l'environnement, et constituer une bonne assise, pour définir et élaborer une stratégie d'exploitation et de gestion, et ce, pour une meilleure utilisation des ressources naturelles de cette région, afin de préserver ce milieu aride particulier, fragile et vulnérable.

Pour freiner ces phénomènes de dégradations, inquiétants, on recommande :

- D'installer un réseau de piézomètres à travers la région d'étude, pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique et l'évolution de la qualité des eaux, pour prendre les mesures de gestion conservatoires et appropriées de la nappe et évaluer les risques.
- D'arrêter les déversements des rejets urbains et industriels au niveau de la plaine, en réalisant des stations de traitement préalable de ces effluents, avant qu'ils n'atteignent les oueds, et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de ces oueds.
- Le contrôle systématique et strict de l'activité humaine, comme le pompage excessif des eaux souterraines et les activités agricoles, qui ont des effets négatifs, en induisant une salinisation du sol et des eaux dans la plaine endoréique.
- Le besoin urgent de réaliser un plan de gestion d'irrigation basé sur des données scientifiques, en tenant compte des caractéristiques de cette région aride, à l'exemple de la forte évapotranspiration, les faibles précipitations et l'irrigation..., qui sont responsables de la mobilité des sels.
- La réalisation d'un système de drainage efficace, qui doit être impérativement associée à l'irrigation des cultures dans cette zone aride. Dans de telles conditions, l'eau d'irrigation est souvent chargée en sels, elle engendre, donc, des problèmes de salinité pour les cultures et les sols, surtout dans les dépressions des plaines agricoles, où l'on assiste à l'accumulation de sels en surface et au niveau de la zone racinaire.
- D'encourager et inciter les agriculteurs de la région à améliorer leurs pratiques agricoles.
- D'élaborer un plan d'urgence pour la protection de la végétation spontanée et la sauvegarde de la biodiversité, acteur fondamental de la biodiversité de la région et qui reste un patrimoine écologique, esthétique et culturel que nous devons léguer aux générations futures. Elles participent aussi à l'équilibre écologique des écosystèmes.
- L'élaboration d'une carte qui comportera les zones de pâturage, les zones en défens, les zones interdites au pâturage, la capacité fourragère (nombre de têtes à l'hectare), le type de végétation de chaque station et le calendrier de la mise en défens par rotation, pour assurer le renouvellement du capital génétique et de maintenir l'équilibre écologique.

Enfin, nous espérons avoir contribué à apporter des éléments nouveaux, et ce, par rapport aux différents travaux effectués précédemment sur le plan de la dégradation de la biodiversité de la plaine de Mina, plus particulièrement sur le phénomène de la salinisation des sols et des eaux de la région d'étude.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographiques

- ABDELHAFID Y., 2010.** Cartographie des sols par induction électromagnétique : cas de la zone Est du périmètre irrigué de la Mina. *Mémoire de Magister*, Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach (ENSA), Alger, 102p.
- AFNOR N., 1987.** Qualité des sols. Méthodes d'analyses. *Recueil des normes françaises*, Paris, 159p.
- AHARONSON Z., SHAIN J. et SULMAN F.G., 1969.** Hypoglycemia affects of the salt bush (*Atriplex halimus*) a feeding source of the sand rat (*Psammomys obesus*). *Diabetologia* 5 : 379-383.
- AHDALI L. et TAYEB. O., 1976.** Etude agroclimatologique des pays arabes. I. Généralités .*O.A.D.A.* Khartoum : 820p (en arabe).
- AHDALI. L., DAGET PH. et TAYEB O., 1981.** Agroecology map of the arabe countries. *O.A.D.A.* Khartoum. 200p.
- ABH (AGENCE DE BASSIN HYDROGRAPHIQUE ORANIE - CHOTT CHERGUI), 2006.** Base de données, 2006.
- ADI N., AMRANI S., HIRCHE A., BOUGHANI A., NEDJRAOUI D., 2016.** Diversité biologique et phytogéographique pour des niveaux différents de salinité dans la région du Chott-Chergui (Sud-ouest de l'Algérie). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71 (4), 2016 : 342-355.
- AIDOU, A., 1994.** Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). *Paralelo* 37°, 16 : 33-42.
- AIDOU, A., Le FLOC'H E., Le HOUEROU H.N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 2006 ; 17 (1-2) : 19-30.
- ALCARAZ L., 1982.** La végétation de l'Ouest Algérien. *Thèse de Doctorat*, Univ. Perpignan, France, 415p.
- ALLOUT I., 2013.** Etude de la biodiversité floristique de la zone humide de Boukhmira Sidi Salem – El Bouni –Annaba. *Mémoire de Magister*, université Badji Mokhtar, Annaba, 114p.
- ANBT (AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS), 2006.** Base de données de l'Agence de Bassin Hydrographique Oranie - Chott Chergui, 2006.
- ANRH., 1993.** Carte de répartition des précipitations. *ANRH*, Alger.
- ANRH., 1986.** Publications de l'ANRH et tirés à part du séminaire national sur la sécheresse en Algérie, Alger.
- AUCLAIR D. et BIEHLER J., 1967.** Etude géologique des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saida. *Pub. Serv. Carte Géol. Algérie*, N.S, n° 34.
- AUBERT G., 1975.** Les sols sodiques en Afrique du nord. *Annales de l'I.N.A.*, Alger, N° 6, p185-195.
- AUBERT G., 1978.** Méthodes d'analyses du sol. 2^{ème} Edition, *C.N.D.P.*, Marseille, France, 199p.
- AUBERT G., 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. *Cah. ORSTOM*, Serv. Péd., Vol. XXX n°1, pp 73-78.
- AYERS R S., WESTCOT D.W., 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, 29, Rév. 1, 165p.
- BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Alger, Vol 8, pp 193-239.

- BAIZE D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. *INRA*, Paris, France, 172p.
- BALMFORD A., BENNUN L., BRINK B.T., COOPER D., CÔTÉ I.M., CRANE P., DOBSON A., DUDLEY N., DUTTON I., GREEN R.E., GREGORY R.D., HARRISON J., KENNEDY E.T., KREMEN C., LEADER-WILLIAMS N., LOVEJOY T.E., MACE G., MAY R., MAYAUX P., MORLING P., PHILLIPS J., REDFORD K., TAYLOR H., RODRÍGUEZ J.P., SANJAYAN M., SCHEI P.J., VAN JAARVELD A.V. and WALTHER B.A., 2005.** The Convention on Biological Diversity's 2010 target. *Himalayan Journal of Sciences*, Vol 3, Issue 5, JAN-JUNE 2005, pp 43-45.
- BARBERO M., LOISEL R., QUEZEL P., 1990.** Les essences arborées des îles méditerranéennes : leur rôle écologique et paysages. *Rev. Ecol. Med.* XXI (1/2).
- BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., QUEZEL P., 1989.** *Sclerophyllus Quercus* forests of the Mediterranean area : Ecological and ethological significance. *Bielefelder Okol Beiter* 4: 1-23.
- BELGAT S., 1984.** Etude édaphique en vue de l'aménagement du cordon dunaire du littoral de la région de Mostaganem (Algérie). *Doct-Ing.* Univ. Aix Marseille III. 213p.
- BELGAT S., 2001.** Le littoral Algérien : Climatologie, géopédologie, syntaxonomie, édaphologie et relation sol-végétation. *Thèse Doct. Sci. Agr.*, I.N.A., El Harrach, 261p.
- BENABADJI N. et BOUAZZA M., 2002.** Contribution à l'étude du cortège floristique de la steppe au Sud d'El Aricha (Oranie, Algérie). *Sci. Tech.*, N° spécial D, pp 11-19
- BENABDELI K., 1996.** Impact socio-économique et écologique de la privatisation des terres sur la gestion des espaces et la conduite des troupeaux : cas de la commune de Têlagh (Algérie). *Options méditerranéennes*, n°32 : 185-194.
- BENCHOKROUN T., 2008.** Ressources en eau et notions de base. *Revue HTE*, N° 140, Septembre 2008.
- BENSALAH M., BENEST M., GAOUAR A., TRUC G. et MOREL J.L., 1987.** Découverte de l'Eocène continental à Bétimes dans les hautes plaines oranaises (Algérie) : Conséquences paléogéographiques et structurales. *C. R. Acad. Sc.*, Paris. Serv.II.305.1. pp 35-38.
- BENSALAH M., 1989.** L'éocène continental de l'Algérie, importance de la tectogénèse dans la mise en place des sédiments et des processus d'épigénie dans leur transformation. *Thèse de Doctorat*, Univ. Claude Bernard, Lyon, France, 140p.
- BINET P., 1970.** Halophytes. *In Encyclopédia universalis*, Laffont, Paris, 8, pp. 224-225.
- BOCK B., 2009.** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France : Nomenclature, taxonomie, synonymie, correspondances. Contribution : membres du réseau Tela Botanica.
- BONNEAN M. et SOUCHIER B., 1980.** Constituants et propriétés du sol. *Revue Géographique de l'Est*, 1980, 20-3-4, pp. 263-264
- BOTTNER P., 1981-** Evolution des sols et conditions bioclimatiques méditerranéennes. *Ecologia Mediterranea*, Tome VIII, Fasc.1/2, Marseille, France, pp.115-134.
- BOUCAUD J., 1972.** Caractéristiques écophysiologicals et aspects particuliers du métabolisme azoté de deux écotypes de *Suaeda maritima* (L.) Dum. (S. m. macrocarpa Moq. et S. m. flexilis Focke) en relation avec leur halophilie. *Thèse de Doctorat d'État*, Univ. de Caen, France, 207p.
- BRAUN-BLANQUET J., 1952.** Phytosociologie appliquée. *Comm. S.I.G.M.A*, n° 116, 8 pages.
- BRAUN-BLANQUET J., ROUSSINE N. & NEGRE R., 1952.** Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. *Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord*, CNRS, 292p.

