

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة Hassiba Ben Bouali - الشلف -
UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI - CHLEF-

كلية العلوم الزراعية و العلوم البيولوجية
Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences de Biologiques

قسم البيولوجيا
Département de Biologie



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister
Spécialité: Sciences de l'eau et bioclimatologie
Présenté par : M^r RATA Mohamed

Thème :

Variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols dans la plaine du Bas Chélif - Etablissement d'une Banque de Données -

Le 20 Juin 2010 à Chlef devant le Jury suivant:

M^r : SAIDI D.

M^r : DOUAOUI A.

M^r : HARTANI T.

M^r : NEDJAI S.

M^r : BEN ZERGUA N.

Maître de conférences, UHBC (Chlef)

Maître de conférences, CUKH (El Khemis)

Professeur, INA (Alger)

Maître de conférences, UHBC (Chlef)

Chargé de cours, UHBC (Chlef)

Président

Directeur de thèse

Examineur

Examineur

Examineur

Année 2010

*« L'homme est infiniment grand par rapport à l'infiniment petit et infiniment petit par rapport
à l'infiniment grand ; ce qui le réduit presque à zéro »*
Vladimir Jankélévitch

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné tout de patience et de courage pour accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement monsieur **DOUAOUI. A**, docteur à Centre Universitaire de Khemis Miliana, de m'avoir accepté d'être le directeur de cette thèse.

Je le remercie vivement pour ses nombreux conseils et directives, sa rigueur scientifique et son sérieux m'ont aidé à développer l'esprit critique pour mener à bien cette recherche. Je salue fortement sa grande patience à m'expliquer certains détails. Je n'oublié jamais sa grande contribution pour le bon déroulement de mon travail. Toutes ma considération pour ses aides et son soutien tout au long de mon travail ainsi sa grande disponibilité pour répondre à mes questions. J'ai découvert en lui, en plus du scientifique, son coté humain et modeste que j'ai beaucoup apprécié.

Je remercie les membres du jury de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce mémoire : **M^r SAIDI Djamel** (Maître de conférence à l'UHBC. Chlef), pour le soutien et les conseils durant mon formation et de présider le jury. **M^r HARTANI Tarek** (Professeur à l'INA d'Alger), **M^r NEDJAI Sasi** (Maître de conférence à l'UHBC. Chlef), et **M^r BENZARGUA Nouredine** (Chargé de cours à l'UHBC. Chlef), pour avoir accepté d'examiner mon travail.

J'exprime toute ma gratitude et mon profond respect à mes **professeurs** d'université de Hasiba Ben Bou Ali (spécialement : **M^r Zamouri. A**, et **M^r BELALIA. AEK**)

Je remercie tous les étudiants de l'UHBA Chlef (**KAYELE. M**, **REDHA BOUZIANE. H**) de m'avoir accepté pendant des semaines.

Je remercie tous mes collègues de ma promotion (**BELLAGUE. DJ**, **AMRANI. R**, **BACHA, BELOUAZNI. A**, **MOSTFAUL. H**, **HADIDI. Dj** et **M^r HOUARI. AEK**).

Je voudrais remercier **M^r BOUNABABE. M** le **Directeur de l'environnement** de la wilaya d'Ain Defla et tous les personnels de la Direction pour sa contribution, soit par ses conseils, soit par les moyens et les techniques du domaine d'informatique.

Je remercie tous les gens qui ont participé de loin ou de proche à ce travail (**KRIMI. M**, **Hadj Ahmed. Dj**, **BOUKHALFA. M**, **DJILALI DJILALI. H**, **BOURASE. DJ**, **MOKHTARI. DJ**, **SAHAR. S**, **TAMAR. A**, **BOUDJLEL. Y**, **BACHIR CHRIF. A** et d'autres), ainsi qu'au membre du ONEDD (**SLIMANI. B**, Ex Directeur général de ONEDD,

M^r BATOUCHE. O, MOALI. M, Directeur de laboratoire régional du centre, **MOKHTARI. S**, Directeur de laboratoire régional d'Oran et tous les personnels de la station de surveillance de Ain Defla.

Ma reconnaissance va tout particulièrement à l'administration algérienne de l'ANRH d'Alger (spécialement M^{elle} **HASSANI. F**), MATET d'Alger (M^{elle} **MEKHOULFI. S** et de **M^r BABA. K**) et CNDRB d'Alger (M^{elle} **BOUDJEMA. H**).

Enfin, Je dédie ce travail à mes **parents**, mes **sœurs**, mes **frères**, ma **femme** et à toutes la familles : **RATA, REGUIEGUE BELARBI, BEN ALI et MEHALLI** Ainsi qu'à la mémoire de **RATA Abdelkader** et à tous ceux qui m'aiment.

Table des matières

| | |
|--|-----|
| Résumé..... | I. |
| Les Abréviations | II. |
| Introduction générale | 01 |
| CHAPITRE 1 : Aperçu bibliographique | 03 |
| 1.1. Généralité sur les sols salés | 03 |
| 1.1.1. Introduction | 03 |
| 1.1.2. Définition de la salinisation des sols..... | 03 |
| 1.1.3. La salinisation des terres..... | 03 |
| 1.1.4. Origine des sels dans le sol..... | 04 |
| 1.1.4.1. La salinisation primaire..... | 04 |
| 1.1.4.2. La salinisation secondaire..... | 04 |
| 1.1.5. Définition des sels solubles..... | 05 |
| 1.1.6. Classification des sols salés..... | 05 |
| 1.1.7. Les caractéristiques chimiques des sols salés..... | 06 |
| 1.1.8. Echelles de salinité des sols..... | 09 |
| 1.1.9. Cartes de situations des sols salés dans le monde..... | 10 |
| 1.2. Cartographie numérique | 11 |
| 1.2.1. Introduction | 11 |
| 1.2.2. Définitions..... | 11 |
| 1.2.2.1. Système..... | 11 |
| 1.2.2.2. Information géographique..... | 11 |
| 1.2.3. Les Systèmes d'information géographique..... | 12 |
| 1.2.4. Les fonctionnalités d'un SIG..... | 12 |
| 1.2.5. L'aspect organisationnel d'un SIG..... | 14 |
| 1.2.6. Classification des cartes..... | 16 |
| 1.2.6.1. Classification des cartes selon le contenu... .. | 16 |
| 1.2.6.2. Classification des cartes selon le mode d'expression..... | 17 |
| 1.2.6.2.1. Degré élémentaire de lecture, la carte d'inventaire (ou descriptive)..... | 17 |
| 1.2.6.2.2. Degré moyen de lecteur, la carte de traitement (ou d'analyse)..... | 17 |
| 1.2.6.2.3. Degré supérieur de lecture, la carte d'information et la carte de synthèse..... | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 1.2.7. Les avantages des cartes numériques..... | 18 |
| 1.3. Séries chronologiques | |
| 1.3.1. Définition de la séries chronologique..... | 19 |
| 1.3.2. Méthodes d'analyse des séries chronologiques | 19 |
| 1.3.2.1. La méthode de décomposition | 19 |
| 1.3.2.2. La méthode stochastique de Box-Jenkins | 20 |
| 1.3.2.2.1. Le processus autorégressif d'ordre p, AR (p)..... | 21 |
| 1.3.2.2.2. Le processus de moyenne mobile d'ordre, MA (q)..... | 22 |
| 1.3.2.2.3. Le processus mixte | 22 |
| 1.3.2.2.4. Les processus intégrés, (I) | 23 |
| 1.3.3. Construction d'un modèle | 24 |
| 1.3.4. Etudes des prévisions | 25 |
| CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude..... | 26 |
| 2.1. Site d'étude..... | 26 |
| 2.2. Le climat..... | 27 |
| 2.2.1. La pluviométrie..... | 27 |
| 2.2.2. La température..... | 29 |
| 2.2.3. L'humidité..... | 30 |
| 2.2.4. Le vent..... | 30 |
| 2.2.5. L'évapotranspiration (ETP)..... | 31 |
| 2.2.6. Autres paramètres climatiques..... | 31 |
| 2.3. La géomorphologie..... | 31 |
| 2.3.1. Les zones géomorphologiques..... | 31 |
| 2.3.2. Les principales formations géomorphologiques..... | 33 |
| 2.3.2.1. Les lits et les terrasses inférieure des oueds | 33 |
| 2.3.2.2. La plaine alluviale de Bas Cheliff..... | 33 |
| 2.3.2.3. Pentas douces et déjection de déjection | 33 |
| 2.3.2.4. Les collines Est de Bas Cheliff | 33 |
| 2.3.2.5. Les collines de Benziene | 34 |
| 2.4. La géologie..... | 34 |
| 2.5. Le relief..... | 35 |
| 2.6. Pédologie..... | 36 |
| 2.6.1.Types de sols..... | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 2.7. L'occupation du sol..... | 40 |
| 2.8. Ressources en eau..... | 41 |
| 2.8.1.Ressources superficielles..... | 41 |
| 2.8.2. Qualité des eaux superficielles | 44 |
| 2.8.3. Ressources souterraines..... | 45 |
| 2.8.4. Les eaux souterraines..... | 45 |
| 2.8.5. Utilisation des ressources en terres..... | 46 |
| 2.9. Ecologie..... | 46 |
| CHAPITRE 3 : Matériels et méthodes | 48 |
| 3.1. Conception de la Base de Données..... | 48 |
| 3.1.1. Inventaire des études réalisées dans la plaine du Bas-Chélif | 48 |
| 3.1.2. La collecte de données..... | 49 |
| 3.1.3. Le choix des variables retenues..... | 50 |
| 3.1.4. Le traitement des données brutes | 51 |
| 3.1.5. Les sorties sur terrain..... | 51 |
| 3.1.6. Elaboration de la Base de Données..... | 52 |
| 3.1.7. Exploitation de la base de données..... | 53 |
| 3.2. Caractérisation statistique simple des données | 53 |
| 3.3. Représentation cartographique des données..... | 54 |
| 3.4. La géostatistique | 54 |
| 3.4.1. Définition de la géostatistique..... | 54 |
| 3.4.2. La variographie | 54 |
| 3.4.2.1. Propriétés du semi- variogramme | 54 |
| 3.4.2.2. Modélisation du semi-variogramme | 56 |
| 3.4.3. Le krigeage | 56 |
| 3.5. Séries chronologiques | 58 |
| CHAPITRE 4: Résultats et interprétations..... | 59 |
| 4.1. Caractérisation physico-chimique des sols | 59 |
| 4.1.1. Les propriétés physiques..... | 59 |
| 4.1.1.1. Les argiles..... | 59 |
| 4.1.1.2. Les limons..... | 59 |
| 4.1.1.3. Les sables..... | 59 |
| 4.1.2. Les propriétés chimiques..... | 60 |

| | |
|--|----|
| 4.1.2.1. Le pH..... | 60 |
| 4.1.2.2. Le calcaire Total..... | 60 |
| 4.1.2.3. La matière organique (MO)..... | 60 |
| 4.1.2.4. La capacité d'échange cationique (CEC)..... | 60 |
| 4.1.2.5. Le bilan ionique..... | 61 |
| 4.1.2.5.1. Les chlorures..... | 61 |
| 4.1.2.5.2. Les sulfates..... | 61 |
| 4.1.2.5.3. Les bicarbonates..... | 61 |
| 4.1.2.5.4. Le calcium..... | 61 |
| 4.1.2.5.5. Le magnésium..... | 61 |
| 4.1.2.5.6. Le sodium..... | 62 |
| 4.1.2.5.7. Le potassium..... | 62 |
| 4.1.2.6. Le gypse..... | 62 |
| 4.1.3. Discussion..... | 62 |
| 4.1.3.1. Classification de teneur en argiles..... | 63 |
| 4.1.3.2. Classification de teneur en limons..... | 64 |
| 4.1.3.3. Classification de teneur en sables..... | 64 |
| 4.1.3.4. Classification du pH..... | 65 |
| 4.1.3.5. Classification du calcaire Total..... | 66 |
| 4.1.3.6. Classification de teneur en de la matière organique..... | 67 |
| 4.2. Caractérisation de la salinité des sols sur les quatre compagnes | 68 |
| 4.2.1. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1975..... | 68 |
| 4.2.2. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1990..... | 70 |
| 4.2.3. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1997..... | 73 |
| 4.2.4. Analyse statistique descriptive des données de l'année 2006..... | 74 |
| 4.3. Analyse spatiale de la salinité des sols | 77 |
| 4.3.1. Etude de la structure spatiale de la salinité des différents horizons | 77 |
| 4.3.1.1. Variogrammes des horizons H1 et H2 de l'année 1975 | 77 |
| 4.3.1.2. Variogrammes des horizons H1 et H2 de l'année 1990 | 78 |
| 4.3.1.3. Variogrammes des couches de surfaces (H1) des années 1997 et 2006 | 79 |
| 4.3.2. Cartographie de la salinité des sols | 80 |
| 4.3.2.1. Cartographie de la salinité de l'année 1975 | 80 |
| 4.3.2.1.1. Cartographie de l'horizon H1..... | 80 |

| | |
|---|------------|
| 4.3.2.1.2. Cartographie de l'horizon H2..... | 81 |
| 4.3.2.2. Cartographie de la salinité de l'année 1990 | 82 |
| 4.3.2.2.1. Cartographie de l'horizon H1..... | 82 |
| 4.3.2.2.2. Cartographie de l'horizon H2..... | 83 |
| 4.3.2.3. Cartographie de la salinité de l'année 1997 | 84 |
| 4.3.2.4. Cartographie de la salinité de l'année 2006 | 86 |
| 4.3.3. Discussion | 87 |
| 4.4. Suivi spatio-temporelle de la salinité | 88 |
| 4.4.1. Evolution des superficies salées entre les années 1975, 1990, 1997 et 2006 | 88 |
| 4.4.2. Evolution ponctuelle de la salinité à l'échelle de la parcelle | 90 |
| 4.5. Etude d'une série chronologique de la salinité sur une parcelle salée | 93 |
| 4.5.1. Présentation de la série chronologique de la CE | 93 |
| 4.5.2. Etude statistiques de la Série Chronologique (1990-2003) | 94 |
| 4.5.2.1. Statistique descriptives | 94 |
| 4.5.2.2. Etude de la Série chronologique (1990-2003) | 94 |
| 4.5.2.2.1 Etude de l'autocorrélation | 94 |
| 4.5.2.2.2. Analyses des résidus Y_t | 96 |
| 4.5.2.3. Validation de modèle ARMA (1,1) | 97 |
| 4.5.3. Discussion | 100 |
| Conclusion générale | 103 |
| Références bibliographiques | 105 |
| Annexes | 109 |
| Liste des Figures | 118 |
| Liste des Tableaux | 120 |

RESUME

ملخص

الأهداف المرادة من هذا العمل هي ذات شقين : فهي أولا لدراسة التغيرات الزمنية المكانية للملوحة في سهل الشلف الأدنى على مدى بعد الجرد وجمع البيانات ، و قاعدة البيانات التي شكلت استخدمت في المرحلة الأولى لوصف طبقة تربة السهل، إنشاء خرائط

المقارنة بين خرائط الملوحة المنشأة لأربعة فترات أظهرت امتدادات كبيرة من الملوحة خاصة في المناطق المروية . هذه الزيادة في نتائج التحليل الزمني للملوحة أظهرت أيضا زيادة في نسبة الملوحة على مستوى السهل أو القطعة .

المصطلحات:

الشلف الأدنى ، الملوحة ، الجيوإحصائية ، نظم المعلومات الجغرافية ، التحليل الزمني

Résumé

Les objectifs visés par ce travail sont doubles : il s'agit d'une part d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la salinité dans la plaine du Bas Chélif sur une période s'étalant sur trente ans (1975, 1990, 1997 et 2006) et d'autre part, d'établir une base de données numérisée sur les données pédologiques.

Après avoir inventorié et collecté les données, la base de données ainsi formée a été utilisée en premier lieu pour caractériser la couverture pédologique de la plaine, établir des cartes de salinité pour en faire une analyse spatiale en utilisant l'outil géostatistique dans un environnement du SIG ; en second lieu une analyse temporelle de la salinité a été faite par comparaison entre les quatre campagnes à l'échelle de la plaine et de la parcelle pour terminer enfin par l'application du modèle ARMA sur une série chronologique de la salinité .

La comparaison entre les cartes de la salinité établies pour les quatre campagnes a montré une extension importante de la salinité tout particulièrement dans les périmètres irrigués. Cet accroissement de la salinité s'est manifesté surtout au niveau des salinités très élevées au dépend des sols non ou faiblement salés.

Les résultats de l'analyse temporelle de la salinité ont également montré une progression de la salinité et ce à l'échelle de la plaine ou de la parcelle.

Mots clés :

Bas Chélif, Salinité, Géostatistique, SIG, Analyse temporelle

Abstract

The objectives of this work are twofold: it is firstly to study the spatio-temporal variability of salinity in the plain of Lower Chelif over a period spanning thirty years (1975, 1990.1997 and 2006) and secondly, to establish a database on the digitized soil data.

After the inventory and collected data, the database thus formed was first used to characterize the soil mantle of the plain mapping of salinity into a spatial analysis using geostatistical tools in an environment of GIS and secondly a temporal analysis of salinity was made by comparing the four campaigns across the plains and the parcel to finish last by the application of an ARMA time series of salinity.

The comparison between the maps of salinity established for the four companions showed a significant extension of salinity especially in irrigated areas. This increase in salinity was mainly expressed at very high salinity in soil depends not or slightly salty.

The results of temporal analysis of salinity have also shown an increase in salinity and the wide plain or parcel.

Keywords:

Lower Chelif, Salinity, Geostatistical, GIS, Temporal Analysis

LES ABREVIATIONS

L'ABREVIATION

LA SIGNIFICATION

| | |
|---------------|--|
| ACF | AutoCorrélation Fonction |
| ANRH | Agence National des Ressources Hydriques. |
| AR (p) | AutoRégressif d'ordre p |
| ARMA | AutoRegressive Moving Average (moyenne mobile autorégressif intégré) |
| BNEDER | Bureau National d'Etude pour le Développement Rural |
| CE | Conductivité Electrique |
| CEC | Capacité d'Echange Cationique |
| CV | Coefficient de Variation |
| FAO | Organisation de l'Alimentation et l'Agriculture. |
| H | Horizon |
| GPS | System Position Global |
| MA (q) | Moyenne Average d'ordre q |
| MO | Matière Organique |
| MATET | Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme |
| PACF | Partielle AutoCorrélation Fonction |
| SAR | Sodium Absorption Ratio |
| SIG | Système d'Information Géographique |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| INSID | Institut National des Sols Irrigués et Drainés |
| INRAA | Institut National de la Recherche d'Agriculture de Algérie |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La mise en application de la notion de développement durable nécessite une approche globale du territoire et une démarche interdisciplinaire pour l'analyse des problématiques de développement. Or, la mise en œuvre d'un tel processus faisant intervenir un grand nombre de partenaires nécessite que la démarche soit connue, claire et crédible pour chacun. Pour ce faire, il nécessite de récolter, gérer, traiter et diffuser une masse considérable de données. C'est dans ce cadre que le recours aux systèmes d'information géographiques s'avère nécessaire de nos jours, surtout avec l'explosion fantastique et le développement important de l'informatique. (Mohamed Moncef et al., 2005).

Parmi les problèmes que tout développement durable doit prendre en considération se trouve celui de la perte de la SAU (surface agricole utile). En effet, le taux élevé d'accroissement de la population en Algérie ne s'est pas fait sans conséquences sur la dégradation de ressource, ce qui a abouti à une perte de la superficie agricole estimée à 250 000 ha ; ce qui représente une perte moyenne non négligeable de 3.13 %.

La plaine du Bas-Chélif qui est l'une des trois plaines composant la vallée du Chélif (Haut, Moyen et Bas-Chélif) est la plus touchée par le problème de la perte de ses superficies agricoles. En plus des facteurs connus dans la perte du foncier agricole algérien telles que la saharisation et l'urbanisation, la plaine du Bas-Chélif est sévèrement affectées par le problème de salinisation des ses sols. En effet, la salinisation des sols qui n'a cessé de progresser aux échelles spatiale et temporelle ces deux dernières décennies suite à l'aridité du climat ayant conduit au recours accru à l'irrigation par les eaux souterraines souvent chargées en sels est incontestablement le plus grave problème qui touche cette plaine (Douaoui et al., 2007). C'est ainsi que les sols qui étaient déjà touchés par la salinité, selon la carte de Boulaine (1956), couvraient 13500 ha soit 34 % de la superficie de la zone d'étude. (Douaoui, 2005), alors que les superficies qui sont actuellement touchées par la salinité avoisinent les 80 % (Douaoui et al., 2006).

La connaissance de cette évolution spatio-temporelle de la salinité nécessite une connaissance de l'historique de cette variable, ce qui nous a amené à l'inventaire des études réalisées dans la plaine et la collecte de leurs données afin d'établir une base de données.

Nous avons eu donc recours aux SIG pour la mise en place d'une base de données à références spatiales, susceptible de mieux renseigner sur les sols de la plaine de façon générale et sur leur salinité de façon particulière.

Les objectifs de ce travail sont :

- établir une base de données géoréférencée sur les sols de la plaine du Bas-Chélif ;
- cartographier les différents niveaux de la salinité des sols de la plaine par l'utilisation de la géostatistique ;
- étudier l'évolution temporelle de la salinité à l'échelle spatiale par comparaison entre plusieurs campagnes d'étude et à l'échelle parcellaire par la modélisation d'une série chronologique.

C'est donc pour répondre à ces objectifs, que ce mémoire a été structuré comme suit :

- Le premier chapitre regroupant une synthèse bibliographique. Elle est consacrée en premier lieu à la conception des sols salés et ses caractères, la conception de cartographie numérique, la conception de modélisation statistique et géostatistique ; et le dernier sur la conception de séries chronologiques
- le deuxième chapitre est consacré à la présentation du cadre général de la plaine du Bas-Chélif (climat, géologie, pédologie, ressources hydriques...)
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation du matériel et méthodes utilisées pour réaliser ce présent travail ;
- Le dernier chapitre est réservé à l'analyse spatio-temporelle de la salinité sur une période de trente années par applications du SIG, de la géostatistique et l'analyse d'une série chronologique.

PREMIER CHAPITRE

1. APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

- **1.1. Généralité sur les sols salés**
- **1.2. Cartographies numériques**
- **1.3. Séries chronologiques**

1.1. GENERALITE SUR LES SOLS SALES

1.1.1 Introduction

La salinisation et l'extension du secteur des sols salés est l'un des effets les plus répandus et significatifs dans la plaine du Cheliff de l'ouest Algérie, d'où la nécessité d'une connaissance approfondie des ces sols salés et leur délimitation sur des supports cartographiques et Banques des données afin de suivre leur évolution.

1.1.2. Définitions de la salinisation des sols

- Les échelles de salinité des sols ont été mises au point à des fins agronomiques. Lorsque l'on considère les sols avec des CE_e supérieures à 8 ds/m, on sait que la plupart des plantes cultivées dans ces conditions voient leurs rendements nettement affectés par la salinité, sachant que déjà à partir de 4 ds/m la situation est défavorable pour plusieurs types de culture. Au-delà de 16 ds/m, seuls des végétaux spécialisés peuvent croître normalement dans de tels milieux salés (Clément, François, 2003).

- La salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels dans le profil. Cette accumulation qui se fait le plus souvent à la surface du sol et dans la zone acinaire occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'ensuit une diminution de rendement et, à long terme, une stérilisation du sol (Sumner, 1993 ; Douaui, 2005).

- les sols salés sont caractérisés par la présence de forte quantité des sels solubles ou par la richesse de leur complexe adsorbant en ions provenant de ces sels (Duchaufour, 1997)

1.1.3. La salinisation des terres

Lorsqu'on irrigue une terre mal ou non drainée, l'eau de surface en s'évaporant entraînera l'accumulation de sodium (sel). La remontée de la nappe aquifère amène l'eau salée au contact des racines.

De ce fait la couche arable du sol devient trop saline, ce qui se traduit par la diminution de la productivité du sol. Dans d'autres situations (plaine de la Mléta par exemple), ce phénomène est accentué par l'apport de sels solubles provenant de l'érosion des terrains gypseux et carbonatés des monts du Tessa.

Il est reconnu que pas de moins de 1 million d'hectares de terres (à travers le territoire national) sont touchés par le phénomène de salinisation dont près de 50% se trouvent localisés

dans les régions sahariennes où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, et l'absence d'un système de drainage efficient et le manque d'exutoires naturels pour certaines zone (cas de certaines palmeraies dans la wilaya d'Adrar : charouine par exemple).

De toutes les manières, il est important de souligner que la salinité des terres a, de façon générale, deux origines : la salinisation primaire et la salinisation secondaire (INSID.1997).

1.1.4. Origine des sels dans le sol

1.1.4.1. La salinisation primaire

Plusieurs facteurs agissent dans le processus de salinisation primaire (géologique et géomorphologique) dont :

- le climat ;
- la topographie et la géomorphologie ;
- la géologie salifère ;
- le développement du réseau hydrographique.

Le climat par une forte évaporation, une faible hauteur pluviométrique et une répartition irrégulière et une forte amplitude thermique, agit de façon défavorable sur la pédogenèse. C'est pour cette raison que les sols salés « halomorphes » se localisent généralement dans les zones arides et semi-arides.

L'endoréisme des bassins versants concoure à la formation des sols salés. La densité du réseau hydrographique peut être source de salinisation des terres lorsque ce dernier traverse des couches géologiques salifères.

La topographie des plaines, lorsqu'elle est plate, concoure à la salinisation des terres si en plus, c'elles-ci n'est pas doté d'un réseau de drainage.

La faible profondeur des nappes phréatique joué également un rôle dans la salinisation des terres (INSID, 1997).

1.1.4.2. La salinisation secondaire

Le terme de salinisation secondaire est utilisé lorsque celle-ci est induite par des pratiques agricoles et d'irrigation sur des sols cultivés. Il s'agit généralement d'une contamination de sols prédisposés à la salinité par l'apport exclusif en eau chargée de sels solubles, en amont d'un bassin versant hydrographique constitue de sols.

Les effets résultants de cette accumulation de sels se manifestent de la même manière que pour la salinité primaire. La pratique de l'irrigation dans des zones arides conduit, avec le temps et en absence de l'assainissement des drains, au phénomène d'irréversibilité de la salure généralement en cas de déficit prolongé du bilan hydrique de sols (Daoud, 1993)

1.1.5. Définition des sels solubles

On entend par sels solubles tous les sels plus solubles à l'eau que le gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique. Pour caractériser la salinité des sols on met habituellement l'accent sur la détermination de la composition ionique de la solution d'un extrait aqueux de sol (Halitim, 1988)

1.1.6. Classification des sols salés

On va en fait distinguer deux types de salinité des sols. Pour être plus exact, on parle de sols salsodiques qui englobent deux sous - catégories: les sols salins (Solontchaks) et les sols alcalins (Solonetz). (FAO – UNESCO, 2000).

La formation des sols salsodiques est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ sous l'une ou l'autre de ses formes : saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux :

- Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de Sodium, Na_2SO_4 sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominant dans les régions arides et semi arides.

- Les sols alcalins (Solonetz) sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement). Les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi - aride et sub - humide.

Ces deux types de sols, souvent regroupés sous le terme de sols salés, ont en fait des propriétés chimiques et physiques distinctes, d'où des effets sur les plantes, des traitements pour leur (re)mise en valeur, une distribution géographique et une qualité des aquifères adjacents différents (Justine, 2001).

1.1.7. Les caractéristiques chimiques des sols salés

Les caractéristiques chimiques des sols salins sont les suivantes:

- Les éléments dominants sont les sels solubles neutres, principalement des chlorures et des sulfates de sodium, calcium et magnésium;
- Le pH du sol est généralement de moins de 8,2;
- Une conductivité électrique de plus de 4 dS/m est généralement une limite acceptable au-delà de laquelle les sols sont classifiés comme salins ;
- Il n'y a généralement pas de relation bien définie entre le pH du sol et le pourcentage de sodium échangeable ou le SAR (Sodium absorption ratio);
- Bien que le sodium soit généralement le cation dominant, la solution du sol contient également des quantités non négligeables de cations divalents tel que le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+});
- Le sol peut contenir des quantités significatives mais modérées de composés calciques solubles tel que le gypse par exemple ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).

Ce qui fait qu'au niveau physique:

- En présence de sels soluble neutre en excès, la fraction argileuse est en état floculé et donc la structure du sol est stable. Cependant, les sols salés sont plus fragiles et souvent sujet à dégradation car la salinité réduite la couverture végétale laissant le sol sensible à l'érosion éolienne ou hydrique ;
- La perméabilité à l'eau et à l'air et autre caractéristique physique est généralement comparable à des celles des sols "normaux "(Justine, 2001).

Le schéma suivant permettra de résumer les deux types des sols salins et alcalins (Fig. 01).

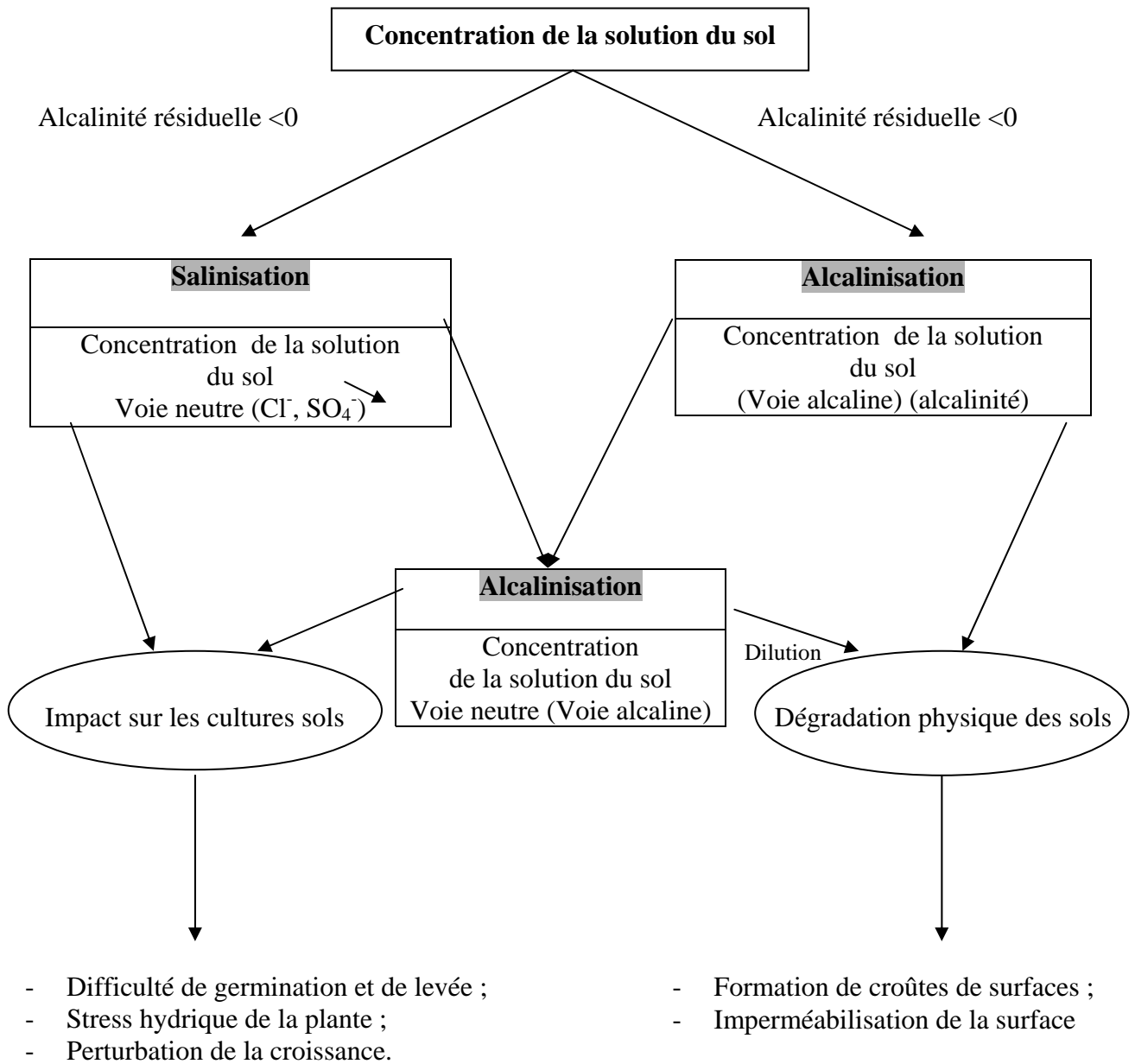


Figure 01. Processus des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur la dégradation des sols et sur les cultures. (Source : Tabet, 1999)

Le tableau N° 01 suivant permettra de résumer les caractéristiques des sols salins et alcalins déjà mentionnées et de les compléter dans d'autres domaines.

Tableau 01. Les caractéristiques des sols salés.

| 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 ₂ CO 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. Cependant le « Soil Science Society of America » établi une limite à 2 dS/m. | Le pourcentage de sodium échangeable (Exchangeable sodium pourcentage ou ESPp) 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 ₂ CO 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 CASq, 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 à semi – arides. | Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi – arides et sub – humides. |

1.1.8. Echelles de salinité des sols

Les échelles de salinité des sols ont été mises au point à des fins agronomiques. Lorsque l'on considère les sols avec des CE (extrait de saturation) supérieures à 8 ds/m, on sait que la plupart des plantes cultivées dans ces conditions voient leurs rendements nettement affectés par la salinité, sachant que déjà à partir de 4 ds/m la situation est défavorable pour plusieurs types de culture. Au-delà de 16 ds/m, seuls des végétaux spécialisés peuvent croître normalement dans de tels milieux salés. Les tableaux N° 02 et 03 donnent quelques classifications de salinité de référence.

Tableau 02. Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25°C.

| mmhos/cm ds/m | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | |
|------------------|-------------|--------------------|--|--|------|----|------------------|---------------------|----------------|----|--|
| Riverside USA | Non Salé | légèrement Salé | Salé | très Salé | | | extrêmement Salé | | | | |
| Servant 1975 | Non Salé | faiblement salé | moyennement salé | | salé | | fortement salé | | très fortement | | |
| CPCS 1967 | Non Salé | phase saline | | sol salin | | | | | | | |
| R.P 1995 | Non salé | | | horizon salique (1) | | | | | | | |
| | | | | | | | | Horizon salique (2) | | | |
| FAO 1989 | Non salé | | (1) phase saline ou (2) caractère saliques si pH H ₂ O 1/1 >8.5 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Caractères saliques | | | |
| BRM 1999 | Non salé | | | horizon salique si pH CE _e >8.5 ou <3.5 | | | | | | | |
| | | | | | | | | horizon salique | | | |

- (1) sels de la série alcaline (bicarbonates et carbonates) et pH CE_e >8.5.

- (2) sels de la série neutre (chlorures, sulfates ou nitrates) et pH CE_e >8.5.

Tableau 03. Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25°C.

| mmhos/cm ds/m | 0.6 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|--------------------|------------------|--------------------|------|-----------|------------------|-------------|
| CE _{1/5} | Non salé Salé | légèrement | Salé | très salé | | extrêmement |
| CE _{1/10} | Non Salé | légèrement Salé | salé | très salé | extrêmement salé | |

1.1.9. Cartes de situations des sols salés dans le monde

Les deux figures suivantes présentées les terres en monde qui sont touchées par le phénomène de la salinité et alcalinité, selon des études du FAO.

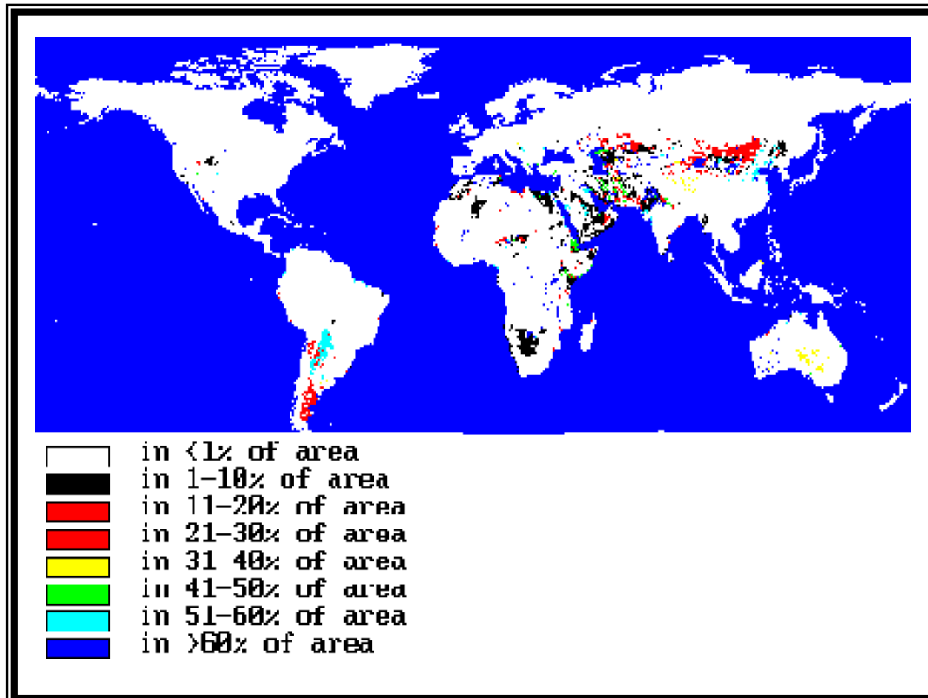


Figure 02. Les sols salins

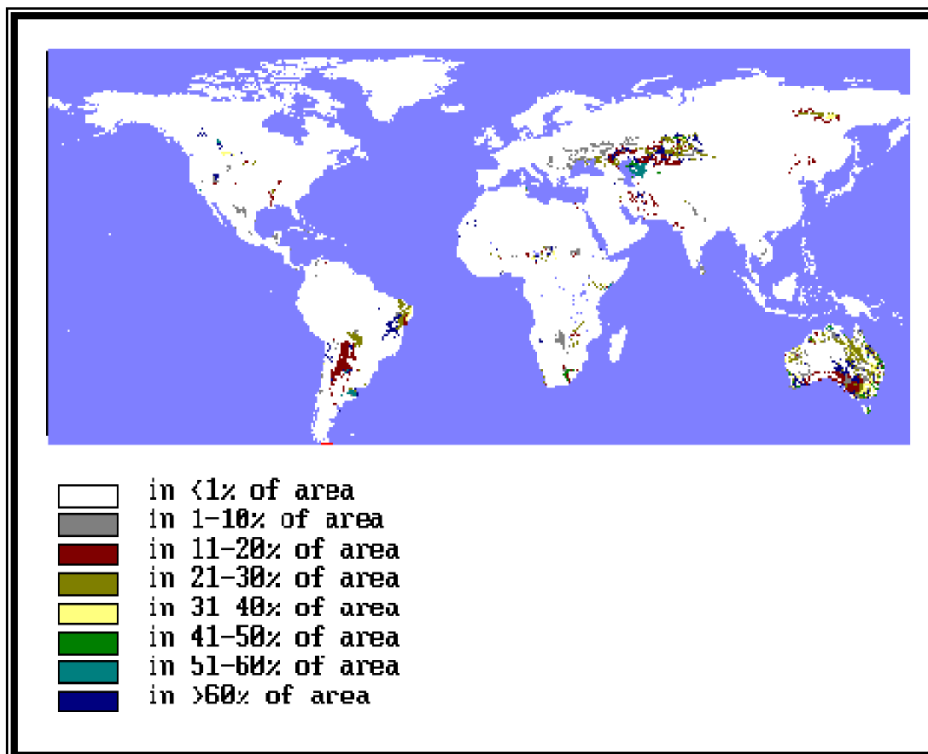


Figure 03. Les sols alcalins. Source: FAO in « Extent and causes of salt – affected soils in Participating countries” FAO – AGL Global Network on Integrated soil management for sustainable use of salt – affected soils.

1.2 : CARTOGRAPHIE NUMERIQUE**1.2.1. Introduction**

L'information géographique procède de tous les phénomènes auxquels on peut attacher une localisation. Domaine infini que l'on pourrait étendre selon sa spécialité de la molécule jusqu'à la galaxie...

La cartographie limitera son champ d'exploration aux aspects naturel et anthropique de notre environnement, ce sont les données géo-spatiales au sens large du terme. Puis elle s'appliquera à concentrer sélectivement l'attention sur une partie de ces phénomènes afin de communiquer une certaine expression du Monde (Weger, 199).

Toute évolution technologique a ses effets pervers surtout si son rythme est accéléré alors que dire de l'impact de l'information des techniques cartographiques, surtout du point de vue d'utilisateurs du domaine de l'aménagement.

La rigidité des plans et cartes traditionnelles sur papier ou sur calque ne répond plus aux besoins d'aide à la gestion et à la décision exprimés par les uns et les autres. Dans ces dernières années le développement des technologies informatiques permet désormais de mieux formaliser les connaissances et de modéliser les phénomènes. Par conséquent la nécessité de disposer d'informations géographiques numérisées est ressentie par un nombre de plus en plus grand d'utilisateur de services techniques, d'administrations de bureaux d'étude, d'industriels ...etc.

1.2.2. Définitions**1.2.2.1. Système**

Un système est un ensemble organisé globalement et comprenant des éléments qui se coordonnent pour concourir à une information et donc un système relie un ensemble d'objets et d'activités pour qu'ils interagissent dans un but unique.

1.2.2.2. Information géographique

Se définit comme une liaison entre un objet ou un phénomène et sa position sur la surface terrestre, c'est donc une combinaison d'information graphiques et d'informations alphanumériques (David, 1993). Elle concerne selon (Kayadjania, 2002) l'information sur les lieux de la surface terrestre, la connaissance de la localisation d'évènements et la connaissance de ce qui est à un emplacement donné.

D'après Didon (1990) l'information géographique désigne toute information relative à un point ou un ensemble de points spatialement référencés à la surface de la terre. Ce qui veut dire qu'une information est qualifiée de géographique si elle réfère à la description d'objets, d'évènements ou de phénomènes localisés à la surface terrestre.

On rassemble sous la dénomination d'informations géographiques, les données aussi diverses que:

- la répartition spatiale de ressources naturelles (couvert végétal, eaux, sol etc...);
- la localisation d'infrastructures (routes, réseaux d'équipements divers, bâti, grands ouvrages, etc...);
- Les données statistiques relatives à chaque entité ou objet spatial (puissant et weber, 2001).

1.2.3. Les Systèmes d'Information Géographique

Par définition, une '*information géographique*' est une information qui peut être rattachée à des éléments dont la position est définie par des coordonnées. De façon générale ces éléments peuvent être une distribution de ressources naturelles, un point d'eau, un type de sol, un centre de santé, un quartier, un pont, un barrage, etc.

Le '*système*' renvoie à une unité de fonctionnement désignée pour accomplir une certaine tâche.

Plusieurs définitions du SIG sont proposées dans la littérature et on peut retenir simplement que les SIG sont des outils qui permettent de **rassembler** des données de diverses sources, les **gérer**, les **analyser** et **présenter** des informations localisées contribuant à la gestion de l'espace (Société Française de Photogrammétrie, 1989).

Un SIG est «un ensemble d'outils (de collecte, stockage, requête, transformation, manipulation, représentation...) qui permettent à différentes disciplines d'appréhender les informations spatiales pour un ensemble de buts » (Burrough, 1986).

La définition des systèmes d'information géographiques (SIG) est : " systèmes capables de stocker, partager, consulter et manipuler les objets représentés sur les cartes et les plans avec leur description géométrique, ainsi que toute l'information qui leur est attachée". (Laurini et Milleret-Raffort, 1993).

1.2.4. Les fonctionnalités d'un SIG

La fonction principale d'un SIG est de fournir des informations pouvant aider dans la prise de décision, l'évaluation, la recherche, la gestion et la planification.

Les composantes d'un SIG doivent assurer les différentes opérations ou les fonctions attendues du système. Il s'agit du matériel, du logiciel, des données, du personnel et de l'organisation. Chacune de ces composantes doit être l'objet d'une analyse lors de l'étude de faisabilité.

