

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de M'Sila



MEMOIRE

Présenté
A la Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques
Pour obtenir le Diplôme de

Master académique en Sciences Agronomiques

Option : Science du sol et environnement

Thème

Etude de la Variabilité spatiale de la salinité du sol de la
pépinière de M'sila
M'sila Algérie

Présenté par :

BRAHIMI Dalila

TAIBAOUI Meriem

Devant le Jury :

Président	MIMECHE F	MCA	Université de M'sila
Promoteur	TELLACHE S	MAA	Université de M'sila
Examineur	TIR Ch	MAA	Université de M'sila

Année universitaire :2015 /2016

REMERCEMENTS

الحمد لله الذي أعاننا على إنهاء هذا العمل وسخر لنا القوة لإتمامه فكل توفيق منه وحده وكل سهو أو خطأ فمنا ومن الشيطان.

Avant toute chose, nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous donner la force et la patience.

Nous remercions notre encadreur « Mr Telleche slimen » pour avoir dirigé ce travail, ses conseils et encouragements et à finir ce travail.

Nous tiens à adresser nos remerciements à Monsieur « Mimech F » a bien voulu présider notre jury et pour sa précieuse aide

Nous remercions également à « Melle Tir Ch », pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions aussi tous les enseignants de département des Sciences Agronomiques université de M'sila.

C'est un grand merci que j'adresse à tous les ingénieurs des laboratoires

De biologie

Nous remercions tout particulièrement ma famille qui m'a toujours soutenu dans mes choix et été présente chaque fois que cela a été nécessaire.

Nous ne pouvons pas oublier de remercier tous ceux qui, de près ou de loin nous ont aidés à atteindre ce travail.

Finalement, nous exprimons nos vifs et sincères remerciements à toute personne ayant participé de près ou de loin au bon déroulement et réalisation de ce travail



Dédicace

A mon cher père « La miséricorde de Dieu sur la... »

Pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

A mon très chère Mère

Pour votre cœur qui m'a tant donné

À mes sœurs : souhila, kenza, amina.

A mon cher époux : bouldjnette sidali

A tous ma famille à mes tantes et oncles et surtout oncle kamal

Pour les beaux bourgeons : lamia, Amayas , Meriem, Ali.

A mes amies que j'ai vécu avec elles des beaux moments au coure de

Mon cursus à l'université :

Ahlem, Karima, rima, khalida, Soumaya, dalila

A toutes les étudiantes de 2^{ème} d'année Master Science du sol et environnement

A tout qui me connaisse de prés et de loin.

Meriem



Dédicace

A mon cher père

Pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

A mon très chère Mère

Pour vos mains qui ont tant travaillées

Pour votre cœur qui m'a tant donné

Pour votre sourire qui m'a tant réchauffé pour vous qui m'avez

Tant aimé.

A Mes chères sœurs

A Mes chères frères

A tous ma famille

A mes amies que j'ai vécu avec elles des beaux moments au cours de

Mon cursus à l'université

A toutes les étudiantes de 2^{ème} d'année Master Science du

sol et environnement

Dalila



Table des matières

REMERCIEMENTS.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
DEDICACE.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
LISTE DES FIGURES.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
I. LA SALINITE DES SOLS.....	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 La salinisation des sols.....	2
I.2.1 Définition de la salinisation des sols.....	2
I.2.2 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation.....	3
I.2.3 Type de salinisation.....	3
I.3 Caractéristique des sols salés.....	4
I.3.1 Caractéristiques chimiques.....	4
I.3.2 La composition ionique de la solution du sol.....	5
I.3.3 Le SAR « Sodium Adsorption Ration ».....	5
I.3.4 Le taux de sodium échangeable (ESP).....	5
I.4 Les caractéristique physique.....	6
I.4.1 Capacité de rétention en eau.....	6
I.4.2 Structure et perméabilité.....	6
I.5 Classification des sols salées.....	6
I.5.1 Sous classe des sols sodiques à structure non dégradée.....	6
I.5.2 Sols salins à complexe calcique (solontchaks).....	6
I.5.3 Sols salins a complexe sodique (solontchak sodique).....	7
I.6 Sous classe des sols sodique à structure dégradée.....	7
I.6.1 Sols alcalins non lessives (solontchak solonetz).....	7
I.6.2 Sols alcalins lessives.....	7
I.7 Effets de la salinité sur les propriétés du sol.....	7
I.7.1 Effets sur la structure.....	7
I.7.2 Effet sur la perméabilité.....	7
I.7.3 Effet sur le pH.....	8
I.7.4 Effet sur la fertilité chimique des sols.....	8
I.7.5 Effet sur les végétaux.....	8
I.8 Répartition des sols salés.....	8
I.8.1 Dans le monde.....	8
I.8.2 En Algérie.....	9
I.9 Réhabilitation et mise en valeur des sols salés.....	9
I.9.1 Lixiviation.....	9
I.9.2 Meilleur utilisation de l'eau de l'irrigation.....	10
I.9.3 Drainage.....	11
I.9.4 Tolérance des plantes aux sels.....	11
I.10 Conclusion.....	12
II. ANALYSE SPATIALE.....	13
II.1 Introduction et historique.....	13
II.2 Les bases sur l'analyse spatiale.....	14
II.2.1 Système d'information géographique.....	14
II.2.2 ARCGIS.....	15
II.3 Méthode d'étude de la variabilité spatiale.....	16

II.3.1	Approches déterministe	16
II.3.2	Approche statistique	18
II.3.3	Le nombre d'observation (échantillonnage).....	20
II.3.4	L'emplacement des échantillons	21
II.4	Modèles de la variation spatiale	21
II.4.1	Phénomène discret et continue	21
II.4.2	Phénomène spatiaux discontinu.....	22
II.5	La modélisation de la variabilité spatiale.....	22
II.5.1	L'approche cartographique classique.....	22
II.5.2	L'approche géostatistique	23
II.5.3	Interpolation par krigeage.	27
CHAPITRE II : CADRE PHYSIQUE		
I.	SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	27
II.	LES CARACTERISTIQUE PHYSIQUE	27
II.1	Géomorphologie	27
II.1.1	Cadre montagneux.....	27
II.1.2	Les piémonts	27
II.1.3	Les plaines.....	28
II.1.4	Chotte el Hodna.....	28
II.2	Hydrologie.....	28
II.3	Géologie	28
II.3.1	Le secondaire	28
II.3.2	Le tertiaire	29
II.3.3	Le quartenaire	29
II.4	Pédologie :	29
II.4.1	Les sols minéraux bruts.....	29
II.4.2	Les sols peu évoluées	29
II.4.3	Les sols calcimagnésiques.....	29
II.4.4	Les sols halomorphes	29
II.4.5	Les sols hydromorphes	29
II.4.6	Les sols isohumiques	30
II.5	Climat	30
II.5.1	La précipitation	30
II.5.2	Température	31
II.5.3	Les autres facteurs climatiques.....	32
II.5.4	Synthèse climatique :	33
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES		
I.	MATERIELS.....	37
I.1	Présentation de la zone d'étude.....	37
I.2	L'occupation du sol	37
II.	METHODE	38
II.1	Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des sols.....	39
II.1.1	Stratégie d'échantillonnage des sols	39
II.1.2	Analyses physiques et chimiques des sols	40
II.2	Analyse de la variabilité spatial du sol et prédiction de la salinité	41
II.2.1	Analyse variographique.....	41
II.2.2	Prédiction de la conductivité électrique du sol.....	42
II.2.3	Analyse statistique	43
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION		

I. ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE	43
I.1 Statistique descriptive	43
I.2 Variographie	44
I.2.1 Variogramme expérimentale sans dérive	44
I.2.2 Variogramme expérimentale avec dérive constante.....	46
II. PREDICTION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DU SOL	46
II.1 Prédiction par la méthode de l'inverse de la distance pondéré (IDW)	46
II.2 Prédiction par la méthode du Krigeage ordinaire	48
II.3 Prédiction par la méthode du Krigeage universel.....	50
II.4 Discussion.....	52
III. CORRELATION ENTRE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET LES AUTRES PARAMETRES DU SOL	52
III.1 Acidité actuel ou pH_{eau}.....	53
III.2 Acidité potentiel pH_{kcl}	53
III.3 La densité apparente.....	54
CONCLUSION GENERALE.....	55
REFERENCES.....	56