- BURTON M., 2010.** Irrigation management : principals and practices. *CABI North American Office*, Cambridge, MA. 375p.
- CALVET R., 2003.** Le Sol, Propriétés Et Fonctions. Tome 1 : constitution et structure, phénomènes aux interfaces. *Editions France Agricole*, Dunod, 456p.
- CALVET R., 2003.** Le sol, propriétés et fonctions. Tome 2 : phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. *Editions France Agricole*, Dunod, 512p.
- CEAEQ (CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC), 2015.** Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, rév. 1, *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*, 2015, 9p.
- CHEHMA A., 2006.** Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional Algérien. *Laboratoire de protections des écosystèmes en zones arides et semi-arides*, Univ. Ouargla, 140p.
- CHERBEY B., 1991.** Les sols et leurs réhabilitations. Etude bibliographique. *E.N.S.A*, Rennes, France, 124p.
- CHKIR N., TRABELSI R., BAHIR M., HADJ AMMAR F., ZOUARI K., CHAMCHATI H., MONTEIRO J.P., 2008.** Vulnérabilité des ressources en eaux des aquifères côtiers en zones semi-arides : Etude comparative entre les bassins d'Essaouira (Maroc) et de la Jeffara (Tunisie). *Comunicações Geológicas*, 2008, t. 95, pp 107-121.
- CLUZEAU D., GUO Z.T., CHAUSSOD R., FEDOROFF N., NORMAND M., PERRAUD A., VALENTIN G., (1994).** Interactions between soil, biological activities and organic matter enrichments in Champagne soils. *In Transactions of the 15 World Congress of Soil Science* (Eds Etchevers J.D.& Aguilar A.), INEGI & CNA Publishing, Mexico, Mex. Vol. 4b, p.149-150.
- CORNET G., 1952.** Etude hydrogéologique du bassin fermé des Zahrez Rharbi et Chergui. *Congrès de Géologie, Inst.*, Alger. 2, pp 71-88.
- CORNIER T., 2002.** La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : Essai de modélisation de l'hydrosystème. *Thèse de Doctorat*, Univ. François Rabelais, Tours, France, 227p.
- COUTURE I., 2003.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. *AGRI-VISION 2003-2004*, Québec, Canada, 8 pages.
- CPCS., 1967.** Classification des sols. *ENSA*, Grignon, France, 87p.
- DAGET P., 1977-a.** Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio*. 34, 1, pp.1-20.
- DAGET P., 1977-b.** Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes par le système d'Emberger. *Vegetatio*. 34, 2, pp. 78-124.
- DAGET P., 1980.** Un élément actuel de la caractérisation du monde méditerranéen : Le climat. *Com. 1^{er} Coll. Emberger*, Montpellier. Nat Monspp, HS, pp : 101-126.
- DAGET P., 1984.** Introduction à une théorie générale de la méditerranée. *Bull. Soc. Bot.Fr, Actual. Bot*, 1984, 131, pp : 31-36.
- DAHMANI M., 1997.** Le chêne vert en Algérie : Syntaxonomie, phytosociologie et dynamique des peuplements. *Thèse de Doctorat*, Univ. Houari Boumèdiene, Alger. 383p.
- DAJOZ R., 1996.** Précis d'écologie. 2^{ème} et 3^{ème} cycles universitaires. *Dunod éd.*, Paris, France, 551p.
- DALLONI M., 1952c.** L'Atlas tellien occidental. *Pub. XIXème Congr. Géol. Inter.*, Alger, Mon. Rég. Algérie, n° 24.

- DAOUADI A, GASCUEL-ODOUX C, WALTER CH., 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie) 2004. Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 11, 4, pp. 379- 392.
- DAURBY G., 2007.** Etude Floristique et Biogéographique du Parc National De La Pongara. *Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie en biologie végétale*. Université libre de Bruxelles, Belgique, 104p.
- DAVET P., 1996.** Vie microbienne des sols et production végétale. *INRA*, France, 385p.
- DAVIS E.O, BRYAN H., 1910.** The electrical bridge for the determination of soluble salts in soils. *USDA Bureau Soils Bull.* 61. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, 66p.
- DE JONG E., BALLANTYNE A.K., CAMERON D.R. et READ D.W.L., 1979.** Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, pp : 810-812.
- DELASSUS L., 2015.** Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Brest : *Conservatoire botanique national de Brest*, 25p., annexes (document technique).
- DELLAL A., MAATOUG M. et BOUCHENAF A N., 1992.** Activités microbiologiques en conditions salines. Cas de quelques sols salés de la région de Relizane. *Cah.Agri.*, Vol.1, N°5, Ed. John Libbey Eurotext, Paris.
- DELLAOUI A., 1952.** Géologie des monts de Tessala. *Édit. SÉDES*, Paris, 385p.
- DI CASTRI F., GOODALL DW. & SPECHT RL., 1981.** Ecosystems of the World II : Mediterranean-type Shrublands. Edited by F. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam–Oxford–New York : xii + 643p.
- DIF A., 2004.** Intégration des imageries satellitaires TM et les modèles numériques du terrain (MNT) dans la mise à jour du réseau hydrographique. Cas d'application : plaine de M'leta du grand bassin versant de la sebkha d'Oran. *Les journées des géographes Belges*, Edit. BEVAS/SOBEG, pp 37-42.
- DJALLOUL B., 2008.** Tolérance physiologique de quelques plantes halophytes. *Thèse de doctorat*, Univ. Tiaret, 100p.
- DJAMAI R., 2007.** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du système endoréique du lac Fetzara (Nord-est algérien). Approche géochimique et évolution spatio-temporelle des phénomènes. *Thèse de Doctorat*, INA, El Harrach, Alger, 177p.
- DJEBAILI S., 1984.** Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. *Ed. O.P.U*, Alger, 171p.
- DJELLOULI Y., 1981.** Etude climatique et bioclimatique des hautes plaines du Sud Oranais (Wilaya de Saida), comportement des espèces vis-à-vis du climat. *Thèse de doctorat*, Univ. Alger, 250p + annexes.
- DOMMARGUES Y., 1964.** Etude de quelques facteurs influant sur le comportement de la microflore du sol au cours de la dessiccation. *Science du Sol*, 2, pp. 141-155.
- DOMMARGUES Y., 1968.** La biologie du sol. Paris : *PUF*.
- DOMMARGUES Y. et MANGENOT F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. *Ed. Masson et Cie*, Paris, France, 796p.
- DOMMARGUES Y., 1977.** La biologie des sols. *Ed. Que sais-je ?* Presse universitaire de France, 125p.
- DSA (DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES WILAYA ORAN), 2006.** Base de données de l'Agence du Bassin Hydrographique Oranie - Chott Chergui, 2006.
- DUCHAUFOR PH., 1988.** Abrégés de pédologie. 2^{ème} édition. *Ed. Masson*, Paris, Milan, Barcelone, Mexico, Paris, 216p.