Les équipements comprennent généralement l'ordinateur et les périphériques de saisie (tables à numériser, scanner, GPS) et de sortie (imprimantes, traceurs). Les logiciels sont constitués d'un ensemble de programmes qui gèrent le système d'opération et les applications qui permettent d'assurer les fonctions du système. Quelques logiciels SIG parmi les plus courants: ArcInfo, MapInfo, AtlasGIS, GeoConcept, Idrisi, Erdas. (Fig. 04)

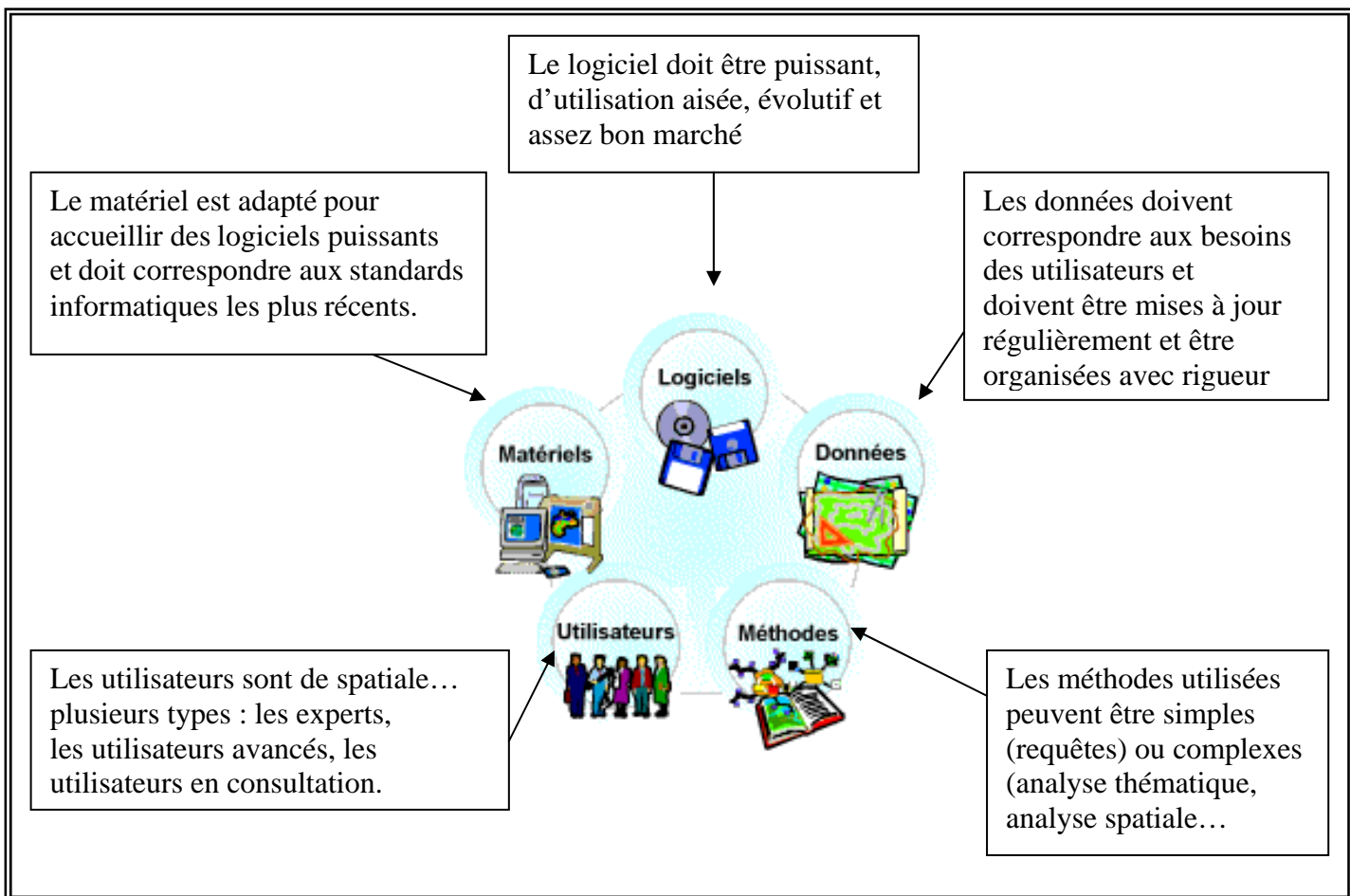


Figure 04. Fonctionnalités d'un SIG

Les fonctions accomplies par un SIG peuvent être regroupées en quatre catégories comme indiquées dans la figure N° 05 :

A- Acquisition des données avec des modules de saisie, d'édition, de mise en forme et de vérification et de correction des erreurs ;

B: La gestion des données par la manipulation d'un large éventail de données cartographiques ou numériques. Les opérations de gestion concernent le stockage, les modifications, la mise à jour et les extractions de données. Cela requiert que les données soient organisées dans un système de gestion de données ;

C: La manipulation et l'analyse des données avec des fonctions telles que la superposition, la création de zones tampons et la modélisation. Les opérations d'analyses permettent d'examiner les données en vue d'en extraire des informations ou de créer de nouvelles données qui remplissent certaines conditions (ex. les localités qui sont dans la zone d'emprise ou de polarisation d'un ouvrage à construire) ;

D: La sortie et la présentation des résultats comprennent les opérations qui affichent ou produisent diverses sorties à l'écran, à l'imprimante ou sous forme de données numériques utilisables par d'autres opérations (Amadou Moctar).

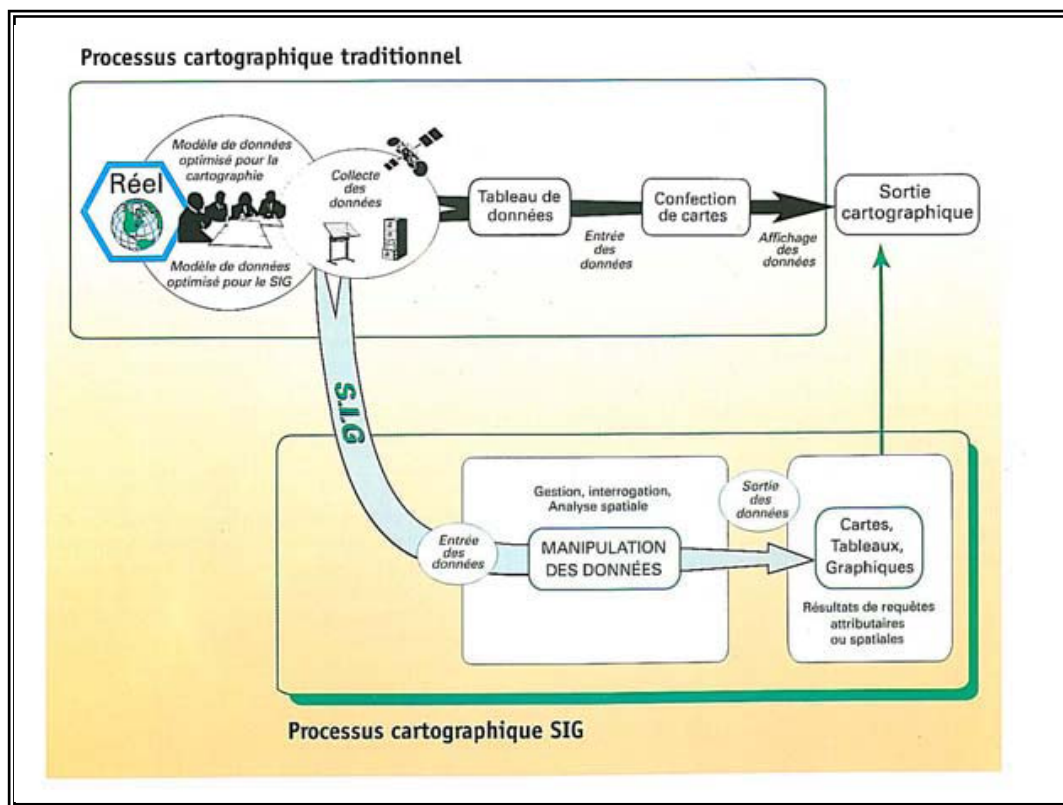


Figure 05. Composante de processus cartographique

1.2.5. L'aspect organisationnel d'un SIG

Les SIG sont des outils très puissants mais pour être efficaces et rentables, leur utilisation doit être planifiée et conçue dans un cadre organisé et structuré.

Cela devant se refléter sur toutes les composantes du système : le choix de la technologie (matériels et logiciels) ; le choix de la base de données (nature et organisation des données) ; le choix de l'infrastructure du système (personnel, locaux, dispositif de sécurité, accès, partage et organisation générale) (Bénié, 1994).

Ainsi, le système ne peut se concevoir sans une considération attentive sur le type d'information qu'il est nécessaire d'utiliser, sur leur structure et les contraintes qui y sont attachées, sur les ressources disponibles (humaines et matériels), sur les modalités d'acquisition, de mise à jour, d'intégrité et d'accès.

Un SIG approprié pour une tâche précise ou un projet particulier peut présenter des lacunes si on l'applique à d'autres problèmes.

Parmi les possibilités d'analyse spatiale et de modélisation d'un SIG on peut citer :

- A- La superposition et le croisement des données** qui sont des opérations analytiques très importantes dans les processus de modélisation prescriptive et prédictive. Ainsi la zone d'emprise d'un projet peut être croisée avec la carte d'occupation et d'utilisation des sols pour déterminer le nombre de villages ou de personnes à déplacer ou le nombre d'hectares de forêts à couper (Fig. 06) ;
- B- La reclassification** qui consiste en la transformation des attributs assignés aux catégories géographiques. Cela permet, par exemple, de classer les différentes parties d'une zone selon le degré des impacts : faible, moyen et fort ;
- C- Le calcul des longueurs**, des périmètres et des surfaces des divers éléments géographiques de la zone d'étude ;
- D- Les opérations de voisinage** qui sont une gamme de fonctions qui permettent d'évaluer les caractéristiques de la région entourant un site déterminé pour, par exemple, prévoir très tôt des mesures d'atténuation ;
- E- Les opérations de connectivité** qui servent essentiellement à définir les limites d'objets spatiaux qui sont connectés les uns aux autres. Les opérations de connectivité se subdivisent en plusieurs catégories telles que la contiguïté, la proximité, les réseaux, la diffusion spatiale, la recherche de chemin optimal ou l'intervisibilité. Dans le cas d'une pollution d'une nappe souterraine par exemple, il est possible de déterminer toutes les zones connexes susceptibles d'être contaminées ;
- F- La proximité** est utilisée pour la détermination de **zone tampon ou corridor** autour d'une entité (de forme ponctuelle, linéaire ou surfaciques) par exemple, pour la protéger contre l'impact d'agents de dégradation ou des prédateurs, ou pour

l'établissements d'un corridor ou couloir de passage notamment pour la migration de la faune sauvage dans les grandes réserves.

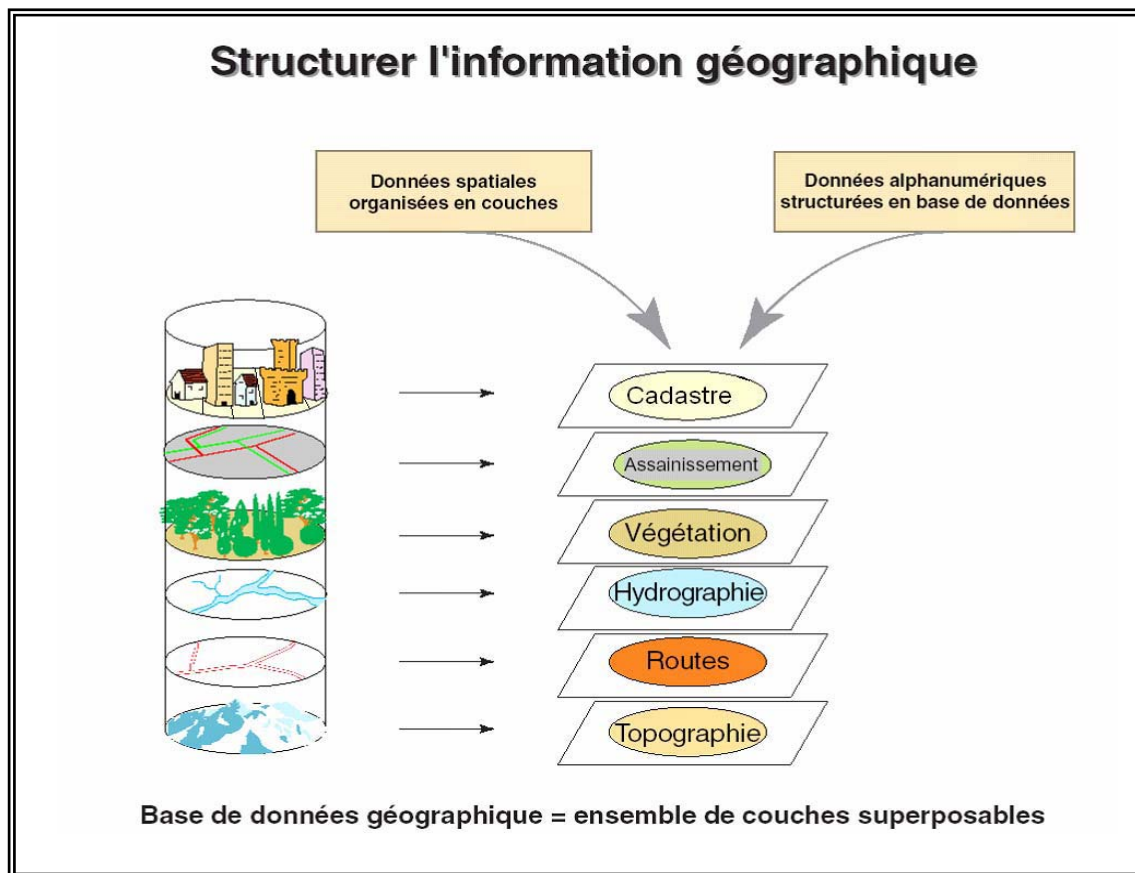


Figure 06. Aspect organisationnel d'un SIG.

Source: Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989

1.2.6. Classification des cartes

Une classification doit regrouper des individus selon leurs caractères fondamentaux, soit en considérant le contenu, soit le mode d'expression (le contenant).

1.2.6.1. Classification des cartes selon le contenu

La polémique sur ce sujet est aussi ancienne qu'aiguë, aussi pour éviter d'aggraver le débat ne sera retenu que deux classes principales :

- **Les cartes topographiques** Sur lesquelles figurent essentiellement les résultats des observations directes concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets fixes et durables existant à la

surface du sol (aspect descriptif de la physionomie du terrain). Échelles du 5 000 au 100 000 selon le degré de développement du Pays ;

- **Les cartes thématiques** Qui représentent, sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits circonscrits et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers.

Parmi les cartes thématiques, on peut effectuer un classement par thèmes, par exemple des cartes :

A- Physiques: Géophysique, Géologique, Géomorphologique, Pédologique, Hydrologique, Climatologique, Météorologique ;

B- Bio-géographiques: Phytogéologique, Zoologique, Écologique ;

C- Géographie humaine: Démographique, Sociologique, Politique, Administrative, Historique, Culturelle ;

D- Économique : Agricole, Industrielle, Transport, Commerce ;

E- Géographie générale : Cartes générales aux petites échelles. etc...

1.2.6.2. Classification des cartes selon le mode d'expression

On peut définir trois types de cartes, suivant le degré de lecture choisi pour transmettre l'information, qui correspond à trois modes d'expression:

1.2.6.2.1. Degré élémentaire de lecture, la carte d'inventaire (ou descriptive)

Le lecteur utilise la carte comme une simple banque de données, elle sert de mémoire artificielle permettant d'extraire des informations (Ex : Qu'y a t il en tel point ? tel critère correspond-il à tel point de la carte ?).

1.2.6.2.2. Degré moyen de lecteur, la carte de traitement (ou d'analyse)

Ce type de carte permet à l'utilisateur de traiter l'information, c'est-à-dire faire des comparaisons, créer des groupements homogènes, quantifier certains groupes, découvrir des relations spatiales, grâce au travail de traitement préalable réalisé par le cartographe lors de l'élaboration de la carte (Vision fine et vision globale seront nécessaires pour analyser l'image). Les caractéristiques de cette carte seront :

- Un nombre limité de composantes à ce qu'il est possible de mémoriser pour permettre le traitement (le cartographe devra donc au préalable interpréter et sélectionner les données) ;
- L'exhaustivité pour chaque composante ;
- Un fond repère réduit aux informations nécessaires à la localisation des données thématiques.

1.2.6.2.3. Degré supérieur de lecture, la carte d'information et la carte de synthèse

Ces cartes ont pour but de communiquer l'essentiel de l'information par une vision globale de L'image graphique en la rendant immédiatement mémorisable:

A-la carte d'information ou carte" message": Transmission de données sélectionnées, fortement simplifiées et extrêmement schématisé dans la forme. Destinée à un public peu averti (journal, usage scolaire...);

B- la carte de synthèse ou typologique : Analyse et traitement de données complexes aboutissant à la schématisation de plusieurs composantes. Cette synthèse est destinée à mettre en valeur les traits dominants des phénomènes et d'établir de grandes liaisons relationnelles pour permettre au spécialiste ou au dirigeant de préparer facilement des éléments de décision (Weger, 1999).

1.2.7. Les avantages des cartes numériques

La carte numérique tous comme la carte traditionnelle, elle constitue l'image de territoire ou une représentation simplifiée de la réalité; une des particularités importante est que les données au lieu d'être conservées sur un support papier, le sont sur un support numérique. Les avantages des cartes numériques sont spécifiés dans le tableau ci-dessus:

Tableau 04. Avantages des cartes numériques. (Source : Ben Mohamed, 1996)

| | |
|--------------------|---|
| leur establishment | - Informations bien regroupées, facilitée d'accès à l'information |
| leur diffusion | - Consultation directe, moins de documents papier, édition directe de différents plans. |
| leur mise a jour | - saisie |
| leur exploitation | - Changement d'échelles possibles; souplesse d'utilisation, puissance de traitement. |
| leurs coûts | - Moindres après investissement, recherche de renseignement facilitée. |

1.3 : SERIES CHRONOLOGIQUES

1.3.1. Définition de la série chronologique

- Le terme « séries temporelles » désigne à la fois les séries réelles chronologiques et une suite de variables aléatoires indicées par le temps et qui va servir à modéliser ces premières (Lechevalier, 1998)

On appelle série chronologique ou chronique une suite (Y_t) d'observations chiffrées d'un même phénomène, ordonnées dans le temps. Une série chronologique est aussi appelée série temporelle ou chronique (Nicolau, 2005).

L'analyse des séries temporelles permet d'étudier les situations passées et présentes et peut extrapoler l'événement dans un futur relativement proche; la prévision se fonde donc sur la connaissance du passé et du présent.

1.3.2. Méthodes d'analyse des séries chronologiques

Les différentes méthodes d'analyse des séries temporelles permettent d'étudier les situations passées et présentes et peuvent extrapoler l'événement dans un futur relativement proche (Bresson et Pirote, 1995).

1.3.2.1. La méthode de décomposition

Parmi les nombreuses méthodes d'étude des séries temporelles, les méthodes de décomposition constituent sans doute l'approche la plus ancienne. La simplicité du principe qui est à la base de ces méthodes et faible volume de calculs qu'elles exigent explique l'intérêt qu'on leur accorde encore actuellement (Palm, 1987.in Benzerga, 2001).

Le but poursuivi par ces méthodes est de décomposer la série en ses composantes principales. Le mouvement d'ensemble d'une série chronologique se compose de :

- La composante de tendance ou trend (T_t) qui est un mouvement persistant de variation se poursuivant longtemps selon une trajectoire déterminée :
- La composante cyclique (C) ; c'est une succession de mouvements ascendants et de mouvements descendants, dont l'ensemble forme une dynamique oscillatoire retraçant le cycle du phénomène étudié, difficilement dissociable au trend.
- La composante saisonnière (S_t) qui est un mouvement d'amplitude presque constante se répétant à intervalles égaux sur une période donnée, l'année, généralement ;

- La composante aléatoire (A_t) ou irrégulière qui résume les fluctuations accidentelles, particulières ; sécheresse, inondations, etc...

1.3.2.2. La méthode stochastique de Box-Jenkins

L'objet de ces méthodes, est de modéliser statistiquement les prévisions à court terme à partir d'observations obtenues à pas de temps donné (jour, mois, année).

Les diverses valeurs observées y_1, y_2, \dots, y_n de la série temporelle constituent des réalisations particulières des variables aléatoires Y_1, Y_2, \dots, Y_n , caractérisées par des relations de dépendance. Ce nombre fini de variables peut lui-même être considéré comme une portion d'une séquence de variables se poursuivant de façon infinie dans le futur et, éventuellement aussi, dans le passé. L'objectif de l'étude de la série chronologique est de définir le processus ayant donné lieu à la série de valeurs observées, afin de prévoir les valeurs futures de cette série.

Pour un processus stochastique quelconque, on définit les moyennes, les variances, les autocovariances et les autocorrélations par les relations respectivement suivantes :

$$\mu_t = E(Y_t) ; V(Y_t) = E(Y_t - \mu_t)^2 = \gamma_{t,t} ; \gamma_{t,s} = E(Y_t - \mu_t)(Y_s - \mu_s) ; \rho_{t,s} = \frac{\gamma_{t,s}}{\sqrt{\gamma_{t,t}\gamma_{s,s}}}$$

En pratique, afin de rendre possible l'inférence statistique, on émet cependant que le processus stochastique est gaussien et stationnaire, c'est à dire que la distribution de probabilité du processus est une distribution normale multivariée et que les moments du premier et second ordre de ce processus sont constants dans le temps : $\mu_t = \mu$ et $\gamma_{t,s} = \gamma_{t-s,0} = \dots = \gamma_k$, puisque l'autocovariance ne dépend que de l'intervalle $k = |t-s|$, qui sépare les variables considérées.

Les coefficients γ_k ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) définissent la fonction d'autocovariance et la valeur γ_0 est la variance du processus. De même, on définit comme suit la fonction d'autocorrélation (AFC) d'un processus stationnaire : $\rho_k = \gamma_k / \gamma_0$ par représentation graphique qui constitue l'autocorrélogramme.

Selon (Palm, 1987), on peut montrer, que la fonction d'autocorrélation d'un processus gaussien stationnaire est unique ; à tout processus, correspond une et une seule ACF et à toute ACF, correspond un et un seul processus.

Enfin, à partir de l'ACF, on définit encore la fonction d'autocorrélation partielle (PACF). Les coefficients d'ACF sont désignés par le symbole ϕ_{kk} , l'autocorrélation partielle entre Y_t et Y_{t+s} est la corrélation entre ces deux variables qu'on élimine l'effet des valeurs

intermédiaires entre elles. De même, nous avons aussi, graphiquement, l'autocorrélogramme partiel.

Les paramètres présentés ci-dessus peuvent être estimés pour une série temporelle de n donné, par les relations suivantes :

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \bar{y} ; \hat{\sigma}^2 = \hat{\gamma}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \text{ et } \hat{\gamma}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (y_i - \bar{y})(y_{i+k} - \bar{y}) \text{ avec } k = 0, \pm 1, \dots, \pm k).$$

Les coefficients d'autocorrélations sont estimés à partir des autocovariances : $\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0}$, et les autocorrélations partielles $\hat{\phi}_{kk}$ sont obtenus à partir des $\hat{\rho}_k$.

Les différents estimateurs présentés ci-dessus ne sont pas indépendants, ce qui rend, notamment, l'interprétation des corrélogrammes assez délicate.

Quant à l'erreur standard des coefficients d'autocorrélation, elle dépend de la structure des autocorrélations théoriques et ne peut donc être calculée que moyennant d'hypothèses supplémentaires relatives au processus stochastique. Dans le cas particulier du processus dénommé « bruit blanc » : $Y_t = \mu + \varepsilon_t$, dans lequel les ε_t successifs sont des variables aléatoires normales, indépendantes, de moyennes nulles et de variances égales à σ^2_ε , les distributions d'échantillonnage des $\hat{\rho}_k$ et des $\hat{\phi}_{kk}$ sont approximativement normales, indépendantes, de moyenne nulles et de variances approximativement égales à $1/n$.

Selon Rapacchi, (1993), il faut comprendre que la PACF est la corrélation entre Y_t et Y_{t+k} , une fois qu'on expliqué les valeurs intermédiaires, $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_{t+k-1}$. Ainsi, la PACF existe justement pour connaître jusqu'à quel niveau de décalage, il y a une relation directe entre Y_t et les valeurs précédentes.

En définitif, l'autocorrélation d'ordre k d'une série chronologique est la corrélation entre cette série et elle-même avec un retard de k périodes.

Sa valeur est de $\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0}$ (Benavent, 1999).

Dans ces processus stationnaires, nous pouvons distinguer, plusieurs types ; les processus autoregressifs d'ordre p, AR (p), de moyenne mobile d'ordre q, MA (q), mixtes ARMA (p, q), et enfin intégrés I d'ordre d .

1.3.2.2.1. Le processus autorégressif d'ordre p, AR (p)

C'est un processus stationnaire retraçant la façon dont est générée l'observation courante Y_t à partir de ses Y_{t-p} observations passées. Il est défini par :

$$Y_t = Cte + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

Comme pour précédemment, différentes conditions étant imposées aux paramètres ; $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ et les ε_t constituant toujours un bruit blanc.

Le modèle peut aussi s'écrire : $Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} - \dots - \phi_p Y_{t-p} = \varepsilon_t$.

En utilisant l'opérateur de retard B, tel que : $BY_t = Y_{t-1}$, $B^2 Y_t = BBY_t = Y_{t-2}$, etc..., on a $Y_t - \phi_1 BY_t - \phi_2 B^2 Y_t - \dots - \phi_p B^p Y_t = \varepsilon_t$, ou $(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) Y_t = \varepsilon_t$.

Enfin et de façon plus symbolique : $\phi(B)Y_t = \varepsilon_t$.

Une série Y_t suivant un processus autoregressif d'ordre 1 (AR (1)) ; $Y_t = Cte + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$ ou $Y_t - \phi_1 Y_{t-1} = \varepsilon_t \Leftrightarrow (1 - \phi_1 B) Y_t = \varepsilon_t$, fait remarquer une régression de la série décalée de 1 sur elle-même et les résidus ε_t forment un bruit blanc (Rapacchi, 1993).

Le processus AR (p) est caractérisé par une fonction ACF qui est un mélange de décroissance géométrique et de sinusoïde amortie. Elle tend rapidement vers zéro quand k croît. Pour les PACF, elles sont nulles pour toutes les valeurs de k supérieures à p: $\phi_{kk} = 0$ si $k > p$.

1.3.2.2.2. Le processus de moyenne mobile d'ordre, MA (q)

Y_t est un processus de moyenne mobile d'ordre q, MA (q), et stationnaire, défini par la relation : $Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t = \theta(B) \varepsilon_t$.

Les mêmes conditions sont imposées à $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ et à ε_t que précédemment.

Il y a lieu de noter que les conditions requises pour qu'un processus MA (p) soit inversible, consistent aux racines issues de la résolution de l'équation $\theta(B)\varepsilon_t = 0$, devant être à l'extérieur du disque unité.

Le processus MA (q) est caractérisé par une fonction d'autocorrélation s'annulant pour $k > q$ et comparable à la PACF d'un processus AR (q). Quant à la PACF, son allure est comparable à la ACF d'un processus AR (q).

En effet, on reconnaît qu'une série suit un processus MA (q), si sa ACF s'annule à partir d'un décalage q, ou qu'elle suit un processus AR (p) si sa PACF s'annule à partir d'un certain décalage p (Rapacchi, 1993).

1.3.2.2.3. Le processus mixte

C'est un processus qui est défini par la relation suivante :

$$Y_t = Cte + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \Leftrightarrow \Phi(B)Y_t = \theta(B) \varepsilon_t$$

où les polynômes $\Phi(B)$ et $\theta(B)$ sont respectivement de degré p et q. Soit $\Phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$ et $\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t$, et les coefficients ϕ_1, \dots, ϕ_p et $\theta_1, \dots, \theta_q$ sont des réels et ε_t un bruit blanc.

Un processus ARMA (p, q) est stationnaire si toutes les racines de l'équation homogène $\Phi(B)Y_t = 0$ sont à l'extérieur du disque unité. De même pour que le processus soit inversible, il faut que toutes les racines de l'équation homogène $\theta(B) \varepsilon_t = 0$ soient à l'extérieur du disque unité.

D'après (Palm, 1987 ; Bresson et Pirotte, 1995), l'avantage des processus ARMA (p, q) est qu'ils couvrent une grande variété de modèles d'observations.

Par ailleurs, l'intérêt de l'estimation des ACF et PACF et leurs représentations graphiques, est de pouvoir associer à une série observée, un modèle théorique ARMA (p, q). En effet, ces modèles théoriques possèdent des fonctions d'autocorrélation typiques.

Ainsi, la ACF d'un processus ARMA (p, q) est celle d'un processus AR (p) dès que la partie MA ne fait plus sentir ces effets, c'est à dire lorsque $k > q$, mais elle est perturbée par cette dernière quand $k \leq q$. La PACF ne s'annule pas et ressemble à celle d'un processus MA (q) dès que $k > p$, et elle est perturbée par la partie autorégressive quand $k \leq p$.

1.3.2.2.4. Les processus intégrés, (I)

Une des causes de la non-stationnarité d'une série chronologique est la présence d'une tendance en moyenne. Dans ce cas, la ACF décroît très lentement, et de façon approximativement linéaire, vers zéro, quand k augmente. A des fins de prévisions Il est nécessaire de rendre stationnaire une telle série en appliquant un filtre différence d'ordre, d noté ∇^d : $\nabla Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, $\nabla^2 Y_t = \nabla Y_t - \nabla Y_{t-1} = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2}$, $\nabla^d Y_t = \nabla^{d-1} Y_t - \nabla^{d-1} Y_{t-1}$

L'ordre de la différenciation dépend de la tendance : la différence première annule la tendance linéaire, la différence seconde annule la tendance quadratique et la différence d'ordre d annule la tendance polynomiale de degré d.

Les modèles ARMA, appliqués à la série différenciée $\nabla^d Y_t$, conduisent aux modèles ARIMA (p, d, q), dont la représentation générale est : $\Phi(B)\nabla^d Y_t = \theta(B) \varepsilon_t$

A titre d'exemple, le processus ARIMA (1, 1, 1) peut s'écrire : $(1 - \phi\theta)\nabla Y_t = (1 - \theta B) \varepsilon_t$
 ou encore : $(1 - \phi\theta) (Y_t - Y_{t-1}) = (1 - \theta B) \varepsilon_t$, $Y_t - Y_{t-1} - \phi Y_{t-1} + \phi Y_{t-2} = (1 - \theta B) \varepsilon_t$

et $[1 - (1 + \theta) B + \theta B^2] Y_t = (1 - \theta B) \varepsilon_t$. En désignant par ϕ_1^* le coefficient $(1 + \phi)$ et par ϕ_2^* le coefficient $(-\phi)$, dans le premier membre, on a : $(1 - \phi_1^* - \phi_2^* B^2) Y_t = (1 - \theta B) \varepsilon_t$, ou encore : $\phi^*(B) Y_t = \theta(B) \varepsilon_t$. Cette dernière relation, qui peut être à tous les modèles ARMA (p+d, q) (Palm, 1987).

1.3.3. Construction d'un modèle

George Box et Gwilym Jenkins sont deux statisticiens qui ont contribué, dans les années 70, à populariser la théorie des séries temporelles univariées et multivariées. Les procédures de modélisation sont présentées dans leur célèbre ouvrage intitulé « Time Series Analysis : Forecasting and Control ».

La modélisation univariée de Box-Jenkins concerne les processus ARMA (p, q) ou ARIMA (p, d, q), d étant l'ordre de différenciation de la série pour la rendre stationnaire.

La modélisation ARMA peut être assimilée à un art nécessitant un bon jugement et une certaine expérience puisque qu'elle correspond, à chaque étape, à une procédure de choix du modèle ARMA approprié à la situation étudiée.

En effet, pour trouver le modèle ARMA adéquat, Box et Jenkins proposent une procédure à quatre étapes ; identification, estimation, tests de diagnostic (validation) et prévisions (Bresson et Pirotte, 1995), selon le schéma suivant (Fig. 07) :

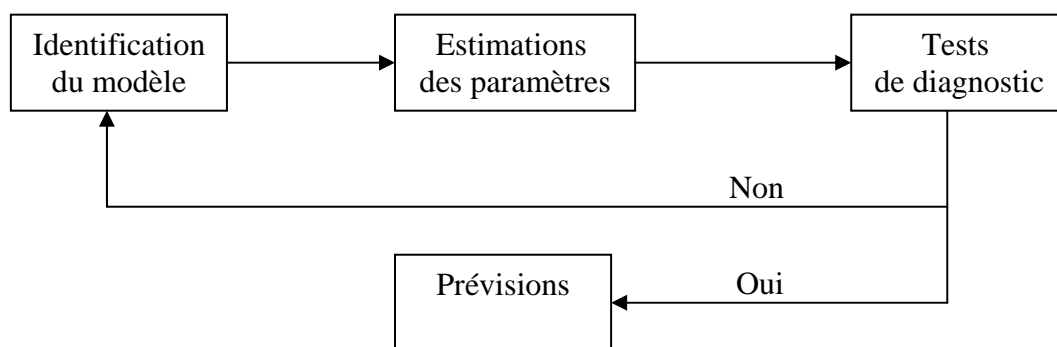


Figure 07. Procédure de construction d'un modèle.

L'identification du modèle consiste à définir le type de processus stochastique (AR, MA, ARMA, ARIMA...) susceptible de donner lieu à la série de valeurs observées, autrement déterminer les paramètres p, d (s'il existe une tendance) et q, ainsi que P, D et Q, s'il y a une composante saisonnière.

Le modèle étant identifié, il faut procéder à l'estimation des paramètres. Les méthodes recourent au principe du maximum de vraisemblance, qui, moyennant de certaines hypothèses (la plus faible somme des carrés des résidus, RSS) s'expriment sous une version non linéaire du critère des moindres carrés.

La validation consiste à vérifier si le modèle choisi dans la phase d'identification et dont les paramètres ont été estimés peut être considéré comme adéquat. Cette validation repose sur l'étude des résidus estimés : $\hat{\varepsilon}_t = Y_t - \hat{Y}_{t-1}$ où \hat{Y}_{t-1} est l'estimation réalisée au temps t-1 par le modèle adopté pour la série Y_t observée (Palm, 1987).

Sur cette base, l'idée générale sur les tests de diagnostic d'un modèle Box-Jenkins est de vérifier l'hypothèse d'indépendance des perturbations aléatoires (résidus) ε_t .

Quand l'identification des processus Box-Jenkins, à partir de la visualisation des corrélogrammes des ACF et des PACF, n'est pas évidente, on utilise des critères développés par certains auteurs, issus de concepts de la théorie de l'information. Parmi les critères les plus utilisés, c'est celui Akaike, AIC (Akaike's Information Criterion) :

$AIC(k) = (T - p) \text{Log } \hat{\sigma}_\varepsilon^2 + 2k$, avec T étant le nombre d'observations et $k = p+q+1$. p et q étant les ordres respectifs des processus AR et MA. $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \text{RSS}/T - k$. $\text{RSS} = \sum_{t=k+1}^T \hat{\varepsilon}_t^2$, $\hat{\varepsilon}_t$ est le résidu(écart) entre l'observation et la valeur prédite par le modèle.

En pratique le AIC minimum est utilisé pour « trancher » quant au choix du modèle parmi ceux estimés (Rapacchi, 1993 ; Bresson et Pirotte, 1995 ; Benavent, 1999 ; Lafosse, 2000).

1.3.4. Etudes des prévisions

Sachant les différents processus présentés ci-dessus peuvent s'écrire sous la forme générale suivante pour des observations Y_t :

$$Y_{t+1} = \phi^*_1 Y_t + \phi^*_2 Y_{t-1} + \dots + \phi^*_j Y_{t-j+1} + \varepsilon_{t+1} - \theta^*_1 \varepsilon_t - \theta^*_2 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta^*_k \varepsilon_{t-k+1} \text{ et pour l'horizon } h ; Y_{t+h} = \phi^*_1 Y_{t+h-1} + \phi^*_2 Y_{t+h-2} + \dots + \phi^*_j Y_{t+h-j} + \varepsilon_{t+h} - \theta^*_1 \varepsilon_{t+h-1} - \theta^*_2 \varepsilon_{t+h-2} - \dots - \theta^*_k \varepsilon_{t+h-k}.$$

Si on se situe au temps t et si on souhaite réaliser une prévision $\hat{Y}_t(h)$ pour le temps t + h, on obtient la formule pour les prévisions, en effectuant les substitutions suivantes :

Y_{t+i} est remplacé par $\hat{Y}_t(i)$, ε_{t+i} par 0 avec $i > 0$, ε_{t-i} par $\hat{\varepsilon}_{t-i}$ et ϕ^*_i est remplacé par $\hat{\phi}^*_i$, θ^*_i par $\hat{\theta}^*_i$ avec respectivement i allant 1 à j et de 1 à k.

DEUXIEME CHAPITRE

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2. 1. Site d'étude

La plaine du Bas Chélif est située au Nord-Ouest de l'Algérie. Elle fait partie du grand bassin hydrographique Chélif-Zahrez et occupe sa partie ouest. Elle se trouve à trente cinq kilomètres (35Km) à vol d'oiseau de la méditerranée et 250 Km d'Alger (fig. 08). Avec en son centre la ville de Oued Rhiou (wilaya de Rélizane). Le périmètre lui même est d'environ 32 km de longueur sur une largeur qui va de 2 à 10 km et à une surface totalement plate avec une altitude d'environ 70 m au dessus du niveau de la mer. Elle se trouve entre $0^{\circ} 40'$ et $1^{\circ} 6' 8''$ de longitude est et $34^{\circ} 3' 12''$ et $36^{\circ} 5' 57''$ de latitude nord.

Elle est limitée par le périmètre du moyen Chélif à l'Est. Le périmètre de la mina à l'Ouest. Les monts du Dahra au Nord et les monts de l'Ouarsenis au sud. La zone étude est traversée par la route nationale N° 4 et par la ligne de chemin de fer de l'Est à l'Ouest. Elle est limitée par la Mardja Sidi Abed à l'Est et la commune de Sidi Khattab à l'ouest. Elle englobe les communes suivantes: Oued Rhiou. Djediouia. H'madna. Sidi Khattab. Ouled Sidi Mihoub et Oued El Djemaa.

La superficie qui fait l'objet de notre étude est de près 50000 ha. Correspondant à une vaste étendue d'orientation est-ouest. Comportant plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente. Dont les plus importants sont : le périmètre de Oued Rhiou. Le périmètre de Ouarizane. Le périmètre de Djédouia. Le périmètre H'madna et le périmètre de Guerouaou. On y trouve aussi les deux zones très connues. En l'occurrence. La zone de Benziane où se trouvent le plateau et la sebkha de Benziane et la zone de Gaa qui forme une dépression très salée où les sols sont généralement abandonnés.

Les coordonnées de ce périmètre. Selon la projection UTM (WGS 1984. fuseau N° 31). Sont :

X = 285 759,44 et 330 400,64 m.

Y = 3 973 870,04 et 3 997 192,75 m.

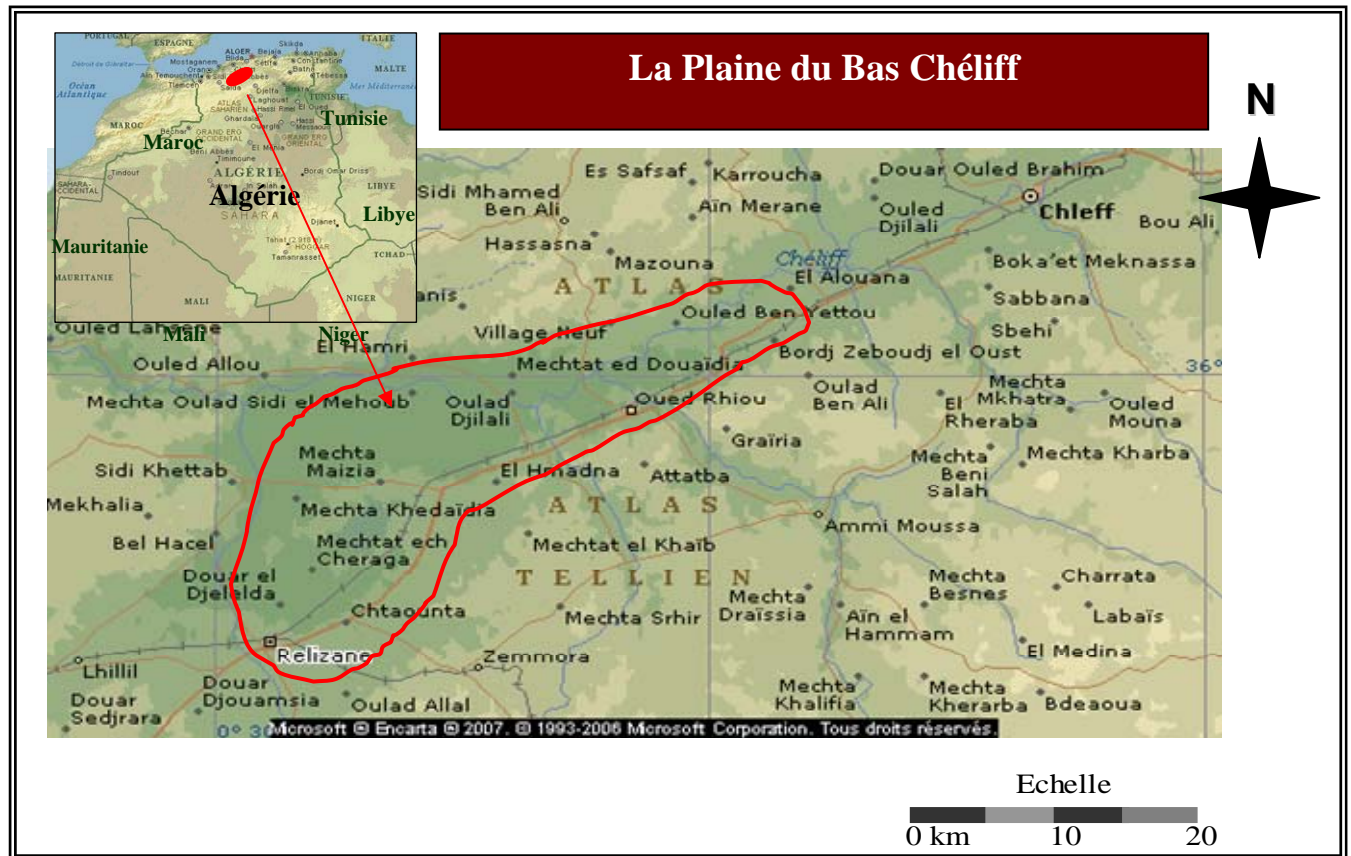


Figure 08. Localisation géographique de la zone d'étude

2.2. Le Climat

Les plaines du Chélif ont un climat spécial. Célèbre en Algérie par sa dureté, et qui à été cité comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946).

On parle du "four du tell" ou de "portion de Sahara égarée dans le tell"; en effet la chaleur qui règne dans le Chélif en été et qui est notablement plus élevée que dans les régions voisines, est une des caractéristiques les plus notables de ce climat. Il en est d'autre. Comme les basses températures de l'hiver ou la sécheresse de l'air, qui constituent un ensemble de conditions climatiques particulières et justifient la notion de climat Chélifien (Yacono, 1954).

2.2.1. La pluviométrie

En ce qui concerne les précipitations, on note une diminution de la hauteur des pluies, dans la vallée du Chélif d'Est en Ouest. La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse, la plus marquée est celle qui s'étale de 1988 à 1994 (INSID, 1998). Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie restent inférieures à 260 mm.

CHAPITRE - 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Généralement La pluie tombe sous forme d'averse de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine (Douaoui, 2005).

L'analyse pluviométrique sur la région du H'madna calculée sur une période s'étalant de 1985 à 2005. le tableau N° 05 Montre que le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux (33.52 mm), même cette analyse sur la région du Oued Djemaa calculé sur une période s'étalant de 1956 à 2004; montre le mois de Novembre le plus pluvieux (39.13 mm).

La période estivale s'étalant entre juin et août est la moins pluvieuse dans l'année. Elle est de un jour de pluie par mois survenue généralement sous forme d'averses de fortes intensités. La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet avec une pluviométrie égale à 0.86 mm; sur la région de H'Madna (1985-2005), et durant le même mois avec une pluviométrie égale à 0.56 mm sur la région d'Oued Djemaa (1956-2004).

Tableau 05. Données pluviométriques de la station météorologique de H'Madna (1985-2005) et Oued Djemaa (1956-2004).
(Source: Station de H'Madna et ANRH)

| Paramètres Mois | Moyenne des précipitations mensuelles (mm) | |
|--------------------|--|---------------------|
| | Station H'Madna | Station Oued Djemaa |
| Janvier | 33.25 | 29.59 |
| Février | 32.10 | 35.59 |
| Mars | 26.36 | 28.96 |
| Avril | 23.62 | 30.16 |
| Mai | 16.35 | 16.93 |
| Juin | 2.74 | 5 |
| Juillet | 0.86 | 0.56 |
| Août | 1.80 | 1.16 |
| Septembre | 15.51 | 12.18 |
| Octobre | 20.30 | 24.51 |
| Novembre | 35.52 | 39.13 |
| Décembre | 30.12 | 38.78 |
| Somme | 238.53 | 262.60 |

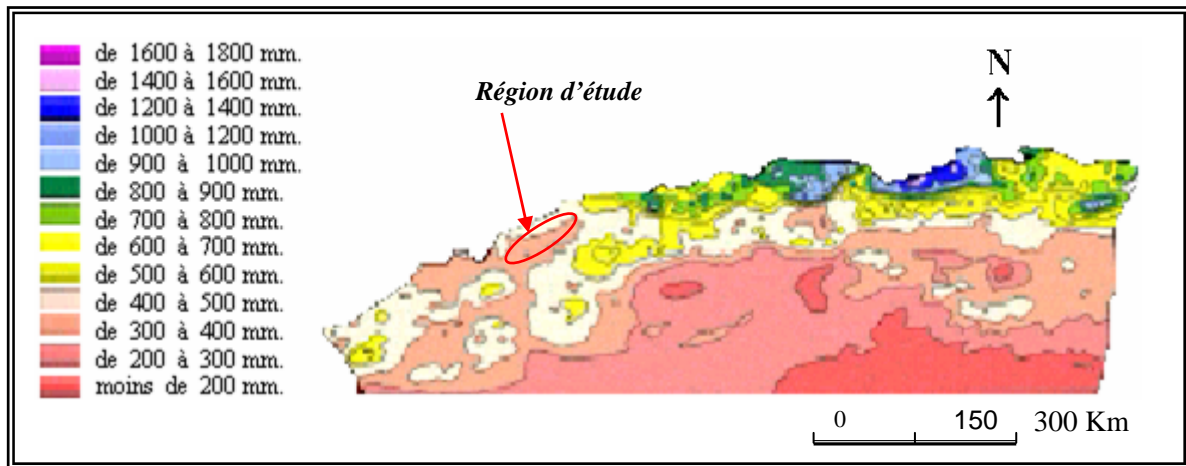


Figure 09. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord.

(Source : L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. (A.N.R.H, 1993)

2.2.2. La température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août. Où elles atteignent un maximum de 38 °C en moyenne. Ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe qui se trouve parfois à un mètre de profondeur (région de H'Madna et Ouarizen).

Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 12 °C et une minimale moyenne de 5 °C. Sont présentés dans le tableau N° 06, ci-dessous :

Tableau 06. Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales De la station météorologique de H'madna (1985-2002).
(Source: Station de H'madna)

| Paramètres / Mois | Moyennes mensuelles des températures minimales (°C) | Moyennes mensuelles des températures maximales (°C) | Températures moyennes mensuelles (°C) |
|-------------------|---|---|---------------------------------------|
| Janvier | 5 | 18 | 12 |
| Février | 7 | 21 | 14 |
| Mars | 9 | 24 | 17 |
| Avril | 13 | 29 | 21 |
| Mai | 17 | 33 | 25 |
| Juin | 20 | 38 | 29 |
| Juillet | 21 | 38 | 30 |
| Août | 17 | 32 | 25 |
| Septembre | 13 | 27 | 20 |
| Octobre | 10 | 21 | 15 |
| Novembre | 6 | 17 | 12 |
| Décembre | 5 | 18 | 12 |

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de H'madna entre 1985 et 2005, la Figure N° 10 montre que la période de sécheresse est très longue. Elle s'étale sur huit mois. Allant de Mars à Octobre.