Liste des figures

Figure 1 : répartition des sols salin du nord l'algerie	9
Figure 2: Description du logiciel Arcgis	15
Figure 3: Les applications d'Arcgis	16
Figure 4 : formes d'échantillonnage spatial : (a) aléatoire ; (b) systématique par transect; (c) systématique grille.	21
Figure 5 : exemple de phénomènes spatialement continu et discret : (a)altitude (continu) ; (b) l'occupation du sol (discret).	22
Figure 6 : procédure d'analyse variographique.	24
Figure 7 : Semi-variogramme théorique (modèle sphérique).	27
Figure 8 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila (1998 à 2014).....	32
Figure 9 : Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila (1998 à 2014).....	33
Figure 10 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila 1988-2013.....	34
Figure 11 : Climagramme d'Emberger et représentation de la zone d'étude 1988-2013	36
Figure 12 : Situation géographique de la zone d'étude.....	37
Figure 13 : L'occupation du sol de la zone d'étude	38
Figure 14 : Organigramme méthodologique	39
Figure 15 : Plan d'échantillonnage du sol.....	40
Figure 16 : Histogramme de distribution de la conductivité électrique.....	43
Figure 17 : Variogramme de la conductivité électrique ajusté par le model circulaire ..	45
Figure 18 : Anisotropie variographique.....	45
Figure 19 : Carte de salinité prédite par la méthode IDW	47
Figure 20 : Corrélacion entre valeur prédite et observé d'IDW	48
Figure 21 : Prédiction de la conductivité électrique du sol par la méthode de KO	49
Figure 22 : Corrélacion entre valeurs observés et prédite de KO.....	50
Figure 23 : prédiction de la conductivité électrique par Krigage Universel.....	51
Figure 24 : Corrélacion entre valeurs prédite et observé de KU	52
Figure 25 : corrélacion pHeau conductivité électrique du sol	53
Figure 26 : Corrélacion conductivité électrique pHkcl.....	54
Figure 27 : Corrélacion densité apparente du sol et la conductivité électrique du sol.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficie affectées par la salinité dans le monde.....	8
Tableau 2: Classification des nappes phréatiques.....	10
Tableau 3: Tolérance de certaines plantes à la salinité.....	12
Tableau 4 : Ordre de grandeur des densités d'échantillonnage du sol	18
Tableau 5: Répartitions interannuelle des précipitations (mm).	30
Tableau 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle.	31
Tableau 7: Répartitions saisonnier des précipitations.....	31
Tableau 8 : Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).	31
Tableau 9: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.	32
Tableau 10: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014	33
Tableau 11 : Valeurs du quotient pluviothermique	35
Tableau 12 : Statistique descriptive de la conductivité électrique du sol.....	43
Tableau 13 : comparaison entre les trois model d'ajustement du variogramme	44
Tableau 14 : Comparaison entre les trois model d'ajustement du variogramme	46
Tableau 15 : Matrice de corrélation entre la conductivité électrique du sol et les paramètres du sol	53

Introduction générale

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (ZID, 1991), en Algérie les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Ils sont localisés du Nord au sud et l'isohyète 450mm semble être la limite supérieure des sols fortement sodiques (DJILI, 2000)

La cartographie de la salinité à l'échelle régional est difficile et coûteuse car elle nécessite le prélèvement et l'analyse d'un nombre important d'échantillons afin d'arriver à une bonne estimation spatiale acceptable, les méthodes d'interpolation déterministes et géostatistique semblent être l'outil le plus approprié pour optimiser la cartographie de la salinité et réduire le coût de l'opération.

Notre travail s'inscrit dans cette optique, il permet de comparer trois méthodes d'interpolation de la conductivité électrique du sol (CE), l'une déterministe (IDW) et les deux autres géostatistiques (Krigage ordinaire et Krigage universel). Où des échantillons seront prélevés selon un réseau rigide, analysés au laboratoire, les résultats feront l'objet d'analyse variographique et d'interpolation pour aboutir à des cartes de conductivité électrique du sol. La comparaison des trois méthodes se fera sur la base de l'étude des variogrammes et les erreurs d'interpolation.

Pour se faire nous avons structuré notre travail comme suit :

La première partie comporte une étude bibliographique sur la salinité du sol.

- La deuxième chapitre l'étude du milieu physique
- La troisième chapitre présente la méthodologie du travail
- La quatrième chapitre les résultats et discussions.
- Et nous terminerons par une conclusion générale



CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQ



I. La salinité des sols

I.1 Introduction

Les sols salés ou sols halomorphe, appelés actuellement sols sal sodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde. Les sols salés se trouvent essentiellement dans les régions sèches (aride et semi arides et méditerranéennes) (CHERBUY, 1991).

Mais aussi dans les milieux subhumides et même humides (SZABOLCS, 1944). Il sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eau marine).

La salinité affecte le développement des cultures, et propriété pédologique notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (SERVANT M. , 1975).

On parlera en générale des sols salés lorsque la concentration en sels de la solution du sol dépasse 0,5g/l. cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique de la solution des sols saturés (ROBERT, 1996).

Le terme salins désigne les sols dont la Conductivité électrique dépasse 4mmhos /cm et dont le pourcentage de sodium échangeable est inférieure à 15% (LALLEMAND, 1980) .

Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de Sodium, Na₂SO₄ sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorures et de sulfates de calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi- arides. (JUSTINE, 2001) .

I.2 La salinisation des sols

I.2.1 Définition de la salinisation des sols

La salinisation des sols est l'accumulation excessive des sels très solubles (chlorures, sulfates, carbonates, de sodium et le magnésium) dans la partie superficielle des sols, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols. L'alimentation en eau des plantes est rendue



plus difficile ; certains éléments peuvent avoir en outre un effet toxique spécifique (Na, Cl, B, Se) ; le sodium enfin peut se fixer sur les argiles et modifie du même coup leur comportement en présence d'eau. Les propriétés physiques globales du sol (capacité d'infiltration, conductivité hydraulique) sont alors dégradées (CHEVERRY, 1974).

I.2.2 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

La salinisation des sols peut être due à :

- la lixiviation des sels solubles et /ou à l'évaporation, qui déposent leur sels dans les sols.
- En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau, (RAJU, JINO, & WADASI, 1993),(WYNJONES & GUNSTON, 1991).

I.2.3 Type de salinisation

I.2.3.1 Salinisation primaire

Liée à une source naturelle précise de sels qui peut être :

- **L'océan** : par l'intermédiaire de l'atmosphère qui peu véhicule des sels dissous dans l'eau par pluies mais surtout de très fins particule hygroscopique sous forme d'aérosols ces sols sont rabattus vert le sol lors de précipitation et sédiment également par tempe sec le phénomène est très significatif à proximité du littorale marin mais peut sèvre non négligeable au cœur même des continents (BRESLER, CARTERD, & MCNEALB, 1982).
- **La lithosphère** : du fait de l'altération des roches qui constituent les iles océaniques ou la croute continentale, il s'agit surtout dans le première cas de basaltes dans le deuxième cas de granite ou de roche voisines et les sels dissout qui résultent des réactions d'hydrolyse des aluminosilicates et des ferromagnésiens (feldspaths, micas, amphibole pyroxène ou olivine). Ces processus consomment des protons fournis essentiellement par la dissociation de CO₂ de l'atmosphère du sol, le quel provient quant à lui de l'oxydation de la matière organique. Au cours de la réaction les éléments les plus insoluble (Al, Fe) une parte de la silice, reprécisèrent pour donne les contient des altérites et des sols (argile oxyde de fer et hydroxyde d'aluminium) (TARDY, 1993).



- **Les sels fossiles :** c'est l'origine principale des phénomènes de salinisation primaires observés à travers le globe. Il peut s'agir soit de niveaux d'évaporites (roche) soit des solutions salées emprisonnées dans les sédiments d'origine marins.

I.2.3.2 Salinisation secondaire

Est liée à l'action anthropique et principalement à l'irrigation évidemment, la pratique de l'irrigation s'est d'abord développée dans les régions aride et semi-aride où l'eau est le facteur limitant pour les cultures. Elle est connue dès la préhistoire mais elle s'est particulièrement développée avec l'essor des civilisations mésopotamiennes et égyptiennes. Les causes de la salinisation secondaire correspondent à des mécanismes géochimiques simples. En effet même si au départ on irrigue avec des eaux peu chargées en sel (< 500mg/l) les fortes valeurs de l'évaporation et surtout de l'évapotranspiration des cultures (1000 à 3000mm) dans les zones arides conduisent à des concentrations de sels dans les horizons superficielles des sols. (ROBERT, 1996).

I.3 Caractéristiques des sols salés

Tout sol qui renferme des sels solubles en quantité anormalement élevée est qualifié de « **salé** ». La mesure effectuée est celle de la salinité. Tout sol qui renferme du sodium échangeable en quantité anormalement élevée est qualifié de « **sodique** ». La mesure effectuée est celle de la sodicité. Ces déterminations font appel à des méthodes spécifiques. (SERVANT M., 1975).

I.3.1 Caractéristiques chimiques

I.3.1.1 La conductivité électrique CE

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre des électrodes de 1 cm² de surface. Elle permet de déterminer la salinité globale de l'extrait de pâte saturée. (BAISE, 1988).

De plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du complexe adsorbant des sols salés (AUBERT, 1960).

I.3.1.2 La réaction du sol, pH

Le pH se mesure sur une suspension de terre fine (AUBERT, 1960). Le pH des sols salés dont la salinité est de type neutre c'est à dire quand elle est due à des sels de bases et d'acides forts (chlorures, sulfates, de sodium, de calcium, de magnésium), reste inférieur à 8,5



et le sol est basique. Si la salinité est en revanche due à des sels de bases fortes et d'acides faibles, ce qui est le cas des bicarbonates ou des carbonates de sodium, le pH est au-dessus de 8,5 et peut atteindre 10, et le sol est alcalin. Le pH peut dépasser 10 après une précipitation du carbonate de calcium, les ségrégations salines sont fortement sodiques et renferment des sols alcalins (NaHCO₃, Na₂CO₃, Na₂SO₄(SERVANT M. , 1975).

Un pH compris entre 8 et 9 est retenu, généralement, comme limite de la dégradation de la structure. (AUBERT, 1983).