- DUCHAUFOR PH., 2001.** Introduction à la science du sol. 6^{ème} édition de l'abrégé de pédologie, Dunod, Ed. Masson, Paris, France, 314p.
- DURAND J.H., 1953.** Etude hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Ed. *Birmandreis (DZA) : Service des Eudes Scientifiques*, Alger, 203p.
- DURAND J.H., 1954.** Les sols d'Algérie. Ed. *Birmandreis (DZA) : Service des Eudes Scientifiques*, Alger, 244p.
- DURAND J.H., 1960.** Contribution à l'étude des sols irrigués. L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. *Travaux des sections pédologie et agrologie*, Bulletin n°6, 13p.
- DURAND J.H., 1983.** Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. *Presse Universitaire de France*, PUF, 339p.
- DUTIL P., 1971.** Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. *Thèse Doctorat d'état*, Univ. Strasbourg, France, 346p.
- DUTUIT R., POURRAT Y. et DUTUIT J.M., 1994.** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sécheresse*, 1, 5 : 23-31.
- DUPIEUX N., 2004.** Protocole standardisé de description et de suivi des communautés végétales. *Programme Loire nature, mission scientifique*, France, 15p.
- BLUM W.E.H., 2001.** Function of Soils for Human Societies and the Environment. *Geological society special publications*, London, pp 63-78.
- ELLENBERG H., MUELLER-DOMBOIS D., 1968.** A key to Raunkiaer plant ufee forms with revised. *Subdivision Ber. Geobot. Inst. ETH. Stifgt., Rubel, Zurich*, 37, pp : 56-73
- EMBERGER L., 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull. Sci. Hist. Nat.*, Toulouse, 77 : 97-124.
- EMBERGER L., 1955.** Une classification biogéographique des climats. *Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique*, Faculté des sciences, Service botanique, Montpellier, 7, 3-43.
- EMBERGER L., 1971-b.** Travaux de botanique et d'écologie. Ed. *Masson*, Paris, 520p.
- ESTORGES P., 1952.** Monographie régionale 1^{ère} série Algérie 14. Les chaines atlasiques et la bordure Nord du Sahara. *XIX^{ème} Congrès géologique international*, pp : 1-18.
- F.A.O., 1972.** La salinité. *Doc. F.A.O*, N° 7, Rome, 272p.
- F.A.O., 1990.** Water, soil and crop management relating to the use of saline water. *Doc. F.A.O.*, Rome, 193p.
- F.A.O., 2002.** International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage IPTRID capacity building report No. 2, March 2002.
- F.A.O., 2002.** Capacity building for drainage in North Africa. *Doc. F.A.O.*, Rome, 211p.
- F.A.O., 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. *Doc. F.A.O.*, Rome, 2005, 4p.
- F.A.O and ITPS., 2015.** Status of the World's Soil Resources (SWSR). *Main Report Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils*, Rome, Italy.
- FLAHAULT G., 1937.** La description géographique des végétaux dans la région méditerranéenne française. *Encyclopédie biologique* 18, Paris.

- FLORET C., GALAN M.J., LE FLOC'H E., ORSHAN G. et ROMANE F., 1992.** Dynamics of holm oak (*Quercus ilex L.*) coppies after clear cutting in southern France. *Vegetation*, pp 99-100.
- FLOWERS T.C., HAJIBAGHI M.A. et CLIPSON N. J.W., 1986.** Halophytes. *Quarterly Review of biology*, 61(3), pp 313-337.
- FRONTIER S., ICHOUD-VIALE D., 1998.** Ecosystèmes : structure, fonctionnement, Evolution. *Ed. Dunod*, France, 447p.
- GADROT B., 1999** – Forme des plantes. Site web.
- GAGNARD J., HUGUET C. & RYSER J.P. 1988.** L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits. Secrétariat générale OILB/SROP, *Edition - Diffusion ACTA*, 87p.
- GARG B.K., VYAS S.P., KATHJU S., LAHIRI A.N., MALI P.C. & SHARMA P.C., 1993.** Salinity-fertility interaction on growth mineral composition and nitrogen metabolism of Indian mustard. *Journal of Plant Nutrition*, 16:9, 1637-1650.
- GAUCHER G. et BURDIN S., 1974.** Géologie et géomorphologie et hydrologie des terrains salés : contribution aux techniques d'amélioration des terrains salés. *Ed. Presse universitaire de France*, 230p.
- GAUCHER G., 1968.** Traité de pédologie agricole, le sol et ses caractéristiques agronomiques. *Ed. Dunod*, Paris, 578p.
- GAUSSEN H., 1963.** Ecologie et phytogéographie : 952-972. In: H. des Abbayes, M. Chadeaud, Y. de Ferré, S. Feldman, H. Gausсен, P.P. Grasse, P.P. M.C. Leredde, P. Ozenda, A.R. Prevot, *Précis de Botanique. Masson et Cie*, Paris.
- GEHU J. M., 1987.** Données sur la végétation littorale de la Crète (Grèce). *Rev. Ecol. Méd.* XIII (1-2) : 93-105.
- GLICK B.R., CHENG Z., CZARNY J., DUAN J., 2007.** Promotion of plant growth by ACC deaminase producing soil bacteria. *Eur. J. Plant Pathol.* 119. 329–339.
- GODRON M., DAGET PH., EMBERGER L., LONG G., LE FLOC'H E., POISSONET J., SAUVAGE C. et WACQUANT J.P., 1983.** Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. *C.N.R.S*, Paris, 296p.
- GOODIN J.R., 1979.** Atriplex as a forage Group for arid lands. *New agricultural groups. Ed. G.A. Ritchie*, pp.133-147.
- GOUNOT M., 1969.** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. *Masson éd.*, Paris, 314p.
- GUINOCHET M., 1973.** La phytosociologie. *Collection d'écologie I. Masson éd.*, Paris, 227p.
- HACHICHA M., 1997.** Régime de la nappe superficielle et incidences sur la salure des sols et la production des dattes dans l'oasis de Tarfaya (Kébili). *ES - 297, Direction des Sols*, 24p.
- HADJ SAID S., DJABRI L., HANI A. et MANIA J., 2003.** Origine de la salinité des eaux de la nappe de Guerbés (Nord-est) Algérien. *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos* ©IGME. Madrid 2003. ISBN 84-7840-470-8, pp. 319-322.
- HAGEMEYER J., 1996.** Salt in Plant ecophysiology. *New York, John Wiley & Sons, Inc.* 1996, 176-181.
- HAIMOUD A., AMIR H., BOUNAGA D., CHAMI M. et DJELLALI N., 1980.** Contribution à l'étude de l'activité microbologique de quelques sols de la Sebkhha de Boughzoul. *Physiol. Vég.* (1980) ; 18 : 19-33.