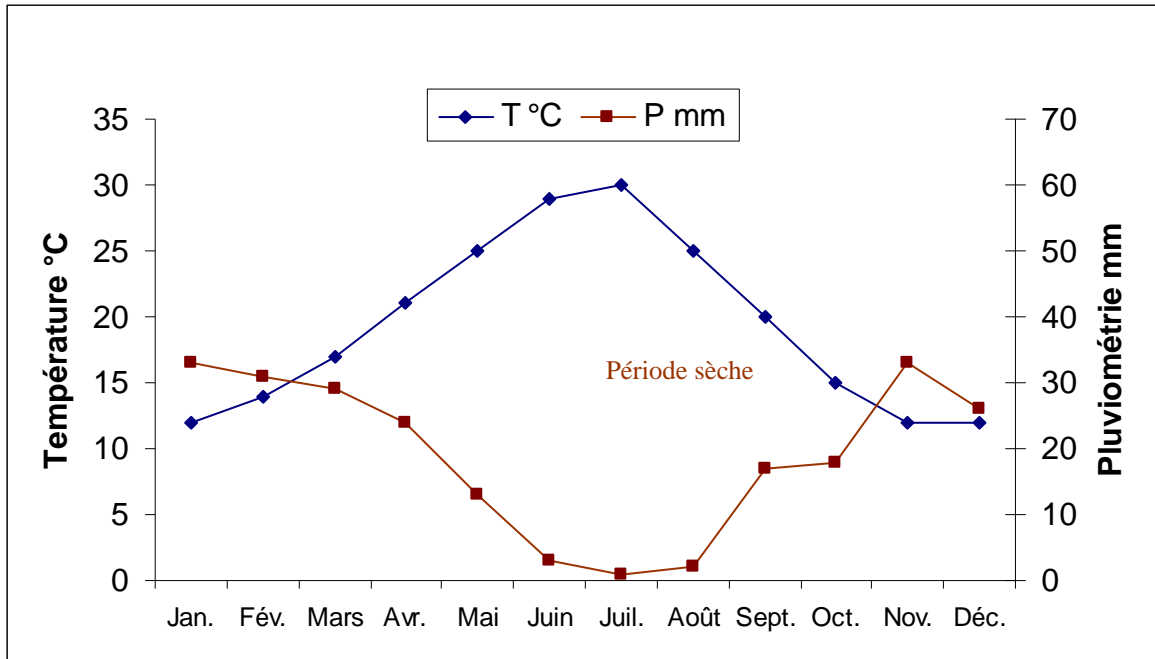


Figure 10. Diagramme ombrothermique de la station climatique De H'madna (1985-2005). (Source: Station de H'madna)

2.2.3. L'Humidité

L'humidité relative de l'air est basse ou modérée tout au long de l'année.

Elle peut compenser en certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Elle est importante pendant la saison ; hivernale avec souvent un pourcentage supérieur à 75%, elle est plus faible pendant la saison sèche mais reste tout de même assez élevée et s'articule autour de 50%.

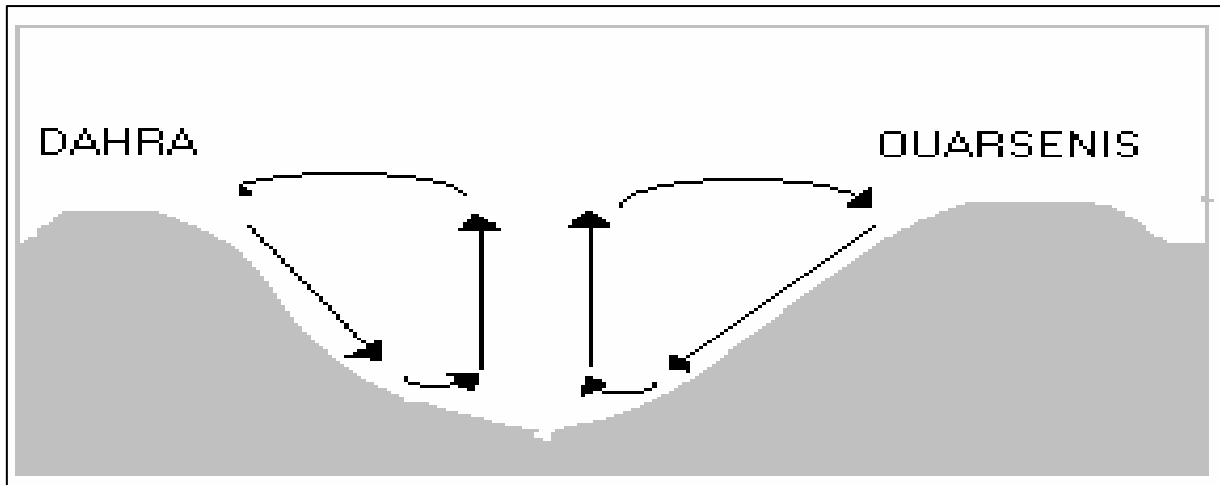
Le mois le plus humide est le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet.

2.2.4. Le Vent

La vitesse du vent jouant un rôle sur la dégradation mécanique du sol et sur l'amplitude de la température, les variations sont considérables dans la zone où le couvert végétal est absent.

On peut conclure que la vallée du Bas Chélif est une région à l'atmosphère peu agitée, tout au moins pas plus agitée que celle du reste de l'Algérie. Il existe évidemment des jours de

vent assez violent, au printemps surtout, mais ils restent exceptionnels .la figure N°11 montre le système théorique des vents



**Figure 11. Système théorique des vents ascendant et descendant
Dans la vallée du Cheliff. (source : YACONO, 1955)**

2.2.5. L'Evapotranspiration (ETP)

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de L'évaporation dans des conditions climatiques données, elle résulte de Deux phénomènes ; l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration), l'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de PENMEN est de 1700 mm/an (INSID).

A titre d'exemple, dans la plaine de H'Madna, l'évapotranspiration atteint les 1939 mm/an, alors que les pluies tombées prennent une valeur de 279.3 mm/an seulement. Notons que les précipitations efficaces sont estimées à 94.8% des pluies tombées. Ce qui indique que celles-ci a ruisselé avec une faible infiltration (INSID .1997).

2.2.6. Autres paramètres climatiques

Il a été enregistré aussi au niveau de la même station et pour la même période une moyenne de 18 jours de gelée, 11 jours de rosée, 20 jours de brouillard et 10 jours de siroco. Toutes fois les gelés printanières, les plus dangereuses sont rares.

2.3. La Géomorphologie

2.3.1. Les zones géomorphologiques

La vallée du Bas-Chéiff est un synclinal comblé du rharbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire), s'étend d'Ouest en Est sur une longueur de 45 km. La dénivelée d'un bout à l'autre de la plaine est de 0.077%.

La plaine est formée d'alluvions issues de l'oued Chéelif et de petits oueds qui ravinent le massif du Dahra dans sa partie Sud.

Au point de vue géomorphologique, on distingue 4 zones:

1^{ère} zone:

- Bourrelet alluvial de l'oued Chéelif;
- Altitude entre 49 à 54 m;
- Il s'agit de la partie de la plaine située immédiatement en contact avec l'oued. Elle est bien drainée, et formée de dépôts de texture grossière. Les sols de la classe des sols peu évolués sont très répandus dans cette région.

2^{ème} zone:

- Partie centrale déprimée;
- Cette zone est située à une altitude inférieure de 2 à 3 m au dessous du bourrelet alluvial.
- Le micro-relief est formé de buttes à pentes évasées. Les alluvions y sont de texture très fine.
- Le drainage naturel est mauvais. Les sols halomorphes et les vertisols sont les plus représentés.

3^{ème} zone:

- Zone de piedmont du massif du Dahra et cônes d'épandages des oueds;
- Cette zone est située à une altitude supérieure de 10 à 15 m au dessus de la partie centrale déprimée. Elle correspond aux cones d'épandage des oueds;
- Les dépôts alluviaux et colluviaux y sont de texture très variable.

4^{ème} zone:

- Glacis ancien de l'oued Asfar;
- Cette zone est située à l'Est du village de Ouarizane;
- C'est la partie la plus haute de la plaine et domine la zone centrale de 50 à 80 m;
- Elle est formée de dépôts alluviaux et colluviaux de texture moyenne;
- Le drainage naturel est bon;
- Les sols rouges méditerranéens et les sols isohumiques sont les plus représentés dans cette zone.

On peut diviser la plaine du Bas-Chéelif en cinq types principaux géomorphologiques (MC Donald. Bneder –1990). La figure N° 12 est obtenue par combinaison entre l'image Spot

de juillet 2000 et le modèle numérique de terrain de la plaine (1km de résolution). Elle montre les situations géographique et topographique général de la plaine du bas Cheliff.



Figure 12. Principales unités morphologiques du bassin versant de la plaine du Bas-Chéliff (combinaison entre l'imagerie satellitaire et le modèle numérique de terrain).
(Source: Douaoui, 2005)

2.3.2. Les principales formations géomorphologiques

2.3.2.1. Les lits et les terrasses inférieure des oueds: Cette zone comprend les lits mineurs des oueds ainsi que les terrasses inférieures, composées de matériaux graveleux ou sableux, qui sont susceptibles à l'inondation ;

2.3.2.2. La plaine alluviale de Bas Cheliff: Cette plaine, qui représente la majorité de la région, est plate, avec un gradient moyen de 0.6%, elle est composée de quelques 10 m alluvions de texture fine, souvent salés et de drainage médiocre ;

2.3.2.3. Pentes douces et déjection de déjection: Ces pentes ont un gradient de 2 -4% et se trouvent entre la plaine et les collines qui la surplombent. Elles sont en générale de texture moyenne, avec des gravies et des pierres par endroits et leur drainage est bon, la profondeur des sols va d'un niveau peu profond à profond ;

2.3.2.4. Les collines Est de Bas Cheliff: Ces collines sont relativement abruptes avec des pentes d'un gradient de 10-30% et de lithologie tendre. Elles sont caractérisées par une

érosion sévère en nappe et en ravines, leurs sols sont en général de profondeur faible ou modérée et sont souvent pierreux ;

2.3.2.5. Les collines de Benziene: Ces collines ont une pente beaucoup plus douce que celles de l'est du Bas-chélif avec un gradient de 2-4% seulement. L'érosion y est légère et limitée à un type d'érosion en nappe. Les sols sont profonds ou modérément profonds avec souvent des encroûtements calcaires. (Etude de l'Avant Projet Détaillé des Extensions de Gerouaou et Sebket Benziane et du Réaménagement du Bas Chélif, dossier I-B - Décembre 1989).

2.4. La Géologie

La plaine de Oued Rhiou occupe une partie du synclinorium intra-tellien dans lequel les phénomènes de subsidence quaternaire ont été particulièrement intenses.

Au nord et à l'Ouest, la plaine de Oued Rhiou est limitée par un grand glacis d'alluvions villa franchienne, relevé avec de forts pendages sur les flancs des plis anticlinaux qui bordent au sud le massif du dahra.

Dans la région de Ouarizane, une inflexion de l'axe des plis vers le nord a laissé subsister des surfaces plus considérables de ces formations.

Celles-ci recouvrent des grés du pliocène supérieur qui forment de beaux chevrons entre les quels apparaissent les marnes du pliocène inférieur et les formations marno-gypseuses du miocène (J. Boulaine).

A- Lithologie de la portion du massif du Dahra drainée vers la vallée du Bas Chélif: Les oueds principaux, dont le bassin versant sont assez étendus et qui drainent le massif du Dahra est les oueds Razzaz, Tarhia et Ouarizane.

B- Pliocène: La partie du versant sud du Dahra, immédiatement en contact avec la plaine du Bas Chélif est formé de conglomérats et de sables.

Il s'agit d'une formation constituée par une alternance de sables grossiers et de limon argileux jeune rougeâtre surmontés de conglomérats atteignant 40 m d'épaisseur.

Le pliocène inférieur forme une première bande continue constituant la première crête de collines au nord de la plaine.

Le pliocène inférieur est constitué de grés et de sables tendant à devenir de plus en plus calcaires à mesure que l'on s'avance vers l'Ouest.

C- Miocène: ce niveau étagé est représenté dans la partie supérieure des bassins versants des oueds Razzaz, Tarhia et Ouarizanz, notamment on trouve successivement rattachés à cette série du miocène les faciès lithologiques suivants:

- des calcaires marneux, qui passent latéralement à des calcaires plus compacts;
- des lentilles de gypse interstratifié;
- des marnes blanches à silex;
- des calcaires à lithothamnium;
- des grès à clypéastres;
- des poudingues à *Ostréa crassissima*;
- des argiles helvétiques;
- des marnes blanches salées gypseuses;
- des poudingues rouges.

D- Crétacé: Le crétacé supérieur est représenté à la partie tout à fait supérieure du bassin versant de l'Oued Razzaz de poudingues rouges.

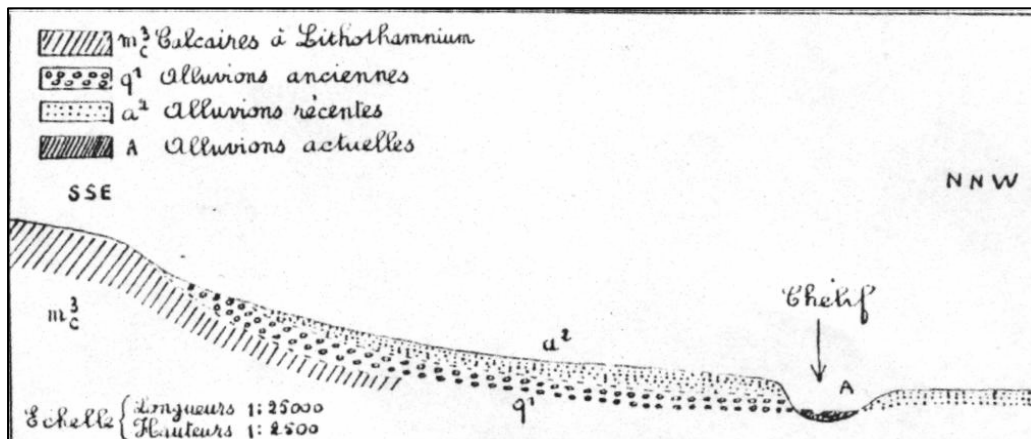


Figure 13. Coupe dans les alluvions du Cheliff (source: YACONO.X-1955)

2.5. Le relief

La vallée du Bas-Chélif est située en aval et en contre bas du grand bassin de l'oued Cheliff. La figure N°14 présente le relief de cette vallée plate, et les pentes sont quasi nulles d'où le mauvais drainage au niveau de cette région.

Au milieu de la plaine, la pente du terrain est modérée et augmente progressivement jusqu'aux villes situées au piémonts de l'Ouarsenis et ce en partant de H'madna, Djediouia

jusqu'à Oued Rhiou sur la rive gauche. De même pour la rive droite, la pente augmente progressivement, d'une façon plus prononcée, jusqu'à la Dahra.



Figure 14. Topographie de la plaine du Bas Chélif (Source : INSID, 1998)

2.6. Pédologie

En 1956 Boulaine a étudié les sols de la plaine du Bas Chélif, et distingué deux grandes divisions des sols :

A- les sols des bordures des plaines : ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes avec parfois la présence d'une croûte calcaire (fig. 15). Ils sont, toutefois, bien représentés dans la partie sud de la plaine (piémonts de Dahra) avec une texture équilibrée et une bonne structure et présentent de ce fait une bonne perméabilité.

Ces sols sont caractérisés par des teneurs moyennes en calcaire total et par l'absence de la salinité ; toutefois, leur irrigation par des eaux chargées en sels peut être responsable d'une salinisation secondaire qui se manifeste localement comme c'est le cas de certaines parcelles du périmètre de Ouarizane.

B- les sols de la plaine proprement dite : cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques (figure N°15). Dans la classe des sols salés, Boulaine (1957) distingue les Solontchaks inertes avec accumulation des sels en surface ou en profondeur, les Solontchaks vifs (horizon de surface à structure micropolyédrique en pseudo-sables durant l'été) pouvant être parfois hydromorphes, les Solontchaks vifs défloculés (dispersés en surface), les Hyposolontchaks et les Eosolontz des lunettes érodées. Ces derniers, se trouvant uniquement sur les collines qui entourent la sebkha de Benziane, se sont formés à partir des formations d'origine éoliennes.

Les solontchaks vifs défloculés étaient localisés, selon Boulaine (1957), à la rupture de pente qui borde l'auréole de la sebkha de Benziane. Actuellement, ils apparaissent également dans d'autres zones tels qu'au niveau de la partie nord-ouest du périmètre de Hmadna.

2.6.1. Types de sols

La carte des sols établie par McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) selon la CPCS (1967) montre l'existence des mêmes types de sols dans la plaine. On retrouve :

A- Les sols peu évolués :

a- Les sols peu évolués d'apport alluvial : Ce sont des sols dont les caractéristiques physico-chimiques sont très variées au vu des conditions différentes de leurs dépôts et de leurs migrations. Leur granulométrie peut être argileuse, limoneuse ou sableuse. On les rencontre le plus souvent sur les terrasses des lits de l'oued. Ils sont généralement profonds.

b- Les sols peu évolués d'apport colluvial : ces sols se localisent sur les bordures de la plaine à la rupture de pentes entre les piémonts et les glacis. On les retrouve aussi au niveau des cônes de déjection des oueds tels que Oued Rhiou et Oued Djedouia. Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leurs textures peuvent être très variées.

B- Les vertisols : Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (smectites). Ils se définissent comme des sols à profil homogène ou irrégulièrement différencié, par suite aux mouvements vertiques par gonflement et rétraction respectivement en périodes humides et sèches. Ils présentent souvent le caractère salin.

C- Les sols calcimagnésiques : Ces sols sont présents le long des limites Nord et Sud de l'aire d'étude. Ce sont des sols d'apport alluvial et colluvial. Ils sont plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires continues sous forme d'encroûtement et de croûte.

D- Les sols hydromorphes : Ce sont des sols profonds avec un drainage imparfait dû à la position basse qu'ils occupent formant généralement des dépressions fermées telles que les sols de la GAA. On les rencontre un peu partout dans le Bas Chélif.

E- Les sols salsodiques : Les sols salsodiques appelés auparavant Halomorphes sont définis comme étant des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 ds/m par la méthode de la pâte saturée ils sont appelés sols salés. Souvent dans le Bas-Chélif, la présence des sels est tellement importante qu'ils deviennent apparents à l'examen visuel sous forme d'efflorescences salines.

Il faut rappeler que souvent plusieurs caractères relatifs à plusieurs classes se retrouvent dans le même type de sol, tels que le caractère salin, vertique et hydromorphe.

Selon le degré de salinisation les sols du Bas-Chélif se distinguent en deux catégories :

a- Les sols légers et non salés ; caractérisés par une structure moyenne à grossière et présentent des caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité et infiltration) assez élevées. Ils se localisent aux bordures des oueds et aux pieds des collines bordant la plaine. Ce type de sol est également peu confronté au risque de salinisation ;

b- Les sols lourds salés ; caractérisés par une texture fine, une faible perméabilité, et des problèmes de drainages sous irrigation.



Figure 15. Carte des sols (Source : Boulaine, 1956)

2.7. L'occupation du sol

L'utilisation actuelle des terres du Bas-Chélif se résume en fait :

A- l'exploitation des vergers arboricoles (agrumes, oliviers) dont la date de plantation remonte à la période coloniale ;

B- cultures céréalières en sec principalement sur les sols calcimagnésiques autour du Sebkha ;

C- cultures légumières et maraîchères (melon, pastèques, artichaut ...) au bord des lits d'oueds, les cultures sont irriguées, en majorité à partir des nappes profondes.

Les espèces résistantes aux sels, dites halophiles sont abondantes alors les végétaux ligneux se montrent très indépendants des conditions de température (Gaucher, 1974). Parmi ces espèces, on rencontre les genres suivants:

Celles qui sont le plus répandues au niveau des zones basses (dépressions et berges des oueds):

Arhrocnum et Solicornia.

**Sueda: Sueda fruticosa
: Salsola vermiculata**

Atriplex: Atriplex halimus

Ensuite apparaissent des espèces moins tolérantes qui sont d'abord associées aux précédentes puis qui finissent par constituer l'ensemble du cortège floristique avec la décroissance de la salinité. Ces espèces appartiennent à la famille des Graminées, Composées, Joncacées, Cypéracées, Plantaginacées et Plombaginacées.

Le groupement végétal se présente sous le faciès printanier suivant:

Faciès à **Spergula salina**

Faciès à **Béta vulgaris var varitima** et **Beta macrocarpa**

Faciès à **Séncio galicus** et **Ormenis proecos.**

Faciès à **Urginea maritima.**

Faciès à **Cordylocarpus muricatus.**

Le boisement d'Eucalyptus Algeriensis est installé dans l'aire du faciès à **Beta vulgaris, Var varitima** et **Beta macrocarpa.**

L'étude plus récente (Mac Donald et Al, 1991) donne l'intensité culturale (%) dans la zone d'étude, parmi ces cultures on cite ; l'orge 20% , le blé 8.5%, l'oliviers de 3.6%,les

melons, pastèques et artichaut 6.7%. la figure N° 16 ci-dessous montrée l'occupation des sols de la plaine du Bas-Chélif en 1997.

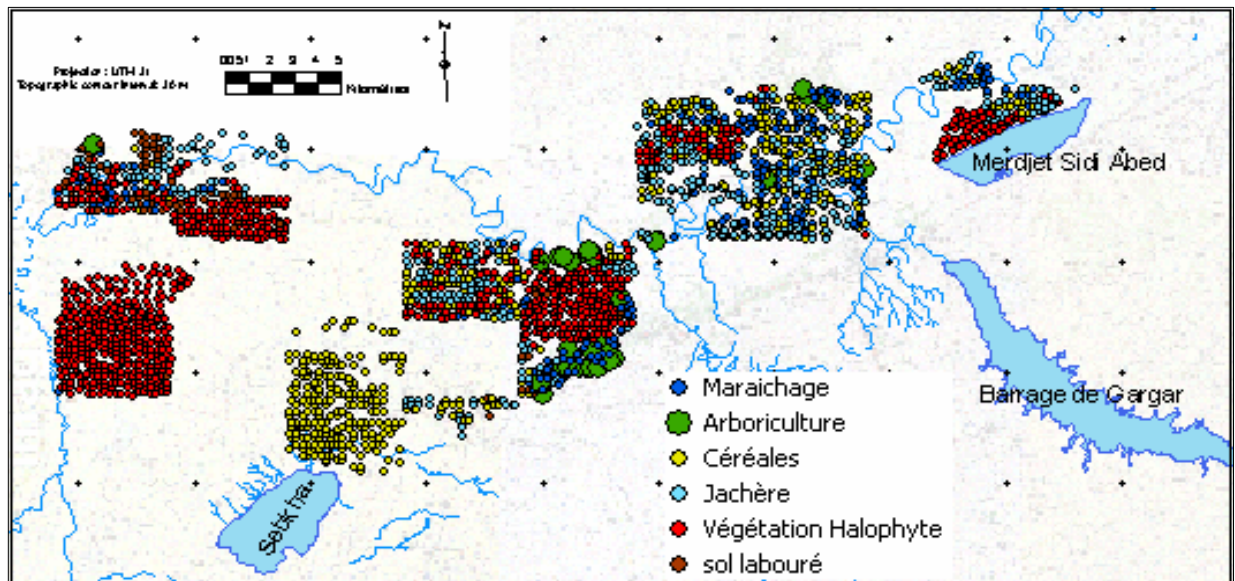


Figure 16. Occupation des sols de la plaine du Bas-Chélif

(Source: Douaoui, 2005)

2.8. Ressources en eau

2.8.1. Ressources superficielles

La figure N°17 ci-dessous présentée Le réseau hydrographique de la vallée qui comprend l'oued principal Cheliff et des oueds voisins Razzaz, Tarhia, Ouarizane et Asfar.

Le régime hydrique de l'oued Cheliff est déterminé par des conditions climatiques et physiographiques du bassin de l'oued. L'alimentation hydrique de l'oued se produit pendant la saison pluvieuse, les grandes crues ont lieu en automne et en hiver.

En hiver des débordements réguliers et catastrophiques inondent les bourrelets alluviaux de l'oued, le niveau d'eau atteint 7 à 8m. Pendant ce temps-la les eaux de l'oued sont chargées, elles emportent et redéposent de grandes quantités d'éléments fins. La variabilité de cours d'eau, l'accumulation des alluvions sont des facteurs essentiels qui conditionnent le tracé sinueux du lit et le sapement des berges (érosion latérale).

A- L'oued Razzaz : prend sa source dans les montagnes Hassi Belouenaouz. Dans cette région se trouve des argiles gypseuses. C'est pourquoi pendant les grandes crues les eaux de l'oued contiennent beaucoup de particules argileuses et une grande quantité de sel.

Dans la vallée la profondeur du lit de l'oued est de 5 à 10m et il draine le territoire contigu. En été le débit de l'oued est très faible et parfois l'oued est desséché. En hiver, pendant les grandes crues l'oued ne sort pas de son lit. Dans la partie inférieure du lit de l'oued l'érosion latérale est bien développée.

B- Oued Tarhia : cet oued n'a pas de débit permanent seulement pendant les périodes hivernales son débit est peu important, le lit de l'oued a une profondeur de 4 à 5m. Il comporte des blocs et des galets.

C- L'Oued Ouarizane : prend sa source dans les montagnes El Abiod. Il a un débit très faible, son lit dans les limites de la vallée est mal exprimé. Pendant de grandes crues les matériaux de texture grossière se déposent sur le cone de déjection de cet oued.

D- L'oued Asfar : a un faible débit pendant les crues hivernales. Durant les autres saisons le lit de l'oued est sec.

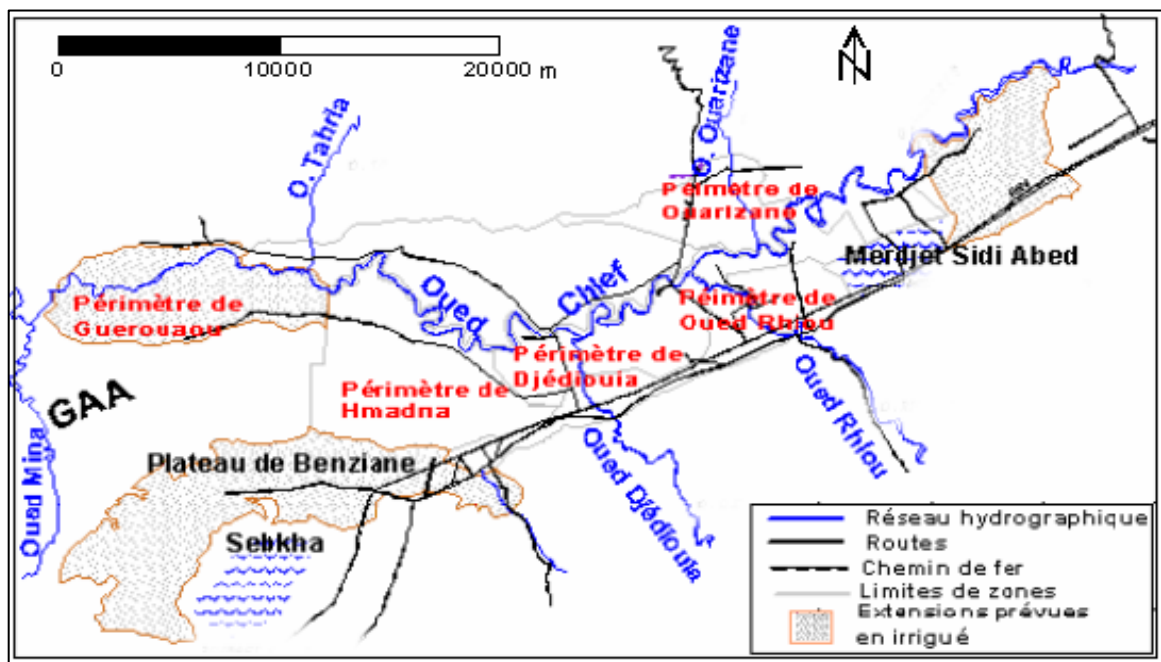


Figure 17. Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif
(Source: Douaoui, 2005)

CHAPITRE - 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le tableau N° 07 et La figure N° 18 ci-dessous montrées la superficie irrigable de la plaine du Bas Cheliff par les quatre ressources principales, et sont caractérisation :

A- Le barrage de Gargar sur l'Oued Rhio ;

B- La retenue de Merdja Sidi Abed : le réservoir de la Mardja Sidi Abed a été construit en 1978-1979 pour alimenter le périmètre du Bas Cheliff, son rôle consiste a stocker une partie des eau non régularisées du chéloff en hiver, afin de les restituer au périmètre au cours de la période d'irrigation.

En plus de ces ressources, le Bas Chéloff pourrait aussi être alimenté a partir des autres ressources en eau superficielles du bassin du Chéloff a' savoir :

- les barrages en amont de Boukadir, notamment celui de l'Oued Mellouke actuellement en construction
- Les eaux non régularisées excédentaires du Chéloff au niveau du barrage de Boukadir (en plus des eaux qui sont dérivées vers la Merdja Sidi Abed).

**Tableau 07. Barrages en exploitation et transfert inter barrages
(Caractéristiques et Destinations). (Source : ANRH. 2007)**

| BARRAGE | OUED | ANNEE MISE EAU | CAPACITE INITIALE Hm3 | CAPACITE LEVE DERNIER Hm3 | SURFACE B.V Km2 | APPORT MOY- ANN Hm3/AN | ENVAS ANNUEL Hm3/AN | VOLUME REGUL Hm3/AN | DESTINATION |
|-----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|--|
| S.M.B.A | MINA | 1978 | 235 | 153.71 | 4990 | 120 | 1 | 100 | A.E.P Relizane IRR. Périmètre Mina |
| MERDJA.S.A | CHLEF | 1984 | 54.9 | 47.97 | 11 | 40 | 0.59 | 40 | IRR.Périmètre Bas Chéloff |
| SIDI- YACOUB | ARDJEN | 1985 | 280 | 252.85 | 920 | 98 | 0.17 | 98 | A.E.P CHLEF IRR. Périmètre Moyen et Bas Cheliff |
| GARGAR | OUED- RHIOU | 1988 | 450 | 358.28 | 2900 | 185 | 4.5 | 120 | A.E.P Oran IRR.Relizane |
| Total | | | 1019.9 | 812.81 | 8821 | 443 | 6.26 | 358 | |

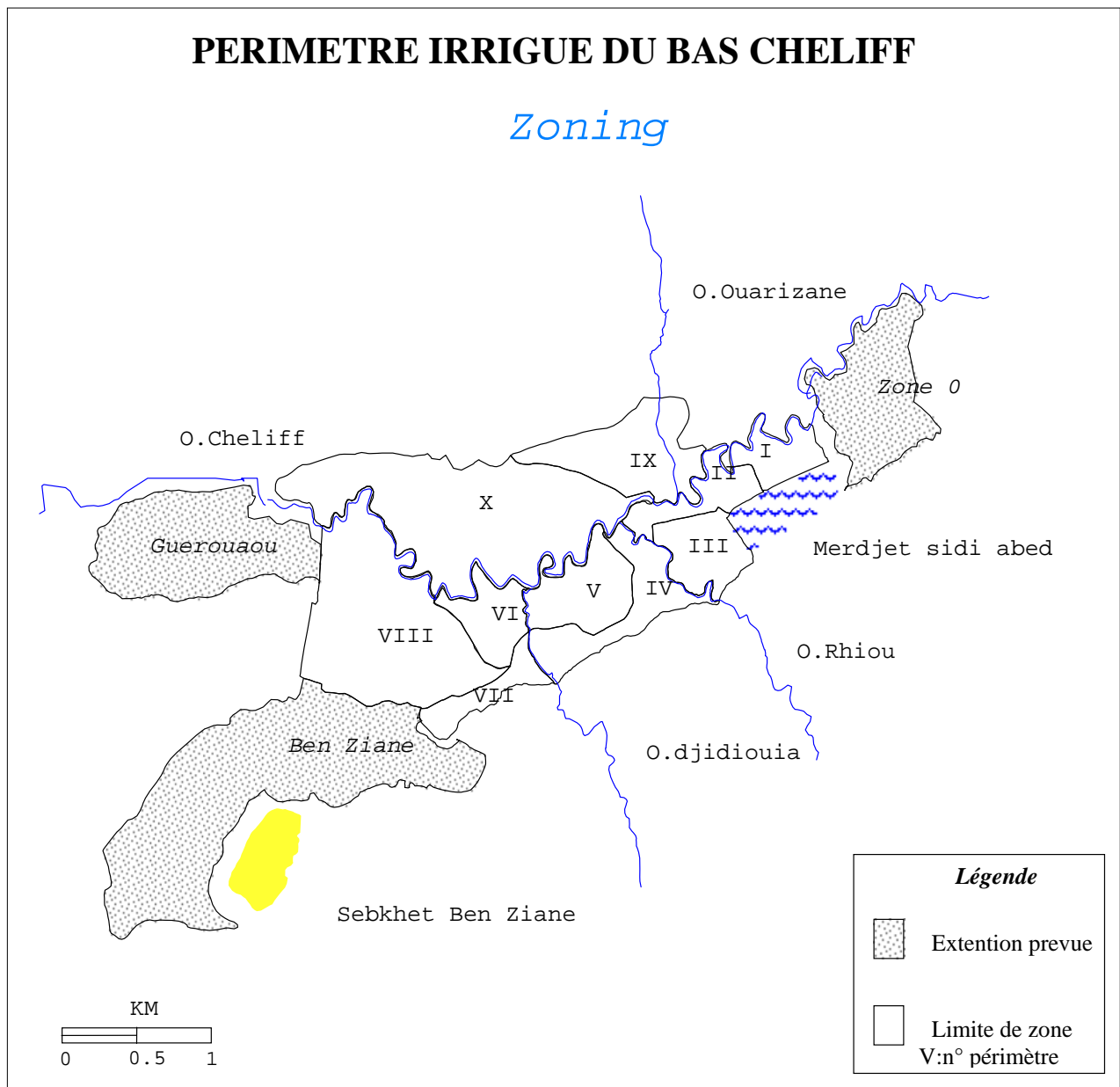


Figure 18. Périmètre irriguée du Bas Chélif (Source : INSID, 1998)

2.8.2. Qualité des eaux superficielles

La qualité physique de l'eau de Bas Chélif est aussi variable, selon l'hydraulicité par exemple. La salinité des eaux de l'oued Rhiou varie au cours de l'année entre 0,8-2,0g/l. Selon le débit, on peut s'attendre à ce que la salinité moyenne de l'eau de retenue, sera de l'ordre de 1g/l.

Pour ce la ces eaux ne peuvent pas être utilisée sur des zones à mauvais drainage. Il faut savoir que des grandes superficies de Bas Cheliff contiennent des sols salés au drainage insuffisant.

2.8.3. Ressources souterraines

Le miocène, formé presque exclusivement de marnes, peut être considéré comme totalement imperméable. Les quelques niveaux de grés interstratifiées ; surtout vers sommet de la série, sont assez minces, et offrent, en raison de leur pendage assez fort, des impluviums très réduits. D'autre part, les nappes qui peuvent exister dans ces grés, doivent être salées, par suite du lessivage des marnes par ruissellement, avant l'infiltration.

Les marnes du plaisancien forment également un niveau imperméable, et les grés de base du pliocène présentent, autres les caractères défavorables des grés miocènes, l'inconvénient d'être très profonds au centre du bassin.

Seul le pliocène marin gréseux et le pliocène continental présentent dans la région un intérêt hydrogéologique par suite de leurs faciès principalement gréseux et sableux, et de leurs grandes surfaces d'affleurement.

La série astienne, étant constituée exclusivement dans la partie moyenne de sables assez bien classées et de grés souvent grossières et friables donc très perméables, doit constituer un très bon réservoir. Le substratum imperméable est formé par la série marneuse miocène-plaisancien dont l'épaisseur totale atteinte plusieurs milliers de mètres.

2.8.4. Les eaux souterraines

La nappe des grés astiens ; mise en évidence par des sources suintement au contact des marnes plaisanciennes dans la partie Nord ; s'écoule en direction de la plaine du Cheliff. Des bombements du substratum marneux, orientés NNW- SSE provoquent des discontinuités dans la nappe, vers l'amont.

D'après J.Allaire, les exutoires de la nappe sont également mal connus ; l'un deux apparaît à la coté sous forme de plusieurs sources sur la rive droite du Cheliff. A 1 km au Sud-Ouest de Sidi Brahim. Les autres exutoires pourraient être les alluvions du Cheliff.

Si les niveaux inférieurs du pliocène continental forment un toi imperméable continu à la nappe astienne, nous pourrions obtenir de l'eau artésienne par forage dans les basses vallées de certains oueds.

Au sein du pliocène continental, un certain nombre de nappes perchées se manifestent par des sources le long des oueds qui ont entaillé la série. Cependant à la base de cet étage doit exister une nappe qui est ; soit indépendante de celle de l'Astien si la séparation entre les deux niveaux est imperméable, soit confondue.

Cette nappe s'écoule vers la plaine du Cheliff et devient captive sous le villafranchien. Ses exutoires peuvent être également les alluvions du Cheliff et les niveaux perméables du villafranchien.

2.8.5. Utilisation des ressources en terres

En ce qui concerne l'utilisation des terres en relation avec les propriétés physiques des sols. Il convient de noter les points suivants :

- les agrumes et les oliviers sont en général plantés sur les sols les mieux drainés (les sols colluviaux des pentes douces et les terrasses près de l'oued principal).

- Les cultures en sec. Céréalières et fourragères d'hiver. Prédominant sur la majorité de la région. La proximité des canaux et des fossés de drainage représente également un facteur déterminant pour l'implantation des cultures irriguées. Et en particulier du maraîchage d'été; des melons, pastèques et des artichauts. Cependant. La qualité des eaux d'irrigation provenant des oueds est souvent très mauvaise. Car ce ne sont que des eaux de drainage salées qui proviennent des coteaux de la vallée.

Le facteur limitant à la production est surtout le manque d'eau d'irrigation. Mais la salinité et le drainage insuffisant des sols en sont également la cause.

2.9. Ecologie

La plus grande partie de la vallée du Bas Chéiff est cultivée, et caractérisée par un système de champs ouverts avec par endroits des brise-vent de conifères (Tamarix. Casuarina ...etc.), et d'eucalyptus. Les cultures principales dans l'aire d'étude sont les céréales, Les cultures maraîchères (notamment les artichauts), L'arboriculture (les oliviers et les agrumes) et les cultures fourragères. La plupart des pentes faibles sont cultivées.

La région souffre beaucoup d'une érosion du sol. Surtout là où la végétation a été dénudée ; il n'y a pas de grande couverture de sol permanente et la région ne peut donc supporter une flore et une faune abondantes. Le transport potentiel des matériaux en suspension est énorme. Ce qui a d'importantes répercussions sur l'aménagement des barrages dans le bassin versant. Au endroits qui sont moins dégradés. La végétation est typique d'une région au climat aride et aux sols pauvres.

CHAPITRE - 2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Plusieurs espèces d'oiseaux se trouvent dans les zones agricoles et sur les contreforts à proximité de la vallée du Bas Chélif. Des espèces intéressantes se trouvent sur les bords de route et dans les champs ; parmi eux. Le Cochevis huppé. La Bergeronnette d'yarrell. Le Traquet motteux. La Chouette chevêche. Les espèces telles que l'Aigrette garzette se trouvent dans les champs récemment irrigués et quelquefois au bord des oueds. Une plus grande diversité d'espèces se trouve dans les collines et montagnes. Où la topographie et la végétation sont plus variées (Mr Mac Donald et Partners / Atkins et Partners et BNEDER, 1990).

TROISIEME CHAPITRE

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Conception de la Base de Données

Au cours de l'élaboration de notre Base de Données sur la région du Bas Cheliff, nous nous sommes intéressées aux données pédologiques avec un intérêt particulier sur la salinité qui constitue le thème essentiel de notre mémoire. Les étapes effectuées pour l'établissement de la base de données sont :

3.1.1. Inventaire des études réalisées dans la plaine du Bas-Chélif

La plaine du bas Chélif a fait l'objet de plusieurs études au cours des cinquante dernières années par divers sociétés et chercheurs nationaux et étrangers en vu de son aménagement hydraulique et agricole. Le tableau suivant donne une liste exhaustive des documents et cartes établis au cours de cette période.

Tableau 08. Etudes et projets effectués sur la plaine du Bas Chélif

| Réalisée par | Année | Zone d'étude / objet | Echelle des cartes |
|---------------------------------|-------|--|----------------------|
| J. Boulaine | 1957 | Les plaines du Chélif (Doctorat d'état) | 1/50.000 |
| SOGETHA/SOGREAH | 1964 | Regional | 1/200.000 |
| ENERGO- PROJECT | 1967 | Bas Chélif | 1/50.000 |
| S. E. S | 1969 | Aménagement du Bas Chélif Définition des zones de mise en valeur | / |
| POLS/DEMRH (ANRH maintenant) | 1971 | Zone entre la ville de Boukadir et la Merdjet Sidi Abed | 1/20.000 |
| POLS/DEMRH | 1971 | Zone entre la Merdjet Sidi Abed et la ville d'El Hmadena | 1/20.000 |
| MALEVANTCHOUK /DEMRH | 1975 | Extension de Guerouaou | 1/20.000 |
| KOTCHOUBEY / DEMRH | 1975 | Extension de Benziane | 1/20.000 |
| GRONTMIJ INTL | 1979 | Drainage et lessivage des sols salés du Bas Chélif | / |
| SOGREAH / SNC | 1983 | Rapport A2. Besoins en eau agricoles | 1/50.000 |
| SOGREAH / SNC | 1984 | Rapport E1. Recherche des zones à réaménager | 1/20.000 |
| SOGREAH / SNC | 1985 | Rapport E2. Rénovation des réseaux (irrigation et drainage) | 1/50.000 |
| McDonald et BNEDER | 1990 | Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Gerouaou et de Sebket Benziane et du réaménagement du Bas Chélif. | 1/20.000 1/50.000 |

Parmi ces travaux certains ont disparu, d'autres incomplets et d'autres ne comportent pas de données.

On s'est donc limité aux études les moins anciennes et dont les données sont disponible, ce qui nous amené à ne prendre en compte dans ce travail que les études de moins de trente ans et qui sont comme suit :

- Etude agro-pédologique des extensions du périmètre du Bas Chélif. 1^{ère} partie. Gurouaou (Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. Sous Direction des ressources en sol. Juin 1975)

- Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Gerouaou et de Sebkheth Benziane et du réaménagement du Bas Chélif. (Mr Mac Donald et Partners / Atkins et Partners et BNEDER, 1990)

- Projet pilote d'étude et de suivi de la salinité. Caractérisation de l'état de salinité actuelle de sol. Cas de Bas Chélif (rapport N° 01.note méthodologique. INSID, 1996)

- Evaluation de l'état de la salinité des couches de surface des sols de la plaine du Bas-Chélif (projet de SIRMA, 2006)

- Etudier la série temporelle d'une parcelle salée dans la station de Hmadna (1990-2003)

3.1.2. La collecte de données

La collecte des documents a été faite à partir de différents établissements ; on cite par exemple : l'ANRH (Bir Mourad Rais; Alger), l'ABH Cheliff- Zahrez (Chlef), l'INSID (Relizane), l'INRAA (El H'madna; Relizene).

Les zones étudiées et la localisation des sondages retenus pour les années 1975, 1990 et 2006 sont représentées dans la figure N° 19.

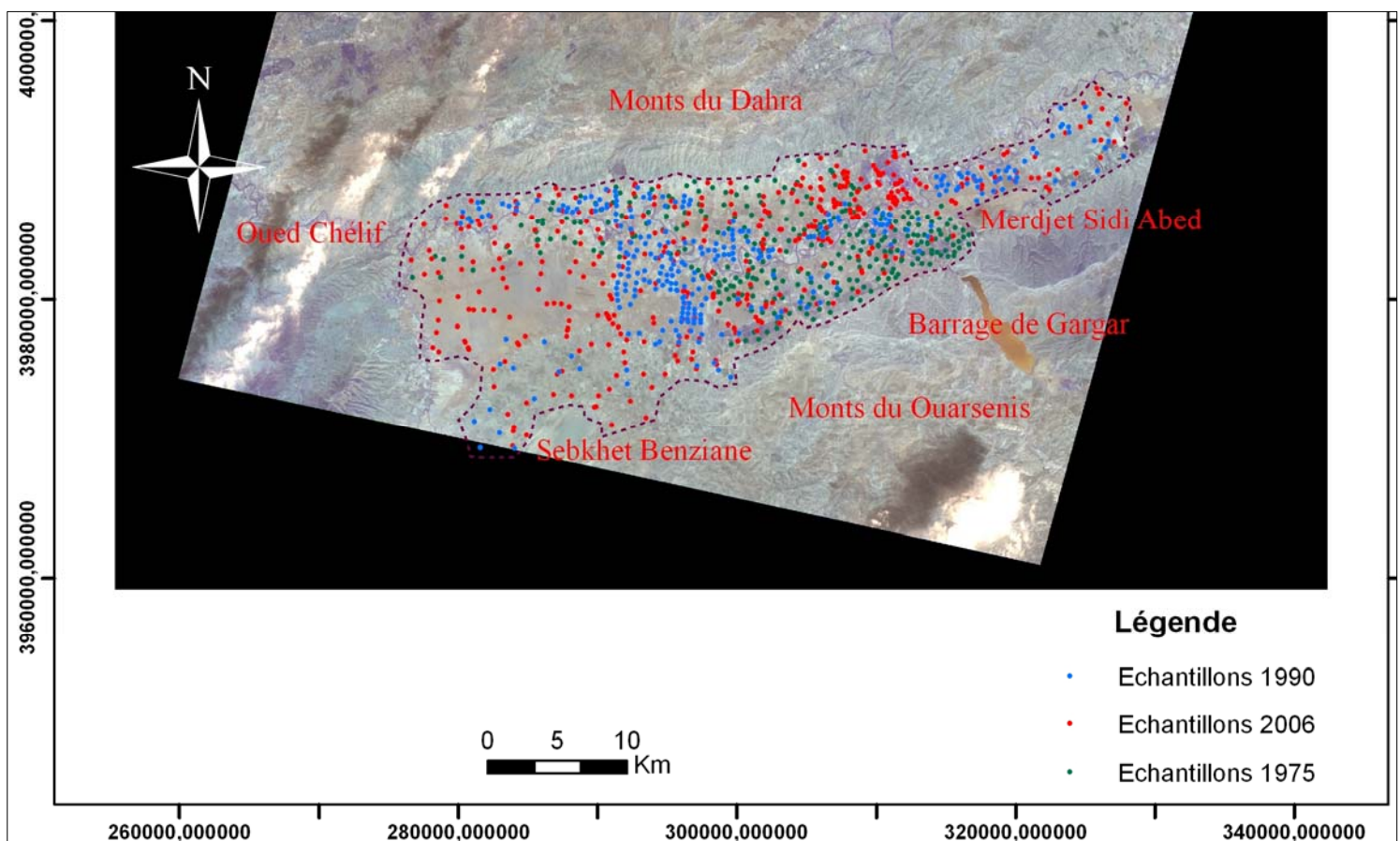


Figure 19. Localisation des échantillons appartenant aux études 1975, 1990 et 2006.