I.3.2 La composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl⁻, SO₄⁻⁻ et HCO₃⁻) et en cations solubles (Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport Cl⁻/SO₄⁻⁻ pour classer les solutions du sol (SERVANT, SERVAT, & t.F, 1966) .Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption ratio) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

I.3.3 Le SAR « Sodium Adsorption Ration »

Dans l'étude de mécanisme de sodisation, utilisé paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR « Sodium Adsorption Ration (MATHIEU, PIELTAIN, & F, 2003).

Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$SAR : \frac{Na+}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}}$$

(Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺), représentent les concentrations en milliéquivalents/litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation).

Le SAR donne des indications sur le risque d'alcalisation du milieu. Les risques sont faibles si SAR < 10, moyen si SAR est compris entre 10 et 18, élevés si SAR > 18 et très élevés si SAR > 26.

I.3.4 Le taux de sodium échangeable (ESP)

Il exprime le taux de saturation du complexe absorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables.



I.4 Les caractéristique physique

I.4.1 Capacité de rétention en eau

Les sols salés peuvent rester humides même en saison sèche grâce à leur richesse en élément minéraux hygroscopique cette richesse hydrique n'est pas toujours disponible pour les plante à cause de dépression osmotique élevée de la solution du sol, la capacité de rétention en eau diminue en fonction de la nature du cation dans l'ordre suivent : $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ (HALITIM, Etude experimentation de l'amélioration des sols sodique d'Algerie en vie de leur mise en culture , 1973).

I.4.2 Structure et perméabilité

La stabilité structurale d'un sol diminué des que le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15% (DUTHIL, 1973).

Le gonflement et la dispersion dépendent tous deux de la minéralogie des argiles et des unités totales de Na^+ adsorbée sur les sites d'échange (ALDERMOCH, 1976).

Les sols qui ont un taux élève de sodium échangeable ont une structure dense, compacte et sont difficiles à labourer quand ils sont secs, et ont une faible perméabilité pour l'eau quand ils sont mouillés (BOULAINÉ J. , hydro-pédologie, des écoles nationales de génie rurale, , des eaux et des forets, 1971).

I.5 Classification des sols salées

La classification française paraît la plus appropriée dans les zones arides et en particulier pour les sols salés puisque selon (HALITIM, Sols des region arides d'Algerie ., 1988), les sols salés sont rangés dans la classe des sols sodique, elle-même subdivisée en trois sous classe :

I.5.1 Sous classe des sols sodiques à structure non dégradée

Ce sont des sols salins (solonchak), soumis l'influence d'une nappe salée peu profonde, riches en sels de sodium, caractérisé par une conductivité électrique supérieure à 4 mmhos/cm (DUCHAUFFOUR, 1988) .

I.5.2 Sols salins à complexe calcique (solontchaks)

Très fréquents en Alger (FAO, 2005), caractérisé par $\text{ESP} < 15\%$ et un profile peu différencié (SERVANT M. , 1975) .

Ils se rencontrent dans les zone steppiques ou désertique dans lesquelles des nappes salées contient à l'instar des sels solubles, une quantité important de calcium qui alimentent le



profil (HALITIM, Etude expérimentation de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture, 1973).

I.5.3 Sols salins à complexe sodique (solontchak sodique)

Ce type de sol est caractérisé par un ESP >15% se rencontre en bordure de mer, ou dans les lagunes côtières, sa structure tend à se dégrader et devient poussiéreuse (DUCHAUFFOUR, 1988).

Profils des type AC, $CE > 4 \text{ mmhos/cm}$, $pH < 8,5$, $ESP > 15\%$

I.6 Sous classe des sols sodiques à structure dégradée

Selon (DUCHAUFFOUR, 1988) on distingue trois groupes selon l'étape d'évolution des profils :

I.6.1 Sols alcalins non lessives (solontchak solonetz)

Leur profil de type AC ou A (B) Cils sont fréquents en Algérie (DURAND, 1953) $CE > 4 \text{ mmhos/cm}$ à 25 °C, $pH > 8,5$, $ESP > 15\%$

I.6.2 Sols alcalins lessives

L'horizon de surface A pauvre en argile (migration par l'effet de lessivage) (DUCHAUFFOUR, 1988). Ces sols existent en Algérie mais sont très localisés dans les zones humides (DURAND, 1953). $CE < 4 \text{ mmhos/cm}$, $pH > 8,5$, $ESP > 15\%$.

I.7 Effets de la salinité sur les propriétés du sol

I.7.1 Effets sur la structure

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

La quantité de cations Na^+ adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion.

La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (CALVET, 2003).

I.7.2 Effet sur la perméabilité

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



I.7.3 Effet sur le pH

La réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont neutre (CaSO₄, MgSO₄), d'autres sont alcalinisant (NaHCO₃, CaCO₃, NaCO₃).

I.7.4 Effet sur la fertilité chimique des sols

La faible fertilité des sols salés est généralement liée à la présence de sels solubles, en particulier les sels de sodium (SZABOLCS, 1944). L'étude de l'interaction entre la salinité et la fertilité sur la croissance, la composition minérale et le métabolisme de l'azote des plantes, a montré que la salinité diminue la fertilité du sol (GARG, VYASS, KATHJU, B, & S, 1963).

I.7.5 Effet sur les végétaux

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

I.8 Répartition des sols salés

I.8.1 Dans le monde

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (ZID, 1991). Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (HOUEROU, 1975)

Tableau 1: Superficie affectées par la salinité dans le monde

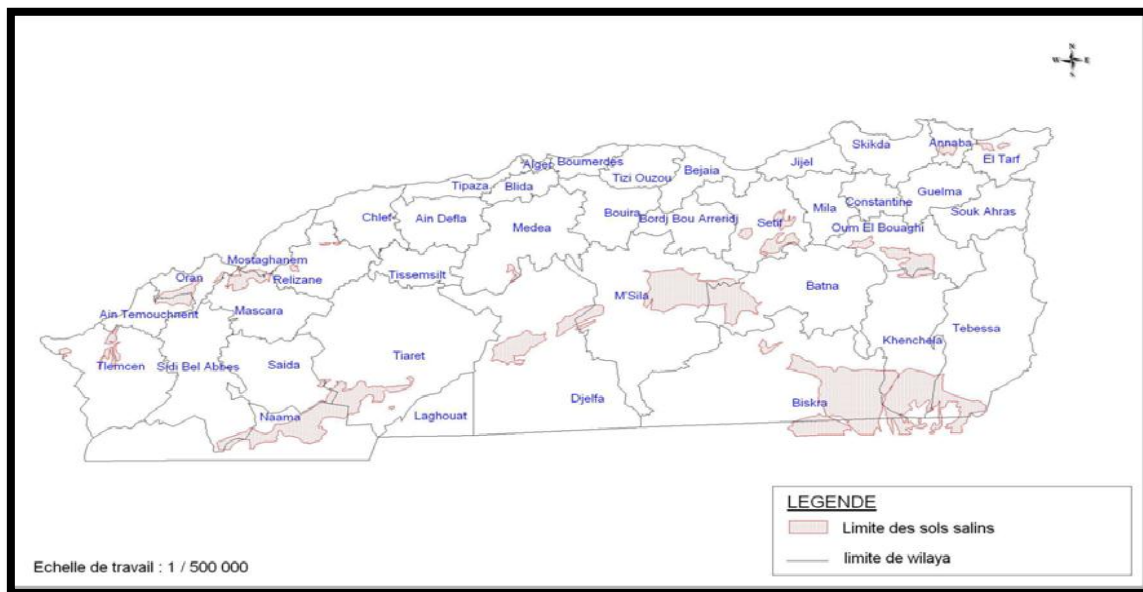
Régions	Superficies (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du nord	15,7
Amérique du sud	129,2
Asie du sud	87,6
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du sud-est	20
Asie du centre et du nord	211,7
Total	954,8

Source :(HOUEROU, 1975).



I.8.2 En Algérie

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



Source : (INSID, 2008)

Figure 1 : répartition des sols salin du nord l'algerie

I.9 Réhabilitation et mise en valeur des sols salés

Indépendamment des facteurs économiques qui doivent nécessairement être pris en compte, la mise en valeur des salés va dépendre des processus physico-chimiques qui les affectent. Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité. La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.
- Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (Girard, Walter, Remy, Berthel, & morel, 2005).

I.9.1 Lixiviation

Le meilleur moyen de control de la salinité du sol pour maintenir un bilan des sels favorable dans le profil des sols irrigué est lessivage, c'est à-dire tendre vers une irrigation



efficace avec un lessivage adéquat minimal afin de minimiser la pollution du site. Car malheureusement, le lessivage des eaux vers les drains à partir de la zone racinaire du sol envoie fréquemment les sels dans la nappe superficielle, ce qui peut dégrader la qualité de l'eau et de site (DAOUD, HALITIM, & A, 1994).

I.9.2 Meilleure utilisation de l'eau de l'irrigation

L'irrigation par aspersion est plus efficace que l'irrigation de surface, mais elle peut aussi déposer des sels directement sur la plante si l'eau d'irrigation est saline, il est préférable de pratiquer l'irrigation au goutte-à-goutte qui mesure la quantité d'eau distribuée à la surface autour de la plante. Cette salinisation dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité de l'eau d'irrigation et du sol, les conditions climatiques et le niveau de la nappe.