- HALITIM A., 1985.** Contribution de l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sols dans la genèse et le comportement des sols. *Thèse de Doctorat*, Univ. Rennes, France, 183p.
- HALITIM A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. *O.P.U.*, Alger. 384p.
- HAMADI H., CHIRAZ M., 2003.** Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées au nord de la Tunisie : estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques (cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte). *Revue sécheresse*, Volume 14, N° 4 : 257-265.
- HENDERSON J. J., CRUM J.R., WOLFF T.F. et ROGERS J.N., 2005.** Effects of particle size distribution and water content at compaction on saturated hydraulic conductivity and strength of high sand content root zone materials. *Soil Science* 1705, 315p.
- JAMAR D., 2002.** Activités biologiques et fertilité des sols. Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles. *Première édition, ITAB*, Paris, octobre 2002, 27p.
- JENKINSON D. S., POWLSON D.S., 1976.** The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 8, Issue 3, (1976) : 167-177.
- JONES, P.C.T. and MOLLISON, J.E., 1948.** A technique for the quantitative estimation of soil micro-organisms. *J. Gen. Microbiol.*, 2, 54-69.
- JOSEPHSON K.C., GERBA C.P. et PEPPER I.L., 2000.** Cultural methods. In: R. M. Maier, I.L. Pepper, C.P. Gerba (Ed.), *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego, USA, pp. 213-232.
- KAABECHE M., 1990.** Les groupements végétaux de la région de Bousaâda (Algérie) : essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. *Thèse de doctorat*, Paris-Sud, Centre Orsay, 104p.
- KADRI A., 2007.** Evaluation de la variabilité chez quelques lignées et populations de Luzerne annuelles (*Medicago sp.*) en milieu salé (station de Hmadna, Relizane). *Mémoire de Magister*, INA – El Harrach, Alger, 83p.
- LABREUCHE J., LAURENT F., ROGER-ESTRADE J., 2014.** Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovations pour une agriculture durable. *Editions Quae*, France, 192p.
- LAHLOU M., BADRAOUI M., SOUDI B., GOUMARI A., TESSIER D., 2002.** Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. *Actes de l'atelier du PCSI*, Montpellier, France, 28-29 mai 2002, 19p.
- LALLEMAND-BARRES A., 1993.** Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines. *Rapport BRGM 37390, ENV-4S-93*, Ministère de l'Environnement, France, 108p.
- LARAFI M., 2004.** Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi-aride au niveau des chotts (Melghir, Merouane et Bendjelloul) et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu. Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, 149p + annexes.
- LCA, 2008.** Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales. *FR/LCA*, 82p.
- LEGENDRE P. et LEGENDRE L., 1998.** Numerical ecology. *Elsevier*, Amsterdam, 2nd ed., 853p.
- LEGROS J.P., 2009.** La salinisation des terres dans le monde. *Académie des Sciences et Lettres de Montpellier*, 2009. Conférence n°4069, Bull. n°40, pp. 257-269.
- LE HOUEROU H.N., 1971.** Les bases écologiques de l'amélioration fourragère et pastorale en Algérie. *Report, Plant Production and protection division*, FAO, Rome, 60p.

- LE HOUEROU H.N., 1986.** Salt tolerant plants of economic value in the Mediterranean Basin. *Reclamations and Revegetation Research*, 5, pp : 319-341.
- LE HOUEROU H.N. et PONTANIER R., 1988.** Les plantations sylvopastorales dans la zone aride de Tunisie. *Rev : Pastoralisme et développement*, Montpellier, pp 16-23.
- LE HOUEROU H.N., 1993.** Salt tolerant plants for the arid régions of the Méditerranéen isoclimatic zone. In : H. Lieth and A. El Masoom (eds), *Towards the rational use of high salinity-tolerant plants. Voll. Kluwer. Acad. Publ, Dordrecht*, The Netherlands. P 403-422.
- LE HOUEROU H.N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation. Montpellier : *CIHEAM*, 1995. p. 1-396.
- LE SAOS J., 1968.** Action du NaCl et du CaCl₂, sur l'absorption et la répartition du calcium chez *Cochleria anglica* L. *C. R. Ac. Sc., Paris, Série D*, 266, 2071-2075.
- LESCH S.M., SUAREZ D.L., 2009.** Technical Note : A Short Note on Calculating the Adjusted SAR Index. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2009, Vol. 52(2): 493-496.
- LOCHHEAD A., CHASE F., 1943.** Qualitative studies of soil microorganisms. Nutritional requirements of the predominant bacterial flora. *Soil Sci.*, 55 : p185-195.
- LOYER J.Y., 1991.** Salinité des eaux d'irrigation problèmes et solutions. *Conférence IAM*, BARI, Italie, 25-26 juillet 1991, 11p.
- MA J., DING Z., EDMUNDS W.M., GATES J.B., HUANG T., 2009.** Limits to recharge of groundwater from Tibetan plateau to the Gobi Desert, implications for water management in the mountain front. *J. Hydrol.*, 364, pp: 128-141.
- MAAS E.V., POSS J.A. and HOFFMAN G.J., 1986.** Salt Tolerance of Plants. *Applied Agricultural Research*, 1, 12-26.
- MABILLOT A., 1995.** Le Forage d'Eau - Guide pratique. *Ed. Tec & Doc Distribution*, 363p.
- MADANI Dj., 2008.** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique. *Mémoire de Magistère*, Université de Batna, 165 pages.
- MAILLARD J., 2001.** « Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne : Risques et recommandations ». *Handicap International*, Novembre 2001, 34p.
- MARLET S., JOB J.O., 2006.** Processus et gestion de la salinité des sols. In book : *Traité d'irrigation Edition : Seconde édition*, Chapter : Processus et gestion de la salinité des sols Publisher : Tec & Doc Lavoisier, 29p.
- MAROUF A., 2000.** Dictionnaire de botanique. Les phanérogames. *Ed. Dunod*, Paris (FRA), 256p.
- MEDDOUR R., 2011.** La méthodologie phytosociologique stigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne. *Tela Botanica*, 40p.
- MOREL R., 1996.** Les sols cultivés. 2^{ème} Edition, *INRA*, Paris, France, 380p.
- MOUSSA K., 2006.** Etude d'une Sebkhia : la Sebkhia d'Oran (Ouest algérien). *Thèse de Doctorat d'Etat*, Univ. Oran., Algérie, 205 pages.
- MUTIN G., 2000.** Documentation photographique n° 8014 Avril 2000 : De l'eau pour tous ? *Ed. La Documentation Française*, 63p.
- NAHON D., 2008.** L'épuisement de la Terre. L'enjeu du XXIème siècle. *Ed. Odile JACOB Sciences*. Mayenne - 2008, 235p.

- N'DAYEGAMIYE A., GIROUX M. et GASSER M.O., 2007.** La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régions agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. *CRAAQ – OAQ, Colloque sur l'azote*, 2007, 28p.
- NEGRE R., 1966.** Les thérophytes. *Bulletin de la Société de Botanique de France*, 113:sup 2, pp 92-108.
- NICOLARDOT B., 2007.** Activités biologiques et fertilité des sols. Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles. *Première édition ITAB*, octobre 2002, 27p.
- NOVIKOFF G., 1965.** Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie. *Thèse de Doctorat*, Fac. Sciences de Montpellier, France, 344p.
- OLDEMAN L.R., HAKKELING R.T.A., SOMBROEK W.G., 1991.** World map of the status of human induced soil degradation: an explanatory Note. Global Assessment of Soil Degradation. *International Soil Reference and Information Centre*, Wageningen (Netherlands) eng; United Nations Environment Program (UNEP), 26p.
- OPI (OFFICE DES PERIMETRES IRRIGUES), 2005.** Base de données de l'Agence du Bassin Hydrographique Oranie - Chott Chergui, 2006.
- OZENDA P., 1958.** La flore de Sahara septentrional et central. *Edition C.N.R.S*, Paris, 486p.
- OZENDA P., 1977.** Flore du Sahara. 2^{ème} édition, *C.N.R.S*, Paris. 622p.
- OZENDA P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère. *Edition Doin*, Paris, 432p.
- PAUL E.A. and CLARK F.E., 2007.** Soil microbiology and biochemistry. *Academic press*, 274p.
- PELLET M., LAVILLE-TIMSIT L., 1993.** Echantillonnage de sols pour caractérisation d'une pollution : guide méthodologique. *Rapport BRGM*, Ministère de l'Environnement, Direction de l'Eau, Orléans, France, 79p.
- PEPIN G., 1997.** L'échantillonnage des sols et des eaux. *Séminaire "Sols Pollués"*, Juin 1997, Paris, France, pp.9-17 + annexes.
- PESSON P., 1971.** La vie dans les sols. *Edition Gauthier-Villars*, Paris, France, 365p.
- STENGEL P., GELIN S., 1998.** Sol, Interface fragile. *Edition INRA*, Paris, France, 130p.
- PISINARAS V., TSIHRINTZIS V.A., PETALAS C., OUZOUNIS K., 2010.** Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environ. Monit. Assess* ; 166(1-4) :79-94.
- PONS A., 1981.** The history of the Mediterranean shrublands. *Ecosystems of the world* 1(11): 131-138.
- SHRIVASTAVA P. and KUMAR R., 2015.** Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.*, 2015 ; 22(2):123-131.
- POUGET M., 1968.** Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappes dans le Sud Tunisien. *Cahiers ORSTOM*, Série Pédologie, VI. 3-4, p 109-186.
- POUGET M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroises. *Thèse de Doctorat*, Univ. Marseille, France, 555p.
- POLUNIN N., 1967.** Eléments de géographie botanique. *Edition Gauthier-Villars*, Paris, 532p.
- QUEZEL P. et BARBERO M., 1982.** Definition and characterization of Mediterranean-type ecosystems. *Ecol. Méd.* VIII, 1/2, 1982, pp 16-29.
- QUEZEL P., 2000.** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. *Ibis Press*, Paris, 117p.
- RAMADE F., 1984.** Eléments d'Ecologie : Ecologie fondamentale. *Mc Graw-Hill*, 397p.