L'étude faite par l'INSID en 1997 contient un nombre très élevé en échantillons avoisinant les 4000 prélèvements à partir de l'horizon de surface (0 – 20 cm). Cette étude a été consacrée exclusivement à la salinité des couches de surface (fig. 20).

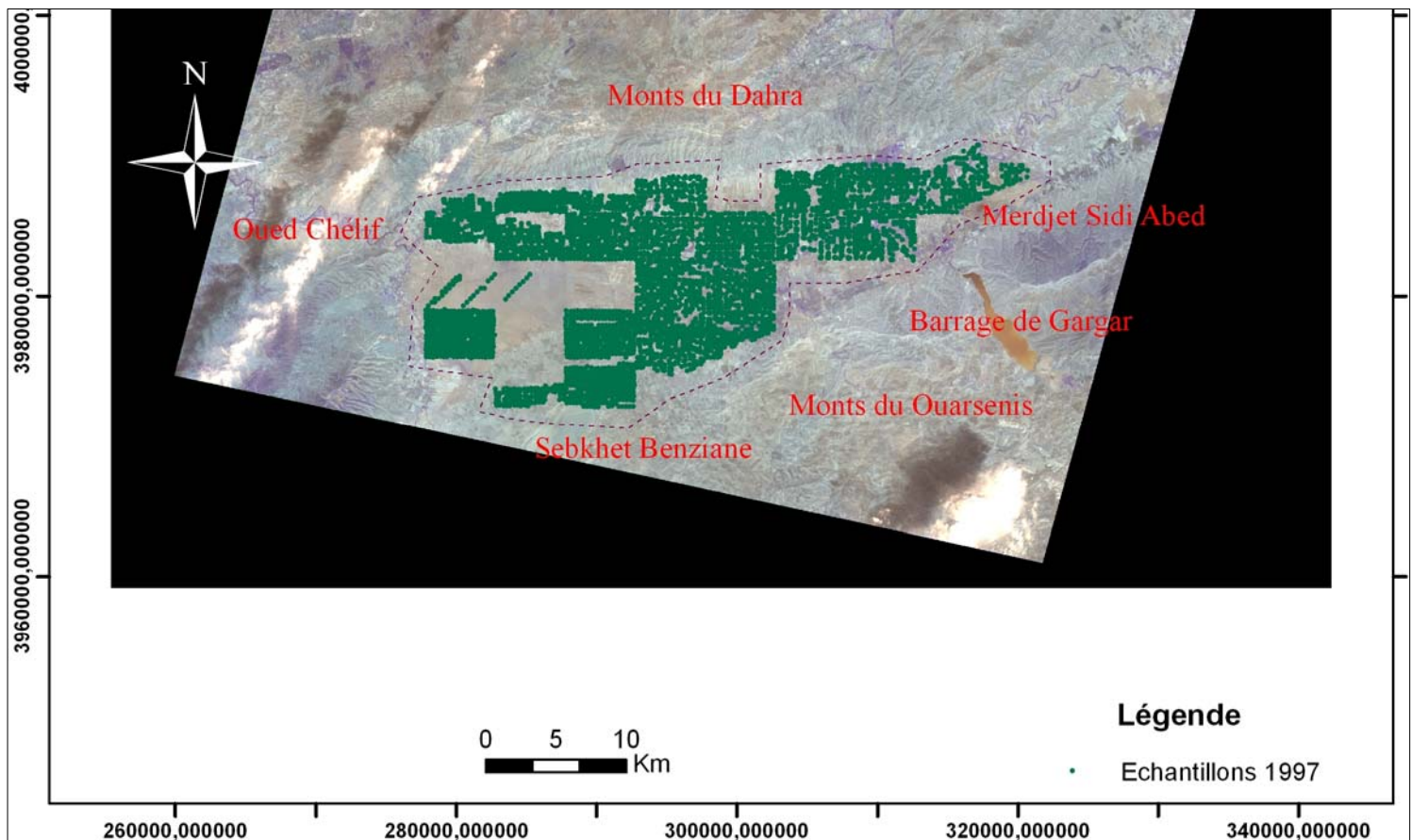


Figure 20. Localisation des échantillons appartenant à l'étude 1997

3.1.3. Le choix des variables retenues

Les paramètres retenus pour l'établissement de notre base de données sont les variables pédologiques qu'elles soient de nature physiques, chimiques ou biologiques sous la condition que leurs mesures soient faites selon des méthodes reconnues à l'échelle internationale. Quand ils sont disponibles, tous les horizons sont pris en compte comme c'est le cas des études faites en 1975 et 1990 où on retrouve des les données des quatre horizons. Les variables retenues sont :

- CE, pH, CaCO₃ total, CaCO₃ actif, Gypse
- Bilan ionique (méq / L) : Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl.
- Complexe adsorbant (méq / 100g) : Ca, Mg, Na, K, CEC
- Granulométrie en (%) : Argile, Limon, Sable
- Matière Organique
- Perméabilité
- Stabilité structurale

D'autres paramètres en relation avec la cartographie numérique ont été également ajoutés sous forme de données vectorielles tels que le réseau hydrographique et les plans d'eau.

3.1.4. Le traitement des données brutes

Les données retenues ont par la suite fait l'objet d'une sélection pour être saisies à la fin. L'opération de sélection a nécessité des tris et des filtres pour finir par être classées dans un tableur de type Excel. Cette opération de sélection est passée par les phases suivantes :

- Eviter les redondances dans la numérotation des sondages. En effet, en présence d'un nombre important de données il arrive souvent que des erreurs ou des omissions soient commises lors de la collecte ou de la saisie des données en plus des erreurs qui peuvent se trouver dans la documentation source ;
- faire attention aux sondages qui se superposent alors qu'ils sont en réalité géographiquement différents ;
- convertir les unités de mesures des différentes variables qui varient d'une étude à une autre. A titre d'exemple, les teneurs en ions peuvent être exprimés en meq, en moles ou en mg ;
- convertir les projections des coordonnées qui peuvent ne pas être les mêmes pour l'ensemble des études afin permettre une analyse spatiale comparative des données. Dans notre cas les coordonnées ont été toutes projetées dans l'U.T.M (WGS_1984, Zone_31N).
- revenir toujours aux cartes sources pour comparer la position géographique des sondages après une conversion des coordonnées.
- la saisie des données a été faite par le logiciel Microsoft Excel dans un même tableau et selon la même structure et ce pour les quatre études retenues (fig. 21)

| N° | Ref | X (m) | Y (m) | Z (m) | PH | CE dS/m | CaCO ₃ % Total | ..... | Culture | Année | Horizon |
|-------|-------------|------------|--------------|----------|------|------------|------------------------------|-------|---------|-------|---------|
| 12-90 | z: GSB-M140 | 284 278,35 | 3 986 881,69 | 53,60 | 7,74 | 0,36 | 37,2 | .... | / | 1990 | H1 |
| 13-90 | z: GSB-M139 | 285 699,89 | 3 987 127,44 | 41,74 | 7,6 | 0,35 | 23,6 | ... | / | 1990 | H1 |
| .... | ..... | ..... | ..... | ..... | .... | ..... | ..... | ... | ... | 1990 | H1 |

Figure 21. Exemple de table de stockage des données

3.1.5. Les sorties sur terrain

Après avoir finalisé le fichier de données qui fera l'objet de la conception de la base de données, une reconnaissance sur terrain s'impose pour valider définitivement les données et connaître le terrain d'étude. Dans ce sens, quatre sorties sur terrain ont été faites dans les différentes zones de la plaine du Bas-Chélif avec prélèvements des échantillons pour chaque zone. Les zones ayant fait l'objet de visites sont les périmètres irrigués de Ouarizane, Oued-Rhiuo, Djédiouia, Guerouaou et celui de Hmadna, oued Chlef et ses affluents, Merdjet Sidi Abed et la Gaa.

De toutes ces sorties, ce qui a retenu le plus notre attention par rapport à ce que nous connaissions sur le terrain depuis la préparation de notre mémoire de fin d'étude en 2001 est l'augmentation des vastes superficies abandonnées, salinisées et occupées par de la végétation halophyte (fig. 22).



Figure 22. Photos représentant les sols salés abandonnés et envahis par de la végétation halophyte

3.1.6. Elaboration de la Base de Données

L'élaboration d'une base de données est un travail méthodique qui demande certes du temps mais qui à long terme sera rentabilisé par la rapidité des exécutions des opérations et requêtes à partir de la base de données ainsi établie.

Microsoft ACCESS qui est le logiciel utilisé ici pour la conception de la base de donnée permet d'établir une structure de la base bien conçue pour éviter des corrections ultérieures, faciliter et optimiser son utilisation. Les principales étapes poursuivies dans ce cas sont :

- pour gérer convenablement la base de données, ces dernières ont été stockées dans des « Tables », reliées entre elles par des liens ;
- pour faciliter la saisie et la mise à jour de la base de données, des écrans appelés « Formulaires » ont été créés ;
- pour la diffusion des données, des « Etats » ont été créés ;
- pour rechercher l'information voulue, des « Requêtes » ont été mises en œuvre ;

Ces opérations successives nous ont permis de créer une base de données relationnelle appelée « Géobase » à partir de laquelle des relations entre les champs d'une ou de plusieurs tables peuvent être définies (fig. 23).

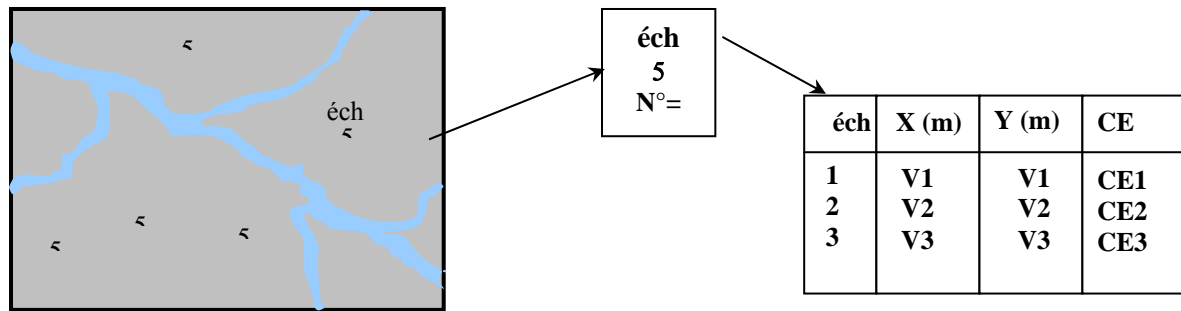


Figure 23. Schéma représentatif de la Base de Données Géographique.

3.1.7. Exploitation de la Base de Données

Dans cette dernière partie, et à l'aide des interfaces de calculs composant la base de données, nous avons réalisé des calculs statistiques et des représentations cartographiques

Pour permettre une exploitation optimale de l'information disponible et par conséquent une meilleure analyse des données contenues dans notre base de données (fig. 24).

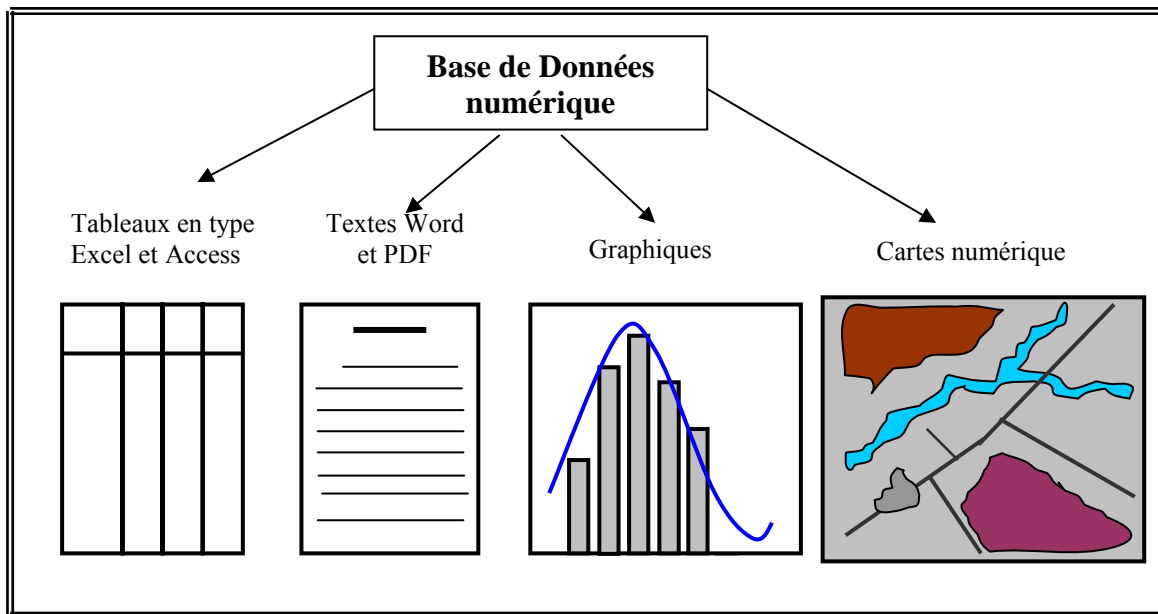


Figure 24. Possibilités d'exploitation de la base de données

3.2. Caractérisation statistique simple des données

L'objectif des statistiques descriptives appliquées ici est d'étudier les variables physico-chimiques des sols. L'application a été faite sur les données des deux premiers horizons de l'étude 1990 qui est plus récente que celle de 1975. Les études des années 1997 et 2006 portent uniquement sur le premier horizon et ne concerne pratiquement que la salinité. Les paramètres statistiques retenus ici sont les paramètres de positions, les paramètres de dispersion et les lois de distribution.

3.3. Représentation cartographique des données

La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale du phénomène naturel. La cartographie numérique a été faite par l'utilisation des techniques et des outils de système d'information géographique (SIG). La cartographie a concerné la salinité des quatre années retenues (1975, 1990, 1997 et 2006).

C'est le logiciel ArcGis qui a été choisi pour élaborer des cartes de salinité de chaque période à cause de ses nombreuses performances en plus du fait qu'il permet une exploitation des données directement à partir de la base de données Access et contient un module géostatistique très développé.

3.4. La géostatistique

L'interpolation spatiale est un traitement mathématique utile et nécessaire lors de l'étude d'un phénomène naturel qui se déploie continûment sur le territoire. De ce fait, il devient déterminant de bien choisir la méthode d'interpolation qui sera retenue lors de l'estimation spatiale. Ceci est d'autant plus important lorsqu'on sait que les mêmes chiffres peuvent produire des cartes différentes selon les choix préalables, ce qui relativise l'évidence de « l'image cartographique ».

3.4.1. Définition de la géostatistique

La géostatistique est une discipline à la frontière entre les mathématiques et les sciences de la Terre. Son principal domaine d'utilisation a historiquement été l'estimation des gisements miniers, mais son domaine d'application actuel est beaucoup plus large et tout phénomène spatialisé peut être étudié en utilisant la géostatistique (Douaoui, 2005).

La géostatistique qui est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel tels que la salinité (Douaoui et al, 2006). Son application passe par deux phases qui sont la variographie et le krigeage.

3.4.2. La variographie

C'est la phase qui consiste à établir le variogramme qui permet de résumer toute l'information structurale de la variable régionalisée (Rossi et al, 1995; Steven et al, 1996).

3.4.2.1. Propriétés du semi-variogramme

Le semi-variogramme est une fonction paire. $\gamma(h) = \gamma(-h)$, nulle en $h=0$ et positive partout ailleurs. Toutes ces caractéristiques découlent en fait d'une propriété générale des semi-variogrammes : ce sont des fonctions de type négatif conditionnel (Christakos, 1984), c'est-à-dire que :

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l a_i a_j \gamma(s_i s_j) \leq 0 \dots\dots\dots (01)$$

Pour n'importe quel ensemble fini de points $\{s_i : i= 1, \dots, l\}$ et n'importe quels nombres réels $\{a_i : i= 1, \dots, l\}$ tel que $\sum_{i=1}^l a_i = 0$. Ainsi, une fonction continue peut représenter un semi-variogramme si et seulement si elle respecte cette propriété qui assure la positivité de la variance de toute combinaison linéaire de variables aléatoires issues de $\mathcal{D} = (\cdot)$. Cette propriété est en fait l'extension aux semi-variogrammes du caractère semi-défini positif bien connu des fonctions de covariance.

Avant de d'écrire certains attributs des semi-variogrammes, voici deux exemples de fonctions pouvant faire état de semi-variogramme :

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0.2 + 0.8 \left(\frac{3}{2} \frac{|h|}{6} - \frac{1}{2} \frac{|h|^3}{6^3} \right), & 0 \leq |h| \leq 6 \\ 0.2 + 0.8, & |h| > 6 \end{cases} \quad \gamma(h) = 0.2 + 0.8 \left(1 - \exp\left(-\frac{|h|}{2}\right) \right), \quad |h| \geq 0 \quad \dots (02)$$

Ou $|h|$ est la norme du vecteur de h . Ces fonctions sont tracées dans les graphiques de la figure N° 25 IL s'agit de semi-variogrammes isotropes, d'effet de pépite valant 0.2 de palier exact ou asymptotique valant 1 et de portée exacte ou pratique valant 6. Les paragraphes suivants définissent ces caractéristiques des semi-variogrammes.

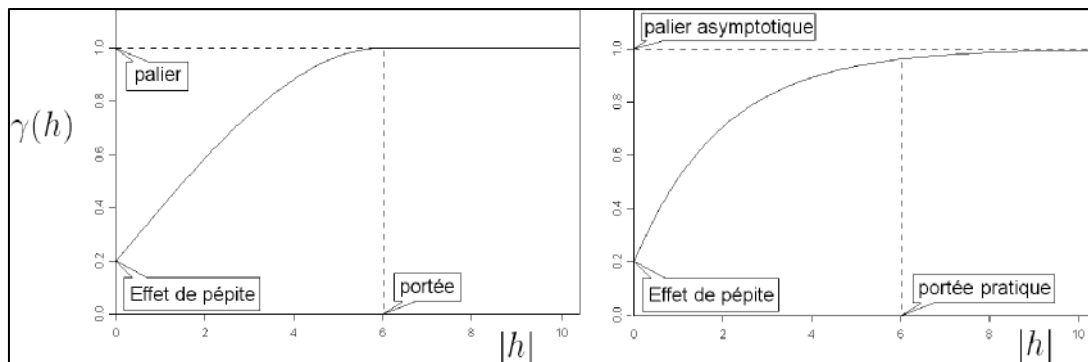


Figure 25. Exemple de semi-variogrammes

A- Isotropie : Le semi-variogramme ne dépend que de h , le vecteur de translation entre les points s et $s + h$. Ce vecteur contient de l'information sur la distance entre ces deux points, par l'intermédiaire de sa norme, ainsi que sur l'orientation de h . Si le semi-variogramme ne dépend en fait que de la norme de h , il est dit isotrope. S'il dépend aussi de la direction du vecteur de translation, il est alors anisotrope.

B- Effet de pépite : Au voisinage de l'origine, un semi-variogramme peut être continu ou discontinu. Si $\lim_{r \rightarrow 0^+} \gamma(r) = c_0 > 0$, alors c_0 est appelé effet de pépite. Un saut abrupt à l'origine dénote une faible ressemblance entre les valeurs régionalisées très voisines. Un effet de pépite s'explique par des variations non-détectées à une micro-échelle. (Cressie, 1993, p.128).

C- Portée et palier : Les autres caractéristiques du semi-variogramme sont plutôt dues aux variations observables. C'est le cas du comportement du semi-variogramme lorsque r augmente. Le semi-

variogramme peut ou non atteindre un plateau. L'atteinte d'un plateau indique qu'à partir d'une certaine distance il n'y a plus de dépendance spatiale entre les données.

Cette distance est nommée portée et le terme palier dénote la variance à laquelle le plateau se présente. Il s'agit en fait de la variance commune aux variables aléatoires. Un palier peut n'être atteint qu'asymptotiquement. Dans ce cas, la portée réelle est infinie, mais une portée pratique est définie par la distance à laquelle le semi-variogramme atteint 95% de la valeur de son palier.

3.4.2.2. Modélisation du semi-variogramme

Le semi-variogramme expérimental estime le semi-variogramme théorique pour un nombre fini de distances seulement. De plus, il ne forme pas nécessairement un semi-variogramme valide, c'est-à-dire qu'il ne s'agit peut-être pas d'une fonction conditionnellement négative définie.

Le semi-variogramme expérimental est donc modélisé par une fonction de type négatif conditionnel, définie pour toutes les distances $r \in R^+$. Cette modélisation rendra possible le krigeage.

Tester le caractère négatif conditionnel d'une fonction est une tâche assez difficile. Christakos (1984) explique une procédure pour y arriver. Cependant, en pratique, il est plus simple d'utiliser un modèle variographique classique, qui a été démontré valide (par exemple le modèle linéaire et sphérique. Fig. 26) (Sophie Baillargeon; 2005).

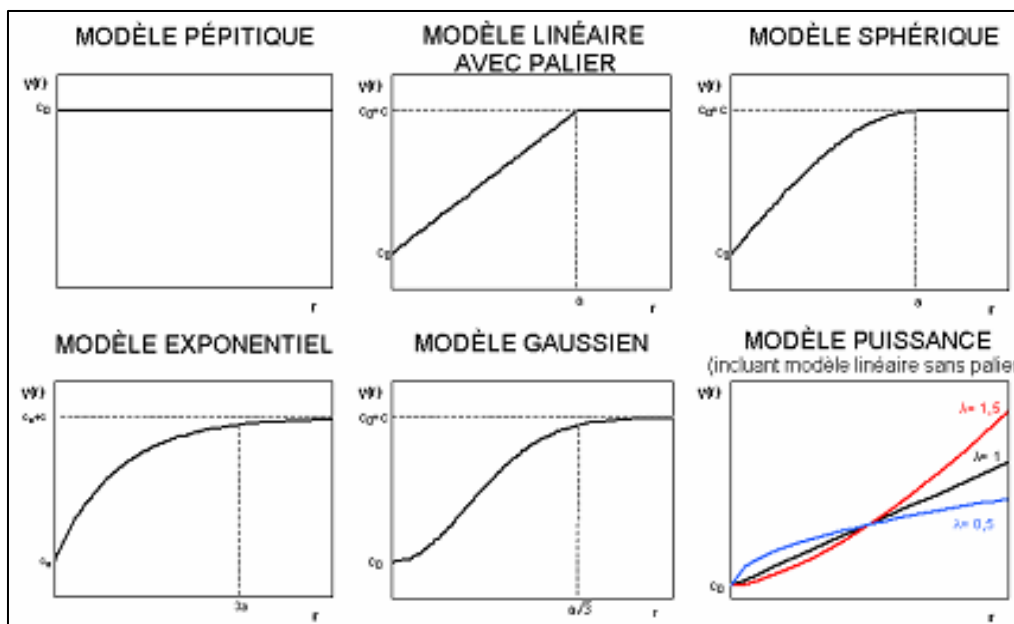


Figure 26. Modèles de semi-variogramme les plus communs

3.4.3. Le krigeage

- Le krigeage est la première méthode d'interpolation spatiale qui tient compte de la structure spatiale du phénomène à interpoler. Les travaux de l'ingénieur minier sud-africain Krige (1951) sont précurseurs de la méthode. Cependant, le terme krigeage et le formalisme de cette méthode sont dus au français Matheron

(1962, 1963), qui en a aussi assuré le développement au Centre de Géostatistique de l'Ecole des Mines de Paris.

En fait, les fondements de la méthode ont été développés parallèlement par d'autres chercheurs, notamment le météorologue Gandin (1963) de l'ex-URSS, mais c'est aujourd'hui sous la terminologie proposée par Matheron qu'elle est la plus connue (Cressie, 1990).

- Le krigeage est une méthode géostatistique qui permet l'estimation de valeurs locales en considérant l'organisation spatiale des variables étudiées. C'est donc une méthode d'interpolation qui peut générer des surfaces estimées à partir d'un échantillon de points géoréférencés. Lorsque l'on aborde l'étude de processus biologique, on rencontre souvent des modalités d'organisation spatiale fortement structurées. Par rapport à d'autres méthodes d'interpolation telles les splines ou les inverses de la distance, le krigeage se distingue par ses caractéristiques d'estimation non-biaisée et d'estimation d'une variance associée.

Il existe plusieurs types de krigeage. Dans ce travail, nous avons appliqué le krigeage ordinaire à variogramme global pour la cartographie de la salinité.

Le krigeage ordinaire permet l'estimation d'une propriété Z en un point quelconque de l'espace de coordonnées x_0 selon une combinaison linéaire des observations faites en des points voisins x_i .

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \dots\dots\dots (03)$$

Où n est le nombre de points x_i
 Et λ_i est le poids affecté à chaque

Les paramètres de la structure spatiale de la variable à kriger sont déterminés à partir de l'ajustement du variogramme à un modèle théorique (sphérique, exponentiel...) qui, dans l'hypothèse intrinsèque, a pour équation (Douaoui, 2005) :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x) - z(x+h)]^2 \quad \text{où} \dots\dots\dots (04)$$

- h est le pas de calcul
- $\gamma(h)$ est la semi-variance pour une distance h
- $N(h)$ est le nombre de couples des points de mesures (x_i, x_i+h) distants de h .

3.5. Séries chronologiques

Par l'utilisation de logiciel Minitab, on a établie un modèle statistique de prévisions à base de série observée de la CE (dS/m) du sol, et remarquer celles qui s'adaptent au mieux à la modélisation du point de vue prévisionnel.

Dans notre travail, avons retenu et utilisé la méthode dite processus Box-Jenkins pour l'estimation des prévisions à court terme à partir de nos base de données étalées pour la période de 1990 – 2002. C'est une procédure probabiliste, qui est plus précise comme on a explique dans la partie bibliographique où elle se base sur les corrélations existantes (autocorrélations) entre observations et observations successives formant la série de données, pour construire le modèle générant la série observée et en estimer ses prévisions.

Notre étude est basé sur l'étudier d'une série de valeurs observées de notre base de données (les analyses des échantillons effectuer par INRA. Relizane), dans l'échelle du temps (série temporelle de 1990-2003) sur parcelle prédéfinie (salée), et en faire une estimation des prévisions (valeurs prévues pour l'année 2003).

La figure N° 27 ci-dessous donne, justement une représentation graphique des observations moyennes et mensuelles effectuées entre la période 1990-2003, pour une parcelle salée.

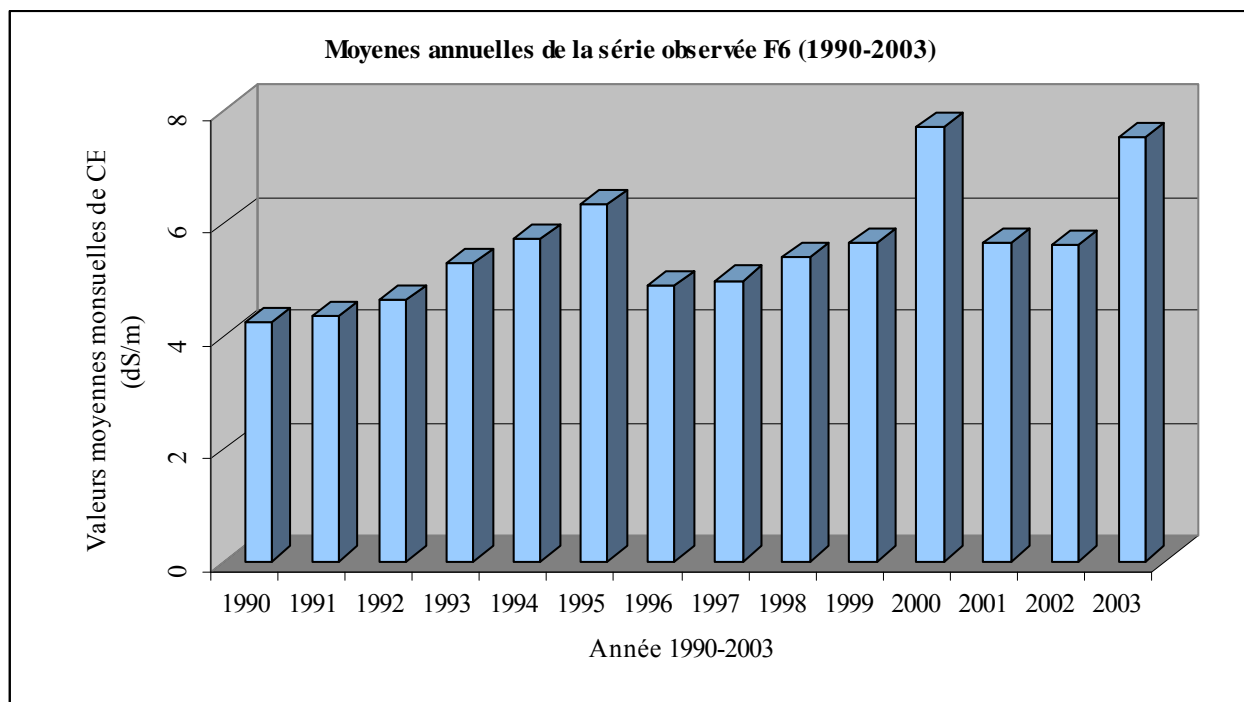


Figure 27. Représentation graphique des valeurs de la salinité du sol pour une parcelle salée de la Station INRAA de H'madena (Relizane).

QUATRIEME CHAPITRE

4. RESULTAS ET INTERPRETATIONS

- **4.1. Caractérisation physico-chimique des sols**
- **4.2. Caractérisation de la salinité des sols sur les quatre compagnes**
- **4.3. Analyse spatiale de la salinité des sols**
- **4.5. Suivi spatio-temporel de la salinité**
- **4.5. Etude d'une série chronologique de la salinité sur une parcelle salée**

4.1. CARACTERISATION PHYSICO-CHEMIE DES SOLS

4.1.1. Les propriétés physiques

A partir de l'étude de l'avant projet détaillé des extensions de Gerouaou et de Sebkheth Benziane et du réaménagement du Bas Chélif, on a étudié les propriétés des sols pour les deux premiers Horizons, L'effectif des échantillons n'est pas le même pour tous les paramètres. Les résultats sont présentés dans les annexes A et B sous formes des graphes et tableaux.

4.1.1.1. Les argiles

- Horizon H1: le taux d'argile s'étale dans ce premier horizon entre 16 % et 62 %, avec une moyenne de 40.26 %. L'étendue est très élevée (46 %), la grandeur de la variance (116.98) montre une dispersion de l'argile avec un faible CV de 26.85 %. la distribution d'échantillons suit une loi normale avec une asymétrie à gauche, et une courbe pointue.

- Horizon H2 : dans cet horizon, les paramètres statistiques ne diffèrent pas de ceux de l'horizon H1, ils varient de 10 % à 65 % avec une moyenne de 40.21 % et un CV de 34.69 %. La distribution suit une loi normale avec une asymétrie à droite, et une courbe aplatie.

4.1.1.2. Les limons

- Horizon H1: la variation des limons est moins importante que celle des argiles, elle s'étale de 26 % à 56 % avec un CV de 14.23 %. L'étendue est moins élevée (30%) et la moyenne est égale à 46.52 %. La distribution est normale avec une asymétrie droite.

- Horizon H2 : dans cet horizon, les paramètres sont presque les mêmes que H1, à part une augmentation de l'étendue (19 à 74 %). La moyenne est de 44.30 %. Mais la distribution est Chi deux.

4.1.1.3. Les sables

- Horizon H1: le taux du sable dans ce premier horizon est très variable avec une étendue de 52 % (0-52 %) traduisant ainsi un CV très élevé de 108.42 % et un écart type de 11.20%. La moyenne est de 10.33 %. La distribution est exponentielle.

- Horizon H2 : dans cet horizon, l'étendue est de 67 % (0,0-67 %) et la variance est très élevée (272.35 %). La valeur moyenne est de 12.02 %. La distribution est exponentielle.

4.1.2. Les propriétés chimiques

4.1.2.1. Le pH

- Horizon H1 : le pH dans cet horizon, présente une valeur minimale de 7,2 et une valeur maximale qui atteint 8,88, avec l'étendue de 1.68. Le pH moyen de 7,85. L'écart type est faible (0,22) ainsi que le CV (2.8 %) indiquant une bonne homogénéité de la distribution qui est normale.

- Horizon H2 : la distribution est proche de celle de l'horizon H1. La valeur minimale est de 7,2, la valeur maximale est de 8,8. La valeur moyenne de 7,9 est la même que la médiane d'où une distribution symétrique. L'écart type est très faible (0,22) ainsi que le CV (5 %) indiquant dans ceci une bonne homogénéité de la distribution qui est normale.

4.1.2.2. Le calcaire Total

- Horizon H1 : le premier horizon est caractérisé par une étendue très élevée de 1.2 % à 43.2 %. La valeur moyenne est 18.29 % avec une variance de 26.48 % et écart type de 5.14 %. La distribution est normale avec une asymétrie à gauche et une courbe pointue.

- Horizon H2 : l'étendue de 1 % à 43.4 % reste très élevée, mais l'homogénéité est bonne avec une moyenne de 19.67 %, un CV de 25.16 %. La forme de la distribution est normale avec une asymétrie à gauche et une courbe pointue.

4.1.2.3. La matière organique (MO)

- Horizon H1: il enregistre une faible valeur moyenne égale à 1,27 %, un minimum de 0 % et un maximum de 2.74 %. La variance de 0.22 % et CV de 37 % indique une variabilité spatiale moyenne. La distribution est normale avec une asymétrie à gauche et une courbe pointue.

- Horizon H2 : il y a diminution de la teneur moyenne de la matière organique (0.91%). Le minimum est de 0,4, et le maximum est de 2,5 %. La distribution est normale avec une asymétrie à gauche et une courbe pointue.

4.1.2.4. La capacité d'échange cationique (CEC)

- Horizon H1 : la valeur moyenne de la CEC est de 19.97 méq/100g. La variation de la CEC s'étale d'une valeur minimale de 8 méq/100g à une valeur maximale de 29 méq/100g. Le CV est égal à 25.73 et la distribution est normale avec une asymétrie à droite et une courbe aplatie.

- Horizon H2 : cet horizon présente en général les mêmes propriétés de forme et d'homogénéité que le H1. La moyenne est égale à 18.31 méq/100g. L'étendue est de 23.39 méq/100g (4.61-28méq/100g) et le CV est de 26.87 %. La distribution est normale avec une asymétrie droite et une courbe pointue.

4.1.2.5. Le Bilan ionique

4.1.2.5.1. Les chlorures:

Au niveau de l'horizon de surface, les chlorures enregistrent une moyenne élevée avec 10.31 méq/100g Cette dernière devient moins élevée dans l'horizons H2 avec 6.91 méq/100g. La variabilité la plus importante se trouve également au niveau de H1 avec une étendue de 0.90 à 75 méq/100g, par contre l'étendue de l'horizon H2 est de 0.6 à 26 méq/100g. Les formes de distribution pour les deux horizons sont gamma.

4.1.2.5.2. Les sulfates

La variation dans le premier horizon s'étale de 0,1 à 18 méq/100g, prenant une valeur moyenne de 2.15 méq/100g. Pour le deuxième horizon l'étendue s'étale entre 0.1 à 16.3 méq/100g, avec une moyenne de 3.37 méq/100g. La distribution est exponentielle pour le premier horizon, et log normal pour le deuxième horizon.

4.1.2.5.3. Les bicarbonates

Les bicarbonates se trouvent en très faibles teneurs. Les moyennes au niveau des deux horizons sont de 0.18 méq/100g. La variance de H1 et H2 respectivement sont de 0.009 et 0.004 méq/100g, avec écart type de 0.09 et 0.06 méq/l, ce que explique l'homogénéité de la dispersions des valeurs de bicarbonate. La distribution est inconnue.

4.1.2.5.4. Le calcium:

Il varie en moyenne de la surface vers la profondeur respectivement de 3.99 à 2.88 méq/100g. La distribution est log-normales pour les deux horizons.

4.1.2.5.5. Le magnésium

Il varie en moyenne de la surface (horizon 1) vers la profondeur (horizon 2) respectivement de 1.82 et 1.37 méq/100g. La distribution est log-normale pour le H1 et gamma pour le H2.

4.1.2.5.6. Le sodium

Il présente les valeurs les plus élevées par rapport aux autres cations. La moyenne de la surface vers la profondeur est de 6.56 à 6.05 méq/100g. Le sodium montre une distribution différente entre les deux horizon (exponentiel pour le H1 et chi deux pour le H2).

4.1.2.5.7. Le potassium:

Il présente les valeurs les plus faibles par rapport aux autres cations. La moyenne de la surface vers la profondeur varie de 0.09 à 0.02 méq/100g. La distribution du potassium est chi deux pour le H1, mais inconnue pour le H2

4.1.2.6. Le gypse

Le gypse est très faiblement représenté dans le Bas-Chélif. La valeur moyenne de H1 est de 1,45 %, celle de H2 est de 1,22 %. La variance est de 1.77 % pour H1, et de 0.73 % pour H2. La distribution est inconnue.

Le tableau N° 09 récapitule l'ensemble des lois de distribution des propriétés du sol établies avec le test de Khi-deux. On y trouve donc aussi les lois de distribution de certaines propriétés qui n'ont pas été commentées dans le texte au vue de leur faible représentativité dans la plaine du Bas-Chélif.

Tableau 09. Ajustement des lois de distribution par le test de Khi-deux

| | pH | CaCO3 Total (%) | Gypse (%) | Bilan ionique (méq/100g) | | | | | | | | Granulométrie (%) | | | |
|-----------|----|-----------------------|--------------|-----------------------------|----|-----|-----|-----|------|-----|----|----------------------|-----|-----|----|
| | | | | Ca | Mg | K | Na | CEC | HCO3 | SO4 | Cl | Arg | Lim | Sab | MO |
| H1 | N | N | au | LN | LN | Chi | exp | N | au | exp | g | N | N | exp | N |
| H2 | N | N | au | g | N | au | ch | N | au | LN | g | N | ch | exp | N |

N: Distribution Normale ; LN: Distribution Log-Nomale ; G : Distribution Gamma ; Exp : exponentiel ;
Ch : Chi deux.

4.1.3. Discussion

A la base des données recueillies, nous avons classifié les valeurs des paramètres étudiés suivant des catégories bien déterminées, et cela va se faire pour les variables ayant

des classifications connues selon les deux horizons. Ces derniers seront représentés par des histogrammes groupés.

Pour mieux visualiser la variation du pourcentage en fonction de la profondeur, les histogrammes donnant les fréquences relatives de chaque classe (pourcentage des individus) est également représentés au dessous des tables de catégories.

4.1.3.1. Classification de teneur en argiles

Le tableau N° 10 montre des moyennes très rapprochées des teneurs en argiles sur les deux horizons, ou 32 % des échantillons de H1 sont inférieurs à 35% dont 29 % dépassent 45 % (très argileux), pour le deuxième horizon, on a enregistré 36 % des échantillons qui sont inférieurs à 35 % (faiblement argileux).

Tableau 10. Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs en argile

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (Argile) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| $0 < x \leq 35$ | 11 | 32 | 25 | 36 | faiblement argileux |
| $35 < x \leq 40$ | 6 | 18 | 6 | 09 | moyennement argileux |
| $40 < x \leq 45$ | 7 | 21 | 11 | 16 | argileux |
| $45 < x \leq 55$ | 8 | 23 | 17 | 24 | très argileux |
| $x > 55$ | 2 | 06 | 10 | 15 | lourd |

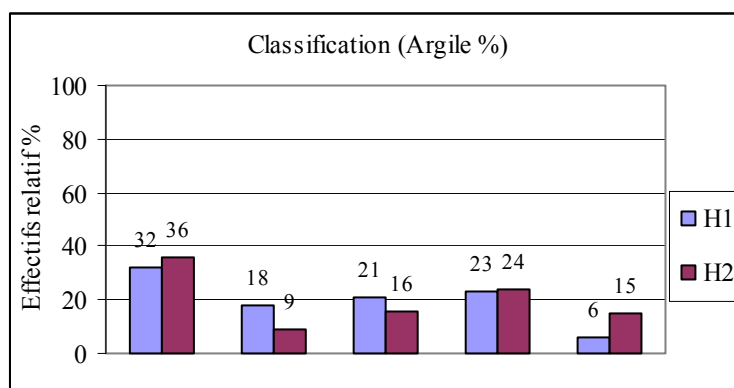


Figure 28. Histogramme de la classification de l'Argile

4.1.3.2. Classification de teneur en limons

Les limons ne montrent pas de gradient apparent en profondeur, sauf pour la quatrième classe qui montre une baisse très forte de limon en deuxième horizon (62 % pour H1 et 29 % pour le H2), mais l'hétérogénéité est légèrement plus importante que celle des argiles.

Le tableau N° 11 montre que les teneurs en limons qui dépassent 45 % (très limoneux) varient autour de 65 % des échantillons pour le H1 et 44 % des échantillons pour le deuxième horizon.

Tableau 11. Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs en limon

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (Limon) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| $0 < x \leq 35$ | 1 | 03 | 11 | 16 | faiblement limoneux |
| $35 < x \leq 40$ | 6 | 17 | 14 | 20 | moyennement limoneux |
| $40 < x \leq 45$ | 5 | 15 | 14 | 20 | limoneux |
| $45 < x \leq 55$ | 21 | 62 | 20 | 29 | très limoneux |
| $x > 55$ | 1 | 03 | 10 | 15 | lourd |

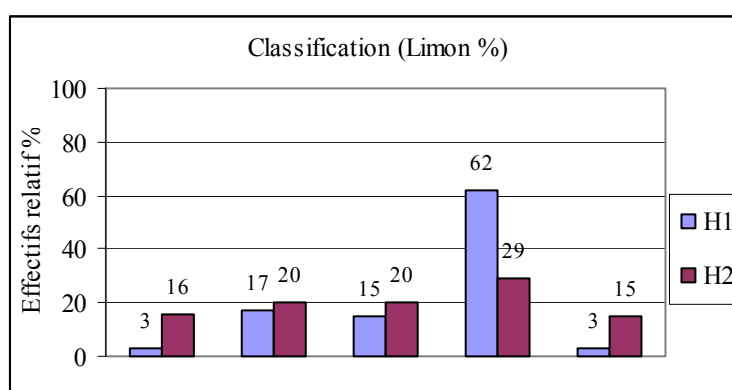


Figure 29. Histogramme de la classification de limon

4.1.3.3. Classification de teneur en Sables

Le tableau N° 12 montre que les deux horizons sont faiblement sableux (97 % des échantillons ne dépassent pas 35% de sable pour le H1, et 90 % des échantillons ne dépassent pas 35% de sable pour le H2), mais pour le deuxième horizons, on a enregistré que 5 % des échantillons sont de texture sableuse. Cette texture montre que certains échantillons sont plus proches au côté des bordures des effluents de oued Chéelif.

A partir de ces résultats, on a constaté que le plus part de sols de la plaine du bas Chélif sont caractérisés par une texture fine.

Tableau 12. Répartition de l’effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs en sable

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (Sable) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| 0 <= x <= 35 | 33 | 97 | 62 | 90 | faiblement sableux |
| 35 < x <= 40 | 00 | 00 | 1 | 01 | moyennement sableux |
| 40 < x <= 45 | 00 | 00 | 1 | 01 | sableux |
| 45 < x <= 55 | 1 | 03 | 2 | 03 | très sableux |
| x > 55 | 00 | 00 | 3 | 05 | sable |

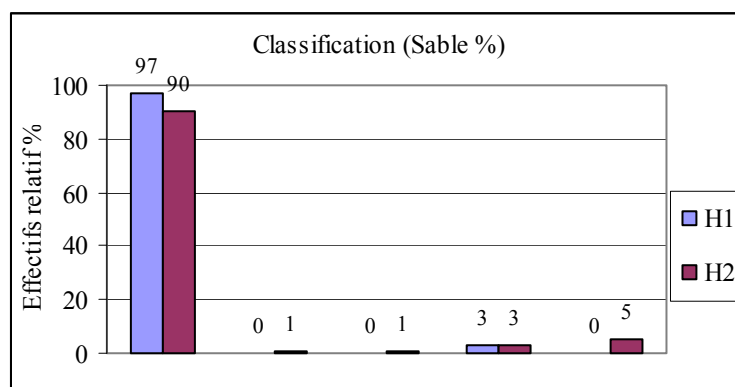


Figure 30. Histogramme de la classification de Sable

4.1.3.4. Classification du pH

La valeur moyenne du pH des sols ne varie que très faiblement d’un horizon à l’autre, elle se situe entre 7,5 et 8.5, se classant ainsi dans la catégorie des sols basiques. C’est aussi dans cette catégorie que se positionnent plus de 92 % des échantillons pour le H1 et 96 % des échantillons pour le H2. Le tableau N° 13 montre que 1% des échantillons pour les deux horizons sont très basique.

Ceci implique aussi la faible représentativité des sols dont le pH serait influencé par un taux de sodium échangeable élevé (Douaoui, 2005).