- **La qualité de l'eau d'irrigation et du sol :** Si cette eau est chargée en sels surtout ceux contenant l'ion de Na^+ , l'échange de ce dernier avec la solution du sol va enrichir le sol en cet élément, processus qui entraînera par la suite sa sodification.
- **Condition climatique :** Un climat sec crée une demande d'évaporation élevée, qui se traduit par la nécessité de grandes quantités d'eau pour l'irrigation des cultures et donc par des apports supplémentaires de sels.
- **Niveau de la nappe :** une nappe proche de la surface réduit selon (LAHLOU, et al., 2002) la profondeur jusqu'à laquelle les sels devraient être lessivés, ce qui favorise leur remontée par capillarité. Selon (KUST, 1997) montre que la répartition des sels dans le profil est régie par :
 - ✓ Le niveau des eaux souterraines.
 - ✓ La durée de la sécheresse.

D'après (you, et al., 1992), suggèrent que l'accumulation des sels en surface dépend de la profondeur de la nappe et de la texture du sol. En fonction de leur extrait sec (SERVANT, SERVAT, & t.F, 1966) donne la classification suivante des nappes.



Tableau 2: Classification des nappes phréatiques

Extrait sec (g/l)	Différents type de nappes
<0,5	Nappe douce
0,5-4,5	Nappe très faiblement salée
4,5-10	Nappe faiblement salée
10-25	Nappe moyennement salée
25-45	Nappe fortement salée
45-100	Nappe très fortement salée
>100	Nappe excessivement salée

Source : (SERVANT, SERVAT, & t.F, 1966)

I.9.3 Drainage

Le drainage de même que l'irrigation est une opération qui a pour objectif de maintenir l'humidité du sol dans les limites requises pour une croissance optimale des végétaux.

Généralement, le drainage de certaine zone est nécessaire soit pour rabattre une nappe phréatique proche de surface du sol et nuisible pour la culture, ou évacué les eaux salée (lixiviation) pour autre zone (CHERBUY, 1991).

I.9.4 Tolérance des plantes aux sels

La tolérance des plantes à la salinité varie largement selon les espèces et les variétés.

A l'influence génétique sur la tolérance de plantes cultivées à la salinité, il y lieu d'ajouter différents facteur liés au milieu (température, humidité, intensité de la lumière, fertilité).

Les aubergines, les artichauts , la chaux fleurs ,le navet, l'épinard, le poivron ,le tomate ,la pomme de terre , la fève , les haricots , l'oignon , le radis et les courgette sont des cultures tolérantes aux sels et l'avantage de terminer leur cycles phréologique avant la remontée saline de l'été et de l'automne (MIMOUNE, 1995).

Le tableau suivant indique le seuil de tolérance à la salinité pour quelque plante .bien sur ces donnes ne servent que l'indication et doivent être modulées en fonction de la variété choisie, du climat, des conditions spécifique de chaque sol et des pratique culturales.



Tableau 3: Tolérance de certaines plantes à la salinité

Plantes(nom commun)	Nom scientifique	CE(pâte saturé)mMhos/cm	Classe de tolérance
Blé tendre	Triticumaestivum	6,0	Modérément tolérant
Blé dur	Triticumturgidum	5,9	Tolérant
Concombre	Cucumissatives	1,1	Modérément sensible
Laitue	Lactuasativa	1,7	Modérément sensible
Oignon	Alliumcepa	/	sensible

Source : (MIMOUNE, 1995)

I.10 Conclusion

Les sols sales présentent vis –à-vis de leur environnement naturel ou anthropique des contraintes variées dans leur extension .des moyens technique existent pour y remédier mais nécessitent des investissements financiers conséquents .Les pays à faible revenus, appartenant à des environnements arides et semi-arides, ont ainsi des difficultés s’accrues pour intensifier leur production agricole.

Les environnements salés ont orienté les études scientifique vers deux vois principales d’une part, la caractérisation et le fonctionnement physico-chimique des sols salés, d’autre part l’adaptation et la tolérance des végétaux au stères salin.

En résumé pour exploiter correctement un milieu posant des problèmes de salinité, il faut l’étudier dans ses dimensions spatiales et temporales :

- Détecter l’origine des sels.
- Examiner les caractères des sols (salinité, pH, perméabilité...).
- Calculer les besoins en irrigation et drainage établir le plan d’aménagement de la zone.
- Choisir des cultures tolérantes.



II. Analyse spatiale

II.1 Introduction et historique

Un certain nombre de points paraissent actuellement essentiels pour l'orientation des travaux et recherches dans le domaine de l'analyse spatiale et de la cartographie des sols :

- La notion de transfert d'échelles

- La nécessité d'analyses détaillées de la structure et du fonctionnement des couvertures pédologiques de manière à permettre une modélisation des organisations spatiales, et la connaissance des processus spatiaux nécessaire pour une gestion rationnelle de l'espace rural

- L'intérêt que présente maintenant l'utilisation des outils statistiques et informatiques à tous les stades de la démarche du pédologue cartographe (Jamagne, King, Girard, & Hard, 1993).

L'analyse spatiale de la couverture pédologique permet de restituer une information spatiale pertinente et fiable. (GIRARD, WALTER, REMYE, BERTHEL, & MOREL, 2005).

L'origine de l'analyse spatiale dans son concept actuel remonte selon Berry et Marbleux années 1930, avec une forte évolution entre les années 1950 et 1960. Au cours de cette deuxième période, la géographie s'est ouverte aux méthodes quantitatives et techniques d'échantillonnage notamment. Ce tournant est considéré comme une transformation profonde de la méthode de la géographie (Régis & COLLET, Analyse spatiale de l'information géographique, 2005).

L'étude de la variabilité spatiale des paramètres physique et hydrodynamique du sol s'est développée de façon considérable depuis une vingtaine d'années, comme l'ont souligné de nombreux auteurs (Nielsen, Biggar, & Erh, 1973) ; (Peck A.J, 1983) ; (Gascuel-Oudou, 1984). L'analyse spatiale des sols reste pourtant généralement mal connue (Girard, Walter, Remy, Berthel, & morel, 2005)

La variabilité spatiale des sols apparaît ancienne, (BOULAIN J. , 1989) cite des extraits de textes anciens indiquant que la diversité des sols a été reconnue dès l'antiquité, son étude scientifique est beaucoup plus récente et date uniquement de la fin du XIX^{ème} siècle, initiée par les précurseurs de la Pédologie, en particulier (DOKOUTCHAEV, 1983).



L'analyse spatiale des sols. Ce concept recouvre l'ensemble des méthodes et des techniques permettant d'étudier ou de représenter les variations des propriétés des sols dans l'espace géographique (Walter, 2002).

II.2 Les bases de l'analyse spatiale

II.2.1 Système d'information géographique

L'analyse spatiale étant une composante des systèmes d'information géographique sa compréhension suppose que le lecteur possède une bonne formation dans ce domaine

(Régis & COLLET, Analyse spatiale de d'information géographique, 2005).

Un système d'information géographique est un ensemble de matériels de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion (FICCIDC, 1988).

Le système d'information géographique (SIG) peut être très simplement défini comme un outil informatique qui permet d'intégrer, l'analyse et de représenter des données qui ont ou non une dimension géographique (LAHLOU, et al., 2002).

Les principales fonctions du SIG sont :

- La saisie, le stockage et la gestion de données.
- Le traitement, l'analyse, la sélection et l'affichage des données.
- La production de cartes, rapport, tableaux et autres synthèses d'information.

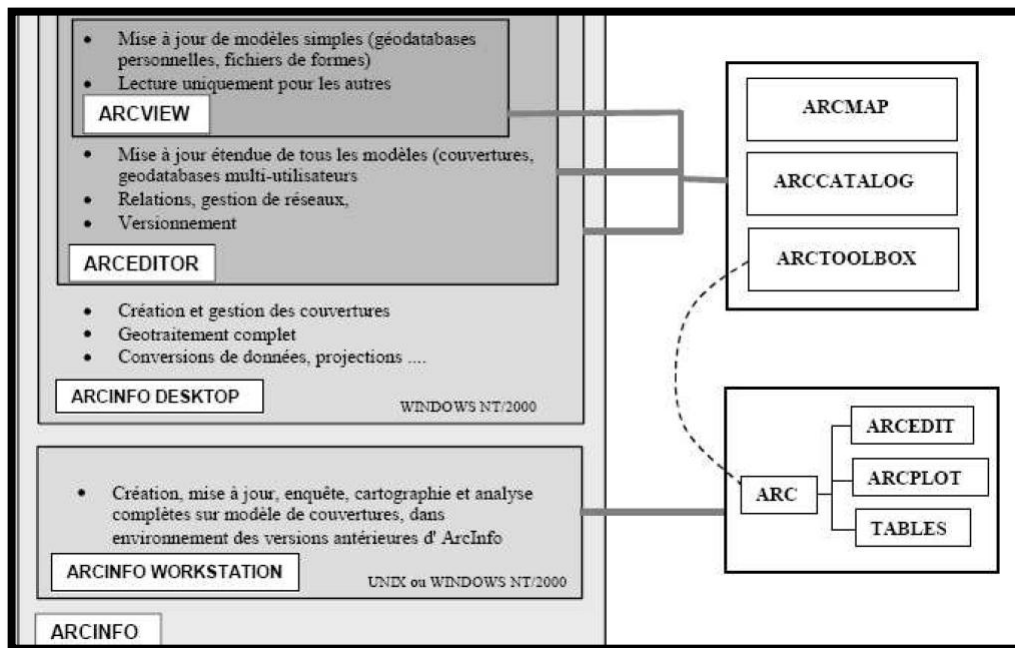
Les possibilités de l'informatique permettent désormais de s'affranchir des contraintes graphiques et de mémoriser le maximum de données de base ou élaborées, ceci en décomposant l'information et en la structurant en "couvertures d'objets successives que l'on peut superposer. L'analyse de l'information cartographique a conduit à décrire un modèle informatique des données spatialisées comprenant deux ensembles : l'ensemble graphique et l'ensemble sémantique correspondant respectivement au contenant et au contenu des plages cartographiques (Girard, Auroseau, King, & Legos, 1989).