- RAUNKIAER C., 1904.** Biological type with reference to the adaptation of plants to survive the unfavourable season. *In Raunkiaer 1934*, 75p.
- REPP G., 1964.** L'écophysiologie des halophytes au niveau cellulaire. *Bull. Soc. Fr. Physiol. ég.* 4, 209-224.
- RHOADES J.D., KANDIAH A., MASHALI A.M., 1986.** The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and drainage paper*, 48, 145p.
- RICHER-DE-FORGES A.C., FELLER C., JAMAGNE M., ARROUAYS D., 2008.** Lost in the triangular diagrams of soil texture. *Book of Abstracts Eurosoil 2008*, University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU) Vienna, Austria, August 2008-08-04, 403p.
- RIEU M. et CHEVERY C., 1976.** Mise au point bibliographique sur quelques recherches récentes en matière de sols salés. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédologie*, XIV,N°1, 1976, pp 39-61.
- ROANE T.M., PEPPER I.L., AND MAIER R.M., 2008.** Microscopic Techniques. *In Environmental Microbiology, 2nd Edition.* Elsevier Science, San Diego, CA. pp. 157–171.
- ROBERT M., 1992.** Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers Agricultures* 1992 ; 1 : 20-34.
- ROBERT M., 1996.** Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir. *Cahiers Agricultures*, 5 : 243-248.
- RODIER J., 1984.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. 7^{ème} Edition Dunod, Paris, 1364p.
- ROMANE F., 1987.** Efficacité de la distribution des formes de croissance pour l'analyse de la végétation à l'échelle régionale. Cas de quelques taillis de chêne vert du Languedoc. *Thèse de Doctorat d'État*, Université d'Aix-Marseille 3, 153 p.
- ROUAHNA H., 2007.** Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région d'Ain Ben Noui (Biskra). *Thèse de Magister*, Univ. El Hadj Lakhdar, Batna, 83p.
- ROUX G. et ROUX M., 1967.** A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. *Rev. Stat. Appl.*, 15, (2), 59-72.
- MACHADO R.M.A., and SERRALHEIRO R.P., 2017.** Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae* 2017, 3(2), 30 : 13p.
- SAFA A., 2010.** Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de la Mina, zone aride à semi-aride (Hautes Plaines oranaises, Algérie Nord-occidentale). *Thèse de Doctorat d'état*, Université d'Oran, Algérie, 207 pages.
- SAIDI D., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y. et HALITIM A., 2004.** Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *Étude et Gestion des Sols*, Volume 11, 2, 2004 - pp 137 à 148.
- SAIDI D., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y. et TESSIER D., 2008.** Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie). *Étude et Gestion des Sols*, Volume 15, 4, 2008- pages 241 à 253.
- SAINT MARTIN J-P., 2008.** Biodiversité dans les calcaires micritiques blancs des plates-formes messiniennes d'Algérie. *Geodiversitas* 30 (1) : 165-179.
- SALIM S. et TESSIER D., 1998.** Evolution des propriétés physiques et physico-chimiques de sols salés de la basse vallée de l'Euphrate (Syrie). *Etude et Gestion des Sols*, 1998, 5(4) : pp 277-288.

- SAUVAGE CH., 1960.** Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. *Thèse de Doctorat*, Univ. Montpellier, France, 462p.
- SCHEROMM P., 2000.** La résistance des plantes à la sécheresse. *Edition Centre INRA de Montpellier*, France, 210p.
- SELTZER S., 1946.** Le climat d'Algérie. *Inst. Météo. Et de Phys. Du globe*, Univ. Alger, 219 p.
- SERVANT J., SERVAT E., 1966.** Introduction à l'étude des sols salés du littoral du Languedoc-Roussillon. *Annales Agronomiques*, vol. 17, n° 1 : 53-73.
- SERVANT J., 1975.** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes : l'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France. *Thèse de Doctorat d'état*, Montpellier, France, 2 vol. (VIII-194 p., [104] f.).
- SERVANT J., 1978.** La salinité dans les sols et les eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. *Bull. du BRGM*, section IV, n° 2 : 123-142.
- SERVAT É., MAHE G., 2009.** Eau et zones arides : enjeux et complexité. *Sécheresse*, 2009 ; 20 (1), pp 7-8.
- SIEBERT S., BURKE J., FAURES J.M., FRENKEN K., HOOGEVEEN J., DOLL P., PORTMANN F. T., 2010.** Groundwater use for irrigation – à global inventory. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, (2010), pp 1863-1880.
- SOLTNER D., 1984.** Les bases de la production végétale. Tome 2. 3^{ème} édition. Le climat. *Sci et Tech Agr.*, Sainte Gène sur la Loire, France, 312p.
- S.O.G.R.E.A.H., 1961.** Etude pédologique. *Etude SES*, Alger.
- SPARKS DL., 2003.** Environmental soil chemistry. *2nd edition, Elsevier Science (USA)*, 368 p.
- STENGEL P., GELIN S., 1998.** Sol : interface fragile. *Ed. INRA, Collection: Mieux Comprendre*, 222p.
- STEWART PH., 1975.** Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application pour le barrage vert. *Bull. Soc. Hist. Nat. AFN.*, Fasc. 65, 1 et 2, Alger, pp 239-252.
- SZABOLCS I., 1994.** Prospect of soil salinity for the 21st. Century. Acapulco Mexique : Trans. *15th World Congres of Soil Science* ; vol. 1 : 123-141.
- THOMAS G., 1985.** Géodynamique d'un bassin intramontagneux : Le Bassin du Bas-Chéelif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Univ. de Pau et des Pays de l'Adour, 594 pages.
- TRACHAUD L., 1994.** Post fire plant community dynamics in the Mediterranean basin. *Univ. Moreno v.m et oechel N.C (eds).The role of the fire in Mediterranean. Type ecosystems*, pp 1-15.
- TROCHAIN J-L., 1980.** Écologie végétale de la zone intertropicale non désertique. *Ed. Univ. Paul-Sabatier*, Toulouse, 468p.
- USSLS, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *US Department of Agriculture, Handbook n°60*, U.S. Gov. Print. Office, Washington DC, 166 pages.
- VERDIER J., 1995.** Avenir de l'irrigation dans le monde et place de l'école française d'irrigation. *CR Acad. Agric. Fr.* ; 81 : 63-82.
- VILAIN M., 1997.** La production végétale. Tome 2 : la maitrise technique de la production, (2^o Ed.), *Coll. Agriculture d'Aujourd'hui*, Versailles, 448p.

WEILL P., TESSIER B., MOUAZÉ D., BONNOT-COURTOIS C., NORGEOT C. (2010). Shelly cheniers on a macrotidal flat (Mont-Saint-Michel bay, France) – Internal architecture revealed by ground-penetrating radar. *Journal of Sedimentary Geology*, Vol. 17, December 2010.

WRB., 2006. World reference base for soil resources. *FAO*, Rome, 145p.

XU C.-Y., and CHEN D., 2005. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. *Hydrological Processes* 19(18): 3717–3734.

ZEKTSER I.S., and EVERETT L.G., 2004. Resources of the word and their use. *IHP-VI, Series on groundwater n° 6*, UNESCO 2004, 342 pages.

ZHU J-K., 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.*, 2001 Feb; 6 (2) : 66-71.