Tableau 13. Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes du pH (selon GEPPA, 1981)

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (PH) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| 7 - 7.5 | 21 | 07 | 9 | 03 | Neutre |
| 7.5 - 8.5 | 274 | 92 | 290 | 96 | Basique |
| > 8.5 | 1 | 01 | 1 | 01 | Très basique |

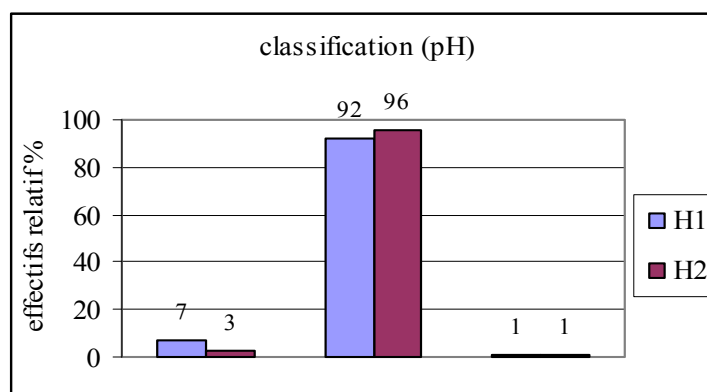


Figure 31. Histogramme de la classification de pH

4.1.3.5. Classification du Calcaire Total

Le tableau N° 14 montre que la différence entre les deux horizons est faible, mais la troisième classe montre un gradient croissant de la surface vers la profondeur allant de 06 % dans H1 à près de 10 % dans H2. Il y aurait donc une lixiviation du CaCO_3 de la surface vers la profondeur.

Les sols modérément calcaires sont de loin les plus fréquents avec un effectif dépassant 92 % pour le H1 et 89 % pour le H2.

Tableau 14. Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs en calcaire total (selon GEPPA, 1981)

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (Calcaire total) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| 1 - 5 | 7 | 02 | 5 | 01 | Peu calcaire |
| 5 - 25 | 272 | 92 | 266 | 89 | Moder- calcaire |
| 25 - 50 | 17 | 06 | 29 | 10 | Fort- calcaire |
| > 50 | 0 | 00 | 0 | 00 | Très fort calcaire |

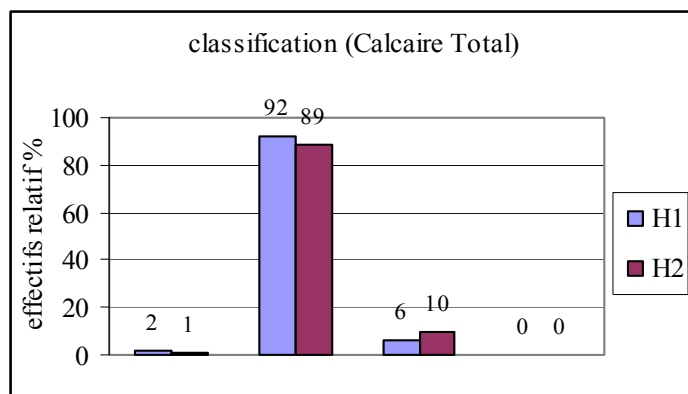


Figure 32. Histogramme de la classification de Calcaire Total

4.1.3.6. Classification de teneur en matière organique

Le tableau N° 15 montre que le taux de la matière organique est globalement faible dans la plaine. Il existe un gradient décroissant de la matière organique de la surface vers la profondeur où elle ne dépasse que rarement la moyenne de 1.27 % pour le H1 et 0.91 % pour le H2. L'horizon de surface enregistre 12 % de teneurs moyennes, l'horizon H2 n'en renferme que 01 %.

Tableau 15. Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs matière organique (STIPA, 1982)

| Classes de valeurs | Horizon H1 | | Horizon H2 | | Classification (M.O) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | Effectifs absolus | Effectifs relatif % | |
| < 1.8 | 30 | 88 | 68 | 99 | Faible |
| 1.8 – 3.5 | 4 | 12 | 1 | 01 | Moyenne |
| 3.5 – 8 | 0 | 00 | 0 | 00 | Assez forte |
| 8 – 12.5 | 0 | 00 | 0 | 00 | Forte |
| > 12.5 | 0 | 00 | 0 | 00 | Très forte |

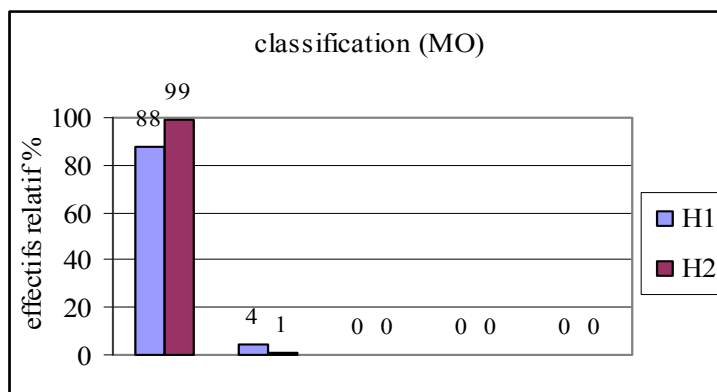


Figure 33. Histogramme de la classification de Matière Organique

4.2. CARACTERISATION DE LA SALINITE DES SOLS SUR LES QUATRE COMPAGNES

En se basant sur la base de données que nous avons établie, la présentation des résultats de l'analyse statistique de la salinité va se faire pour chaque année (1975, 1990, 1997 et 2006) pour les horizons de surface en fonction de la profondeur (H1, H2) pour les années 1975 et 1990.

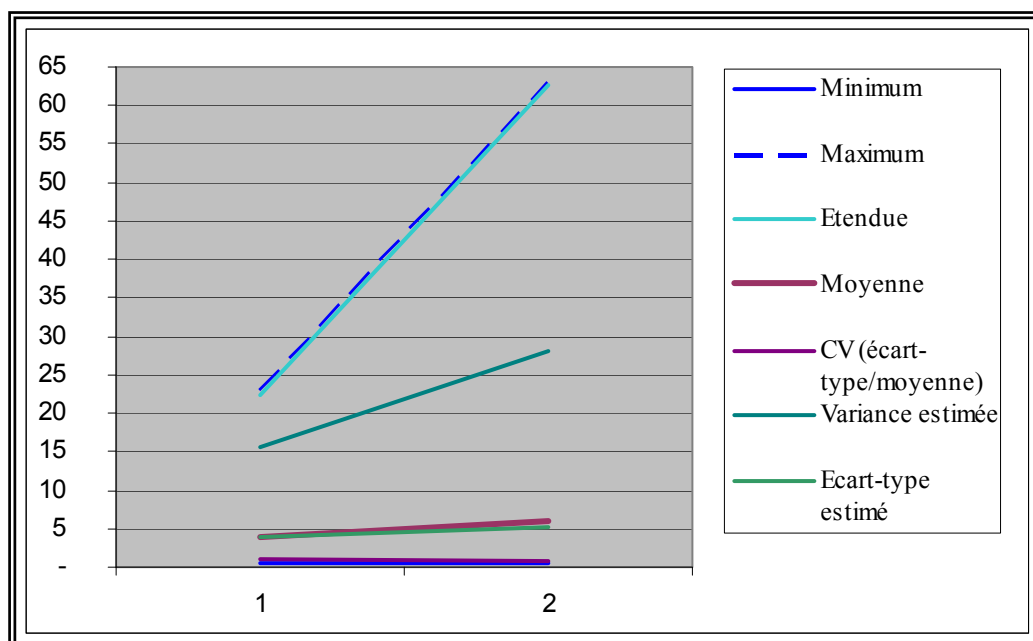
4.2.1. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1975

On a analysé 619 échantillons pour l'année 1975 (311 échantillons pour H1 et 308 pour H2). Selon le tableau N° 16, la conductivité électrique montre une étendue élevée avec des valeurs min de 0,60 et max de 23 dS/m pour le premier horizon. Celle du deuxième horizon est encore plus élevée avec des valeurs min de 0,40 et max de 63 dS/m.

La conductivité électrique moyenne est de 3,89 pour H1 et 5,98 pour H2. La médiane et le mode sont différents pour les deux horizons, donc la distribution des échantillons est non symétrique. L'écart type et la variance sont élevés indiquant une faible homogénéité des observations. Les deux horizons caractérisés par une asymétrie supérieure à zéro, décalée vers la gauche et un coefficient d'aplatissement supérieur à zéro (surtout le deuxième horizon 43,38). Les distributions ont une forme leptocurtique. La figure N° 34 montre la variabilité verticale des principaux paramètres statistiques

Tableau 16. Paramètres statistiques de salinité. Année 1975, pour H1 et H2.

| Paramètres statistiques | Horizon 1 CE ds/m | Horizon 2 CE ds/m |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Nbr. de valeurs utilisées | 311 | 308 |
| Minimum | 0,60 | 0,40 |
| 1er quartile | 1,38 | 2,40 |
| Médiane | 2,50 | 5,00 |
| 3ème quartile | 4,85 | 7,83 |
| Maximum | 23,00 | 63,00 |
| Etendue | 22,40 | 62,60 |
| Moyenne | 3,89 | 5,98 |
| Mode | 1,20 | 8,00 |
| Aplatissement | 6,28 | 43,38 |
| Asymétrie | 2,32 | 4,70 |
| CV (écart-type/moyenne) | 1,01 | 0,88 |
| Variance d'échantillon | 15,48 | 27,87 |
| Variance estimée | 15,53 | 27,96 |
| Ecart-type d'échantillon | 3,93 | 5,28 |
| Ecart-type estimé | 3,94 | 5,29 |



La figure 34. Variabilité verticale des principaux paramètres statistique. Année 1975, pour H1 et H2

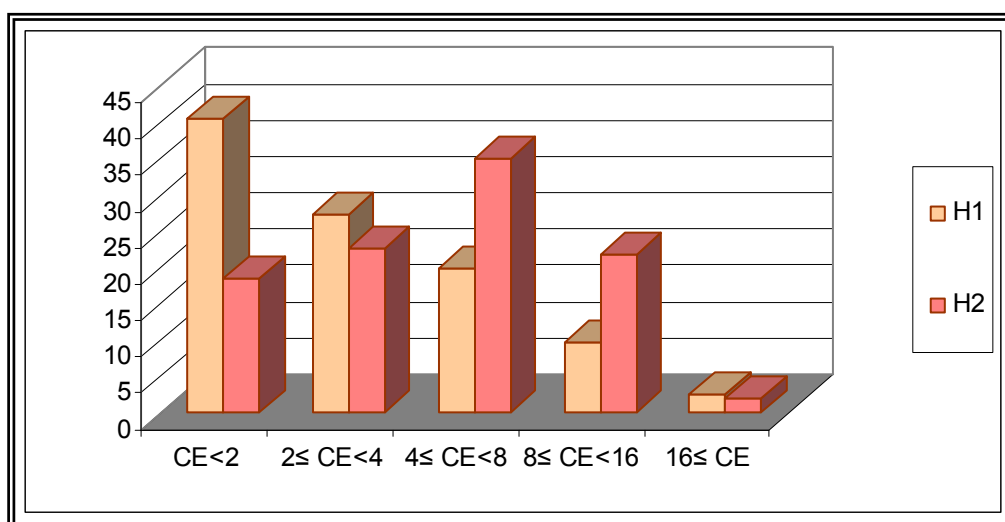
Selon le tableau N° 17, Les cinq classes des critères des 619 échantillons sont différents (classement de Riverside), entre les deux horizon :

- H1 : la classe non salée ($CE < 2$ dS/m) est de 40.51 % des échantillons, 27.33 % des échantillons sont légèrement salés ($2 \leq CE < 4$ dS/m), et 8 % des échantillons sont très salés ($CE > 16$ dS/m) ;
- H2 : pour cet horizon, on a enregistré des valeurs totalement différentes par rapport au premier horizon. La première classe ne dépasse pas 18.50% des échantillons analysés, la classe légèrement salée et très salée contiennent des effectifs équivalents avec respectivement 22.73 % et 21.75 %. La plus part des échantillons avec un effectif représentant 35.07 % se trouvent dans la catégorie des sols salés. La classe des sols extrêmement salée ne renferme que 1.95 % des échantillons.

La figure N° 35 montre un histogramme de cinq critères de la salinité en fonction de variabilité vertical des horizons

Tableau 17. Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction du degré de salinité (Classification de Riverside)

| Classe | Critères | H1 | | H2 | |
|--------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Nbr V | (%) | Nbr V | (%) |
| 1 | Non salé | 126 | 40.51 | 57 | 18.50 |
| 2 | Légèrement salé | 85 | 27.33 | 70 | 22.73 |
| 3 | Salé | 62 | 19.94 | 108 | 35.07 |
| 4 | Très salé | 30 | 9.65 | 67 | 21.75 |
| 5 | Extrêmement salé | 8 | 2.57 | 6 | 1.95 |
| | TOTAL | 311 | 100 | 308 | 100 |

**Figure 35. Histogramme de salinité en fonction de variabilité vertical des horizons. Année 1975, pour H1 et H2**

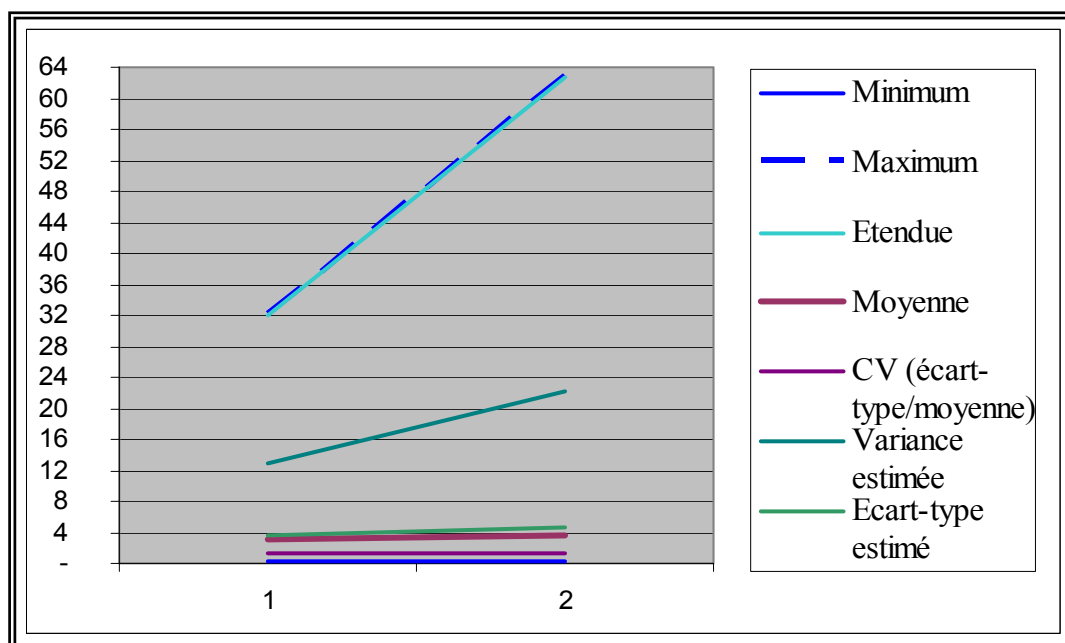
4.2.2. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1990

Pour l'année 1990, On a inventorié et retenu 596 échantillons au total dont 296 pour H1 et 300 pour H2. Selon le tableau N° 18, il apparaît que les deux horizons de la plaine du Bas Cheliff sont caractérisés par une conductivité électrique d'une étendue très élevée allant de 0.20 à 32.13 dS/m pour le H1, et 0.19 à 63 dS/m pour le H2.

La CE moyenne est de 2.97 dS/m pour H1 et 3.73 dS/m pour H2. La médiane et le mode sont plus proches pour les deux horizons. L'écart type et la variance sont moins élevés par rapport à la moyenne, et indiquant une homogénéité moins dispersé pour les échantillons. Les deux horizons sont caractérisés par la présence d'une asymétrie décalée vers la gauche et un coefficient d'aplatissement plus élevé que zéro (surtout le deuxième horizon de 82.62). Les distributions ont donc une forme léptocurtique. La figure N° 36 montre la variabilité verticale des principaux paramètres statistiques

Tableau 18. Paramètres statistiques de salinité. Année 1990, pour H1 et H2

| Paramètres statistiques | Horizon 1 CE ds/m | Horizon 2 CE ds/m |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Nbr. de valeurs utilisées | 296 | 300 |
| Minimum | 0,20 | 0,19 |
| 1er quartile | 0,87 | 1,30 |
| Médiane | 2,01 | 2,84 |
| 3ème quartile | 3,75 | 4,81 |
| Maximum | 32,13 | 63,00 |
| Etendue | 31,93 | 62,81 |
| Moyenne | 2,97 | 3,73 |
| Mode | 1,20 | 3,00 |
| Aplatissement | 21,85 | 82,68 |
| Asymétrie | 3,83 | 7,28 |
| CV (écart-type/moyenne) | 1,21 | 1,26 |
| Variance d'échantillon | 12,87 | 22,09 |
| Variance estimée | 12,91 | 22,17 |
| Ecart-type d'échantillon | 3,59 | 4,70 |
| Ecart-type estimé | 3,59 | 4,71 |



La figure 36. Variabilité verticale des principaux paramètres statistique. Année 1990, pour H1 et H2

Le tableau N° 19 montre que la répartition des échantillons par classe de salinité est différente selon les deux horizons. On a enregistré un gradient décroissant pour les deux premières classes entre les deux horizons, par contre les dernières classes ont enregistré un gradient croissant entre les deux horizons.

Le taux de 26.67 % des échantillons à caractère salé pour le deuxième horizon, et de 14.87 % seulement pour le premier horizon témoigne d'une dynamique des sels descendante de la surface vers la profondeur par lixiviation.

La figure N° 37 montre un histogramme de cinq critères de salinité en fonction de la variabilité verticale des horizons.

Tableau 19. Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de Riverside, USA)

| Classe | Critères | H1 | | H2 | |
|--------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Nbr V | (%) | Nbr V | (%) |
| 1 | Non salin | 146 | 49,32 | 113 | 37,67 |
| 2 | Légèrement salin | 87 | 29,39 | 85 | 28,33 |
| 3 | Salé | 44 | 14,87 | 80 | 26,67 |
| 4 | Très salé | 16 | 5,41 | 18 | 6,00 |
| 5 | Extrêmement salé | 3 | 1,01 | 4 | 1,33 |
| | TOTAL | 296 | 100 | 300 | 100 |

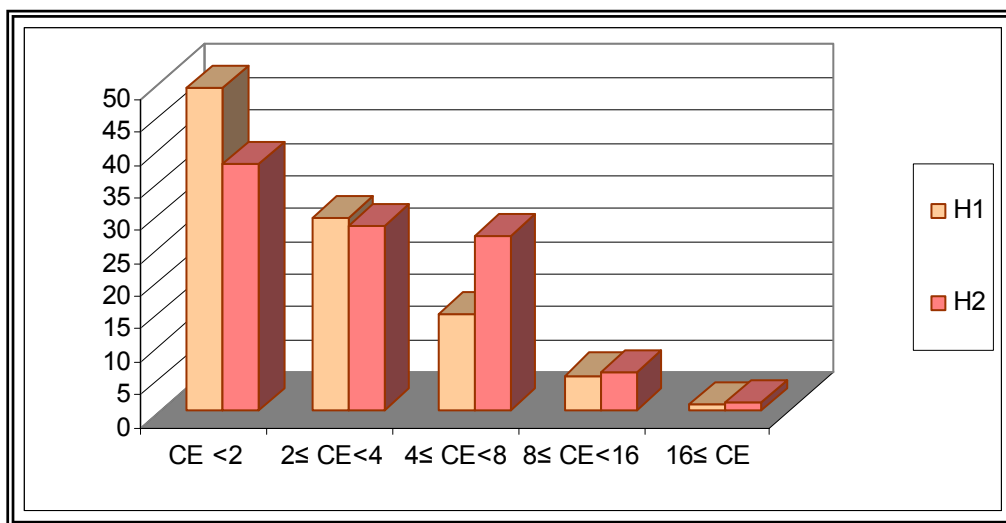


Figure 37. Histogramme de salinité en fonction de variabilité vertical des horizons. Année 1990, pour H1 et H2

4.2.3. Analyse statistique descriptive des données de l'année 1997

On a analysé 4867 échantillons pour l'année 1997 pour un seul horizon. Selon le tableau N° 20, il apparaît que la plaine du Bas Cheliff est caractérisée par une conductivité électrique d'une étendue très élevée allant de 3.17 dS/m à 53.90 dS/m.

Avec une moyenne 6.69 dS/m, un écart type de 5.93, une variance de 35.19 et un CV de 89%, le caractère salin de la plaine est bien visible ici. Les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement sont supérieurs à zéro avec une forme léptocurtique et une asymétrie gauche.

Tableau 20. Paramètres statistiques de salinité. Année 1997, pour le premier horizons

| Paramètres Statistiques | Horizon 1 CE dS/m |
|--------------------------------|--------------------------|
| Nbr. de valeurs utilisées | 4 867 |
| Minimum | 3,17 |
| 1er quartile | 3,67 |
| Médiane | 4,43 |
| 3ème quartile | 6,79 |
| Maximum | 53,90 |
| Etendue | 50,73 |
| Moyenne | 6,69 |
| Mode | 3,52 |
| Aplatissement | 14,20 |
| Asymétrie | 3,42 |
| CV (écart-type/moyenne) | 0,89 |
| Variance d'échantillon | 35,19 |
| Variance estimée | 35,20 |
| Ecart-type d'échantillon | 5,93 |
| Ecart-type estimé | 5,93 |

Selon le tableau N° 21, Les cinq classes des critères de 4867 échantillons sont différents (Riverside). La première classe représentant les sols non salés est nulle avec en plus 42% des échantillons qui se trouvent dans la catégorie des sols salés et 6% des échantillons sont classés dans la catégorie des sols extrêmement salés.

Il est important de noter, toutefois, que le fait de ne pas trouver d'échantillons dans la classe des sols non salés ne doit en aucun cas nous amener à déduire qu'il n'existe plus de sols non salés dans la plaine du Bas-Chéiff. Ce résultat revient au plan d'échantillonnage qui a été retenu durant cette campagne

La figure N° 38 montre un histogramme des cinq classes de salinité pour le premier horizon de l'année 1997.

Tableau 21. Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de Riverside, USA)

| Classe | Critères | H1 | |
|--------|------------------|-------|-------|
| | | Nbr V | (%) |
| 1 | Non salin | 0 | 0 |
| 2 | Légèrement salin | 1886 | 38,75 |
| 3 | Salé | 2046 | 42,04 |
| 4 | Très salé | 599 | 12,31 |
| 5 | Extrêmement salé | 336 | 6,90 |
| | TOTAL | 4867 | 100 |

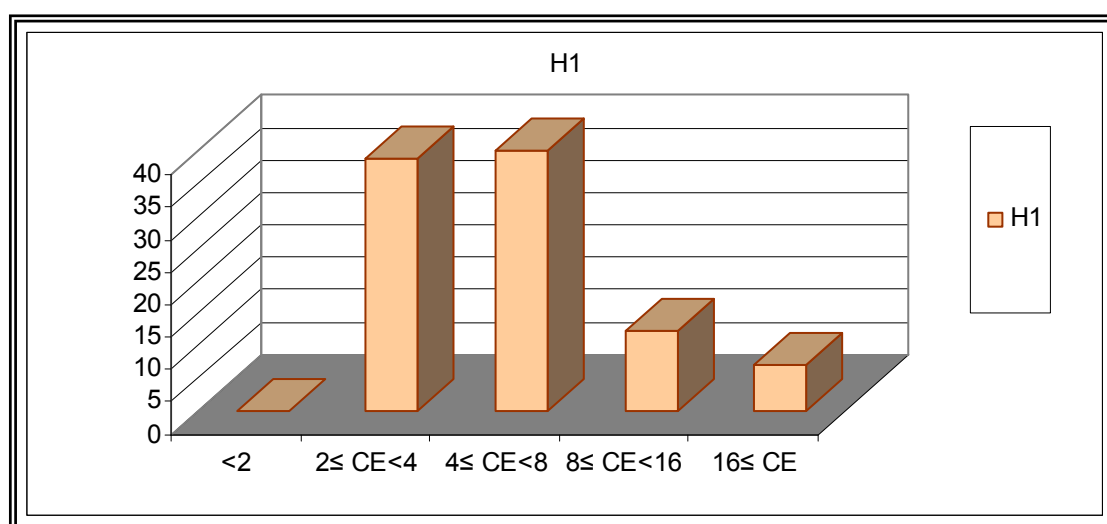


Figure 38. Histogramme de salinité de l'horizon H1. Année 1997

4.2.4. Analyse statistique descriptive des données de l'année 2006

Pour la quatrième période, on a inventorié 410 échantillons pour un seul horizon. Selon le tableau N° 22, l'étendue est la plus forte valeur enregistrée avec une valeur min de 0.4 dS/m et max de 68.38.

La moyenne est assez forte par rapport aux premières périodes, mais la dispersion des mesures est plus marquée avec une variance de 113.79 et un écart types de 10.67. Les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement sont supérieurs à zéro. La distribution est caractérisée par une forme léptocurtique et asymétrie gauche.

Tableau 22. Paramètres statistiques de salinité. Année 2006, pour le premier horizons

| Paramètres statistiques | Horizon 1 CE dS/m |
|---------------------------|----------------------|
| Nbr. de valeurs utilisées | 410 |
| Minimum | 0,40 |
| 1er quartile | 1,29 |
| Médiane | 2,94 |
| 3ème quartile | 8,26 |
| Maximum | 68,78 |
| Etendue | 68,38 |
| Moyenne | 7,19 |
| Mode | 1,14 |
| Aplatissement | 10,11 |
| Asymétrie | 2,94 |
| CV (écart-type/moyenne) | 1,48 |
| Variance d'échantillon | 113,51 |
| Variance estimée | 113,79 |
| Ecart-type d'échantillon | 10,65 |
| Ecart-type estimé | 10,67 |

Le tableau N° 23 présente la répartition par classe des 410 échantillons qui sont classée selon le classement de Riverside, La première classe renferme le nombre d'échantillons le plus élevé avec 38.54 %. La classe des sols extrêmement salés présente un pourcentage plus élevé (13.42%) par rapport à l'année 1997. Cette croissance de gradient montre bien l'accroissement de taux de salinité entre ces deux périodes dans la plaine du bas Chélif.

La figure N° 39 montre l'histogramme de la salinité en fonction des cinq classes retenues.

Tableau 23. Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (*Classification de Riverside, USA*)

| Classe | Critères | H1 | |
|--------|------------------|-------|-------|
| | | Nbr V | (%) |
| 1 | Non salin | 158 | 38,54 |
| 2 | Légèrement salin | 86 | 20,97 |
| 3 | Salé | 60 | 14,63 |
| 4 | Très salé | 51 | 12,44 |
| 5 | Extrêmement salé | 55 | 13,42 |
| | TOTAL | 410 | 100 |

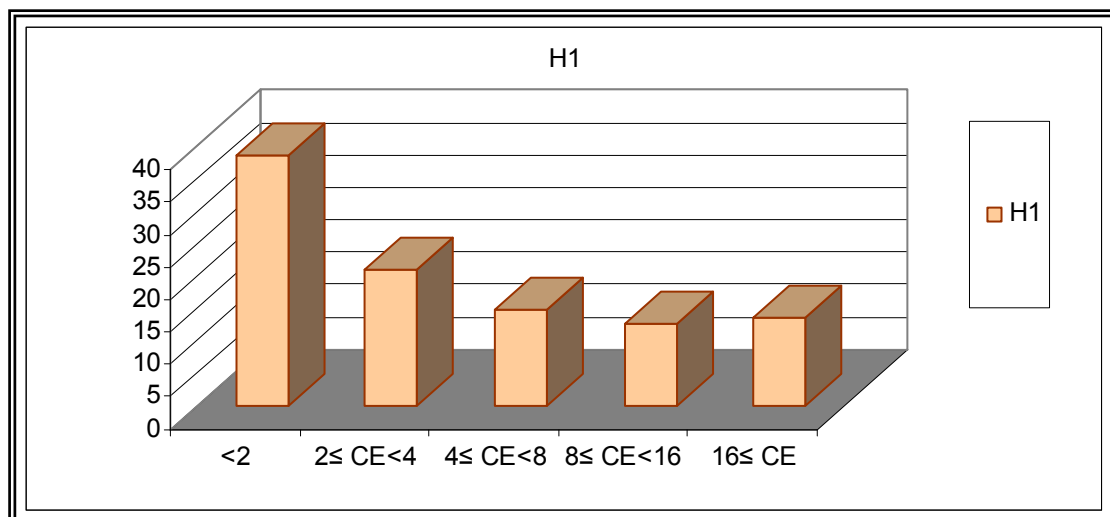


Figure 39. Histogramme de salinité de l'horizon H1. Année 2006

4.3. ANALYSE SPATIALE DE LA SALINITE DES SOLS

La géostatistique a été appliquée pour la cartographie de la salinité en se basant sur l'exploitation de la base de données géoréférencée que nous avons établie.

La méthode de géostatistique est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque et son estimation spatiale par interpolation. Cette méthode est très appropriée pour cartographier un phénomène naturel (Journal 1977 ; Douaoui et al, 2006).

L'estimation spatiale de la salinité a été faite par le krigeage qui est une technique d'interpolation développée à partir des années 50 par le géologue Sud africain Krige. L'exploitation de notre banque de données dans le cadre d'un système d'information géographique (SIG) nous a permis de d'établir des cartes de salinité pour chaque année (1975, 1990, 1997 et 2006). Dans notre cas, le krigeage ordinaire a été appliqué en tant que méthode d'interpolation et le logiciel ArcGis 9.2 a été utilisé en tant que SIG.

4.3.1. Etude de la structure spatiale de la salinité des différents horizons

La structure spatiale d'un phénomène qui se déploie dans l'espace est déterminée par l'établissement de son variogramme. Ce dernier est une étape importante et obligatoire avant l'application du krigeage.

4.3.1.1. Variogrammes des horizons H1 et H2 de l'année 1975

Les deux variogrammes établis pour les deux premiers horizons de l'année 1975 montrent une continuité dans la structure spatiale de la salinité à l'échelle de la zone d'étude (fig. 40). L'horizon H1 montre cette structure par la fonction linéaire qu'il affiche même en absence d'un palier et l'horizon H2 la montre par son variogramme sphérique. Toutefois, cette continuité n'est pas la même dans les deux horizons. En effet, la valeur de 14.5 (dS/m)^2 de l'effet de pépite qui est très élevée pour le H1 par rapport à 7 (dS/m)^2 pour l'horizon H2 montre l'existence dans le cas de H1 du caractère aléatoire à l'échelle de faibles distances beaucoup plus prononcé que dans le cas de H2. Cette caractéristique peut traduire une hétérogénéité élevée de la variabilité spatiale de la salinité et de sa teneur d'une parcelle à une autre. En plus, l'horizon H2 possède un palier qui traduit une variance finie sur une distance égale à une portée assez élevée de 3200 km, alors que pour H2 beaucoup d'hypothèses peuvent être émises telle que l'existence d'une dérive par exemple.

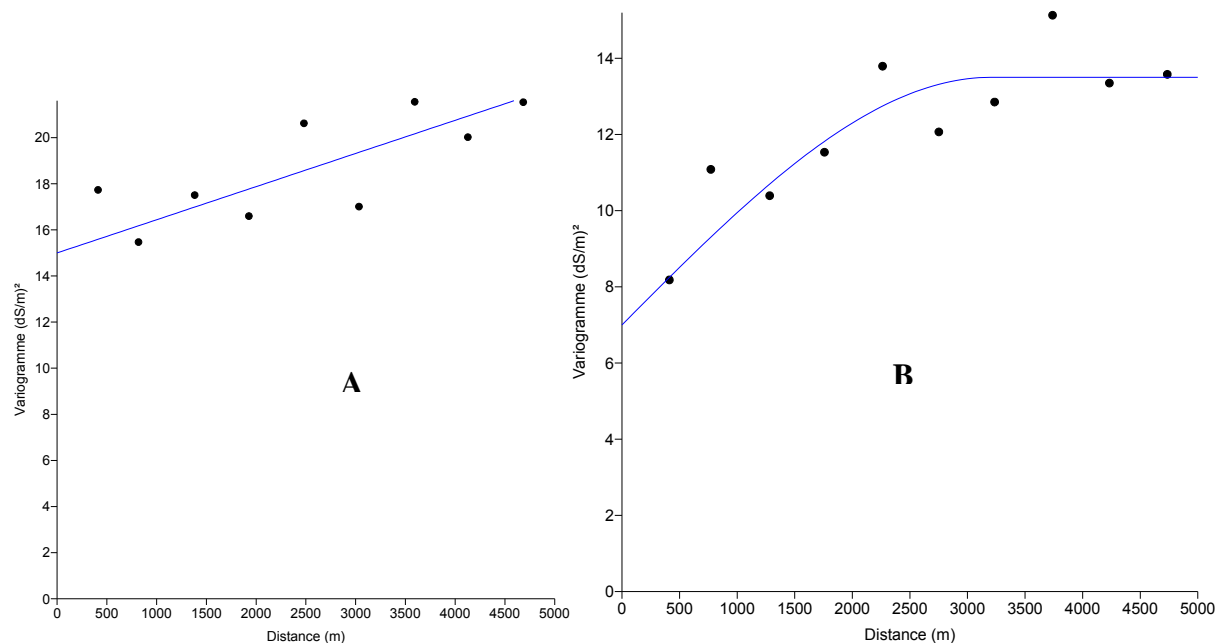


Figure 40 : Variogrammes des horizons H1 (A) et H2 (B) de l'année 1990

4.3.1.2. Variogrammes des horizons H1 et H2 de l'année 1990

Les ajustements des deux variogrammes expérimentaux des horizons H1 et H2 de l'année 1990 montrent que les deux structures de la salinité obtenues correspondent à une fonction sphérique avec cependant des comportements différents (fig. 41).

Le variogramme du premier horizon présente deux structures différentes à la fois mais dont l'ajustement n'a été fait que par rapport à la première structure au vu de l'absence de logiciels qui sont en mesure de procéder à un tel ajustement et en tenir compte également lors du krigeage. Il faut également savoir qu'un tel ajustement n'affecte en rien les estimations par krigeage si le voisinage glissant qui sera adopté lors de l'estimation spatiale de la salinité ne dépassera pas la distance maximale de la portée de la première structure dont on a tenu compte ici. Ainsi la fonction d'ajustement de ce variogramme est une fonction sphérique avec un effet de pépité = 4.2 (dS/m)^2 , un palier = 6.5 (dS/m)^2 et une portée = 1300 m.

Le variogramme du second horizon qui montre une grande régularité et une continuité plus élevée que dans le premier horizon grâce à son effet de pépité qui est nul montre également l'existence de deux structures mais dont la différence est moins prononcée que dans le cas de H1. La portée est égale ici à 1500 m et le palier à 16 (dS/m)^2 .

Les deux portées qui sont proches l'une de l'autre indiquent un même redéploiement de la structure de la salinité à l'échelle de la plaine.

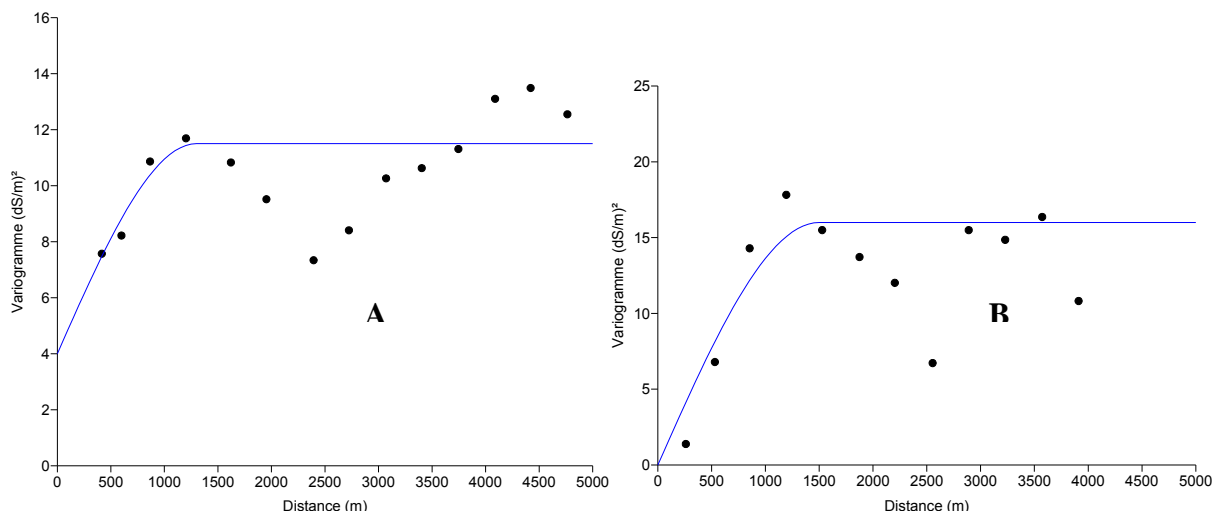


Figure 41. Variogrammes des horizons H1 (A) et H2 (B) de l'année 1990

4.3.1.3. Variogrammes des couches de surfaces (H1) des années 1997 et 2006

Les deux variogrammes de la salinité des couches de surface de la plaine du Bas-Chélif pour les années 1997 et 2006 s'ajustent respectivement à deux fonctions sphériques avec des effets de pépites = 24 et 35 (dS/m)², des paliers = 40 et 95 (dS/m)², et des portées = 4500 m pour les deux (fig. 42).

Ces deux ajustements ayant la même portée montrent que le comportement spatial de la salinité n'a pas changé à l'échelle de la plaine entre les deux périodes. Contrairement à ce résultat, ce n'est pas le même cas lorsque on raisonne aux petites échelles qui montre une continuité moins bonne pour la salinité de l'année 2006 qui possède un effet de pépite et un palier nettement plus élevés que ceux retrouvés pour l'année 1997.

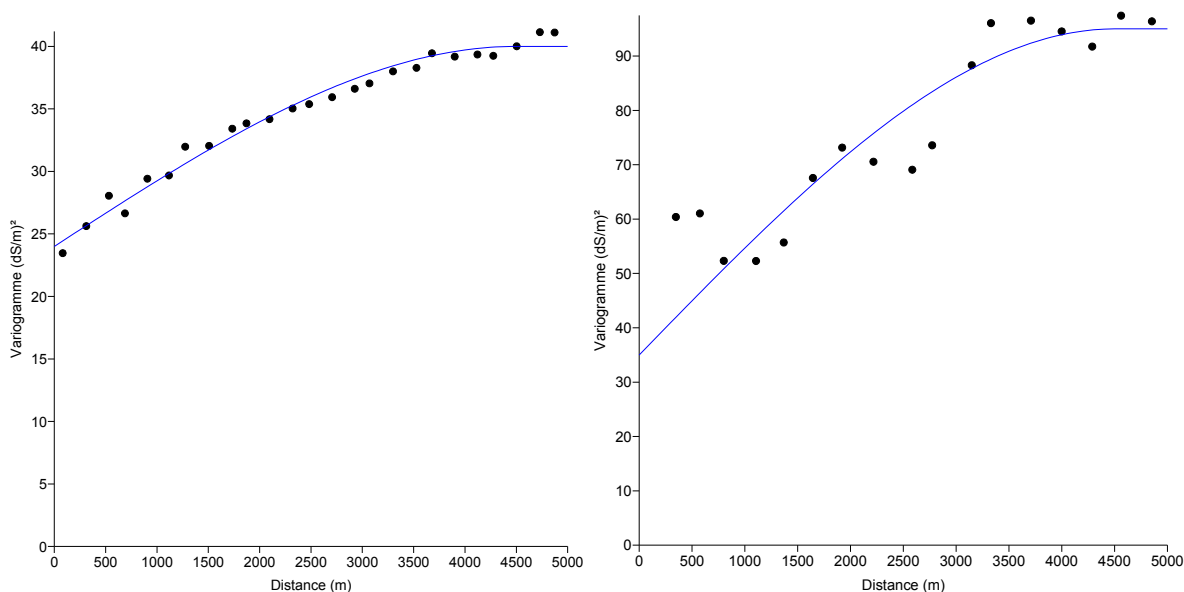


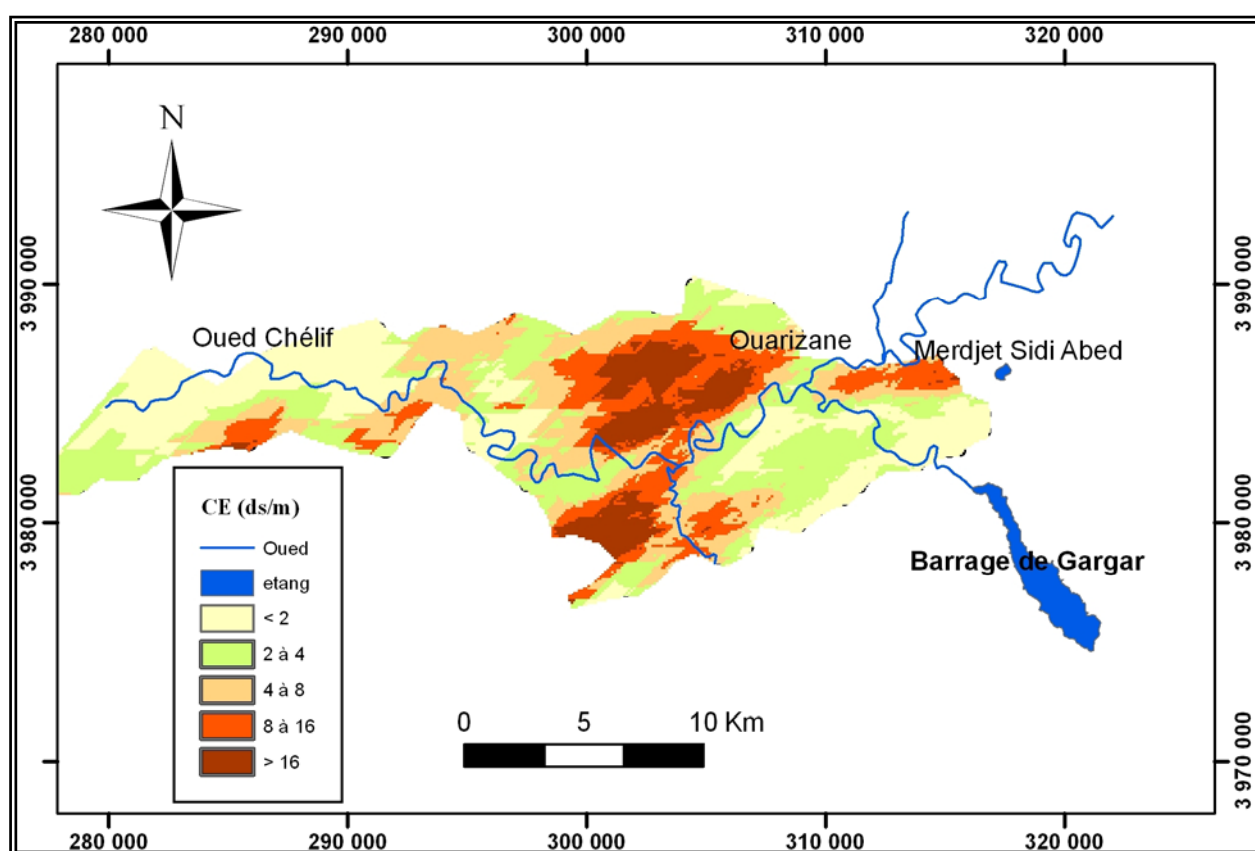
Figure 42. Variogrammes des couches de surface (H1) des années 1997 (A) et 2006 (B)

4.3.2 Cartographie de la salinité des sols

4.3.2.1. Cartographie de la salinité de l'année 1975

4.3.2.1.1. Cartographie de l'horizon H1

La carte de la salinité ainsi établie pour l'année 1975 montre que les zones les plus touchées par la salinité se localisent dans la partie centrale de la plaine et font partie des superficies appartenant à l'ouest des périmètres de Ouarizane et de Djédiouia où se trouve le périmètre de Hmadna. D'autres plages de salinité élevée se trouvent au nord de Merdjet Sidi Abed et au nord de la Gaa qui ne figure pas sur la carte. Les zones les moins salées se trouvent à l'est et au nord ouest de la plaine ainsi que le long de oued Chlef. Ce dernier joue le rôle d'un drain naturel (Fig. 43).



Le tableau N° 24 montre que les deux premières classes occupent les plus larges superficies avec 6377 ha représentant 26.51 % de la superficie totale pour la classe non salée et 6541 hectare soit 27.19 pour la classe légèrement salée. Les classes moyennement salée, salée et très salée occupent respectivement 5334 ha (22.17%), 3590 ha (14.93) et 2214 ha (9.20%).

Tableau 24. Distribution des pourcentages de surfaces en fonction de degré de salinité (Classification de Riverside, USA)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km ²) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|----------------------------|------------|
| 1975 H1 | < 2 | 6 377 | 63,77 | 26,51 |
| | 2 à 4 | 6 541 | 65,41 | 27,19 |
| | 4 à 8 | 5 334 | 53,34 | 22,17 |
| | 8 à 16 | 3 590 | 35,90 | 14,93 |
| | > 16 | 2 214 | 22,14 | 9,20 |
| TOTAL | | 24 056 | 240,56 | 100 |

4.3.2.1.2. Cartographie de l'horizon H2

La figure N° 44 Présente la carte de la salinité du deuxième horizon, cette carte montre une variabilité spatiale de la salinité moins importante que celle du premier horizon, En effet, la plus part des sols sont caractérisés par une conductivité électrique inférieure à 8 dS/m (87.81%) dont une grande partie est comprise dans la catégorie des sols moyennement salés. Les horizons très salés occupent généralement les mêmes superficies que dans le premier horizon. (région de Hmadna).