II.2.2 ARCGIS

Arc gis est un SIG regroupant des logiciels client (Arc view, Arc editor, Arc info et Arc explorer).(Midekor & Wellens, 2007).En 1981, ESRI (Environmental Systems Research Institute) lança son premier logiciel SIG commercial appelé Arc Info, qui combinait l’affichage d’entités géographique points, lignes, ou polygone avec des outils de gestion de base de données pour associer des attributs à ces entités. Le modèle de données géographique utilisé alors était appelé « modèle géo relationnel » il a été utilisé jusqu’à la version 7 d’Arc Info. En 2000 ESRI a lancé la version 8d’Arc Info, qui introduit de nouvelles applications bureautique pour Windows ainsi qu’un nouveau modèle de données « la géodatabase » tous en maintenant l’ancien modèle géo relationnel (BONNET, 2000).

Aujourd’hui la gamme ESRI s’appelle ARCGIS, et peut se décomposer en trois partie : ARCVIEW, ARCEDITOR et ARCINFO



Source :(BONNET, 2000)

Figure 2: Description du logiciel Arcgis

II.2.2.1 Extensions ArcGIS

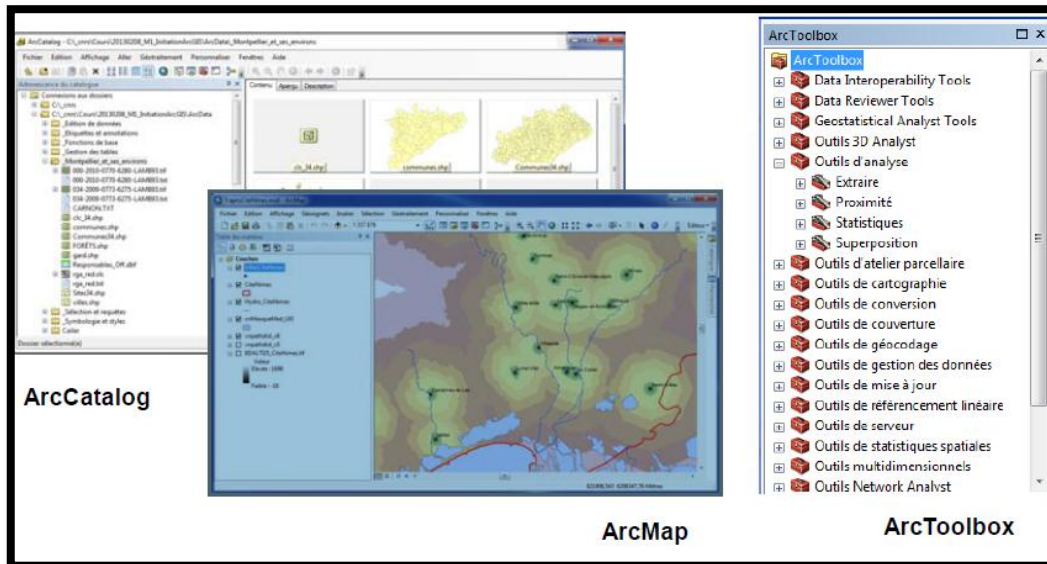
Parmi les extensions les plus utilisées en analyse spatial figurent :

- Spatial Analyst : traitement des données image (raster).
- 3D Analyst (applications ArcScene et ArcGlobe) : analyse de surface, visualisation 3D.



➤ Geostatistical Analyst : fonctions avancées d'interpolations de surface (krigeage...).

Les applications d'Arc GIS sont gérées par une boîte à outils commune appelée ArcToolbox (BOHBOT, 2014).



Source : (BOHBOT, 2014)

Figure 3: Les applications d'Arcgis

II.2.2.2 Arc Map

C'est l'application principale elle permet de visualiser les données de les saisir et les mettre à jour, d'effectuer des analyses de cartographie et mettre en page ces données géographiques (Bonnet E, 2010). ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données (SOUDANI, 2006).

II.2.2.3 Arc Catalog

C'est dans Arc catalog que sont définies toutes les connexions aux données nécessaires, ces connexions peuvent appeler des dossiers sur disque des bases de données en réseau ou des serveurs internet, Arc catalog repose sur plusieurs méthodes d'affichage du contenu de données et permet d'explorer rapidement le contenu des différents jeux de données présents (Bonnet E, 2010).

II.3 Méthode d'étude de la variabilité spatiale

II.3.1 Approches déterministe

L'approche de type déterministe développée par le premier pédologue reposait sur l'idée que l'on pouvait reconnaître les principaux déterminants de la variabilité spatiale de la



couverture pédologique, ce qui permettait de la cartographier à partir d'un nombre limité d'observation directe, (JENNY, 1961) a proposé une équation générale résumant cette démarche :

$$S = f (CL, O, R, P, T)$$

Où S représente les propriétés du sol que l'on cherche à estimer en tout point de l'espace selon les différents facteurs reconnus : le climat(CL), les organismes(O), le relief(R), le matériau parental(P), le temps(T). De plus, l'activité humaine (travail du sol, fertilisation, amendement, aménagement, pollution) se surimpose souvent de façon prédominante) l'effet des conditions naturelles et est susceptible de modifier profondément les propriétés biologique, physique et chimique des sols. (WEBSTER & BECKETT, Quality and usefulness of soil maps. Nature London, 1968); (LEGROS J. , Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II.Précision dans la caractérisation des sols., 1978);(VAUCLIN M. , 1982).

Pour séduisante qu'elle soit, cette approche s'est toujours heurtée à un certain nombre de difficultés inhérentes à l'étude de la variabilité spatiale des sols, qui sont de plusieurs ordres, les déterminants des sols sont nombreux, interagissent entre eux et sont susceptibles de varier dans le temps (YAALON, 1971);(WEBSTER R. , 2000). De plus, l'activité humaine (travail du sol, fertilisation, amendement, aménagement, pollution) se surimpose souvent de façon prédominante à l'effet des conditions naturelles et est susceptible de modifier profondément les propriétés biologiques, physiques et chimiques des sols. (BUTLER, 1980) ;(BAIZE D. , Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du Sol, 1986); (RUELLAN, 1989); (BAIZE & GIRARD, 1995)qu'il ne s'agissait pas d'une entité naturelle bien définie dont on pouvait déduire aisément les caractéristiques à partir de la reconnaissance de quelques propriétés diagnostiques. De très nombreux travaux ont ainsi mis en évidence une variabilité souvent importante de propriétés du sol parmi les échantillons attribués à un même type de sol (BECKETT & WEBSTER, Soil variability: A review. Soils fert., 1971); (BANFIELD & BASCOMB, 1976); (WILDING & DREES, 1983).

La densité d'échantillonnage appliquée à l'étude des sols est souvent très faible même pour des études détaillées (Tab. 4) : en règle générale, la fraction échantillonnée est très inférieure au millionième du volume étudié (LEGROS J. , 1996). Notre connaissance du sol est donc très fragmentaire et on conçoit aisément que la description de la variabilité des sols ou la reconnaissance de ses déterminants soit difficile, à moins de disposer d'outils de compréhension ou de spatialisation puissants.



Tableau 4 : Ordre de grandeur des densités d'échantillonnage du sol

	Analyse structurale (Widiatmaka, 1994)	Cartes pédologiques (Jamagne, 1967)			Synthèse nationale des analyses de terre [20]
		1/10.000	1/25.000	1/100.000	
1 observation tarière pour ...	0.005 à 0.1 ha	1 à 5 ha	5 à 10 ha	20 à 100 ha	20 à 100 ha
1 observation fosse pour ...	0.05 à 0.5 ha	10 à 50 ha	50 à 100 ha	500 à 10.000 ha	-
Volume échantillonné / volume total	1/3.000 à 1/70.0000	1/600.0000 à 1/3.000.000	1/3.000.000 à 1/6.000.000	1/12.000.000 à 1/60.000.000	1/12.000.000 à 1/60.000.000

Source : (LEGROS J. , 1996)

II.3.2 Approche statistique

Les statistiques élémentaires : nombre d'échantillons, minimum, maximum, moyenne, variance ou écart-type, ainsi que la médiane et les quartiles, complétés par le coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne), fournissent un résumé statistique de la teneur. Par exemple, la comparaison des moyennes, minimums et maximum pour deux types de sols peut faire apparaître des valeurs systématiquement plus élevées pour l'un d'eux. (Chilès, et al., 2005).