ANNEXES



Annexe 01

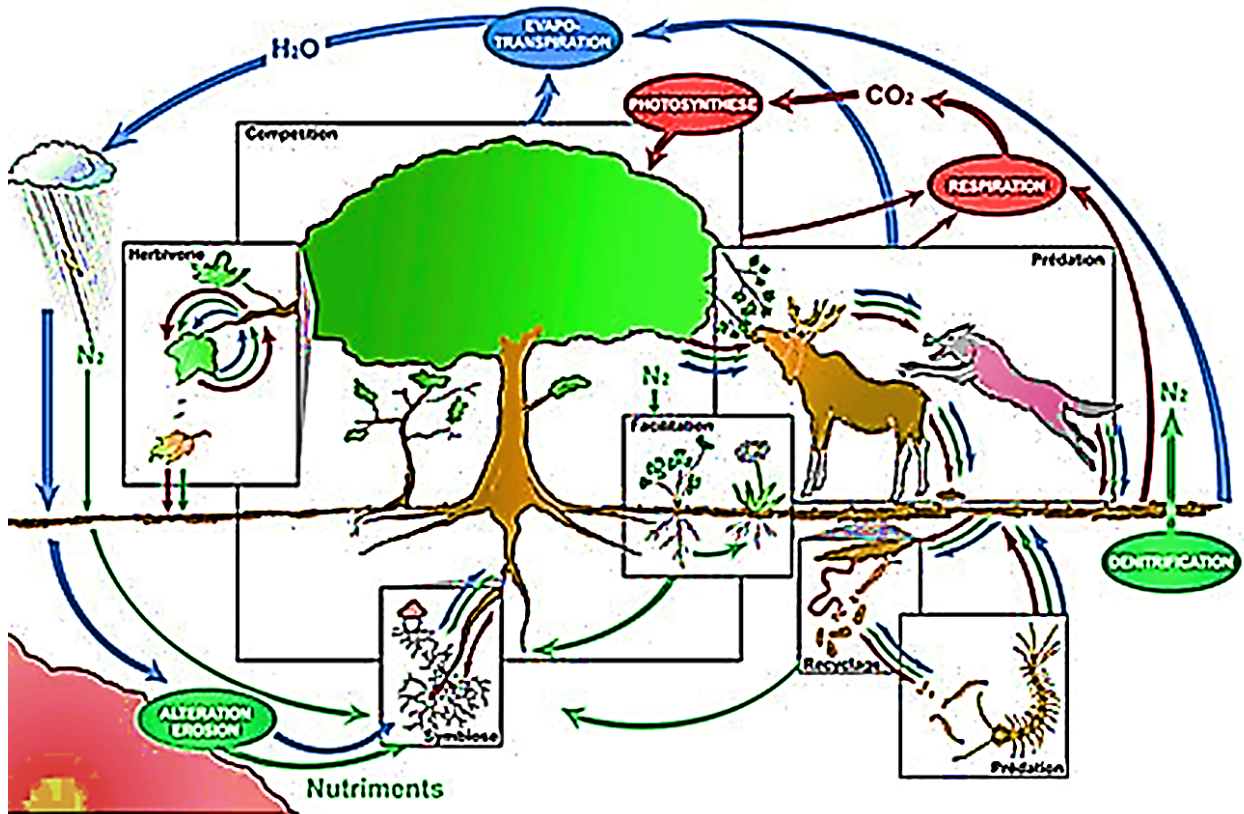


Figure A : Fonctionnement des écosystèmes (Mouquet *et al.*, 2010).

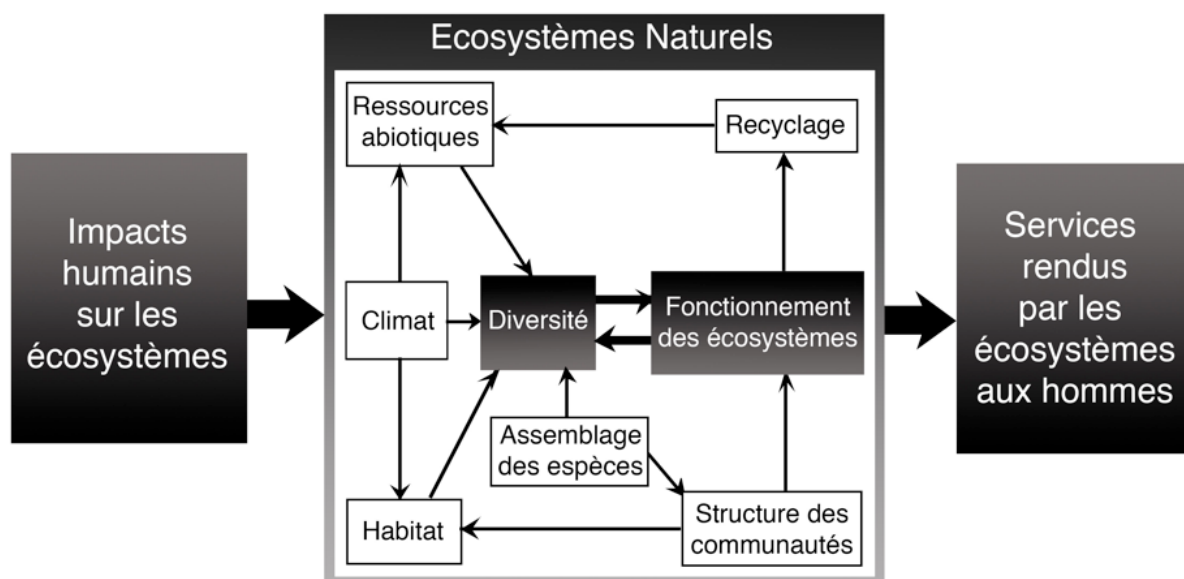
Annexe 02

Figure B : Fonctionnement des écosystèmes et interaction avec les sociétés humaines (Mouquet *et al.*, 2010).

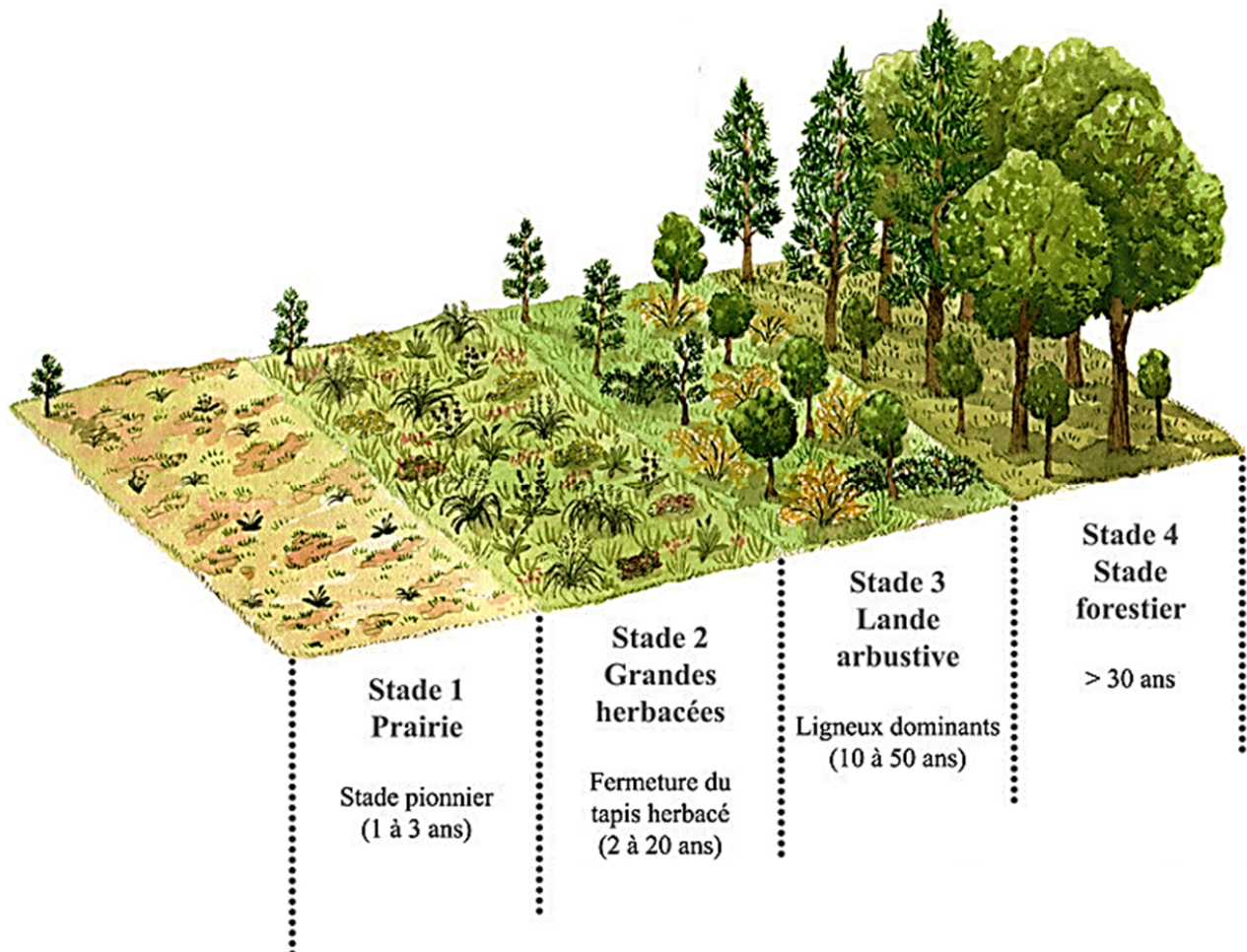
Annexe 03

Figure C : Schéma de succession écologique (florencedellerie.over-blog.com)