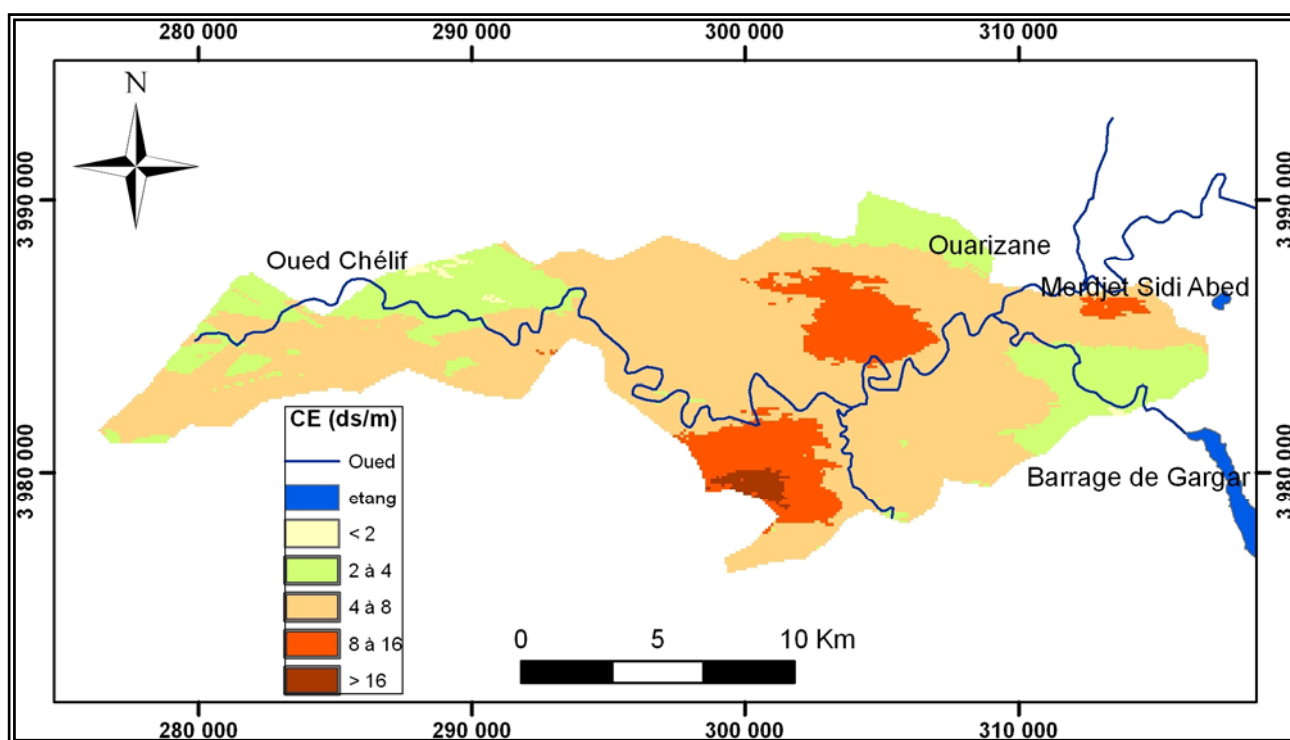


Figure 44. Carte de salinité des sols. Année 1975, H2

Le tableau N° 25 présenté la distribution des superficies selon les classes de salinité de l'horizon H2. Il en ressort que plus des 2/3 (16175 hectare) de la superficie étudié fait partie des sols salés contre seulement 217 hectare (0.90%) qui sont très salés

Tableau 25. Distribution des pourcentages de surfaces en fonction de degré de salinité (Classification de Riverside)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km2) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|---------------|------------|
| 1975 H2 | < 2 | 92 | 0,92 | 0,38 |
| | 2 à 4 | 4 856 | 48,56 | 20,19 |
| | 4 à 8 | 16 175 | 161,75 | 67,24 |
| | 8 à 16 | 2 716 | 27,16 | 11,29 |
| | > 16 | 217 | 2,17 | 0,90 |
| TOTAL | | 24 056 | 240,56 | 100 |

4.3.2.2. Cartographique de la salinité de l'année 1990

4.3.2.2.1. Cartographie de l'horizon H1

La carte de salinité de l'horizon H1 établie à partir des données de l'année 1990 montre que la salinité reste souvent en deçà de la limite de 8 dS/m et pour la plus part des superficies étudiées. Il apparaît également que les sols les moins salés se situent aux extrémités et à la périphérie de la plaine ainsi que tout au long de Oued Chlef. Les sols les plus salés se trouvent sous forme de plages au centre de la plaine et au sud de la Gaa (fig. 45).

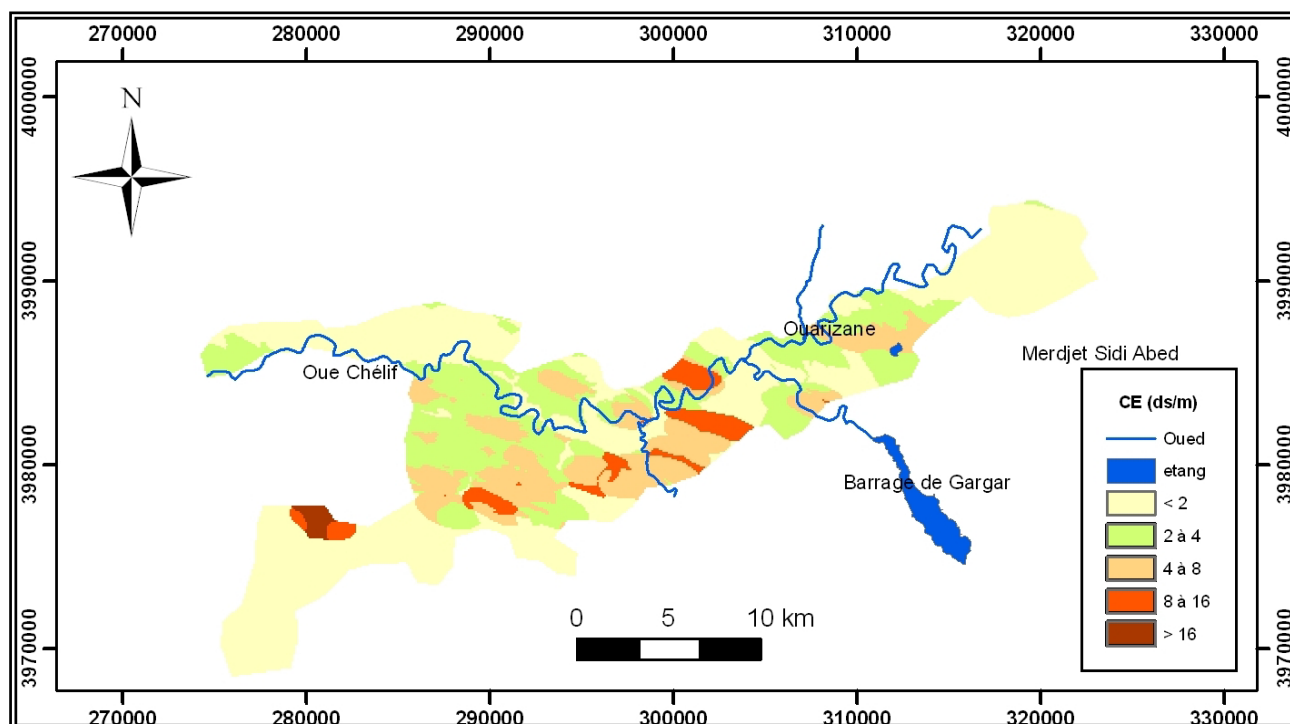


Figure 45. Carte de salinité des sols. Année 1990, H1

Le tableau N° 26 montre que la première classe des sols non salés est la plus importante et couvre une surface de 17292 ha soit 51.6% de la surface totale. La deuxième classe des sols légèrement salés est moins importante avec 26%. La superficie des sols très salés est la plus faible avec seulement 257 ha correspondant à de 0,8% de la surface échantillonnée.

Tableau 26. Distribution de la superficie des sols salé (Année 1990, H1).
(Classification de Riverside, USA)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km2) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|---------------|------------|
| 1990 H1 | <2 | 17 292 | 172,92 | 51,6 |
| | 2à4 | 8 735 | 87,35 | 26,1 |
| | 4à8 | 5 722 | 57,22 | 17,1 |
| | 8à16 | 1 515 | 15,15 | 4,5 |
| | >16 | 257 | 2,57 | 0,8 |
| TOTAL | | 33 521 | 335,21 | 100 |

4.3.2.2.2. Cartographie de l'horizon H2

La figure N° 46 présente la carte de la salinité du deuxième horizon. Cette carte montre que la plus part des sols sont caractérisés par une conductivité électrique inférieure à 8 dS/m. Les sols salés et fortement salés se trouvent principalement dans le périmètre de Hmadna et sont totalement absents au nord de oued Chlef.

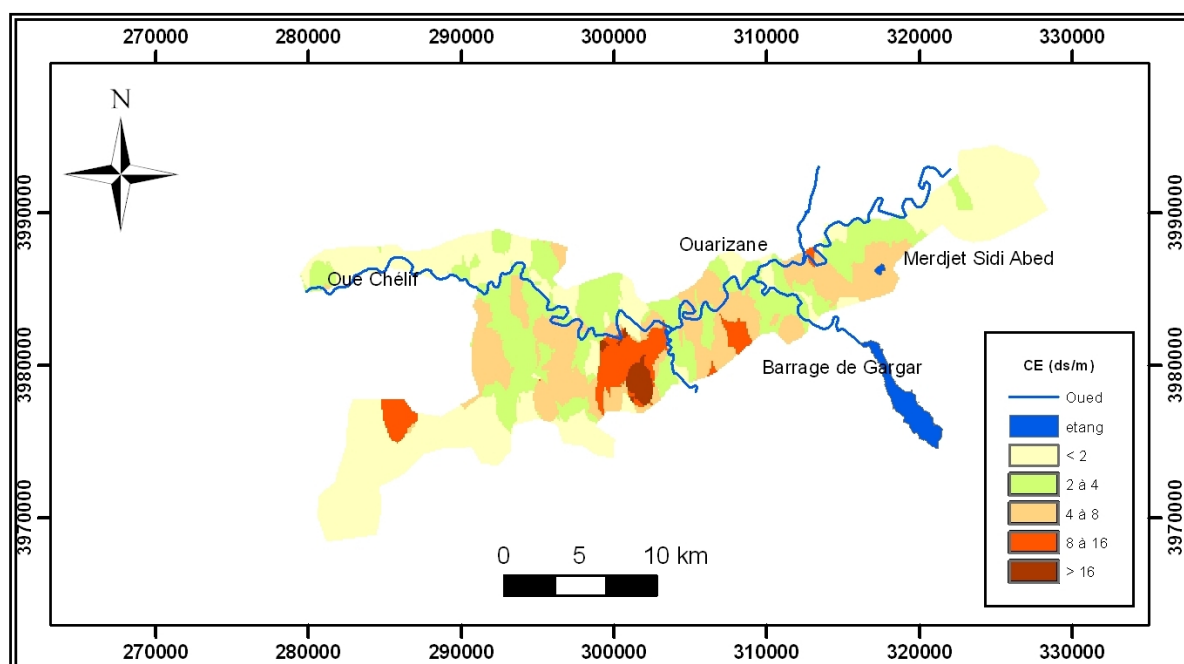


Figure 46. Carte de salinité des sols. Années 1990, H2

Le tableau N° 27 présente la distribution de la salinité de l'horizon H2 selon la classification de Riverside. Il apparaît que la superficie correspondant à la classe non salée occupe la plus grande part avec 14 229 hectares (42.4%), mais elle reste toutefois moins importante que dans le cas du premier horizon.

Tableau 27. Distribution de la superficie des sols salé (Année 1990, H2).
(Classification de Riverside, USA)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km2) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|---------------|------------|
| 1990 H2 | <2 | 14 229 | 142,29 | 42,4 |
| | 2à4 | 9 056 | 90,56 | 27,0 |
| | 4à8 | 7 791 | 77,91 | 23,3 |
| | 8à16 | 2 013 | 20,13 | 06,0 |
| | >16 | 432 | 43,2 | 01,3 |
| TOTAL | | 33 521 | 335,21 | 100 |

4.3.2.3. Cartographique de la salinité de l'année 1997

Pour cette année, le nombre des échantillons est très important et porte sur un nombre de 4000, toutefois, il ne concerne que le premier horizon sur une profondeur de 0 à 20 cm (Douaoui, 2005).

La carte de salinité établie à partir de ces données montre la présence d'une salinité nettement plus élevée par rapport aux cartes établies sur les années précédentes. En effet, les régions salées qui étaient localisées surtout dans le périmètre de Hmadna et la partie ouest des périmètres de Ouarizane se sont généralisées sur toutes les parties de la plaine durant l'année 1997 (Fig. 47).

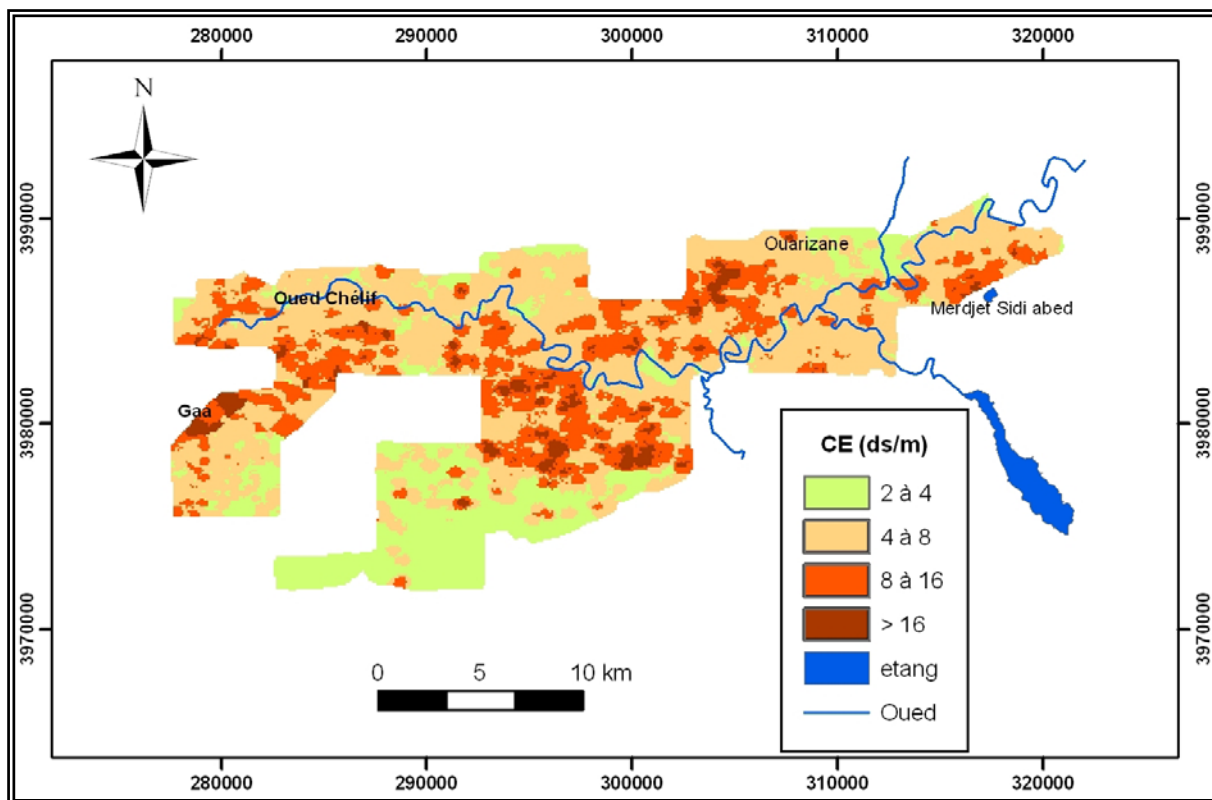


Figure 47. Carte de salinité des sols. Année 1997, H1

Le tableau N° 28 montre, comme cela a été déjà signalé dans l'analyse statistique des données de la géobase, que la classe représentant les sols non salées est totalement absente. Les sols salés occupent la plus grande superficie avec une superficie de 19202 ha (52.90 %).

La classe des sols légèrement salés et celle des sols salés occupent des superficies équivalentes avec respectivement 20.60 % (7474 ha) et de 22.80 % (8279 ha). Les sols très salés occupent la plus faible superficie avec seulement 3.70 % de la surface échantillonnée.

Les causes de cette augmentation dans les superficies salées peuvent être expliquées, en grande partie, par le recours à l'irrigation dans un contexte d'aridité du climat croissante conjugué au non fonctionnement des systèmes de drainage installés depuis l'époque coloniale qui sont délaissés ou endommagés (Douaoui, 2005). Une autre partie d'explication de cette nette progression dans la salinité peut être faite par la période d'échantillonnage qui s'est faite en période estivale où l'accumulation des sels est la plus importante en particulier au niveau du premier horizon.

Tableau 28. Distribution de la superficie des sols salé (Année 1997, H1).
(Classification de Riverside, USA)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km2) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|---------------|------------|
| 1997 H1 | < 2 | 0 | 0 | 00 |
| | 2 à 4 | 7 474 | 74,74 | 20,6 |
| | 4 à 8 | 19 202 | 1 92,02 | 52,9 |
| | 8 à 16 | 8 279 | 82,79 | 22,8 |
| | > 16 | 1 340 | 13,40 | 03,7 |
| TOTAL | | 36 295 | 362,95 | 100 |

4.3.2.4. Cartographie de la salinité de l'année 2006

Pour la quatrième période, les données qui avoisinent les 400 échantillons ne sont prélevées qu'à partir du premier horizon sur une profondeur de 0 à 20 cm comme celles de l'année 1997 (Douaoui et al, 2008).

La généralisation des superficies des sols salés sur toute la plaine confirme le résultat trouvé au cours de l'année 1997. Il reste, toutefois, des sols qui ne sont pas encore touchés par la salinité même en situation d'irrigation comme on peut le voir dans les périmètres de Ouarizane et de Oued Rhiou (Fig. 48).

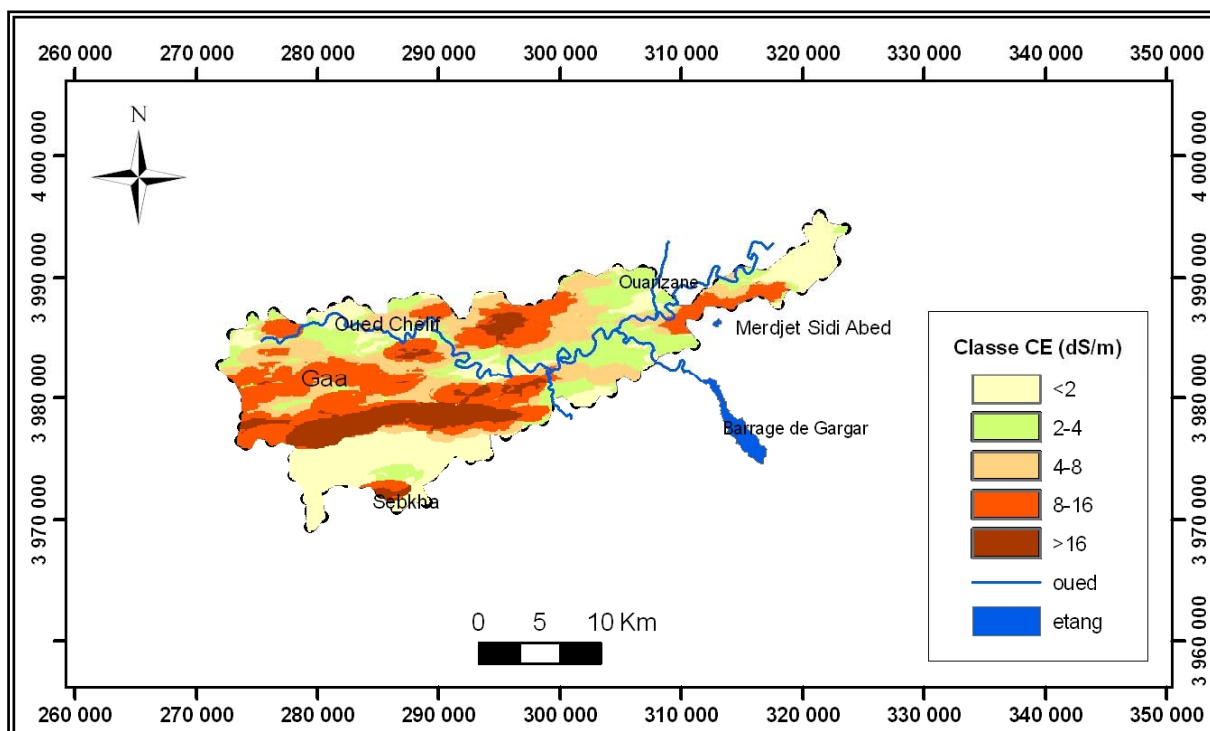


Figure 48. Carte de salinité des sols. Années 2006, H1

Le tableau N° 29 montre que les sols non salés ou légèrement salés ayant une CE comprise entre 0 et 4 dS/m occupent une superficie totale égale à 210.82 ha, ce qui correspond à 43 %. Cette superficie est plus grande que celle enregistrée au cours de l'année 1997. Les sols salés ayant une CE supérieure à 8 couvrent une superficie totale égale à 17388 ha soit un taux de 35.8 % dont 10.1 % ont une CE > 16 dS/m.

Tableau 29. Distribution de la superficie des sols salé (Année 2006, H1).

(Classification de Riverside, USA)

| Année | CE (dS/m) | surface (hectare) | surface (km2) | val % |
|--------------|-----------|-------------------|---------------|------------|
| 2006 H1 | < 2 | 11 862 | 118,62 | 24,4 |
| | 2 à 4 | 9 020 | 90,20 | 18,6 |
| | 4 à 8 | 10 295 | 102,95 | 21,2 |
| | 8 à 16 | 12 483 | 124,83 | 25,7 |
| | > 16 | 4 905 | 4 9,05 | 10,1 |
| TOTAL | | 48 565 | 485,65 | 100 |

4.3.3. Discussion

Les deux cartes de salinité de l'année 1990 établies pour les deux horizons montrent l'existence d'une dynamique de sels entre les deux horizons dans la mesure où les superficies retrouvées dans les deux cas sont différentes dans leurs teneurs en sels. Cette dynamique se manifeste par la différence des niveaux de salinité entre les deux horizon H1 et H2 dans lesquels on constate une diminution de la CE de la superficie de la classe salée pour le premier horizon de 51,6%, vers un taux de 42.4% pour le second horizon. Dans le même temps, une augmentation des superficies des classes salées et très salées est enregistrée dans le deuxième horizon au dépend du premier horizon.

4.4. SUIVI SPATIO-TEMPOREL DE LA SALINITE

L'évolution des superficies des couches de surface touchées par la salinité a été faite par comparaison entre les quatre cartes établies pour les quatre campagnes des années 1975, 1990, 1997 et 2006. Comme ces études n'ont pas été faites sur les mêmes superficies, la comparaison ne peut se faire donc sur la totalité des cartes établie et se limite par conséquent uniquement à la comparaison entre les secteurs étudiés et appartenant conjointement et à la fois aux différentes campagnes (fig. 49).

Dans ce sens, on a réalise la comparaison entre l'ensemble des quatre années avec une superficie certes plus réduite avec de 17872 ha soit 40% de la superficie totale du Bas Chélif.

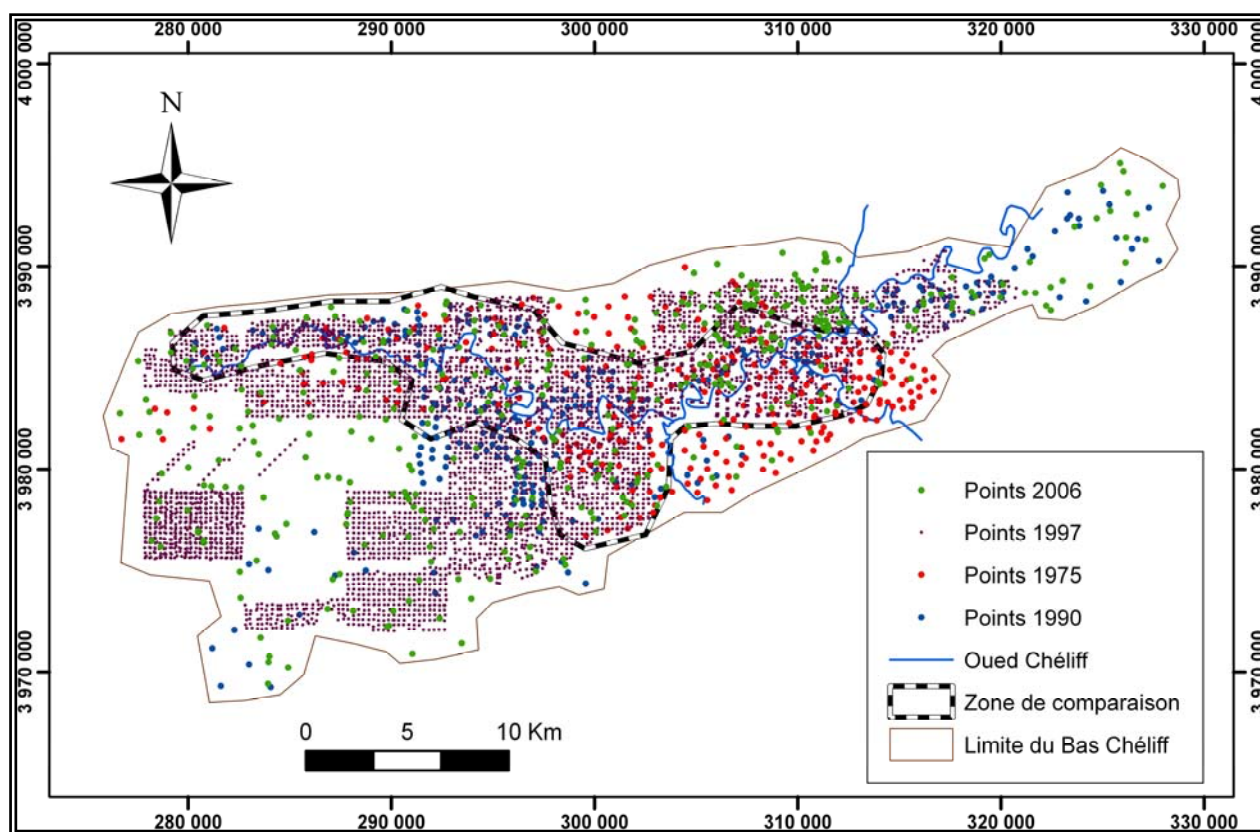


Figure 49. Délimitation des superficies conjointement étudiées entre les années 1975, 1990, 1997 et 2006 dans la plaine du Bas-Chélif

4.4.1. Evolution des superficies salées entre les années 1975, 1990, 1997 et 2006

Les quatre cartes établies pour les années 1975, 1990, 1997 et 2006 montrent une nette augmentation des superficies les plus touchées par la salinité. Cette salinisation progressive se manifeste essentiellement au niveau des périmètres de H'madna et de Ouarizane (fig. 50).

Il est à remarquer également que les régions du Nord-Ouest de la zone de comparaison qui n'étaient pas concernées par le problème de salinité en 1975 le sont devenues avec une salinité qui a atteint des niveaux parfois élevés en dépassant le seuil de $CE > 8$ ds/m. Cette progression n'est toutefois pas systématique d'une année à une autre comme on peut le voir sur les cartes des années 1975 et 1990 sur lesquelles on peut voir une régression dans la salinisation des sols avec d'une part une diminution des superficies à salinité élevée et d'autre part, une augmentation des superficies non salées.

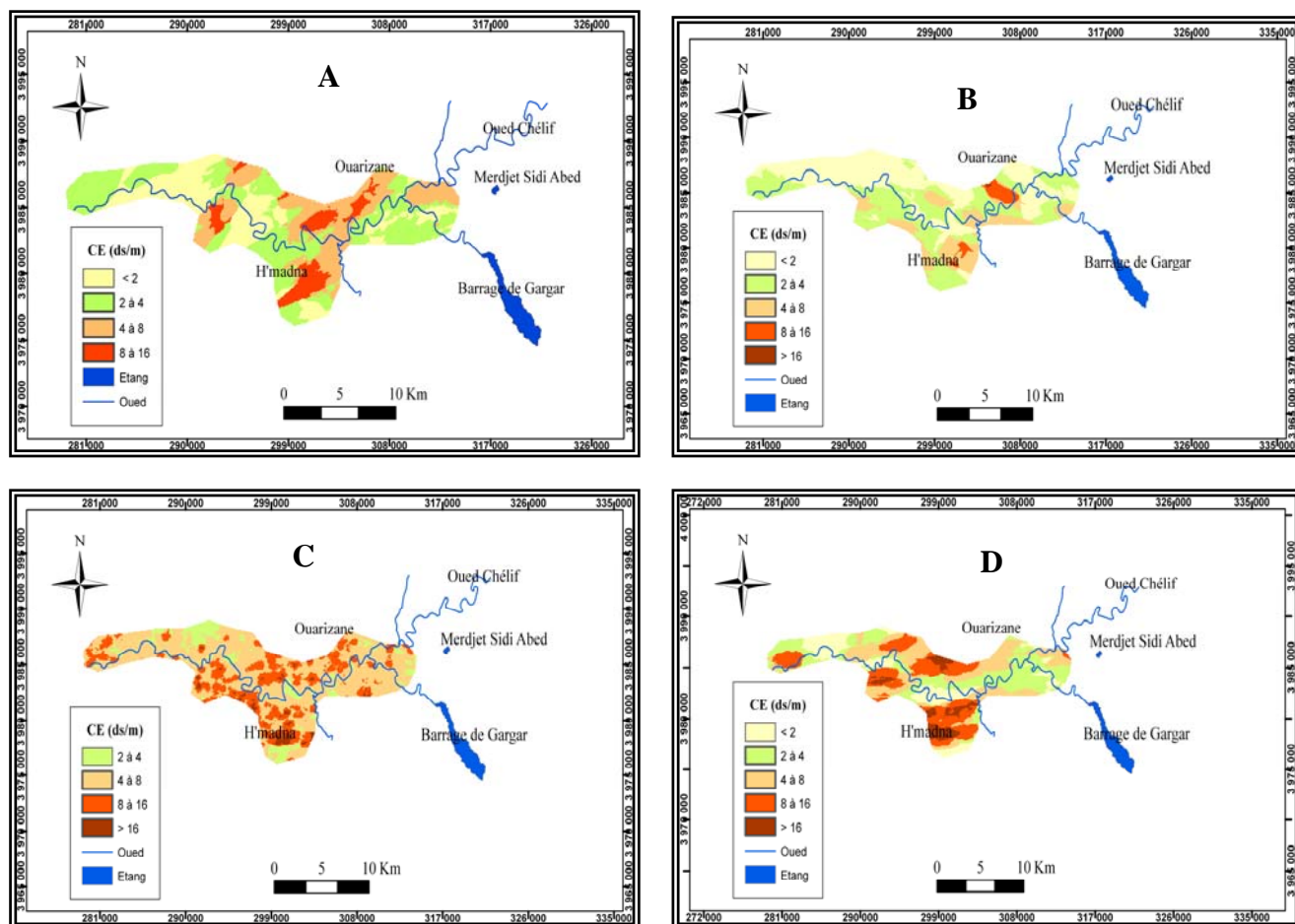


Figure 50. Carte de la salinité de la zone de comparaison spatiale des années 1975(A), 1990(B), 1997(C) et 2006(D)

L'évolution des superficies salées estimées à partir des cartes précédentes va dans le même sens de l'interprétation qualitative constatée sur ces même cartes (tab. 30) Les superficies de la classe des sols non salées ont progressé entre les années 1975 et 1990 de 15.89 % (2839.86 ha). Les sols non salés se localisent dans la partie ouest de la zone étudiée et de part et d'autres de l'oued Chlef. Les sols à caractère légèrement salé et salé varient en

fonction de temps, mais l'année 1997 enregistre le taux le plus élevé avec 63.40 %, ce qui représente près des 2/3 des sols salés. La superficie des sols très salés marque une diminution de 5.66% entre l'année 1975 et 1990 ; elle occupe surtout les régions de H'madna et Ouarizane.

Si on réfère au seuil de conductivité électrique de 8 dS/m comme étant la valeur au delà de la quelle un sol est considéré comme un milieu défavorable au bon développement des plantes cultivées, on remarque une nette progression de ces superficies à partir de l'année 1990 en passant de 3.31 % à 25.98 % et de 26.76 % de la superficie totale respectivement pour les années 1997 et 2006. Les superficies ayant la salinité la plus élevée occupent essentiellement les régions de H'madna, Ouarizane et le Sud-Ouest de la zone.

Tableau 30. Comparaison entre les superficies des classes de salinité estimées pour les années 1975, 1990, 1997 et 2006

| Classe CE (dS/m) | Année 1975 | | Année 1990 | | Année 1997 | | Année 2006 | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Superficie (en ha) | Superficie (en %) | Superficie (en ha) | Superficie (en %) | Superficie (en ha) | Superficie (en %) | Superficie (en ha) | Superficie (en %) |
| < 2 | 4 513 | 25,25 | 7 352 | 41,14 | 00 | 00 | 2 996 | 16,77 |
| 2 à 4 | 7 167 | 40,10 | 6 942 | 38,84 | 1 898 | 10,62 | 5 121 | 28,66 |
| 4 à 8 | 4 605 | 25,77 | 2 987 | 16,71 | 11 330 | 63,40 | 4 971 | 27,81 |
| 8 à 16 | 1 587 | 8,88 | 575 | 3,22 | 4 199 | 23,49 | 3 761 | 21,04 |
| > 16 | 00 | 00 | 16 | 0,09 | 445 | 2,49 | 1 023 | 5,72 |
| TOTAL | 17 872 | 100 | 17 872 | 100 | 17 872 | 100 | 17 872 | 100 |

4.4.2. Evolution ponctuelle de la salinité à l'échelle de la parcelle

L'exploitation de notre base de données par le SIG en utilisant le logiciel ArcGis nous a permis de sélectionner les sondages communs aux quatre années 1975, 1990, 1997 et 2006. Nous avons limité dans notre requête une proximité de 100 m pour que la comparaison puisse se faire à l'échelle de la parcelle que nous considérons comme étant homogène au vus des faibles variations de salinité à cette échelle (Douaoui, 2005).

Le nombre de sondages ayant été concernés par les quatre années est de 08 (fig. 51).

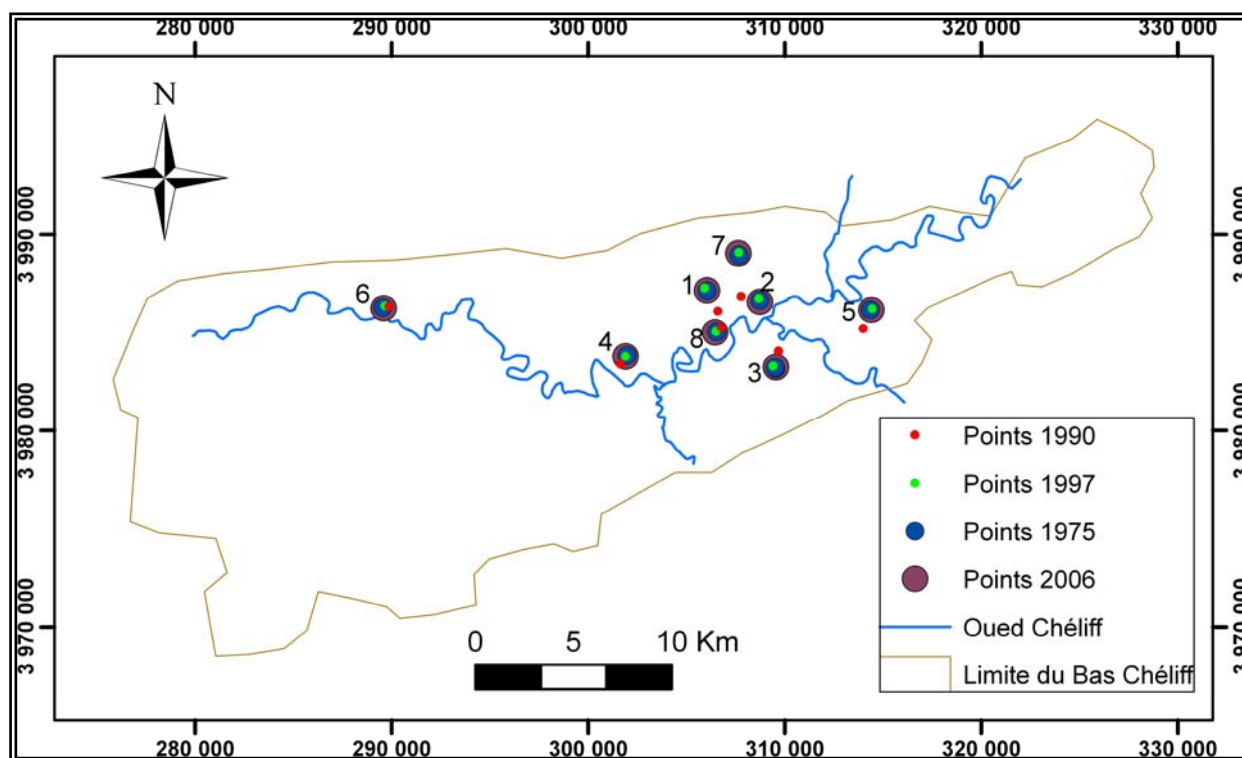


Figure 51. Localisation des échantillons communs aux quatre années 1975, 1990, 1997 et 2006

La figure N° 52 montre l'évolution ponctuelle de la salinité pour les quatre campagnes. Selon la position des sondages, la salinité peut être plus ou moins élevée d'une année à une autre. On peut en effet voir que pour certaines parcelles la salinité la plus élevée est enregistrée durant l'année 1997 alors que pour d'autres parcelles elle peut l'être au niveau de l'année 1975, 1990, ou 2006. Il apparaît donc, comme cela a été déjà avancé plus haut, que cette évolution n'est pas systématique d'une année à une autre ou d'une période à une autre mais elle connaît des variations qui peuvent être selon la position géographique croissantes ou décroissantes.

Toutefois, il est à noter que de façon générale on retrouve les mêmes observations qui ont été faites pour la comparaison entre les superficies des différentes années. C'est ce qu'on peut voir effectivement quand on détermine le nombre de fois où la salinité est la plus élevée pour chaque année. Il s'avère donc que c'est l'année 2006 qui comporte le nombre de sondages le plus élevé (> 8 dS/m) où la salinité a enregistré le nombre le plus élevé avec 03 points sur un total de 8 ce qui représente un pourcentage de 37.5 %. Ensuite l'année 1997 avec 02 points ce qui représente un pourcentage de 25%, et enfin l'année 1975 par un pourcentage de 25 %. L'année 1990 ne montre pas de parcelles ayant une salinité supérieure 8 dS/m et ce pour les 08 sondages.

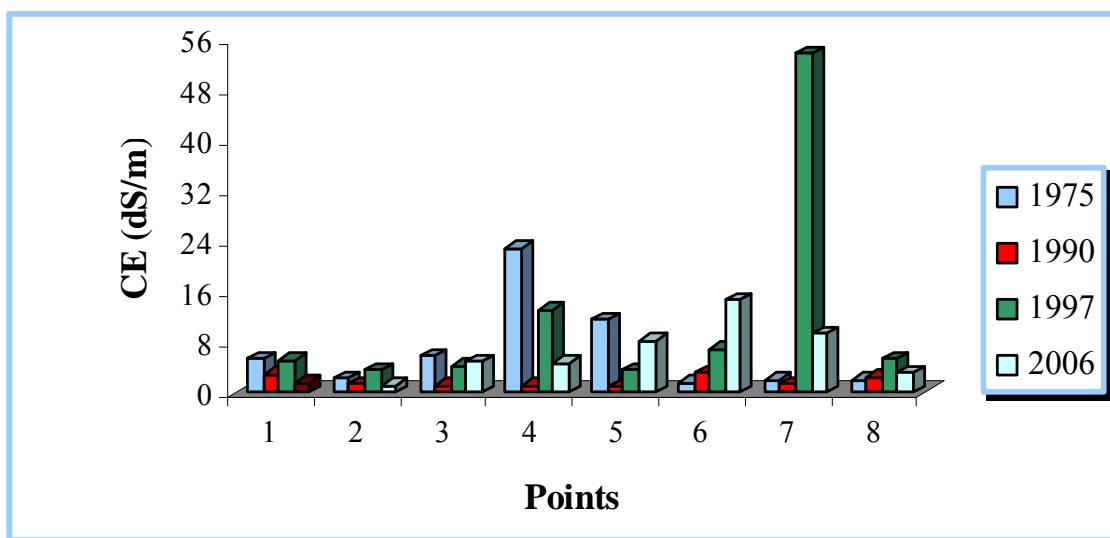


Figure 52. Histogramme de salinité en fonction de variabilité temporelle

Un simple calcul probabilité de l'évolution ponctuelle de la salinité des quatre campagnes confirme cet état de fait. L'historgramme des fréquences d'avoir une CE > 8 dS/m pour les 8 sondages sur les quatre campagnes est représenté par la figure N°53.

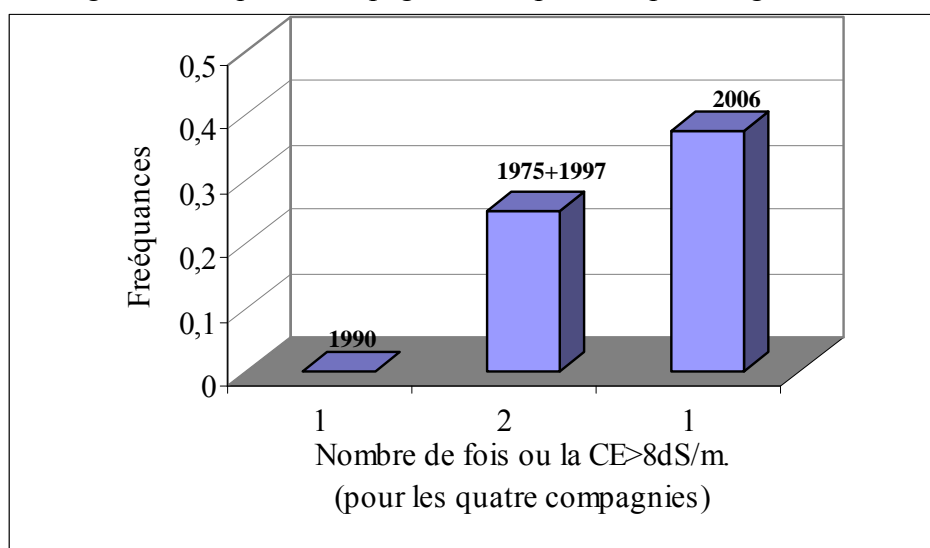


Figure 53. Histogramme des fréquences de CE > 8 dS/m

La transformation des fréquences en probabilité nous donnent une variable aléatoire avec une valeur moyenne probable ou Espérance mathématique égale à :

$$E(X) = (CE > 8 \text{ dS/m}) = 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,375 = 0,875$$

Cette valeur de $E(X) = 0,875$ indique qu'il est probable d'avoir en moyenne 0,875 fois de trouver une valeur de CE > 8 dS/m sur la totalité des quatre campagnes (1975, 1990, 1997, 2006).

4.5. ETUDE D'UNE SERIE CHRONOLOGIQUE DE LA SALINITE SUR UNE PARCELLE SALEE

4.5.1. Présentation de la série chronologique de la CE

A partir de notre base de données, on a retenu une parcelle salée située au niveau de la station expérimentale de l'INRA de H'madna. Ce choix est justifié par la disponibilité des données sur la couche de surface (0-20 cm) de façon régulière sur une période de 14 ans.

L'évolution de la CE, représentée dans la figure n° 56, montre l'évolution des valeurs mensuelles observées pour la période 1990-2003. Il apparaît que cette série qui montre une stationnarité assez stable durant cette période possède une moyenne, une variance et une fonction d'autocorrélation plus ou moins constantes dans le temps.

Toutefois, il apparaît que l'évolution temporelle de la salinité possède une certaine tendance à la hausse. Cette tendance peut être décelée par simple examen visuel au niveau du graphique correspondant (fig.54) dans la mesure où l'évolution n'est pas tout à fait horizontale. Néanmoins et toujours visuellement, l'effet saisonnier ne semble pas avoir d'effet sur cette évolution.

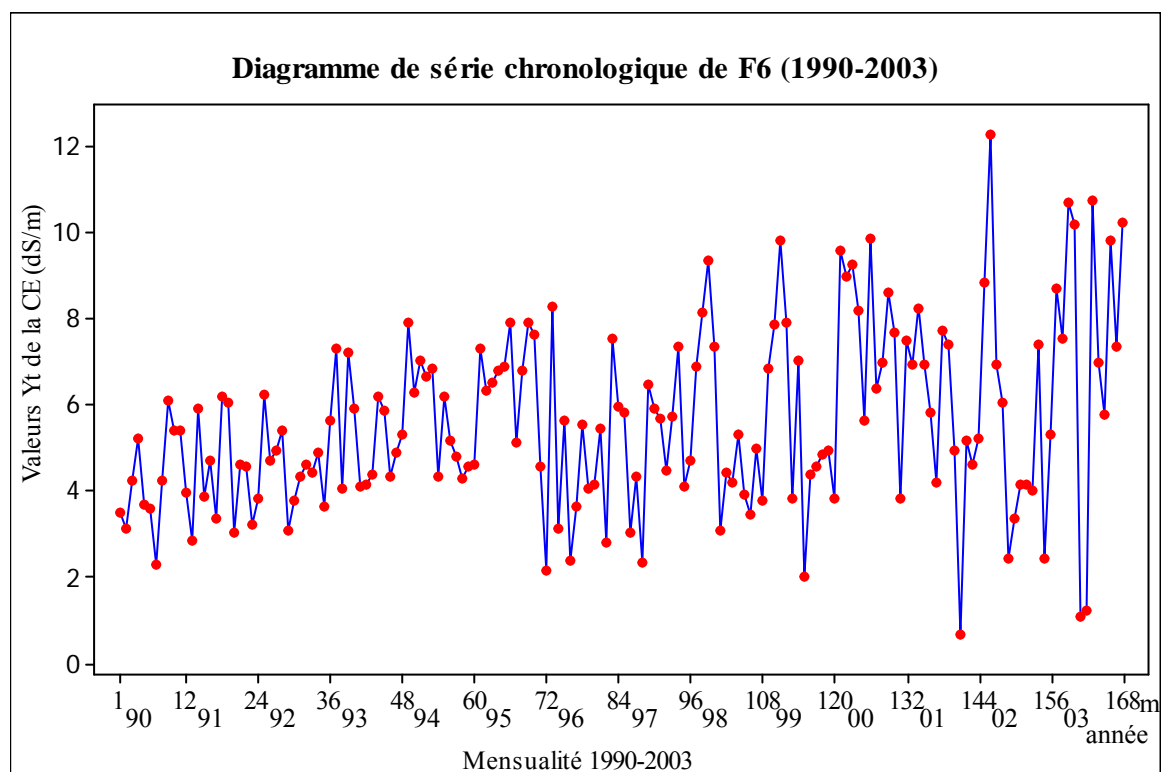


Figure 54. Série chronologique (1990-2003) des données observées sur la parcelle étudiée.