En statistiques spatiales, les données sont collectées en des lieux dont on a relevé la position géographique dans le but d'utiliser cette information spatiale dans la modélisation statistique. On classe habituellement les statistiques spatiales en trois grands domaines, qui correspondent à des types de données distincts. Lorsque les données sont échantillonnées irrégulièrement mais peuvent en principe être mesurées en tout point d'un domaine continu (p.ex. les teneurs en matière organique dans un champ agricole) on utilise le formalisme des champs aléatoires continus ; c'est le domaine habituel de la géostatistique. Lorsque, par leur nature même, les données sont liées à un réseau (pour des images ou des données récoltées sur des entités administratives, etc.), il est certes possible d'utiliser le formalisme de la géostatistique (DENIS & ALLARD, Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique, 2012)

La définition des contours d'un ensemble de méthodes statistiques dédiées à l'étude de la variabilité spatiale peut être considérée comme récente à l'échelle de l'histoire de la statistique puisqu'attribuable à (CRESSIE N. A., 1993). Auparavant, les concepts sous-jacents aux différentes méthodes qui composent aujourd'hui les statistiques spatiales apparaissent essentiellement dans les sciences de l'environnement sous des formes plus



orientées vers des applications spécifiques : évaluation des ressources minières, gestion des ressources forestières ou halieutiques, météorologie.

II.3.2.1 La statistique descriptive

S'attache à produire des indicateurs sur les données globaux synthétique de tendance centrale et de dispersion, tels que le mode, la médiane, la moyenne, la variance, etc. Est plus. Elle tente d'établir des liens entre les observations et la population sous-jacentes, ainsi qu'entre les variables manière à estimer un comportement du phénomène. Connaissant le comportement il devient possible de prévoir évolution future (RÉGIS & COLLET, Analyse spatiale de d'information géographique, 2011).

II.3.2.2 La statistique Explicative

La seconde voie a résidé dans le développement considérable des approches statistique pour décrire les corrélations spatiales des propriétés des sols et en prédire, avec une précision connue, la valeur en des sites non reconnus. Une première possibilité consiste à appliquer la théorie d'échantillonnage dite classique(COCHRAN, 1977)à l'étude de la variabilité spatiale des sols : la couverture pédologique est découpée en strates jugées homogènes et on applique au sein de chacune de ces strates un échantillonnage aléatoire permettant d'estimer, de façon non biaisée, des paramètres statistiques de position (moyenne, médiane, mode) ou de dispersion (variance,interquartile...) des propriétés du sol. Cette approche est qualifiée de « **design based**» par de nombreux auteurs (CRESSIE N. , 1991);(BRUS & DE GRUIJTER, 1997) car elle introduit une grandeur aléatoire au niveau de la stratégie d'échantillonnage, le sol étant considéré comme une population infinie. Elle est utilisée de longue date en matière d'expérimentation agronomique (SNEDECOR & COCHRAN, 1971) ;(DAGNELIE, 1981); (VAUCLIN M. , 1982),et peut être aisément couplée à la démarche de cartographie pédologique classique, qui peut fournir la stratification sur laquelle se fonde l'approche statistique. On dispose ainsi d'un moyen de décrire statistiquement la variabilité spatiale au sein des unités cartographiques par un échantillonnage indépendant de la phase de levé de la carte (BECKETT & WEBSTER, 1971);((MARSMAN & GRUIJTER, 1986).



II.3.3 Le nombre d'observation (échantillonnage)

Le nombre d'observation est défini par la résolution désirée. Une approche empirique loi du quart (**Boulain, 1980**), fournit un premier ordre de grandeur du nombre d'observation : elle édicte la nécessité d'avoir un site d'observation pour un quart de cm^2 de carte finale, en tenant compte de l'expérience de cartographe et de la complexité supposée de la zone d'étude (**legos, 1996**)

L'observation de la couverture pédologique en profondeur. Elle est le plus souvent localisée en des sites représentant un échantillonnage infiniment petit vis-à-vis des volumes étudiés. Les sols observés et les horizons qui les composent sont d'abord analysés d'un point de vue strictement statistique, liaisons entre variables, proximité géographique (**GIRARD, AUROUSSEAU, KING, & LEGROS, 1989**).

La faible résolution de l'échantillonnage dans l'analyse spatiale des sols est un contrainte majeure qui avait déjà été ressentie de longue date (**STAFF., 1951**); (**JAMAGNE, Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron, 1967**). Néanmoins, les premiers travaux mettant en œuvre des approches statistiques sur des propriétés des sols ont montré que la variabilité spatiale des propriétés des sols avait été de façon générale sous-estimée ; ils ont de ce fait jeté un doute sur l'aptitude des méthodes classiques à la décrire. Deux types de résultats apparaissaient particulièrement troublants :

- d'une part, la mise en œuvre des statistiques classiques (de type design based) permettant de calculer le nombre d'échantillons nécessaires à l'estimation d'une moyenne avec une précision donnée, conduisait à des valeurs beaucoup plus importantes que les densités d'échantillonnage classiquement pratiquées (**WEBSTER & BECKETT, 1968**); (**LEGROS J. , Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. Ann. Agron., 1978**).

- d'autre part, les premières applications de la géostatistique aux propriétés des sols révélaient des variogrammes expérimentaux présentant des portées très courtes (de l'ordre de la centaine de mètres) avec fréquemment de forts effets-pépite (**MEROT, GASCUEL-ODOUX, & CHEVASSU, 1986**).



II.3.4 L'emplacement des échantillons

L'emplacement des observations de terrain peut également être défini selon l'approche statistique est déterminé une fois pour avant la prospection, selon des procédures de tirage aléatoires prédéfinies, qui permettent une exploitation statistique ultérieure des observations (FRONTIER, 1997).

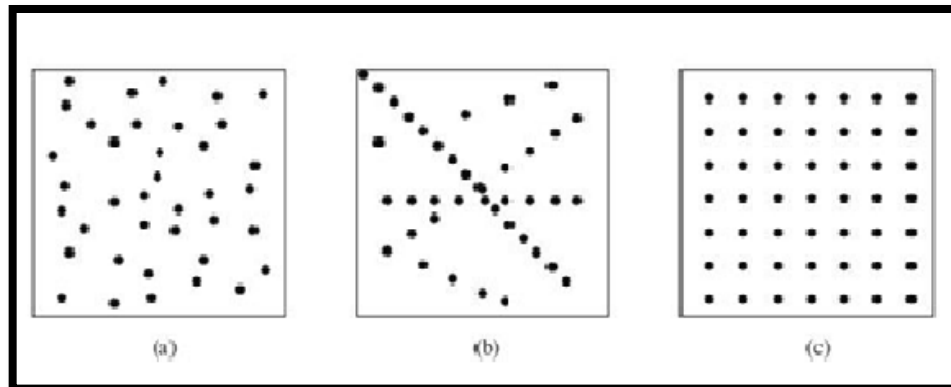


Figure 4 : formes d'échantillonnage spatial : (a) aléatoire ; (b) systématique par transect; (c) systématique grille.

II.4 Modèles de la variation spatiale

II.4.1 Phénomène discret et continu

Un phénomène spatiale discret est circonscrit par ses limites, il constitue de ce fait un objet géographique, la structure du système d'information qui lui correspond tente donc à reproduire cette perception, on l'appelle pour cette raison l'approche objet

Un phénomène est dit continu dans l'espace s'il est défini en tout point de l'espace géographique et que ses propriétés varient localement de manière graduelle et structurée. (RÉGIS & COLLET, Analyse spatiale de l'information géographique, 2011).

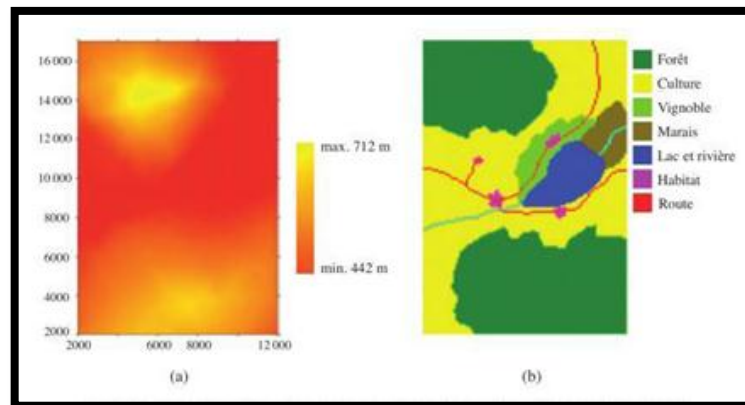


Figure 5 : exemple de phénomènes spatialement continu et discret : (a) altitude (continu) ; (b) l'occupation du sol (discret).

II.4.2 Phénomène spatiaux discontinu

Se rapportent à la modélisation en objet de l'espace géographique, les propriétés associées se déclinent en trois dimensions : géométrique, thématique et spatiale, les projets spatiaux sont décrits par des indices selon leur forme leur taille. La distribution spatiale ainsi que par le degré éventuel de dépendance spatiale. Un phénomène est discontinu si sa distribution des propriétés thématique dans l'espace géographique est discontinu ou corollairement, s'il ne peut être décrit par une variable continue l'exemple le plus courant est l'occupation du sol (Régis & COLLET, Analyse spatiale de l'information géographique, 2011).