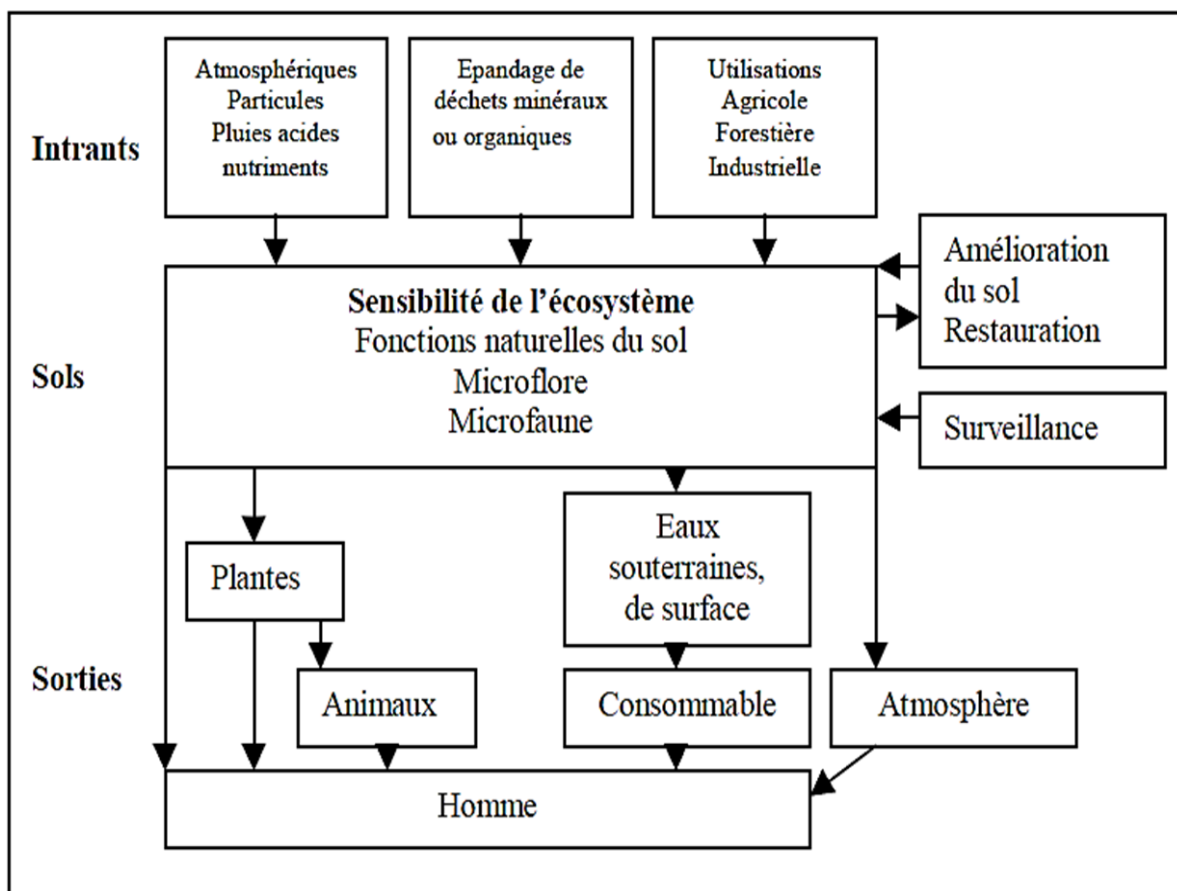
Annexe 04

Figure D : Schéma général montrant la place centrale du sol dans les problèmes d'environnement (Mathieu, 1996).

Annexe 05

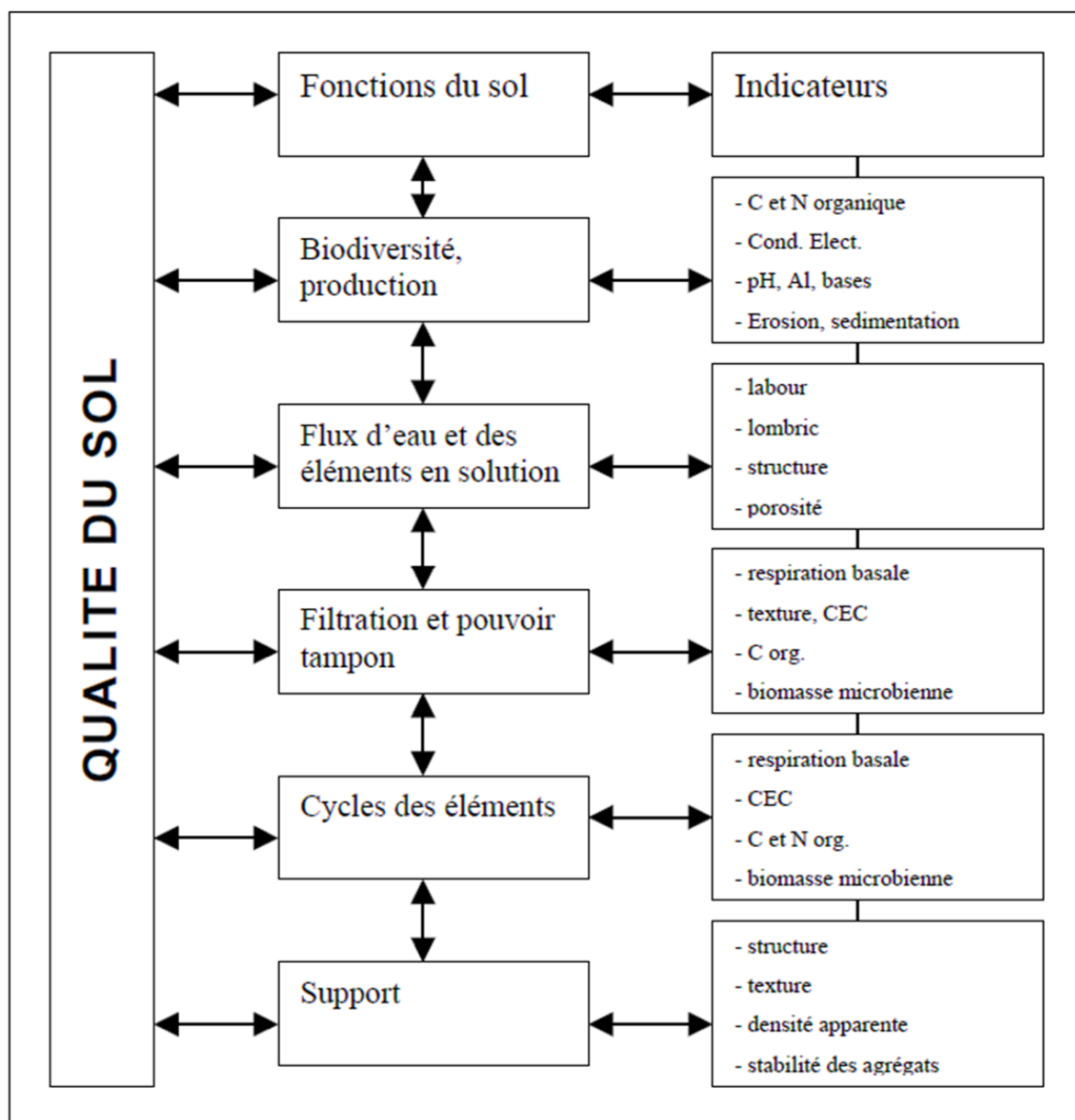


Figure E : Représentation graphique du concept de la qualité du sol en utilisant des indicateurs en relation avec les fonctions du sol (Mausbach *et al.*, 1997).