4.5.2. Etude statistiques de la Série Chronologique (1990-2003)

4.5.2.1. Statistiques descriptives

La statistique descriptive (annexe C) pour la série observée (1990-2003) montre, à travers le Test Anderson – Darling que la série possède une distribution normale. La médiane étant proche de la moyenne avec 5.29 et 5.62 respectivement. Le coefficient d'asymétrie est de 0.47 (>0) et le coefficient d'aplatissement est de 0.15 (<3). Cette distribution est de donc non symétrique et de forme aigue.

4.5.2.2. Etude de la Série chronologique (1990-2003)

4.5.2.2.1. Etude de l'autocorrélation

En tenant compte des autocorrélogrames ACF et PACF (fig. 55, A et B) et en même temps l'absence de la composante saisonnière, on constate que la série des données chronologiques de la CE nécessite un modèle autorégressif de type AR (p) pour l'instant. Il suffit donc, d'aborder les étapes suscitées pour le construire.

On a utilisé le logiciel Minitab pour identifier des degrés p de modèle AR. La série observée Y_t (1990-2002) de la CE (dS/m) du sol montre :

- l'autocorrélation sur les 24 retards (décalage) est de forme sinusoïdale amortie. Aussi, l'examen des corrélations individuelles pour le ACF (fonction d'autocorrélation) ne montre que deux valeurs de 0.33 et 0.20 qui correspondent aux valeurs du Test (Student) de 4.17 et 2.36 (> 1.26 , t théorique) successivement. Les coefficients de corrélations qui leurs correspondent ne sont pas significativement différents de 0 ; il n'y a donc pas de saisonnalité.
- deux pic pour le décalage 1 et 2 (lag, retard, ordre) significatif statistiquement, avec un coefficient d'autocorrélations partiel de 0.33, 0.10 successivement et des valeurs du test-T (Student) de 4.17 et 1.37 (> 1.26 , t théorique). On peut, toutefois, éliminer le deuxième décalage car il est plus proche de 1.26.

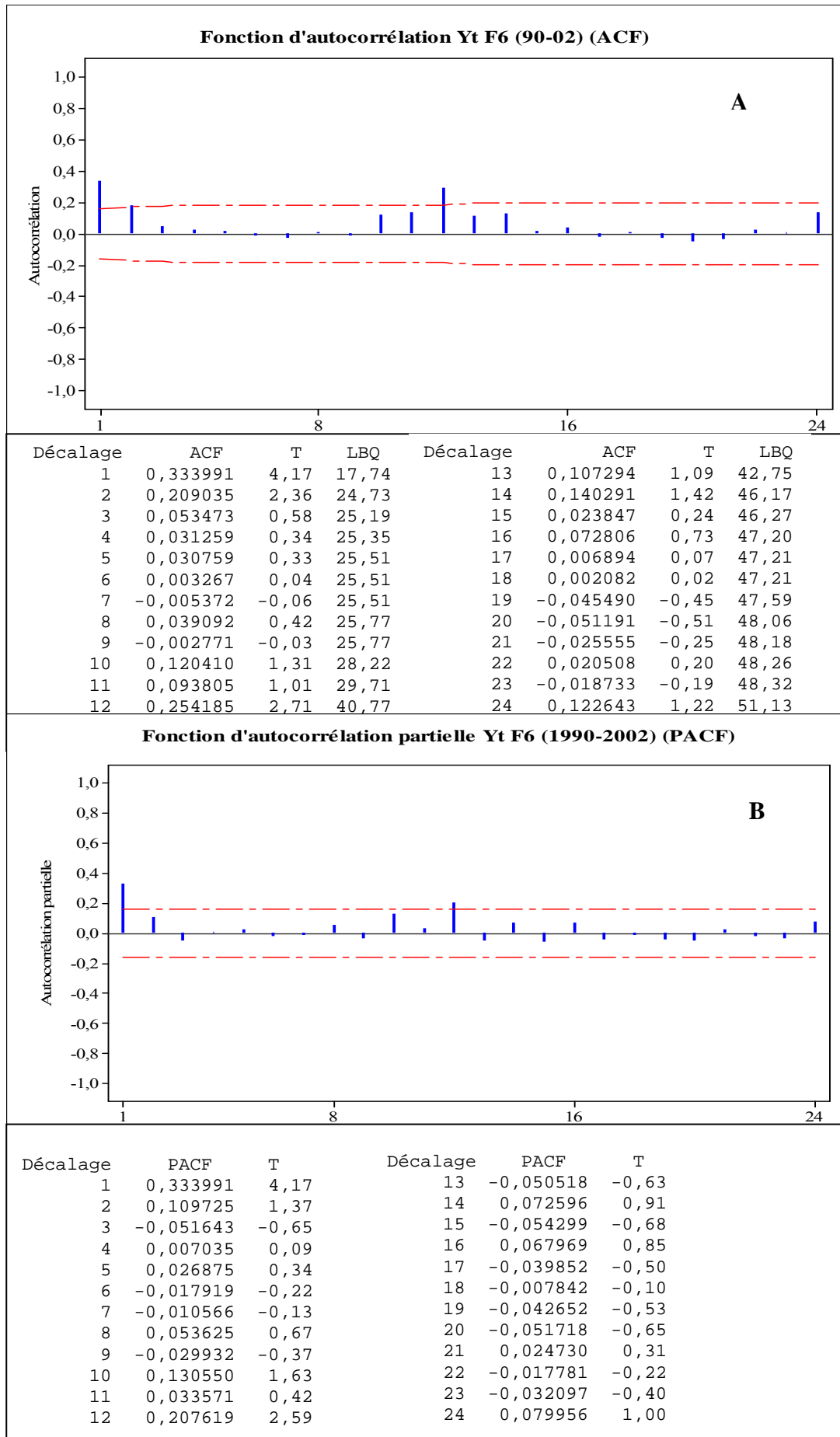


Figure 55. Autocorrélations ACF et PACF de la série observée Yt (1990-2002)

Sur ce, l'identification de l'ordre p , donne $p = 1$ et le processus autorégressif pour l'instant, est un AR (1) dont il faut estimer ses paramètres pour le mettre en équation.

Après plusieurs itérations, on a obtenu une estimation finale des paramètres du modèle AR (1) : $Y_t = Cte + \phi_1 Y_{t-1} + a_t$. Les résultats de traitement figurent en Annexe (D, 1 et 2).

On obtient: $Y_t = 3.58 + 0.33 Y_{t-1} + a_t$
 (25.5) (4.43)

Le coefficient d'autocorrélations estimé $\hat{\phi}_1 = 0.33$ satisfait la condition de stationnarité puisque $|\hat{\phi}_1| < 1$ et son t-ratio (Student 1.26) est significatif (4.43).

4.5.2.2.2. Analyses des résidus Y_t

Pour confirmer l'indépendances des erreurs résiduelles avec les valeurs observés, on a analysé les résidus Y_t AR (1) de la série des données de la CE.

Les autocorrélogrammes des résidus Y_t AR (1) et Y_t ARMA (1,1) (fig. 56 et 57) nous montrons des pics non significatifs (ceux-ci se situent à l'intérieur des limites de confiance), ce qui indique que les valeurs résiduelles semblent non corrélées d'ou l'existence d'un bruit blanc. Par conséquent, le modèle ARMA (1,1) semble s'ajuster correctement, ce qui nous autorise à l'utiliser pour effectuer les prévisions.

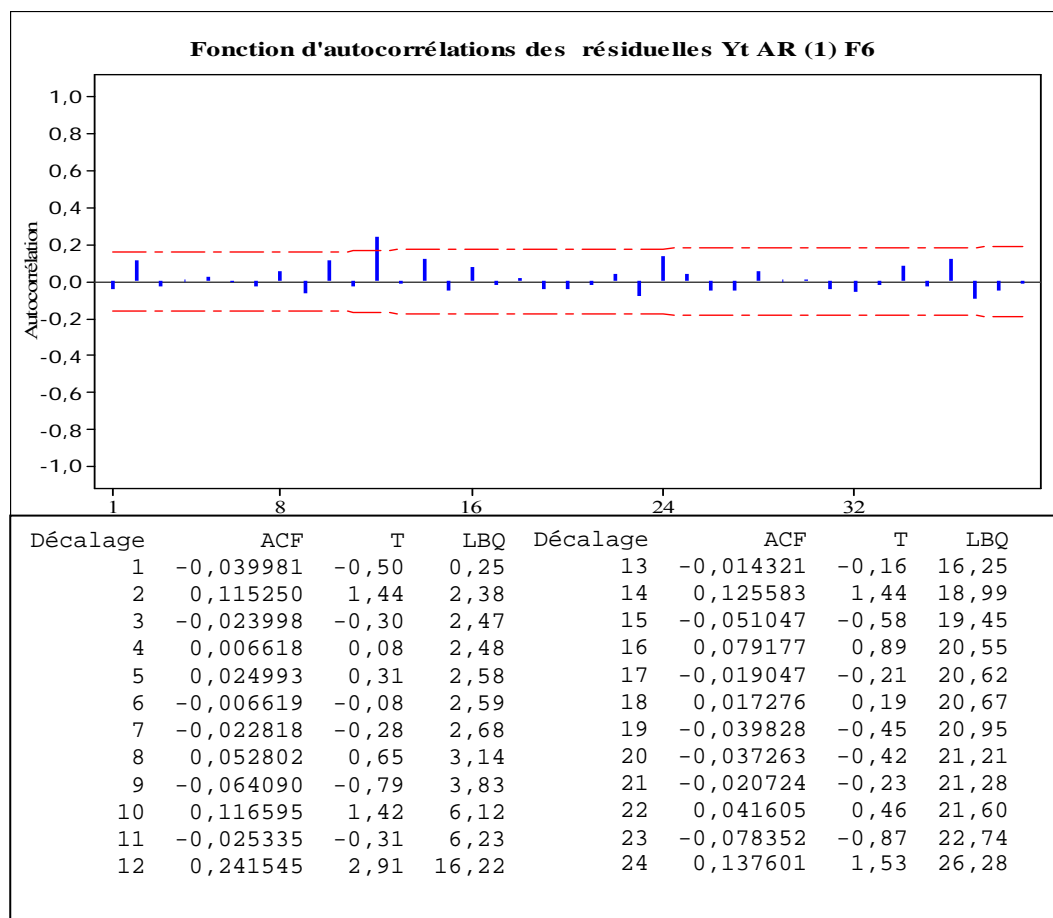


Figure 56. Autocorrélations résiduelles Y_t AR (1) (1990-2002)

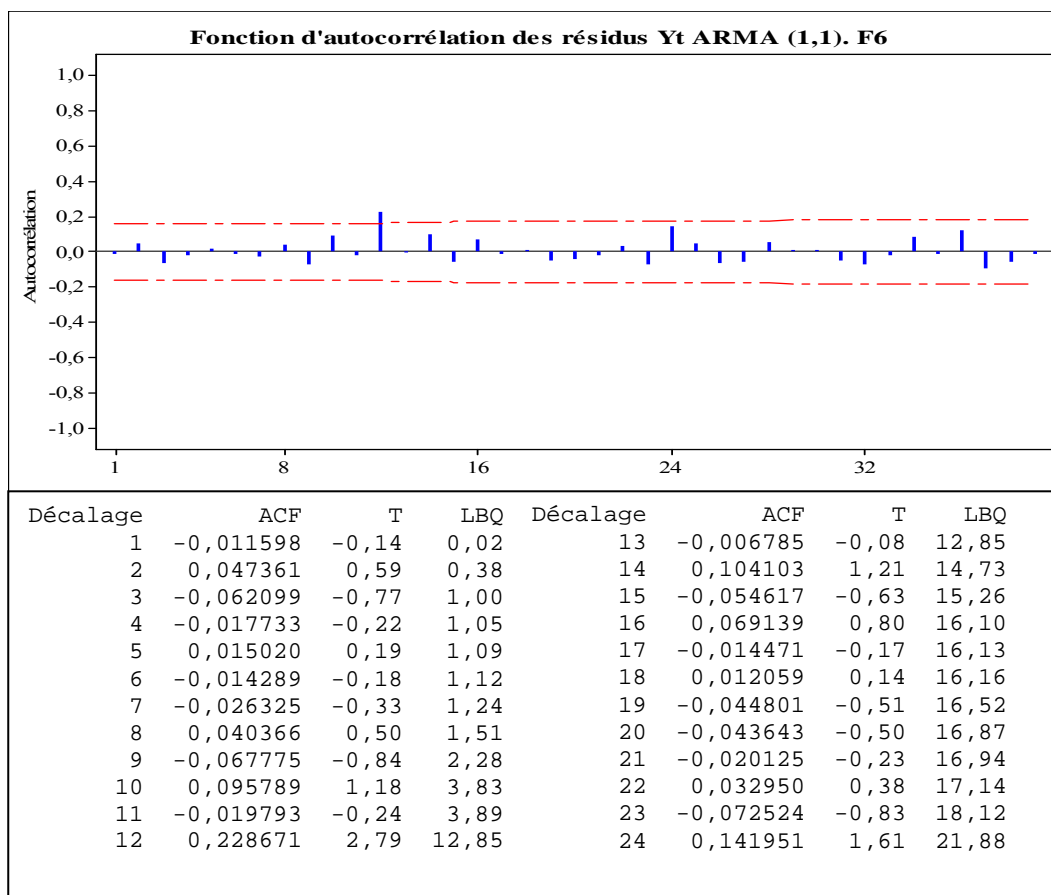


Figure 57. Autocorrélations résiduelles Yt ARMA (1,1) (1990-2002)

Après plusieurs itérations, l'identification des corrélogrammes résiduels ARMA (1) Yt de la série, a permis d'avoir une estimation finale des paramètres du modèle ARMA (1, 1) : $Y_t = Cte + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_1 \varepsilon_{t-1} + a_t$. Les résultats de traitement figurent en Annexe (D, 3 et 4)

On obtient:

$$Y_t = 2.40 + 0.55 Y_{t-1} + 0.24 \varepsilon_{t-1} + a_t$$

(22.19) (2.95) (1.11)

Les ACF des résidus ne montrent aucune corrélations entre les valeurs résiduelles d'ou l'existence d'un bruit blanc avec un modèle ARMA (1, 1).

4.5.2.3. Validation de modèle ARMA (1,1)

On a validé le modèle ARMA (1,1) à partir des données de l'année 2003 et en même temps, on a confronté sa fiabilité vis à vis des prévisions qui sont acquises par le logiciel Minitab suivant ce même modèle.

Modèle ARMA (1, 1):

Estimations à chaque itération

| Itération | SSE | Paramètres | | |
|-----------|---------|------------|--------|-------|
| 0 | 558,409 | 0,100 | 0,100 | 4,958 |
| 1 | 497,186 | 0,250 | -0,050 | 4,087 |
| 2 | 491,984 | 0,399 | 0,100 | 3,266 |
| 3 | 489,662 | 0,549 | 0,249 | 2,440 |
| 4 | 489,581 | 0,552 | 0,242 | 2,416 |
| 5 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,400 |
| 6 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,402 |
| 7 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,401 |

Modification relative dans chaque estimation inférieure à 0,0010

Estimations finales des paramètres

| Type | | Coeff | Coef ErT | T | P |
|-----------|---|---------------|----------|--------------|-------|
| AR | 1 | 0,5548 | 0,1879 | 2,95 | 0,004 |
| MB | 1 | 0,2441 | 0,2189 | 1,11 | 0,267 |
| Constante | | 2,4013 | 0,1082 | 22,19 | 0,000 |
| Moyenne | | 5,3939 | 0,2431 | | |

Nombre d'observations : 156

Valeurs résiduelles : Somme des carrés = 488,991

(Prévisions rétrospectives exclues)

CM = 3,196 DL = 153

Box-Pierce (Ljung-Box) modifiée Statistique du Khi deux

| Décalage | 12 | 24 | 36 | 48 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Khi deux | 12,8 | 21,9 | 30,4 | 39,1 |
| DL | 9 | 21 | 33 | 45 |
| Valeur de p | 0,170 | 0,407 | 0,599 | 0,718 |

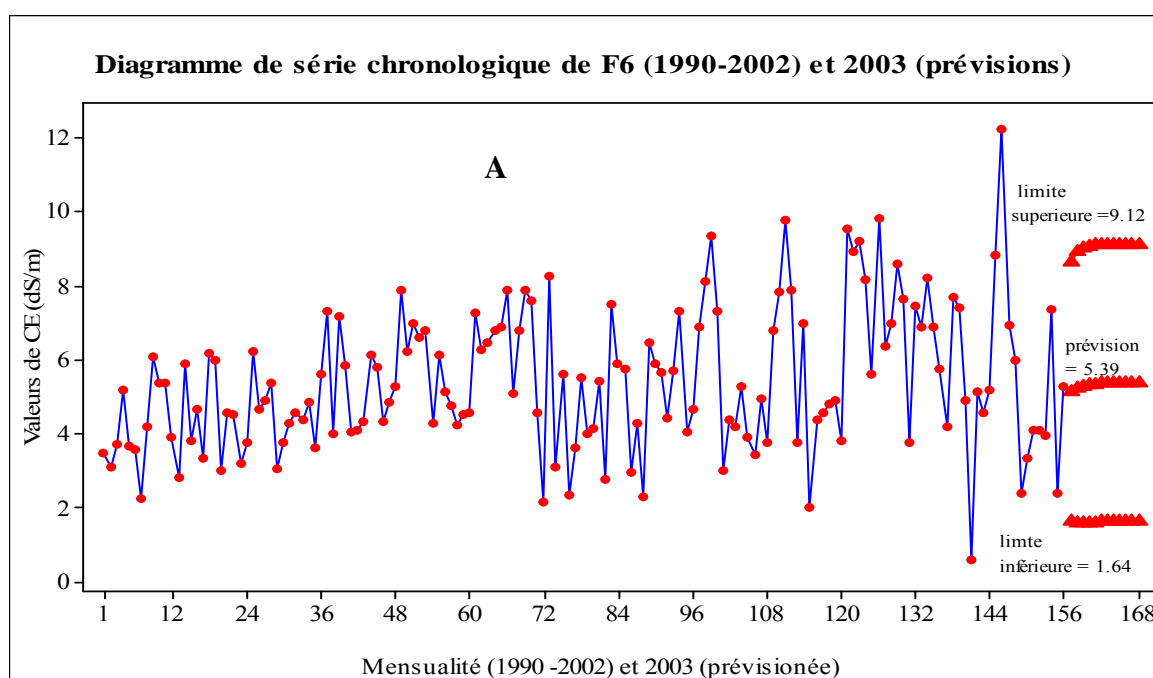
Prévisions pour l'année 2003 :

| Point | Limites 95% | | | Réel |
|-------|-------------|-----------|-----------|-------|
| | Prévision | Inférieur | Supérieur | |
| 157 | 5,17065 | 1,66597 | 8,67533 | 08,67 |
| 158 | 5,27003 | 1,60005 | 8,94001 | 07,51 |
| 159 | 5,32517 | 1,60578 | 9,04455 | 10,70 |
| 160 | 5,35576 | 1,62130 | 9,09022 | 10,19 |
| 161 | 5,37273 | 1,63364 | 9,11182 | 01,09 |
| 162 | 5,38215 | 1,64163 | 9,12266 | 01,20 |
| 163 | 5,38737 | 1,64642 | 9,12832 | 10,74 |
| 164 | 5,39027 | 1,64918 | 9,13135 | 06,95 |
| 165 | 5,39188 | 1,65075 | 9,13300 | 05,77 |
| 166 | 5,39277 | 1,65163 | 9,13391 | 09,82 |
| 167 | 5,39326 | 1,65212 | 9,13441 | 07,33 |
| 168 | 5,39354 | 1,65239 | 9,13468 | 10,23 |

Comme on le constate, ce paramètre est très élevé, en effet le modèle n'explique que 08 %, ce qui représente une erreur moyenne très importante de ± 92 %, en raison de la stabilité des prévisions (fig. 58. A) et leur tendance vers la moyenne de la série, 5.39 Ceci confirme encore une fois la stationnarité de la série chronologique de la salinisation des sols au niveau de cette parcelle.

Tableau 31. Prévisions des valeurs de la salinité du sol (dS/cm) pour l'année 2003 obtenues par le modèle ARMA (1, 1).

| Mois | Prévisions 2003 | Observations 2003 | Erreurs relatives en valeur absolue |
|-----------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|
| Septembre | 5,17065 | 08,67 | 0,4 |
| Octobre | 5,27003 | 07,51 | 0,3 |
| Novembre | 5,32517 | 10,70 | 0,5 |
| Décembre | 5,35576 | 10,19 | 0,47 |
| Janvier | 5,37273 | 01,09 | 3,93 |
| Février | 5,38215 | 01,20 | 3,49 |
| Mars | 5,38737 | 10,74 | 0,5 |
| Avril | 5,39027 | 06,95 | 0,22 |
| Mai | 5,39188 | 05,77 | 0,07 |
| Juin | 5,39277 | 09,82 | 0,45 |
| Juillet | 5,39326 | 07,33 | 0,26 |
| Août | 5,39354 | 10,23 | 0,47 |
| | | | EM = 92% |



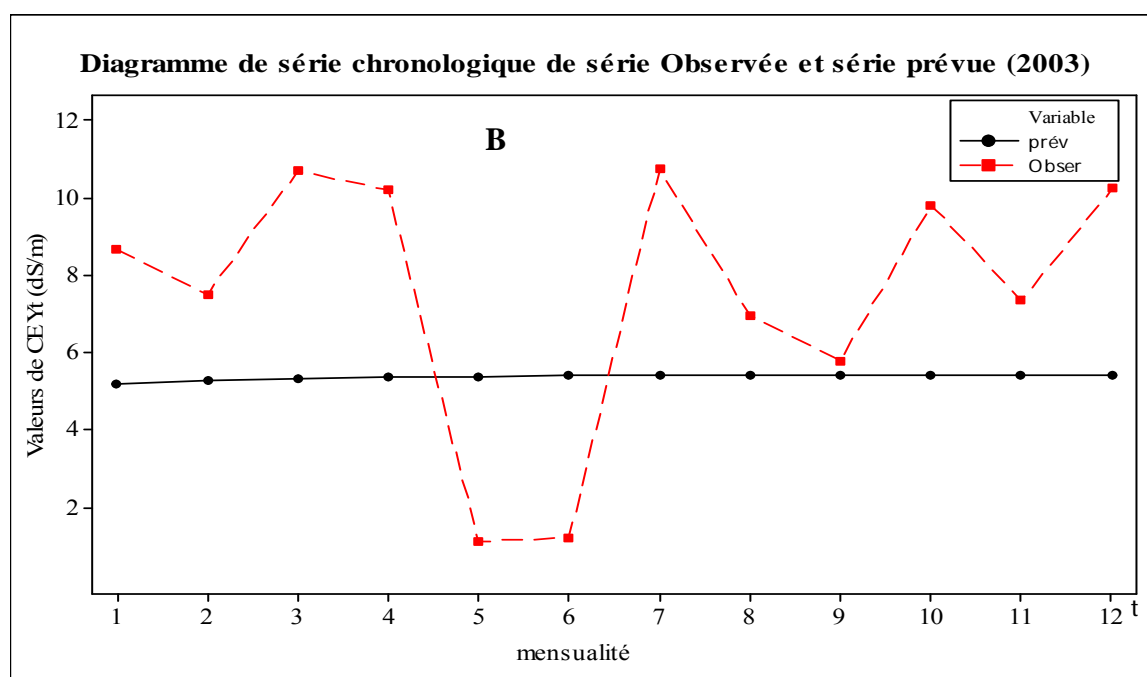


Figure 58. Prévisions 2003 par le modèle ARMA (1, 1) des observations (1990-2002) et comparaison entre observations- prévisions.

La figure N° 58 B montre que le modèle ARMA (1,1) reste cependant inadéquat et remis en cause pour cette série, ceci est dû probablement à certains de ses paramètres estimés qui sont non significatifs dont les résidus montrent l'existence d'un bruit blanc. Ce qui nous amène à conclure que les prévisions 2003 sont pratiquement peut stables devant les valeurs réelles.

Notons enfin que l'application des processus autorégressifs sur la série chronologique de la CE au niveau de la parcelle considérée n'a pas été satisfaisante du point vue prévisions à cause de la présence probable de plusieurs facteurs non identifiés ici qui pourraient être corrélés avec la CE en fonctions de temps.

4.5.3. Discussion

L'étude de l'évolution spatio-temporelle de la salinité ne peut être bien comprise que dans le cadre de la relativité de chaque étude qui n'ont pas été faites partout sur les mêmes superficies et également avec des objectifs différents.

La campagne de 1975 a été surtout faite dans l'objectif d'une prospection pédologique et n'a concerné pratiquement que la partie centrale et la partie Est de la plaine.

La campagne de 1990 a été faite dans un objectif d'aménagement et n'a donc touché que les secteurs aptes à la production agricole ou pouvant faire l'objet d'un éventuel aménagement.

La campagne de 1997 a été consacrée à l'évaluation exclusive de l'état de la salinité et s'est donc faite de façon systématique sur presque la totalité de la plaine a été faite dans un objectif. Mais les données que nous sommes collecté reste insuffisantes par rapport à l'ensemble de données réalisé par cette étude.

L'étude de 2006 a été faite en premier lieu pour répondre à un souci méthodologique concernant la télédétection mais également en second lieu dans un objectif de l'étude de l'évolution des sols salés dans la plaine du Bas Chélif en tenant compte de l'étude de 1997. C'est pour cette raison que les superficies étudiées sont les plus proches et l'échantillonnage n'a concerné que les couches de surface. Néanmoins, le nombre des points prélevés en 2006 (400 échantillons) reste très en deçà de ce qui a été prélevé en 1997 (4000 échantillons)

Cet état de fait peut expliquer en partie la salinité moyenne et sa variabilité spatio-temporelle entre les quatre campagnes. En effet, le fait de trouver une salinité moyenne plus faible en 1990 par rapport à 1975 ne veut pas forcément dire qu'il y a une régression dans la salinisation des sols mais pourrait être également expliqué par les zones échantillonnées qui sont souvent moins touchées par la salinité. Toutefois, la différence importante de la valeur moyenne enregistrée pour l'année 2006 par rapport aux trois autres années précédentes ne peut être imputée à l'échantillonnage mais pourrait bel et bien expliquer une progression dans la salinisation des sols.

La vérification de cette première hypothèse indiquant une augmentation de la salinité dans l'espace et le temps a été vérifiée et validée par les comparaisons qui ont été faites à l'échelle des superficies par l'établissement des cartes ayant les mêmes secteurs étudiés et à l'échelle de la parcelle par comparaison ponctuelles des sondages communs aux quatre années.

En effet, la diminution de près de 41.14 % de la superficie totale des sols non salés ($CE < 2$ dS/m) en 1990 à moins de 16.77 % en 2006 d'une part et d'autre part, une augmentation pour la même période de 0.09 % à 5.72 % de superficies très salées ($CE > 16$ dS/m) est le meilleur témoin d'une salinisation progressive dans la plaine du Bas-Chélif.

Il a été trouvé également que cette progression n'est pas systématique d'une campagne à une autre. C'est l'année 1990 qui fait surtout exception en enregistrant une régression des superficies ayant une salinité élevée et très élevée avec dans le même temps une augmentation des superficies non ou faiblement salées.

Cette évolution n'étant donc pas systématique, la généralisation de la progression de la dynamique de la salinité ne peut être finalement retenue. Néanmoins, ce constat ne remet pas pour autant l'augmentation progressive de la salinité dans l'espace et dans le temps.

Les causes de cette évolution peuvent être, et en grande partie, dues à l'irrigation. En effet, la région est à vocation agricole où toutes les cultures avec même parfois les céréales sont conduites en irriguées. Il faut ajouter à cela aussi l'aridité du climat et le non fonctionnement des systèmes de drainage qui sont dans la plus part des cas délaissés ou endommagés (Douaoui, 2005).

La parcelle qui a fait l'objet de l'application du modèle ARMA a montré une évolution stationnaire sans effet saisonnier apparent. Ceci peut être expliqué par l'absence d'une irrigation régulière qui lorsqu'elle a lieu, elle ne se fait que sur une courte période. Par ailleurs, son caractère argileux et sa mauvaise stabilité structurale engendrant une faible perméabilité et une densité élevée (Douaoui et al., 2004) limite de beaucoup l'impact de la pluviométrie sur la lixiviation des sels au cours de la saison des pluies, ce qui a pour effet de diminuer l'effet saisonnier. Cependant, l'existence d'une tendance à la hausse de la salinisation des sols montre l'effet du climat et de son aridité croissante sur cette salinisation des sols.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce mémoire consistait d'une part à étudier la variabilité spatio-temporelle de la salinité dans la plaine du Bas Chélif durant quatre périodes s'étalant sur une durée de trente ans (1975, 1990, 1997 et 2006) et d'autre part, à établir une base de données numérisée sur les données pédologiques.

Notre travail s'est basé en premier lieu sur la collecte et le traitement des données et en deuxième lieu sur l'application des outils SIG, géostatistiques et les analyses d'une série chronologique.

La caractérisation statistique de la salinité des sols de la plaine du Bas Chélif étudiée durant quatre périodes a montré que:

- Les deux premières années (1975 et 1990) caractérisent par des valeurs de salinités maxima plus grandes en deuxième horizon par rapport au premier horizon. Par ailleurs, les premiers horizons des quatre compagnes ont montré une tendance nette à l'accroissement durant les trente années couvrant la période d'étude.
- Cette progression dans la salinisation des sols est plus marquée au niveau des valeurs extrêmes de la CE avec un taux de 13.42%.

La cartographie de la salinité faite par l'approche géostatistique dans le cadre d'un SIG a montré une extensions spatiale importante de la salinité dans la plaine du Bas Chélif avec l'existence d'un degré croissant de la salinité d'Est en Ouest et ce pour les quatre compagnes. Il n'en est pas de même pour les sols des bordures de l'oued Chelif et de ceux situés à la périphérie de la plaine ainsi que ceux qui sont occupés par le réseau de drainages qui sont caractérisés par une salinité faible.

Par ailleurs, le suivi spatio-temporel de la salinité à l'échelle de la parcelle a montré que la superficie des sols très salés a également augmenté en fonction de temps au dépend des superficies non salées et moyennement salées.

L'application de la méthode des séries chronologiques à modèle ARMA (1.1) a montré que la variabilité temporelle de la salinité de la parcelle étudiée est stationnaire de façon générale. Toutefois, l'existence d'une tendance à la hausse de la salinité en fonction du temps nous amène à temps relativise cette stationnarité. Ceci implique d'un coté l'absence d'un effet saisonnier tels que la période des irrigations ce qui est logique par rapport à l'itinéraire de la

parcelle qui est irrégulièrement irriguées et d'un autre coté, l'existence à long terme du facteur temps qui peut être expliqué par l'aridité croissante du climat qui a eu ses effets sur la salinisation des sols.

Enfin, l'étude de la salinisation des sols de la plaine du Bas-Chélif faite sur les trente dernières années a montré une progression de la salinité à tous les niveaux et ce à l'échelle spatiale de toute la plaine par comparaison avec différentes campagnes ou à l'échelle de la parcelle.

En perspective, il est envisagé de poursuivre ce travail sur plusieurs parcelles ayant des itinéraires techniques agricoles différents et de nature pédologique différente pour une meilleure caractérisation des tendances temporelle tout en essayant de déterminer les facteurs intrinsèques et extrinsèques qui interviennent le plus sur cette variabilité temporelle de la salinité. Il est également prévu d'actualiser la géobase ainsi formée autant de fois que nécessaire au vue de sa flexibilité qui permet son enrichissement et son adaptation graduels.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- **Ababou A., 2003.** Etude Eco-pédologique et proposition d'un modèle d'aménagement des sols salés Cas de la zone du Bas Cheliff Nord-Ouest Algérien. Thèse Magister, CUMSM.160p.
- **Abdebaki C., Chikh M., Benhamoude F.,2002.** Création de la Base de Données du Réseau d'Alimentation en Eau Potable de la ville de Birtouta – Wilaya d'Alger – Algérie" ; Colloque international sur l'eau, "Gestion quantitative et qualitative des ressources en eau", Université Hassiba Ben Bouali / Agence du Bassin Hydrographique Chélif Zahrez-Chlef.p197-205.
- **Alain C., Christian V., 1989.** Les états de surface de la zone Sahélienne- Influence sur l'infiltration. Édition de l'Orstom. Paris.
- **Amadou Moctar Dieye.** L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique dans l'évaluation des impacts sur l'environnement.
- **Association Francaice pour du sol (A.F.E.S), 1994.** Étude et gestion des sols. Volume 1. Numéro 1.
- **Benbouali E., Douaoui A., Gaouar A., 1999.** Évaluation de la dégradation des sols du périmètre de H'Madena (Bas Cheliff). . Séminaire Nationale sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef.
- **Bénié G., 1994.** Cours de Système d'Information Géographique. Département de Gestion de l'Environnement. Université Senghor Alexandrie. Notes de cours.
- **Ben Mohamed L., 1996.** Contribution a la mise en place d'une banque de données urbaines – aspect méthodologique technologiques et organisationnelles. Thèse de magistère en techniques spatiales.
- **Benzerga NEA., 2001.** Contribution à l'étude de la variabilité spatiotemporelle de la salinité {CE (dS/m) ; des sols de la station INRAA de H'madna (w. Relizane). Thèse de Magister, U.A.B, Chlef.2001 }
- **Brack C., Véron P., Léjeune P., Rondeux J. et Bock L., 2002.** La carte des sols de Belgique et la cartographie numérique des sols de Wallonie. Journées Nationale de l'étude des sols. Orléans.
- **Bradai A., Douaoui A., 2008.** Aptitude des eaux souterraines de la plaine du Bas Chélif à l'irrigation. Acte du premier séminaire national sur l'Agriculture, l'Environnement et Santé, Centre Universitaire Khemis Miliana 19 et 20 Avril 2008.p7.

- **Bresson Georges, Pirotte Alain., 1995.** Econométrie des séries temporelles : Théorie et applications, Presses Universitaires de France.
- **Boulaine J., 1956.** Carte des sols des plaines du Cheliff au 1/50.000e, feuilles 1 à 5. Inspection générale de l'Agriculture du Gouvernement Général de l'Algérie.
- **Boulaine J., 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger, 582 p.
- **Boulaine J., 1980.** Pédologie Appliquée, édition Masson.
- **Boulaine J., 1989.** Histoire des Pédologues et de la Science des Sols, INRA. Paris.
- **Chebbani R., Behloui A., Douaoui A., 1999.** État de la dégradation des sols dans le Bas Cheliff. Séminaire Nationale sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef.
- **Claude C., 1990.** Systèmes d'informations géographiques en mode image. Édition: Presses polytechniques et universitaires. Romandes.
- **Clément Mathieu; Françoise Pieltain.** Analyse chimique des sols (Méthodes choisies). Editions : Tec & Doc. Paris; France.
- **David, 1993.** Revue génie rural n° 137-25 juin 1995. France.
- **Didon E, 1990:** Système d'informations géographiques: Concepts fonctions applications laboratoires communs de télédétection CEMAGREF/ENGREF- montpellier. France.
- **Douaoui A., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif : variabilité spatiale de quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Cheliff, indices cartographiques. Mém. Mag., I.N.A. El Harrach, 129 p.
- **Douaoui .A, 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doctorat d'état, INA-Alger .225p.
- **Douaoui A., Hartani T., Lakehal M., 2006.** La salinisation dans la plaine du bas Cheliff : acquis et perspectives.
- **Duchaufour 1997.** Pédogenèse et classification. Tome 1, édition Masson (paris).utilisation des critères de fertilité physique B.T.I 370/372, 21. AGR. P 401-406.
- **F.A.O – U.N.E.S.C.O 2000.** La série VII : Sols conditionnés par le climat (aride et semi – aride).
- **Gerald B., 1994.** Probabilités statistique et techniques de régression Les éditions: S.M.G. Canada.

- **Gildas Le Corre., 1998.** IFREMER- Sète : outil d'analyse par krigeage. Atelier SIG CPEMED- Malaga.
- **Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie édition O.P.U.384 p.
- **I.N.S.I.D., 1997.** Caractérisation de l'état actuel de la salinité des terres dans le Bas Chélif.
- **I.N.S.I.D., 1998.** Projet pilote de la caractérisation de l'état actuel de la salinité du Bas Cheliff. Rapport n°3.
- **J.Allaire.** Etudes hydrogéologiques dans la région de la cluse de l'oued Cheliff Commune M'zilla de l'oued Mallaha. Wilaya de Mostaganem. Etude n° 69/GE de Mostaganem.
- **Jean pierre Camuzard., 2000.** Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité. EGREP. Paris.
- **Justine M., 2001.** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols sahélienne : risques et recommandations. Handicap international.
- **Kayadjanian M., 20002.** Système d'informations géographiques CESD. Luxembourg. Doc. Pdf 19 p.
- **Laborde J., 1976.** Science de la terre série : information géologique : notion d'indice de pente approche par le calcul automatique. FSGA, Nancy (France).
- **Laurini., Millerte-Raffort; 1993.** Représentation de la variabilité spatial et temporelle des données.
- **Malevantchouk A., 1975.** Etude agro-pédologique des extensions du périmètre du Bas Chelif. 1^{ère} partie. Guerouaou. "Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique". Sous directions des ressources en sol. N° de l'étude: 118.
- **M.A.T.E.T. 2005.** Le « Rapport National sur l'Etat et l'Avenir de l'Environnement » (RNE 2000).
- **M. Mac Donald et Partners Ltd Angleterre, WS Atkins et Partners Angleterre, BNEDER Algérie., 1989.** Etude de l'Avant Projet Détaillé des Extensions de Gerouaou et Sebkhet Benziane et du Réaménagement du Bas Chélif, dossier I-B.
- **M. Mac Donald et Partners Ltd Angleterre, WS Atkins et Partners Angleterre, BNEDER Algérie., 1990.** Etude de l'Avant Projet Détaillé des Extensions de Gerouaou et Sebkhet Benziane et du Réaménagement du Bas Chélif, dossier I-C.
- **Mohamed Moncef S., Chfai A., Khaled M., 2005.** Application des SIG pour la gestion des zones industrielles dans la ville de Sfax. Tunisie. Communication SIG.
- **Nicolau Florence., 2005.** Séries chronologiques. STID. Mentom.

- **Puissant A., Weber C., 2001.** The use of image in geographical information market: results of an inquiry on the needs of end-users in urban studies. Laboratoire image et ville, UP Strasbourg, doc. 21 p.
- **Richards L.A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural handbook ; salinity laboratory, Riverside California.
- **Sophie B., 2005.** Le krigeage: Revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations (mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en statistique pour l'obtention du grade de Maître es sciences (M.Sc). Faculté des Sciences et de Génie Université Laval, Québec.
- **Taousser Y., 2002.** Inventaire et caractérisation des sols de la plaine du Bas Cheliff. Etablissement d'une Banque de données. Thèse de magistère en Hydraulique. UHB Chlef.
- **U.S.S.L.S., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Handbook n°60, U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.
- **Yacono X., 1955.** Colonisation des plaines du Chéiff (de Lavigerie au confluent de la Mina). Tome 1, Imprimerie Imbert, Alger.
- **Weger G., 1999 :** Cartographie : Introduction p 18.
- **Anonyme 1999.** Cartographie. Volume 1 sémiologie graphique et conception cartographique. École Nationale des sciences géographiques 6 et 8 avenues Blais Pascal- cité des cartes- Champs- sur Marne- 77455 Marne. La vallée cedex 2.