II.5 La modélisation de la variabilité spatiale

II.5.1 L'approche cartographique classique

La cartographie de ces vingt-cinq dernières années est principalement fondée sur des techniques d'informatisation. Il existe peu de travaux de recherche en cartographie des sols. (WALTER, 2002) ; (LAGACHERIE, 2002) présentent une synthèse des travaux des dernières décennies. La recherche en cartographie est souvent employée à des fins autres que la détermination du fonctionnement propre/intrinsèque des sols. Elle sert, par exemple, à expliquer le fonctionnement de l'hydromorphie (CHAPLOT, 1998) ; (CHERY, 1995), ou pour des études de zonage, ou à comprendre l'organisation spatiale du carbone dans les sols (ARROUAYS, 1995).

L'analyse spatiale des sols a reposé pendant plusieurs décennies sur une méthode de cartographie standard, formalisée de façon détaillée par les cartographes américains (SOIL, 1951) et adaptée en France par (JAMAGNE, 1967). Celle-ci vise à donner une image simplifiée de l'organisation spatiale des sols (BOULAIN J. , Pédologie appliquée. Ed. Masson, 1980) ; (LEGROS J. , 1996).



II.5.2 L'approche géostatistique

Daniel Krieger, géologue dans les mines d'or, proposa dans les années 60 une méthode statistique pour estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'échantillons pris autour du bloc à exploiter. Dix ans plus tard, Georges Matheron développa un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé le « variogramme » et une méthode d'estimation basée sur le « variogramme » appelée le « krigeage ». Aujourd'hui, la géostatistique s'exprime dans des champs d'applications comme l'océanographie, la météorologie, le génie civil, l'environnement, la géologie, la qualité de l'air et des sols, la santé, etc. Techniquement, la géostatistique utilise également une combinaison linéaire des données observées, mais à la différence des méthodes classiques d'interpolation, elle tient compte à la fois de l'information relative à leur position et du caractère aléatoire du phénomène étudié. De plus, elle permet d'intégrer des informations auxiliaires dans l'estimation. (WILFRID, 2006).

Cette approche géostatistique a été appliquée en science du sol au début des années 1980 (BURGESS & WEBSTER, Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. of Soil Sci., 1980); (HAJRASULIHA, BANIABBASSI, METTHEY, & NIELSEN, 1980) et a connu très rapidement un développement considérable trouvant des applications dans tous les domaines de la science du sol : hydrologie des sols (GASCUEL-ODOUX, 1984), physique du sol (VOLTZ, 1986), chimie des sols (GOOVAERTS, GERARD, & FRANKART, 1989), biologie des sols (CANNAVACCIUOLO, 1998). Bénéficiant d'une recherche méthodologique très importante au niveau international permettant peu à peu d'élargir son champ d'application, la géostatistique est devenue la méthode de référence en matière d'analyse spatiale des sols (WEBSTER & OLIVER, 1990).

En effet, dans le domaine des sciences des sols (BURGESS & WEBSTER, 1980), ont été les premiers à exploiter cette approche krigeage ordinaire (KO) pour cartographier les variations spatiales de propriétés des sols et de décrire les limites progressives entre unités pédologiques. Depuis lors, cette méthode a été largement utilisée pour la cartographie de plusieurs propriétés des sols, telles que : la salinité, la fertilité, la pollution et la distribution spatiale des sols (HEUVELINK & WEBSTER).

II.5.2.1 L'analyse variographique

L'analyse variographique est une étape préalable au krigeage qui permet de l'estimer. Cette analyse est en fait l'étude du comportement spatial de la variable régionalisée examinée. Le concept de stationnarité est d'abord défini, puis le modèle de base du krigeage est exposé



en termes de variations spatiales à différentes échelles. De la notion de stationnarité est tirée une fonction représentant la dépendance spatiale : le semi-variogramme (SOPHIE, Le krigeage: revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations, 2005).

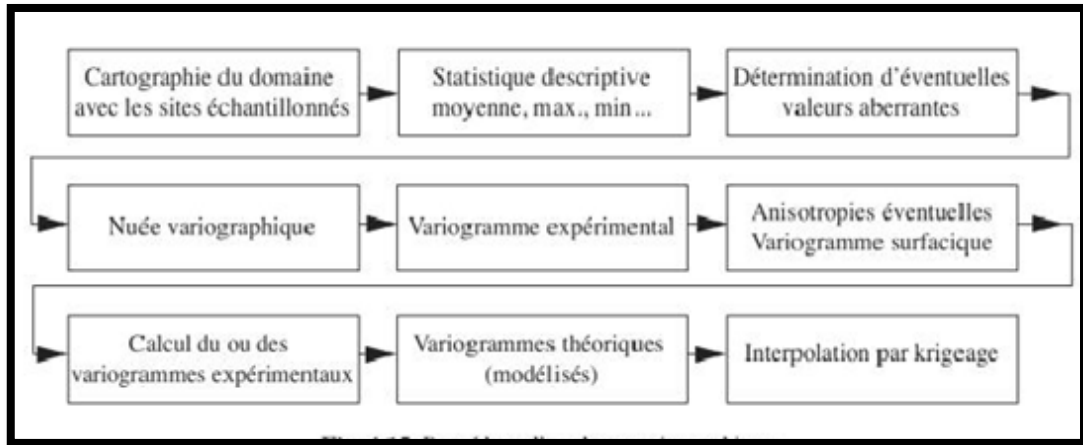


Figure 6 :procédure d'analyse variographique.

II.5.2.2 Nuée variographique

La corrélation décrit le degré de liaison entre deux variables, par exemple la teneur mesurée en deux échantillons distants de 100m. À la notion de corrélation, on préfère celle plus générale de variabilité, qui mesure l'amplitude de l'écart entre les valeurs.

La nuée variographique est le nuage de corrélation du demi-écart quadratique. $\gamma_{ij} = \frac{1}{2} [z(x_i) - z(x_j)]^2$ fonction de la distance d_{ij} entre les points de prélèvements x_i et x_j .

Une nuée variographique se présente comme un nuage de points. Le moyen le plus simple pour la résumer est de calculer la moyenne par classe de distance (voir la courbe tracée sur la nuée, Cette courbe croît généralement avec la distance h et se stabilise parfois à partir d'une certaine distance.

II.5.2.3 La carte variographique

Est un moyen très commode pour vérifier la présence d'éventuelles anisotropies. Elle consiste à représenter à l'aide de couleurs la valeur du variogramme en fonction de la distance et de l'orientation. Lorsque le phénomène est isotrope, le variogramme dépend seulement de la distance mais pas de l'orientation, la carte variographique se présente sous forme de cercles concentriques centrés sur l'origine.

La carte variographique met facilement en évidence des anisotropies différentes pour les structures aux différentes échelles. Les directions principales d'anisotropie, correspondant



aux directions de plus forte et de plus faible variabilité, se lisent parfois directement sur la carte (Chilès J. , 2004).

II.5.2.4 Le variogramme expérimental

Le variogramme expérimental est utile pour explorer les données, mais il n'est pas adéquat pour répondre aux questions de prédiction que nous verrons au chapitre suivant. Pour cela nous devons disposer d'un modèle de variogramme, pour les deux raisons suivantes :

– Pour réaliser la prédiction, il faudra connaître le variogramme à des distances pour lequel

Il n'a pas été calculé empiriquement selon les équations ci-dessus. Il nous faut donc un modèle pour ces distances

(DENIS, 2012).

Le variogramme est défini expérimentalement comme la moyenne sur le champ étudié, du demi carré de l'écart entre les valeurs mesurées en deux points, en fonction de la distance et de l'orientation séparant ces deux points Le variogramme est la moitié de l'écart quadratique moyen en fonction de la distance h (Chilès, et al., 2005)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{n(\vec{h})} \sum (z(x_i + \vec{h}) - z(x_i))^2$$

Avec :

- $n(\vec{h})$ nombre de couples de points distants de (\vec{h}) .
- $(z(x_i + \vec{h}) - z(x_i))^2$ écarts quadratiques des teneurs aux points x et $x + (\vec{h})$.
- $\frac{1}{n(\vec{h})} \sum (z(x_i + \vec{h}) - z(x_i))^2$ moyennes de ces écarts quadratiques pour tous les couples de points distants de h disponibles
- Le coefficient $\frac{1}{2}$ simplifie les calculs ultérieurs.

II.5.2.5 Le semi-variogramme

Le semi-variogramme, fonction qui exprime la variation de la demi-variance est couramment utilisé pour analyser la dépendance des observations spatiales (Nolin, Cambouris, & Simard, La variabilité des sols: son origine et sa gestion., 1997) Elle est à la base de la technique d'interpolation par krigeage. Le semi-variogramme permet de déterminer si la distribution des paramètres étudiés est régionalisée (i.e. possède une structure spatiale),



aléatoire ou périodique. La figure 1 présente un modèle théorique de semi-variogramme où la semi-variance $\gamma(h)$ est fonction de l'intervalle d'échantillonnage (h) et dont l'équation est donnée par :

$$\gamma(h) = 1/2 \text{ var } (Z(x) - Z(x+h))$$

Pour faire l'analyse spatiale d'une propriété, trois paramètres sont importants à considérer dans ce graphique. Ce sont la constante de pépité, le palier et la portée (Smith, Halvorson, & Robert, 1993).