Annexe 06

Tableau I : Proposition d'indicateurs physiques, chimiques et biologiques des fonctions et de la qualité des sols (d'après Doran *et al.*, 1997 ; Karlen *et al.*, 1997 ; Doran *et al.*, 2000).

Indicateurs de l'état du sol	Relations entre l'état du sol et sa fonction ; mesures prioritaires	Valeur écologiquement significative ; Comparaison pour l'évaluation
Physiques		
Texture	Rétention et transport de l'eau et des éléments chimiques ; Modélisation de l'utilisation, de l'érosion et de la variabilité des sols	% sables, limons et argile ; Sites les moins érodés ou la position topographique
Profondeur du sol, enracinement	Estimation de la productivité potentielle et de l'érosion ; Normalisation de la variabilité des paysages	cm ou m ; Sites non cultivés ou différents localisation dans le paysage
Infiltration et densité apparente (Da)	Potentiel de solubilité, de productivité et d'érosivité ; ajustement des mesures en bases volumétrique	min par 2,5 cm d'eau, Mg/cm ³ ; Position topographique
Capacité de rétention	En relation avec les flux hydrique, le transport et l'érosivité ; Eau utile, Da, texture, Mo	% (Mg/cm ³), cm d'eau disponible pour 30 cm ; Intensité des précipitations
Chimiques		
Matière organique (C et N org. Totale)	Fertilité, stabilité du sol, érosion ; Utilisé dans le processus de modélisation et de normalisation des sites	kg C et N / ha 30 cm ; Sol non cultivé ou contrôle initial
pH	Activités biologiques et chimiques ; Essentiel dans les processus de modélisation	Comparaison entre des limites max et min d'activités microbiennes et végétales
Conductivité électrique	Activités microbiennes et végétales ; Essentiel dans les processus de modélisation	dS/m ; Comparaison entre des limites max et min d'activités microbiennes et végétales
N, P et K extractibles	Nutriments phyto-disponibles et potentiels de perte d'azote ; Productivité et indicateurs de la qualité environnementale	kg / ha 30 cm ; Niveau de suffisance saisonnière pou la croissance des plantes
Biologiques		
Biomasse, C et N microbiens	Potentiel de catalyse microbienne du C et du N ; Modélisation du danger des apports en Mo	kg C et N / ha 30 cm ; Relatif au C et N total ou à la production de CO ₂
N potentiellement minéralisable	Productivité et apport en N ; Modélisation	kg N / ha 30 cm d ⁻¹ ; Relatif aux teneurs en C et N total
Respiration, teneur en eau, température	Mesure des activités bactériennes ; Estimation des activités en lien avec la biomasse	kg C / ha 30 cm d ⁻¹ ; Relatif à la biomasse microbienne

Annexe 7**Tableau II : Le seuil de tolérance au sel pour quelques plantes (Maas, 1986).**

Plantes (nom commun et nom scientifique)		ECe (électro conductivité de l'extrait de sol saturé)	Classe ^{mm}
Pois	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1.0	S
Coton	<i>Gossypium hirsutum</i>	7.7	T
Pois dolique	<i>Vigna unguiculata</i>	4.9	MT
Arachide	<i>Arachis hypogaea</i>	3.2	MS
Maïs	<i>Zea mays</i>	1.7	MS
Millet	<i>Setaria italica</i>		MS
Sésame	<i>Sesamum indicum</i>		S
Sorgho	<i>Sorghum bicolor</i>	6.8	MT
Soja	<i>Glycine max</i>	5.0	MT
Tournesol	<i>Helianthus annuus</i>		MS*
Blé	<i>Triticum aestivum</i>	6.0	MT
Blé (var. Semi-naine) ^{mm}	<i>T. aestivum</i>	8.6	T
Blé dur	<i>T. turgidum</i>	5.9	T
Bent grass	<i>Agrostis stolonifera palustris</i>		MS
Pois dolique	<i>Vigna unguiculata</i>	2.5	MS
Maïs (forage) ⁶	<i>Zea mays</i>	1.8	MS
Panic grass, bleue	<i>Panicum antidotale</i>		MT*
Saltgrass, desert	<i>Distichlis stricta</i>		T*
Sesbania	<i>Sesbania exaltata</i>	2.3	MS
Herbe du Soudan	<i>Sorghum sudanense</i>	2.8	MT
Blé forage	<i>Triticum aestivum</i>	4.5	MT
Topinambour	<i>Helianthus tuberosus</i>		MT*
Asperge	<i>Asparagus officinalis</i>	4.1	T
Brocoli	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	2.8	MS
Choux	<i>B. oleracea capitata</i>	1.0	MS
Carotte	<i>Daucus carota</i>		S
Céleri	<i>Apium graveolens</i>	2.5	MS
Concombre	<i>Cucumis sativus</i>	1.1	MS
Aubergine	<i>Solanum melongena esculentum</i>		MS
Choux frisés	<i>Brassica oleracea acephala</i>		MS*
Laitue	<i>Lactuca sativa</i>	1.7	MS
Melon	<i>Cucumis melo</i>		MS
Gombo	<i>Abelmoschus esculentus</i>	1.2	S
Oignon	<i>Allium cepa</i>		S
Pois	<i>Pisum sativum</i>	1.5	S*
Poivre	<i>Capsicum annum</i>	1.7	MS
Pomme de terre	<i>Solanum tuberosum</i>		MS
Potiron	<i>Cucurbita pepo pepo</i>	1.2	MS*
Radis	<i>Raphanus sativus</i>	2.0	MS
Epinard	<i>Spinacia oleracea</i>	3.2	MS
Courge	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	4.7	MS
Courgette	<i>C. pepo melopepo</i>	1	MT
Fraise	<i>Fragaria sp.</i>	1.5	S
Patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>	2.5	MS
Tomate	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	0.9	MS
Pastèque	<i>Citrullus lanatus</i>		MS*

^{mm} T = Tolérant, MT = Modérément Tolérant, MS = Modérément Sensible et S = Sensible. Les classes avec un * sont des estimations.

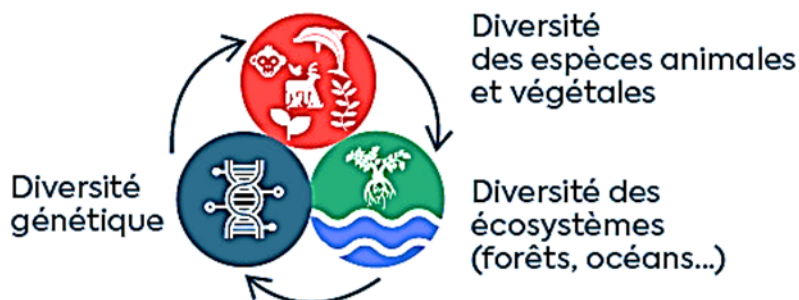
Annexe 08

Biodiversité : un déclin irrémédiable ?



La biodiversité est essentielle à l'existence humaine (fertilité des sols, pollinisation des végétaux...)

Elle repose sur trois niveaux interdépendants



1,8 million
d'espèces découvertes,
c'est-à-dire décrites
scientifiquement

Une estimation des espèces
vivantes allant jusqu'à
100 millions

Un taux d'extinction qui s'accélère en 2019 : selon un rapport, un million d'espèces animales et végétales pourraient disparaître dans les prochaines décennies



Les causes

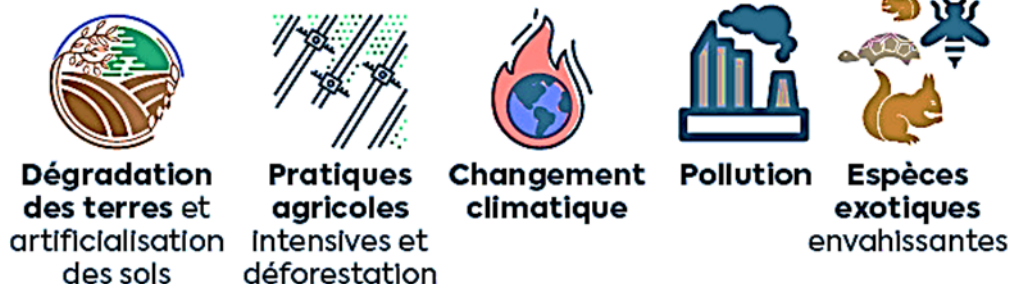


Figure F : Érosion de la biodiversité (vie publique.fr, 2019).