ANNEXES

ANNEXE A

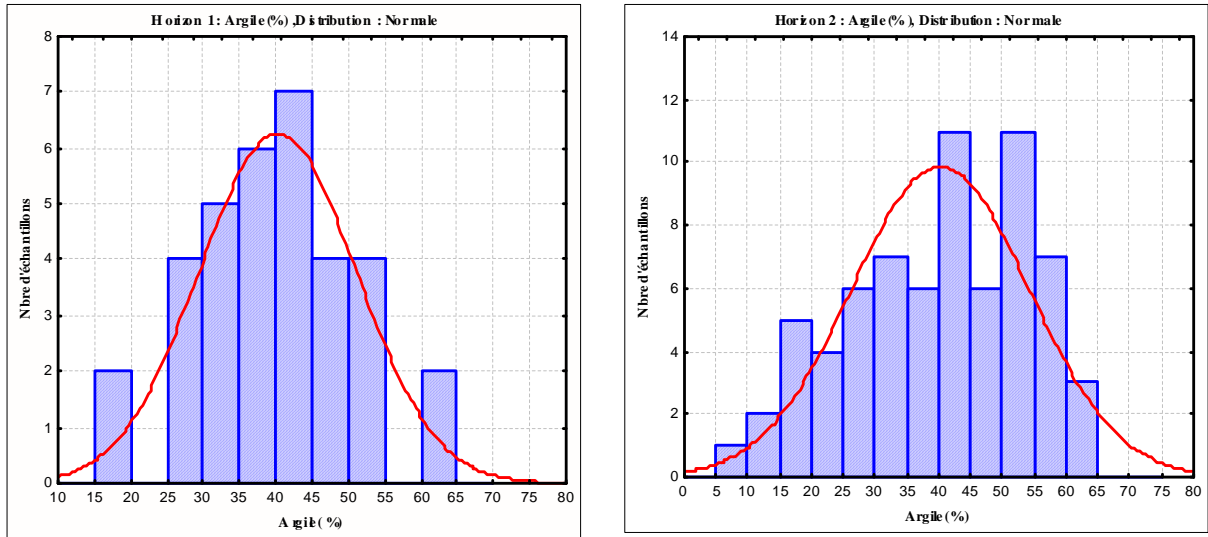


Figure N° 01 : Courbes d'ajustement de L'Argile (H1 et H2)

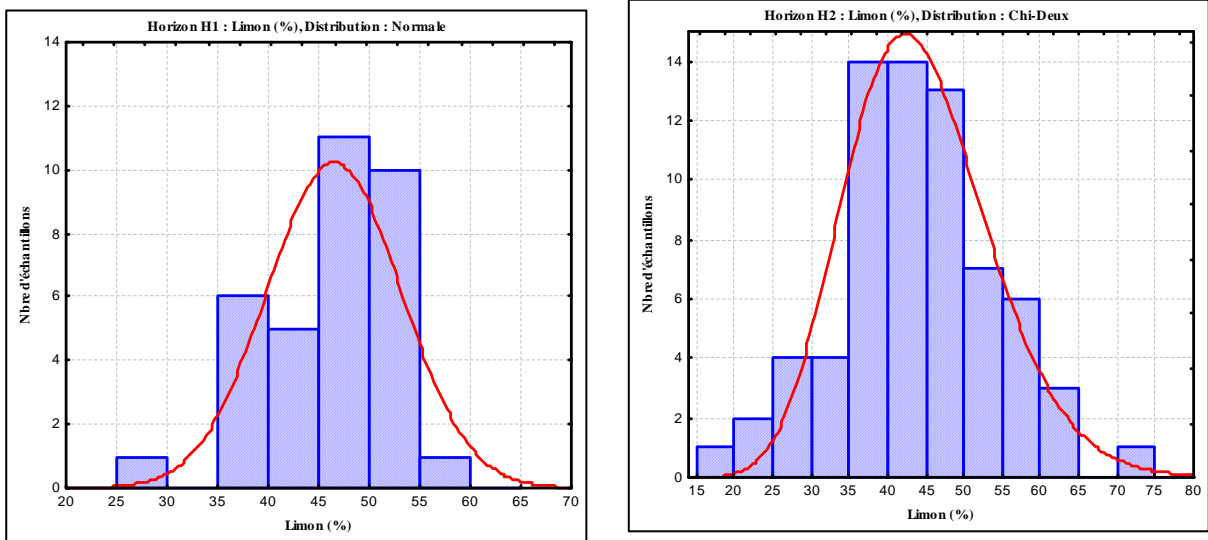


Figure N° 02 : Courbes d'ajustement de Limon (H1 et H2)

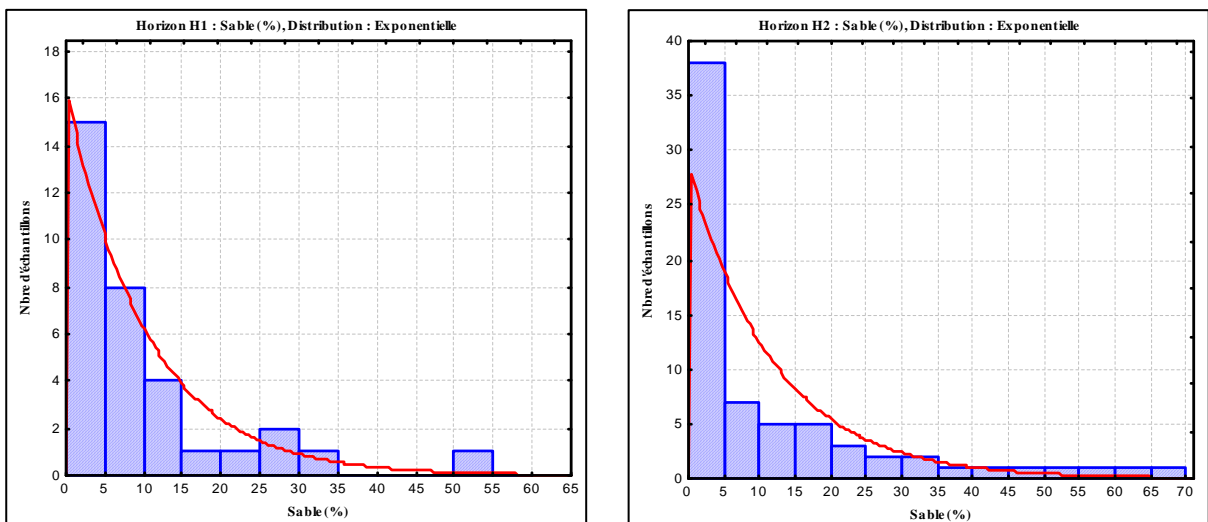


Figure N° 03 : Courbes d'ajustement de Sable (H1 et H2)

ANNEXES

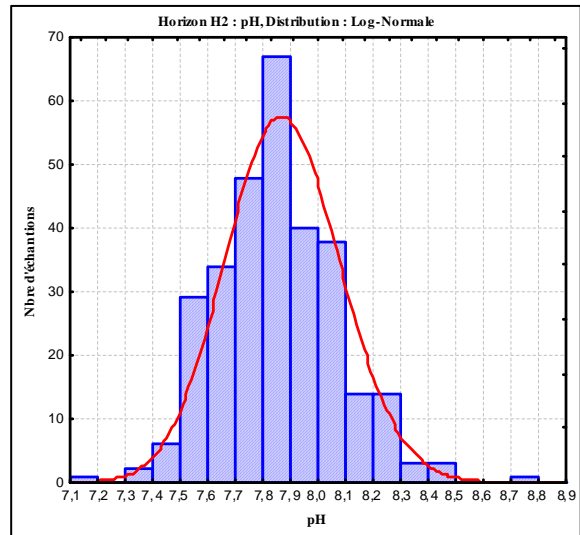
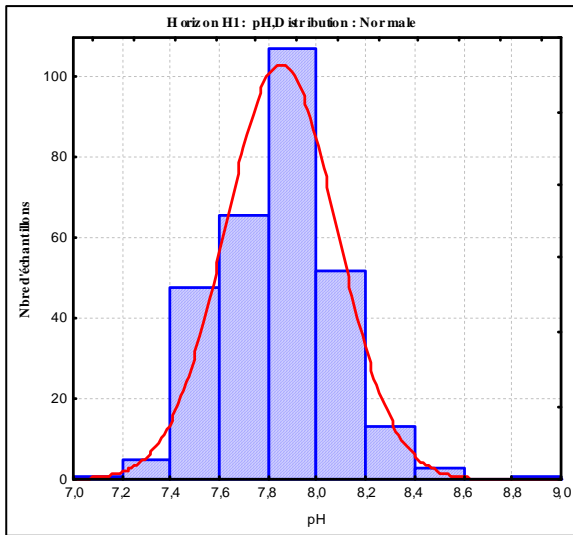


Figure N° 04 : Courbes d'ajustement de pH (H1 et H2)

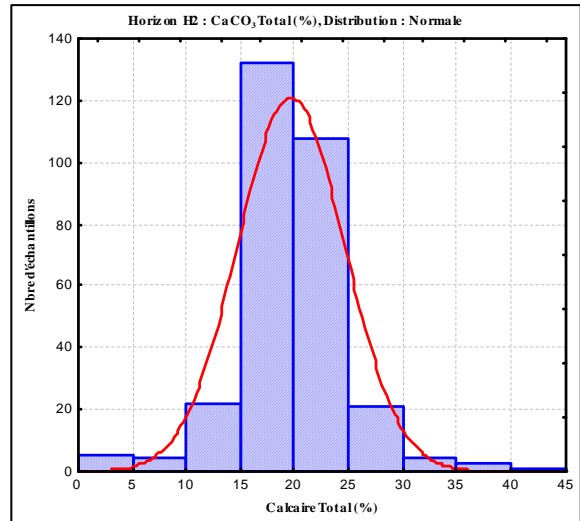
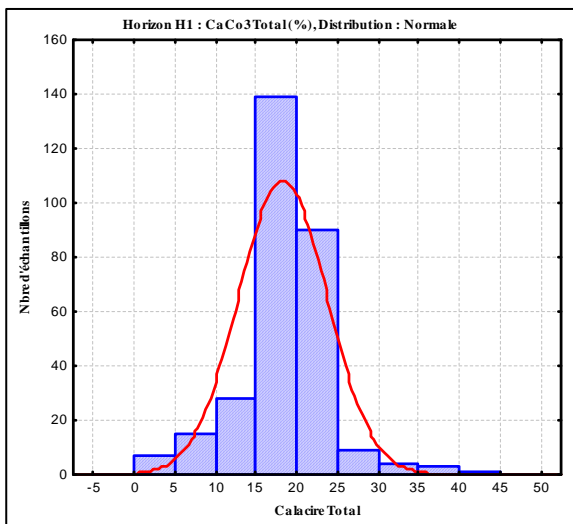


Figure N° 05 : Courbes d'ajustement de Calcaire Total (H1 et H2)

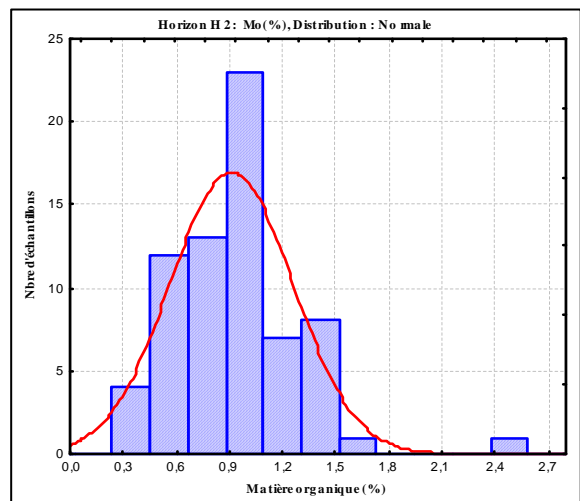
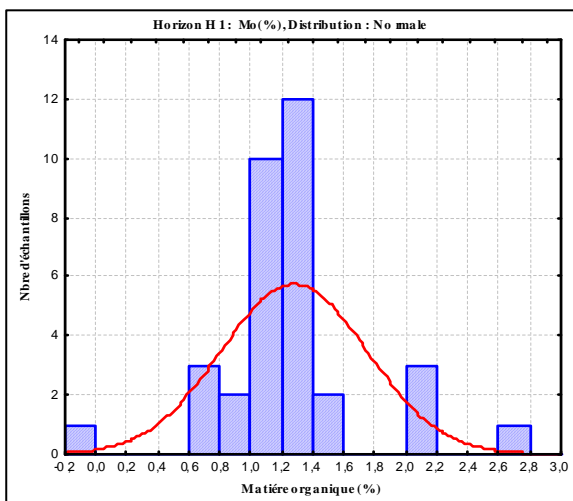


Figure N° 06 : Courbes d'ajustement de Matière organique (H1 et H2)

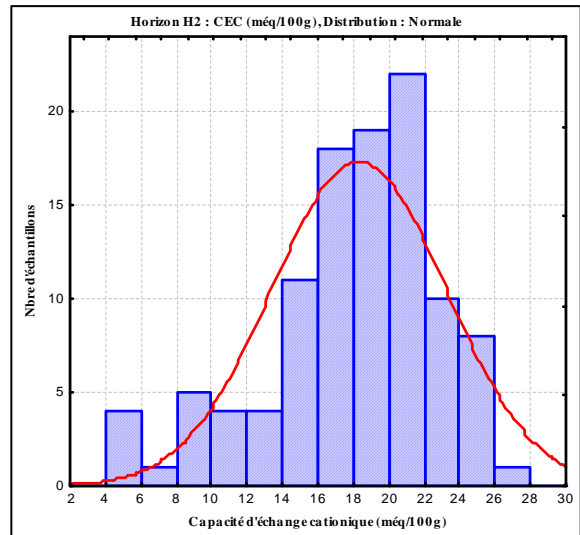
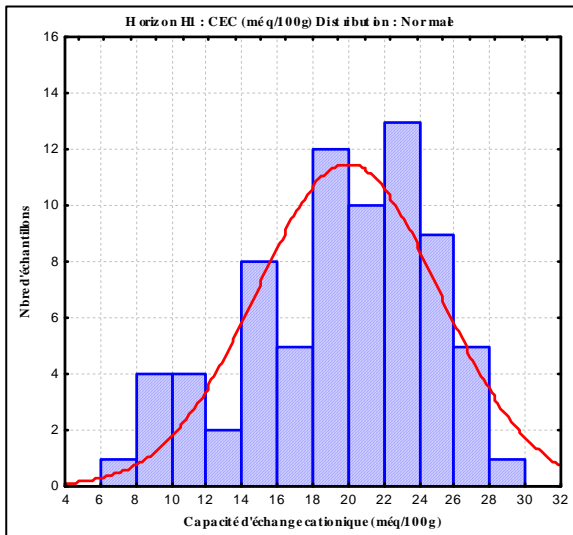


Figure N° 07: Courbes d'ajustement de Capacité d'échange cationique (H1 et H2)

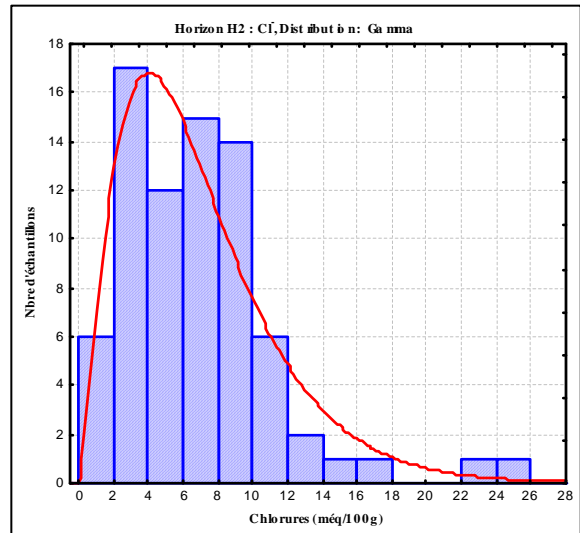
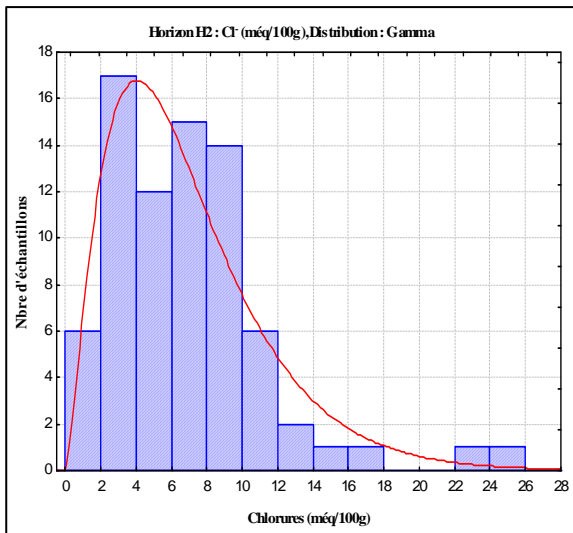


Figure N° 08: Courbes d'ajustement de Chlorures (H1 et H2)

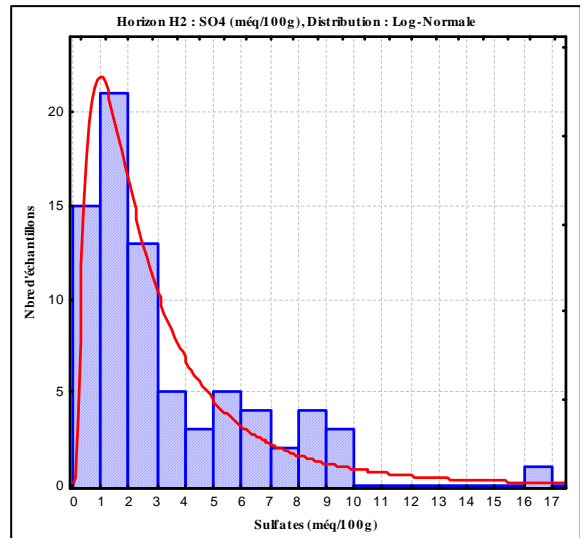
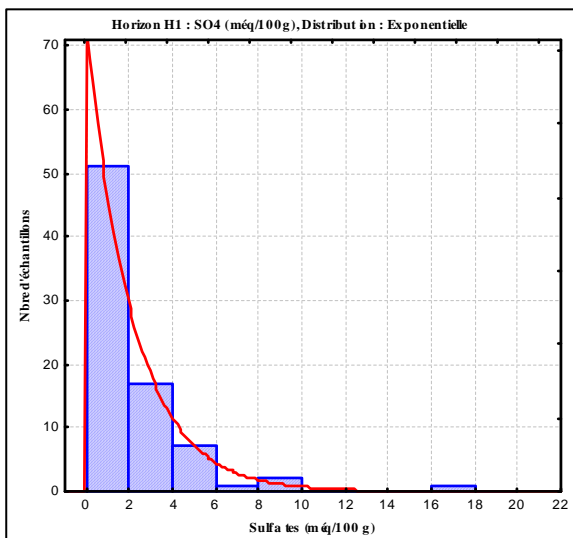


Figure N° 09: Courbes d'ajustement de sulfates (H1 et H2)

ANNEXES

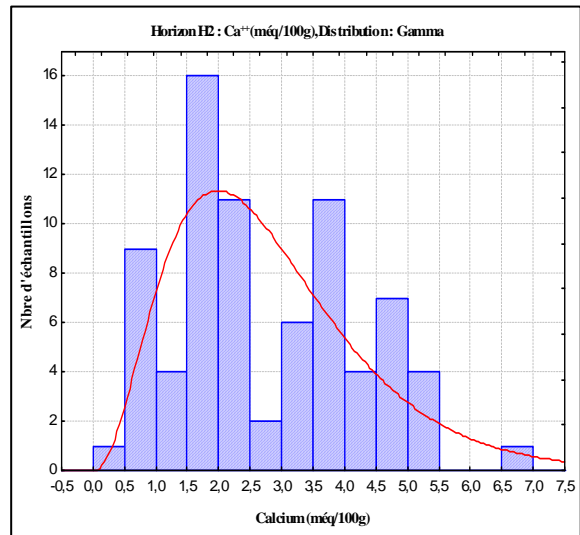
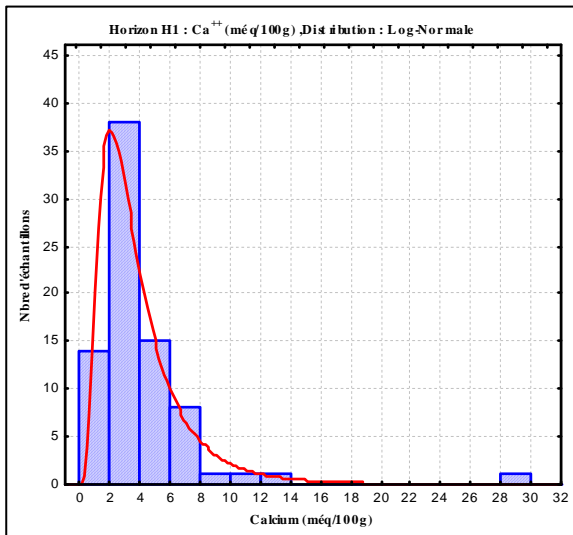


Figure N° 10: Courbes d'ajustement de Calcium (H1 et H2)

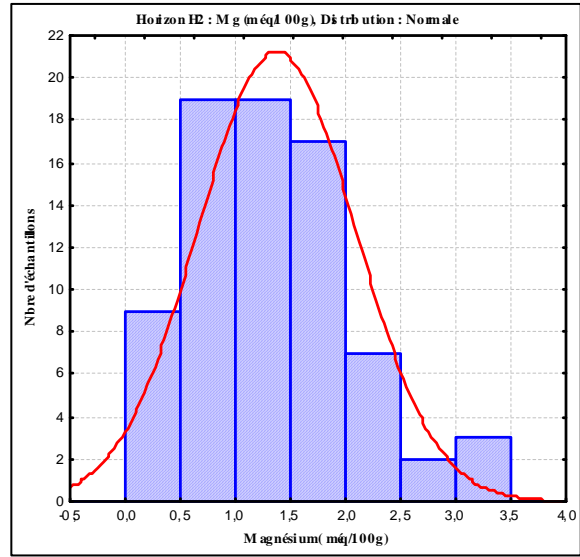
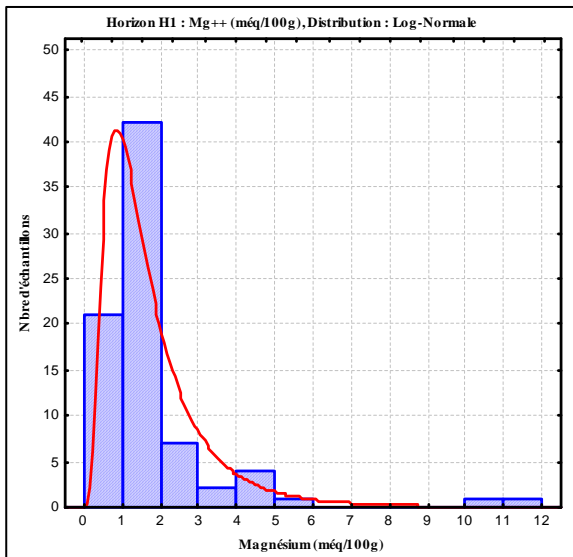


Figure N° 11: Courbes d'ajustement de Magnésium (H1 et H2)

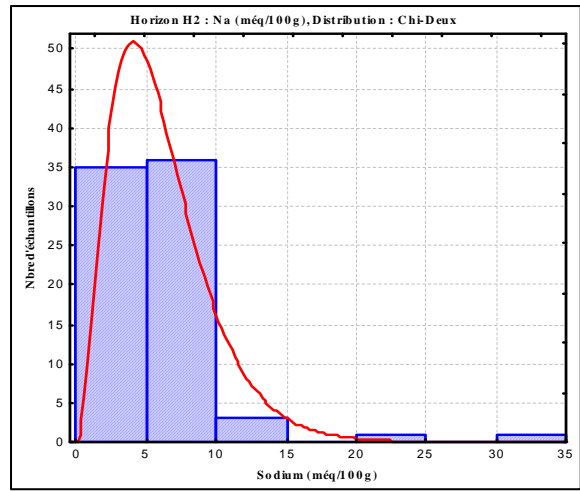
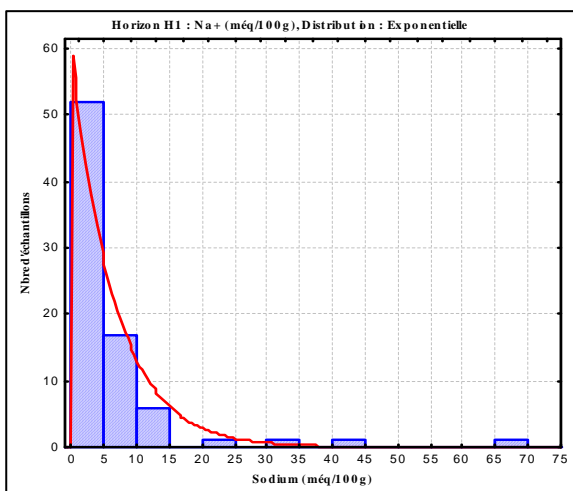


Figure N° 12: Courbes d'ajustement de Sodium (H1 et H2)

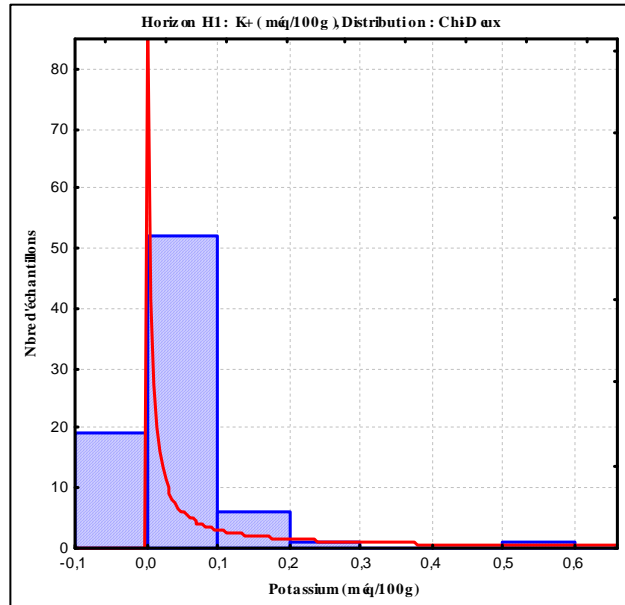


Figure N° 13: Courbes d'ajustement de Potassium (H1)

ANNEXES

ANNEXE B

Tableau N° 01 : Paramètres statistiques de la banque de données de sol (H1) en 1990.

| | Nbr éch | Moyenne | Minimum | Maximum | Etendue | Variance | Ecart type | Asymétrie | Aplatissement |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| pH | 296 | 7,853 | 7,200 | 8,880 | 1,680 | 0,052 | 0,228 | 0,361 | 0,962 |
| CaCO3 Total (%) | 296 | 18,292 | 1,200 | 43,200 | 42,000 | 29,718 | 5,451 | 0,140 | 3,193 |
| Gypse (%) | 11 | 1,459 | 0,100 | 4,020 | 3,920 | 1,771 | 1,331 | 1,333 | 0,759 |
| CEC (méq/100g) | 74 | 19,980 | 8,000 | 29,000 | 21,000 | 26,483 | 5,146 | -0,521 | -0,545 |
| HCO3 (méq/100g) | 79 | 0,189 | 0,000 | 0,600 | 0,600 | 0,009 | 0,095 | 1,812 | 5,326 |
| SO4(méq/100g) | 79 | 2,154 | 0,100 | 18,000 | 17,900 | 6,830 | 2,613 | 3,499 | 17,297 |
| Cl (méq/100g) | 79 | 10,319 | 0,900 | 75,900 | 75,000 | 130,528 | 11,425 | 3,610 | 16,122 |
| Ca (méq/100g) | 79 | 3,994 | 0,500 | 29,300 | 28,800 | 13,135 | 3,624 | 4,745 | 30,674 |
| Mg (méq/100g) | 79 | 1,824 | 0,200 | 11,400 | 11,200 | 3,287 | 1,813 | 3,662 | 15,913 |
| Na (méq/100g) | 79 | 6,563 | 0,700 | 69,700 | 69,000 | 90,171 | 9,496 | 4,864 | 27,683 |
| K (méq/100g) | 79 | 0,092 | 0,000 | 0,600 | 0,600 | 0,007 | 0,083 | 3,058 | 17,575 |
| Ar (%) | 34 | 40,265 | 16,000 | 62,000 | 46,000 | 116,988 | 10,816 | -0,106 | 0,021 |
| Lim (%) | 34 | 46,529 | 26,000 | 56,000 | 30,000 | 43,954 | 6,630 | -0,956 | 1,130 |
| Sab (%) | 34 | 10,338 | 0,000 | 52,000 | 52,000 | 125,496 | 11,202 | 2,086 | 4,892 |
| Mo (%) | 34 | 1,278 | 0,000 | 2,740 | 2,740 | 0,223 | 0,473 | 0,618 | 3,268 |

Tableau N° 02 : Paramètres statistiques de la banque de données de sol (H2) en 1990.

| | Nbr éch | Moyenne | Minimum | Maximum | Etendue | Variance | Ecart-type | Asymétrie | Aplatissement |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| pH | 300 | 7,875 | 7,200 | 8,760 | 1,560 | 0,044 | 0,209 | 0,417 | 0,888 |
| CaCO3 Total (%) | 300 | 19,677 | 1,000 | 43,400 | 42,400 | 24,534 | 4,953 | 0,124 | 3,852 |
| Gypse (%) | 15 | 1,225 | 0,270 | 3,080 | 2,810 | 0,733 | 0,856 | 0,782 | -0,149 |
| CEC (méq/100g) | 107 | 18,317 | 4,610 | 28,000 | 23,390 | 24,304 | 4,930 | -0,784 | 0,480 |
| HCO3 (méq/100g) | 76 | 0,188 | 0,100 | 0,400 | 0,300 | 0,005 | 0,067 | 0,683 | 1,344 |
| SO4(méq/100g) | 76 | 3,378 | 0,100 | 16,300 | 16,200 | 9,244 | 3,040 | 1,660 | 3,339 |
| Cl (méq/100g) | 76 | 6,913 | 0,600 | 26,000 | 25,400 | 21,133 | 4,597 | 1,722 | 4,775 |
| Ca (méq/100g) | 76 | 2,821 | 0,300 | 7,000 | 6,700 | 2,090 | 1,446 | 0,445 | -0,489 |
| Mg (méq/100g) | 76 | 1,376 | 0,200 | 3,400 | 3,200 | 0,509 | 0,713 | 0,679 | 0,157 |
| Na (méq/100g) | 76 | 6,050 | 0,500 | 34,400 | 33,900 | 21,080 | 4,591 | 3,640 | 19,696 |
| K (méq/100g) | 76 | 0,028 | 0,000 | 0,100 | 0,100 | 0,002 | 0,045 | 1,021 | -0,985 |
| Ar (%) | 69 | 40,217 | 10,000 | 65,000 | 55,000 | 194,761 | 13,956 | -0,352 | -0,800 |
| Lim (%) | 69 | 44,304 | 19,000 | 74,000 | 55,000 | 108,980 | 10,439 | 0,095 | 0,255 |
| Sab (%) | 69 | 12,029 | 0,000 | 67,000 | 67,000 | 272,352 | 16,503 | 1,835 | 2,713 |
| Mo (%) | 69 | 0,913 | 0,400 | 2,500 | 2,100 | 0,120 | 0,346 | 1,452 | 5,164 |

ANNEXES

ANNEXE C

1. Données acquises CE (dS/m) entre 1990 et 2001. (INRA. W. Relizane).

| CE de F6 (dS/m) | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Juin | Juill | Aout |
|-----------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
| Année | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE | CE |
| 1990 | 3,49 | 3,13 | 4,22 | 5,21 | 3,69 | 3,58 | 2,28 | 4,22 | 6,11 | 5,40 | 5,40 | 3,95 |
| 1991 | 2,83 | 5,91 | 3,84 | 4,70 | 3,36 | 6,20 | 6,02 | 3,02 | 4,59 | 4,55 | 3,22 | 3,80 |
| 1992 | 6,23 | 4,68 | 4,93 | 5,40 | 3,08 | 3,78 | 4,31 | 4,60 | 4,39 | 4,87 | 3,65 | 5,63 |
| 1993 | 7,32 | 4,04 | 7,20 | 5,88 | 4,09 | 4,14 | 4,37 | 6,16 | 5,84 | 4,35 | 4,87 | 5,28 |
| 1994 | 7,91 | 6,26 | 7,02 | 6,63 | 6,83 | 4,30 | 6,16 | 5,17 | 4,79 | 4,27 | 4,55 | 4,58 |
| 1995 | 7,30 | 6,32 | 6,49 | 6,80 | 6,90 | 7,89 | 5,13 | 6,80 | 7,92 | 7,64 | 4,57 | 2,16 |
| 1996 | 8,27 | 3,13 | 5,63 | 2,39 | 3,65 | 5,54 | 4,04 | 4,15 | 5,45 | 2,79 | 7,55 | 5,93 |
| 1997 | 5,80 | 3,00 | 4,30 | 2,31 | 6,48 | 5,90 | 5,69 | 4,45 | 5,71 | 7,33 | 4,09 | 4,70 |
| 1998 | 6,89 | 8,15 | 9,36 | 7,36 | 3,05 | 4,41 | 4,20 | 5,30 | 3,91 | 3,46 | 4,95 | 3,78 |
| 1999 | 6,84 | 7,85 | 9,80 | 7,91 | 3,80 | 7,02 | 2,02 | 4,39 | 4,57 | 4,82 | 4,91 | 3,82 |
| 2000 | 9,58 | 8,95 | 9,25 | 8,20 | 5,63 | 9,85 | 6,38 | 6,99 | 8,62 | 7,65 | 3,79 | 7,48 |
| 2001 | 6,92 | 8,25 | 6,91 | 5,79 | 4,20 | 7,72 | 7,41 | 4,91 | 0,63 | 5,16 | 4,59 | 5,21 |
| 2002 | 8,85 | 12,27 | 6,94 | 6,03 | 2,41 | 3,35 | 4,13 | 4,14 | 4,00 | 7,37 | 2,42 | 5,31 |
| 2003 | 8,67 | 7,51 | 10,70 | 10,19 | 1,09 | 1,20 | 10,74 | 6,95 | 5,77 | 9,82 | 7,33 | 10,23 |

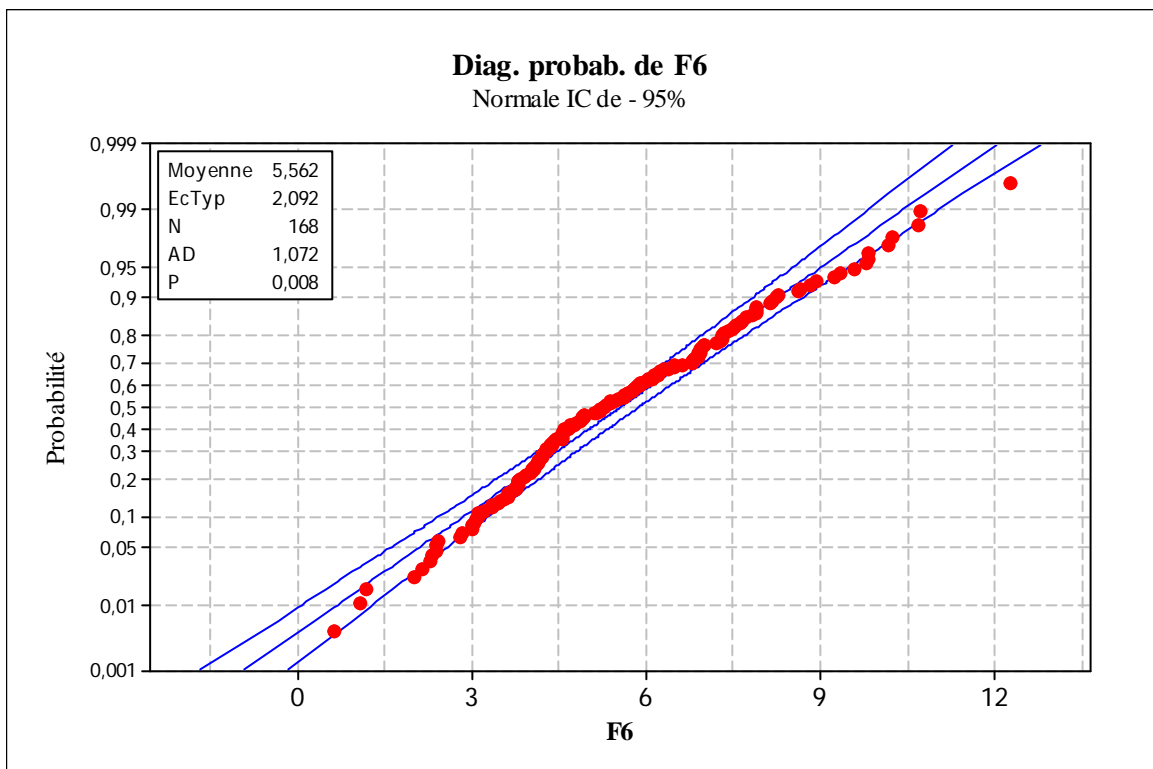
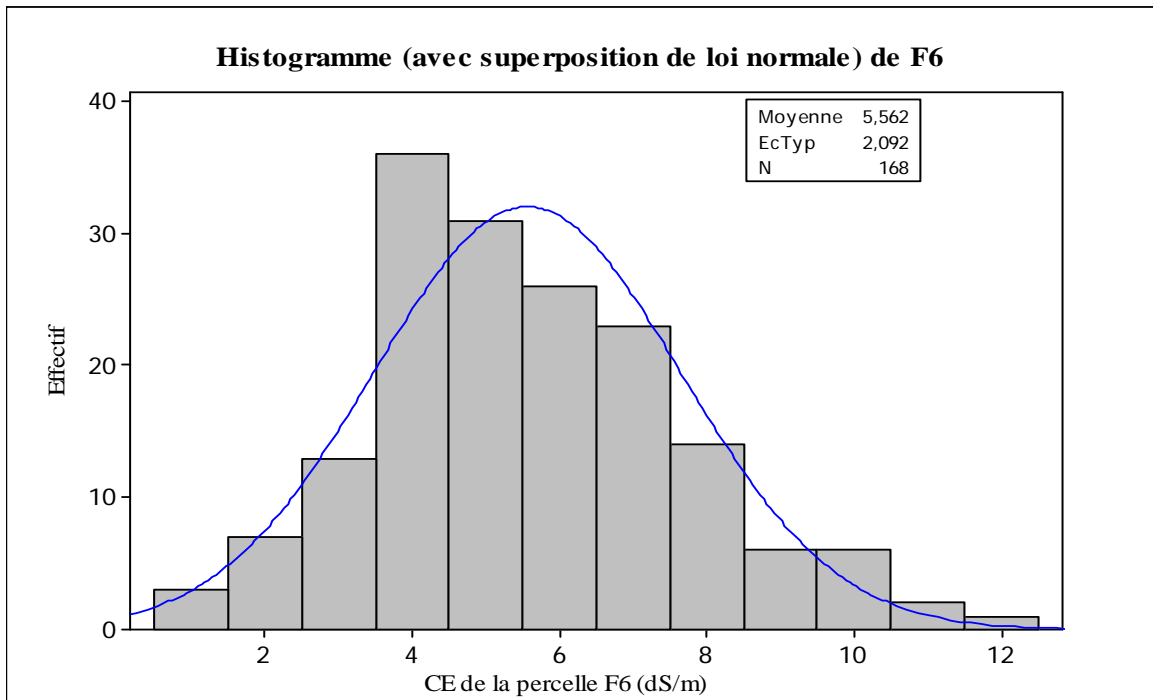
2. Statistique descriptive de données de CE (dS/m) acquises pour la parcelle F6

Tests de normalité.

| Variable | N | Moyenne | EcTyp | Variance | Minimum | Q1 | Médiane | Q3 |
|----------|-----|---------|-------|----------|---------|------|---------|------|
| F6 | 168 | 5,56 | 2,09 | 4,37 | 0,63 | 4,13 | 5,29 | 6,94 |

| Variable | Maximum | Etendue | Mode | Asymétrie | Aplatissement | CV |
|----------|---------|---------|------|-----------|---------------|--------|
| F6 | 12,27 | 11,64 | 5,63 | 0,47 | 0,15 | 37.18% |

3. Graphique des statistiques descriptives : F6



ANNEXES

ANNEXE D

Rapport d'analyse de série chronologique Yt F6. CE (dS/m)

1. Modèle AR (1) : F6

Estimations à chaque itération

| Itération | SSE | Paramètres | |
|-----------|---------|------------|-------|
| 0 | 526,486 | 0,100 | 4,958 |
| 1 | 498,700 | 0,250 | 4,095 |
| 2 | 494,341 | 0,331 | 3,624 |
| 3 | 494,315 | 0,336 | 3,588 |
| 4 | 494,315 | 0,336 | 3,586 |
| 5 | 494,315 | 0,336 | 3,586 |

Modification relative dans chaque estimation inférieure à 0,0010
Estimations finales des paramètres

| Type | Coeff | Coef | ErT | T | P |
|-----------|--------|--------|-------|-------|---|
| AR 1 | 0,3362 | 0,0759 | 4,43 | 0,000 | |
| Constante | 3,5857 | 0,1434 | 25,01 | 0,000 | |
| Moyenne | 5,4021 | 0,2160 | | | |

Nombre d'observations : 156

Valeurs résiduelles : Somme des carrés = 493,949 (prévisions rétrospectives exclues)
CM = 3,207 DL = 154

Box-Pierce (Ljung-Box) modifiée Statistique du Khi deux

| | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Décalage | 12 | 24 | 36 | 48 |
| Khi deux | 16,2 | 26,3 | 34,0 | 43,6 |
| DL | 10 | 22 | 34 | 46 |
| Valeur de p | 0,094 | 0,240 | 0,468 | 0,573 |

2. Modèle ARMA (1,1): F6

Estimations à chaque itération

| Itération | SSE | Paramètres | | |
|-----------|---------|------------|--------|-------|
| 0 | 558,409 | 0,100 | 0,100 | 4,958 |
| 1 | 497,186 | 0,250 | -0,050 | 4,087 |
| 2 | 491,984 | 0,399 | 0,100 | 3,266 |
| 3 | 489,662 | 0,549 | 0,249 | 2,440 |
| 4 | 489,581 | 0,552 | 0,242 | 2,416 |
| 5 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,400 |
| 6 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,402 |
| 7 | 489,580 | 0,555 | 0,244 | 2,401 |

Modification relative dans chaque estimation inférieure à 0,0010
Estimations finales des paramètres

| Type | Coeff | Coef | ErT | T | P |
|-----------|--------|--------|-------|-------|---|
| AR 1 | 0,5548 | 0,1879 | 2,95 | 0,004 | |
| MB 1 | 0,2441 | 0,2189 | 1,11 | 0,267 | |
| Constante | 2,4013 | 0,1082 | 22,19 | 0,000 | |
| Moyenne | 5,3939 | 0,2431 | | | |

Nombre d'observations : 156

Valeurs résiduelles : Somme des carrés = 488,991 (prévisions rétrospectives exclues)

CM = 3,196 DL = 153

Box-Pierce (Ljung-Box) modifiée Statistique du Khi deux

| | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Décalage | 12 | 24 | 36 | 48 |
| Khi deux | 12,8 | 21,9 | 30,4 | 39,1 |
| DL | 9 | 21 | 33 | 45 |
| Valeur de p | 0,170 | 0,407 | 0,599 | 0,718 |

Liste des figures

| <i>Numéro</i> | <i>Titre</i> | <i>Page</i> |
|---------------|--|-------------|
| Figure n°01 | Processus des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur la dégradation des sols et sur les cultures (<i>Source : Tabet. 1999</i>) | 08 |
| Figure n°02 | Les sols salins | 11 |
| Figure n°03 | Les sols alcalins | 11 |
| Figure n°04 | Fonctionnalités d'un SIG | 14 |
| Figure n°05 | Composante de processus cartographique | 15 |
| Figure n°06 | Aspect organisationnel d'un SIG | 17 |
| Figure n°07 | Procédure de construction d'un modèle | 25 |
| Figure n°08 | Localisation géographique de la zone d'étude | 28 |
| Figure n°09 | Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord | 30 |
| Figure n°10 | Diagramme ombrothermique de la station climatique De H'madna (1985-2005) | 31 |
| Figure n°11 | Système théorique des vents ascendant et descendant Dans la vallée du Cheliff | 32 |
| Figure n°12 | Principales unités morphologiques du bassin versant de la plaine du Bas-Chélif (combinaison entre l'imagerie satellitaire et le modèle numérique de terrain) | 34 |
| Figure n°13 | Coupe dans les alluvions du Chélif | 36 |
| Figure n°14 | Topographie de la plaine du Bas Chélif | 37 |
| Figure n°15 | Carte des sols (<i>Source : J. Boulaine, 1956</i>) | 40 |
| Figure n°16 | Occupation des sols de la plaine du Bas-Chélif | 42 |
| Figure n°17 | Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif | 43 |
| Figure n°18 | Périmètre irrigué du Bas Chélif | 45 |
| Figure n°19 | Localisation des échantillons appartenant aux études 1975, 1990 et 2006 | 50 |
| Figure n°20 | Localisation des échantillons appartenant à l'étude 1997 | 51 |
| Figure n°21 | Exemple de table de stockage des données | 52 |
| Figure n°22 | Photos représentant les sols salés abandonnés et envahis par de la végétation halophyte | 53 |
| Figure n°23 | Schéma représentatif de la Base de Données Géographique | 54 |
| Figure n°24 | Possibilités d'exploitation de la base de données | 54 |
| Figure n°25 | Exemple de semi-variogrammes | 56 |
| Figure n°26 | Modèles de semi-variogramme les plus communs | 57 |
| Figure n°27 | Représentation graphique des valeurs de la salinité du sol pour une parcelle salée de la Station INRA de H'madna (Relizane) | 59 |
| Figure n°28 | Histogramme de la classification de l'Argile | 64 |
| Figure n°29 | Histogramme de la classification de Limon | 65 |
| Figure n°30 | Histogramme de la classification de Sable | 66 |
| Figure n°31 | Histogramme de la classification de pH | 67 |
| Figure n°32 | Histogramme de la classification de Calcaire Total | 68 |
| Figure n°33 | Histogramme de la classification de Matière Organique | 68 |
| Figure n°34 | Variabilité verticale des principaux paramètres statistique (Année 1975, pour H1 et H2) | 70 |
| Figure n°35 | Histogramme de salinité en fonction de variabilité vertical des horizons (Année 1975, pour H1 et H2) | 71 |
| Figure n°36 | Variabilité verticale des principaux paramètres statistique (Année 1990, pour H1 et H2) | 72 |
| Figure n°37 | Histogramme de salinité en fonction de variabilité vertical des horizons. (Année 1990, pour H1 et H2) | 73 |

suite

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figure n°38 | Histogramme de salinité de l'horizon H1 (Année 1997) | 75 |
| Figure n°39 | Histogramme de salinité de l'horizon H1 (Année 2006) | 77 |
| Figure n°40 | Variogrammes des horizons H1 (A) et H2 (B) de l'année 1990 | 79 |
| Figure n°41 | Variogrammes des horizons H1 (A) et H2 (B) de l'année 1990 | 80 |
| Figure n°42 | Variogrammes des couches de surface (H1) des années 1997 (A) et 2006 (H2) | 80 |
| Figure n°43 | Carte de salinité des sols (Années 1975, H1) | 81 |
| Figure n°44 | Carte de salinité des sols (Années 1975, H2) | 82 |
| Figure n°45 | Carte de salinité des sols (Années 1990, H1) | 83 |
| Figure n°46 | Carte de salinité des sols (Années 1990, H2) | 84 |
| Figure n°47 | Carte de salinité des sols (Années 1997, H1) | 86 |
| Figure n°48 | Carte de salinité des sols (Années 2006, H1) | 87 |
| Figure n°49 | Délimitation des superficies conjointement étudiées entre les années 1975, 1990, 1997 et 2006 dans la plaine du Bas-Chéiff | 89 |
| Figure n°50 | Carte de la salinité de la zone de comparaison spatiale des années 1975(A), 1990(B), 1997(C) et 2006(D) | 90 |
| Figure n°51 | Localisation des échantillons communs aux quatre années 1975, 1990, 1997 et 2006 | 92 |
| Figure n°52 | Histogramme de salinité en fonction de variabilité temporelle | 93 |
| Figure n°53 | Histogramme des fréquences de CE > 8 dS/m | 93 |
| Figure n°54 | Série chronologique (1990-2003) des données observées sur la parcelle étudiée. | 94 |
| Figure n°55 | Autocorrélations ACF et PACF de la série observée Y_t (1990-2002) | 96 |
| Figure n°56 | Autocorrélations résiduelles Y_t AR (1) (1990-2002) | 97 |
| Figure n°57 | Autocorrélations résiduelles Y_t ARMA (1,1) (1990-2002) | 98 |
| Figure n°58 | Prévisions 2003 par le modèle ARMA (1, 1) des observations (1990-2002) et comparaison entre observations- prévisions | 101 |

Liste des tableaux

| <i>Numéro</i> | <i>Titre</i> | <i>Page</i> |
|---------------|---|-------------|
| Tableau n°01 | Les caractéristiques des sols salées | 08 |
| Tableau n°02 | Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25°C | 10 |
| Tableau n°03 | Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25°C | 10 |
| Tableau n°04 | Avantages des cartes numériques (<i>Source : Ben Mohamed. L, 1996</i>) | 19 |
| Tableau n°05 | Données pluviométriques de la station météorologique de H'Madna (1985-2005) et Oued Djemaa (1956-2004) | 29 |
| Tableau n°06 | Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales de la station météorologique de H'madna (1985-2002) | 30 |
| Tableau n°07 | Barrages en exploitation et transfert inter barrages (Caractéristiques et Destinations) | 44 |
| Tableau n°08 | Etudes et projets effectués sur la plaine du Bas Chélif | 49 |
| Tableau n°09 | Ajustement des lois de distribution par le test de Khi-deux | 61 |
| Tableau n°10 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs en argile | 64 |
| Tableau n°11 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs En limon | 65 |
| Tableau n°12 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs En sable | 66 |
| Tableau n°13 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes du pH (Selon GEPPA, 1981) | 67 |
| Tableau n°14 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs En calcaire total (selon GEPPA, 1981) | 67 |
| Tableau n°15 | Répartition de l'effectif en fonction des horizons et des classes de teneurs de la matière organique (STIPA, 1982) | 68 |
| Tableau n°16 | Paramètres statistiques de salinité (Année 1975, pour H1 et H2) | 69 |
| Tableau n°17 | Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 71 |
| Tableau n°18 | Paramètre statistique de salinité (Année 1990, pour H1 et H2) | 72 |
| Tableau n°19 | Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 73 |
| Tableau n°20 | Paramètres statistiques de salinité (Année 1997, pour le premier horizons) | 74 |
| Tableau n°21 | Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 75 |
| Tableau n°22 | Paramètres statistiques de salinité (Année 2006, pour le premier horizons) | 76 |
| Tableau n°23 | Distribution des pourcentages de valeurs de CE en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 76 |
| Tableau n°24 | Distribution des pourcentages de surfaces en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 82 |
| Tableau n°25 | Distribution des pourcentages de surfaces en fonction de degré de salinité (Classification de River Side, USA) | 83 |

suite

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tableau n°26 | Distribution de la superficie des sols salé (Année 1990, H1). (Classification de River Side, USA) | 84 |
| Tableau n°27 | Distribution de la superficie des sols salé (Année 1990, H2). (Classification de River Side, USA) | 85 |
| Tableau n°28 | Distribution de la superficie des sols salé (Année 1997, H1). (Classification de River Side, USA) | 87 |
| Tableau n°29 | Distribution de la superficie des sols salé (Année 2006, H1) (Classification de River Side, USA) | 88 |
| Tableau n°30 | Comparaison entre les superficies des classes de salinité estimées pour les années 1975, 1990, 1997 et 2006 | 91 |
| Tableau n°31 | Prévisions des valeurs de la salinité du sol (dS/cm) pour l'année 2003 obtenues par le modèle ARMA (1, 1). | 100 |