Le variogramme est une fonction de h , croissante et souvent caractérisé par quatre paramètres :

- l'effet pépité : $C0$
- le palier : $C+C0$
- la portée : a

- L'effet de pépité : (nugget) est la valeur de $\gamma(h)$ quand $h=0$. Elle représente la composante aléatoire de la variation et correspond à l'erreur d'échantillonnage et à la variabilité présente à une distance inférieure à l'intervalle d'échantillonnage (lag), donc non prise en considération par le dispositif d'échantillonnage.

- Le palier : si présent, est caractérisé par l'atteinte d'un plateau où $\gamma(h)$ devient constant avec l'évolution de h . Si les échantillons sont reliés les uns aux autres, le semi-variogramme prend une allure linéaire dans sa phase initiale pour ensuite atteindre le palier (Nolin, Cambouris, & Simard, 1997) La valeur de h pour laquelle $\gamma(h)$ atteint le palier s'appelle la portée

- La portée : Distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout. Leur covariance est nulle.

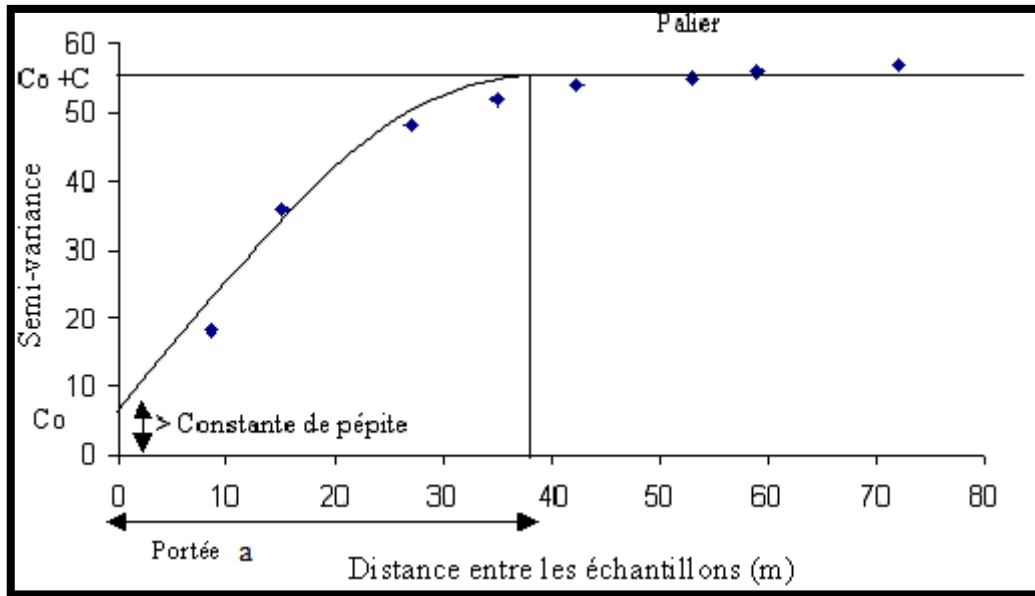


Figure 7 : Semi-variogramme théorique (modèle sphérique).

(Source : (Provencher, 2003))

II.5.3 Interpolation par krigeage.

Le krigeage, développée par (Matheron G. , *Traité de géostatistique appliquée*, Tome I., 1962). Le krigeage sert à effectuer de l'interpolation spatiale, c'est à dire qu'il permet de prévoir la valeur prise par un phénomène naturel un site à partir d'observations ponctuelles de ce phénomène en des sites voisins (SOPHIE, *Le krigeage : revue de la théorie et application au l'interpolation spatiale de données de précipitations*, 2005)

Le variogramme, il est possible de calculer la variance d'estimation associée à tout estimateur linéaire, et de plus de déterminer les pondérateurs qui conduisent à la variance d'estimation minimale tout en assurant une absence de biais : c'est le krigeage. Les principes en sont bien connus. La théorie se développe d'abord dans un monde idéal où moyenne et covariance sont connues ; le krigeage simple jouit alors de nombre de bonnes propriétés : orthogonalité de l'estimateur et de l'erreur d'estimation, non biais conditionnel, identité avec l'espérance conditionnelle dans le cas gaussien. Avec le krigeage ordinaire et le krigeage universel elle se généralise à des cas où la moyenne n'est plus connue, au prix toutefois d'une perte de certaines bonnes propriétés du krigeage simple (Chilès, et al., 2005).



CHAPITRE II

MILIEU PHYSIQUE



I. Situation géographique

Le Hodna signifie des plaines des plaines entourées par des montagnes (FAO, 1971). La plaine du Hodna est insérée dans un cadre montagneux, elle constitue un ensemble de plaines situées à l'est et du nord d'une vaste sebka, plaines qu'enrichissent de leurs eaux les rivières originaires des réseaux hydrographiques, du Tell au Nord et de l'Atlas Saharien au Sud (MIMOUNE, 1995)

La région de M'sila est située au sud-est de l'Algérie, elle fait partie du bassin endoréique du Hodna caractérisé par l'étendue de ses plaines arides, riches en sels et à couverts végétaux clairsemés. La zone d'étude est située dans le périmètre du ksob qui se trouve au Nord du Chott.

II. Les caractéristiques physiques

II.1 Géomorphologie

Le Hodna par son relief et par sa structure est une vaste dépression topographique et également un important bassin tectonique dont l'origine remonte au plissement pyrénéen (lutécien supérieur) qui a donné naissance aux premières chaînes tertiaires avec une dépression dont le djebel Meharga est devenu le centre.

C'est exactement la surface sautée entre les chaînes des montagnes qui entourent le bassin versant du Hodna et le chott lui-même, qu'est au point de vue agricole le plus intéressant (FAO, 1973). Le domaine d'étude est sauté entre les chaînes de montagne qui entourent le bassin versant du Hodna et le chott lui-même, qu'est au point de vue agricole le plus intéressant. On distingue quatre ensembles géomorphologiques :

II.1.1 Cadre montagneux

Les monts du Hodna formant une barrière orientée Est-Ouest qui réduit les influences maritimes. Par ailleurs, cet écran dont l'altitude varie entre 1400 à 2000 m (le mont M'adid au Nord de M'sila culmine à 1863 m)

II.1.2 Les piémonts

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine, qui s'allonge de l'Ouest en Est aux pieds des montagnes du versant Nord entre les cotes 500 m et 700 m.

C'est un ensemble correspondant de collines ; qui sont découpées et ravinnées par les oueds qui descendent des montagnes (oued M'sila et oued Selmane) et par des réseaux temporaires qui coulent après les pluies.

Les collines sont représentées par des plans inclinés et constituées par des dépôts Mio-pliocène, elles plongent vers le centre de la cuvette sous les alluvions récentes.



II.1.3 Les plaines

La plaine de M'sila couvre une superficie d'environ 500 km². Elle est limitée au nord et à l'est par les glacis. Au Sud, la courbe de niveau 400m marque grossièrement le passage de la plaine au chott d'où une pente de 0,55%.

II.1.4 Chotte el Hodna

Le chott el hodna fait partie d'une sorte de chotte qui s'est développée là où convergent les eaux issues de l'Atlas saharien au sud et l'Atlas tellien au nord. Le chott a une forme elliptique, à une eau salée et s'étend sur 77km de long et 19 km de large. Son altitude moyenne est de 392m et retenue entre les coordonnées géographiques suivantes : 35°18'N-35°32'N et 4°06'E-5°15'E.

II.2 Hydrologie

Le régime hydrologique du chott est lié au régime pluviométrique caractérisé par une forte irrégularité.

La majorité des cours d'eau n'ont pas de débits permanents à l'exception d'Oued Longane, Oued el Han, K'sob, Selmane, Berhoum, Soubella alimentés par des sources et retenues par des « ceds » traditionnelles, conçues pour le stockage de l'eau pour l'irrigation. Le bassin versant présente environ 1/5 de la totalité du bassin hydrologique du chott.

Le sous-sol renferme beaucoup de formations aquifères réparties en plusieurs niveaux (FAO, 1973). Les principales nappes aquifères des bassins de Hodna sont, la nappe phréatique qui se trouve à une profondeur supérieure à 40cm, le taux de salinité de l'eau est de (moins 2g/l au nord) et la nappe captive profonde de 150 à 250 m, elle est peu chargée en sels (0,5 à 2g/l). (MIMOUNE, 1995).

Les réseaux hydrographiques très diversifiés, il y a au moins 22 cours d'eau qui assurent l'alimentation du chott (BOUMEZBEUR, 2002).

II.3 Géologie

La région de Hodna appartient selon (GUIRARD, 1973) à un domaine dit pré-atlasique, le bassin de Hodna est situé au croisement de systèmes structuraux très différents :

L'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, elle présente les formations suivantes :

II.3.1 Le secondaire

- a. Trias : présente une lithologie composée de marnes et de sels.
- b. Jurassique : n'affleure qu'à la faveur d'accidents majeurs dans la partie orientale des monts de Hodna, il est caractérisé par la présence de calcaire.
- c. Crétacé : il forme par des bancs de marnes et de grès avec interaction de calcaire.



II.3.2 Le tertiaire

a. Eocène : les formations paléogènes affleurent en bandes plus ou moins parallèle sur le plan méridional des mots du hodna, il est présente par des grés rouge, des arilles variées, des calcaires et des conglomérats.

b. Oligocène continentale : il est forme par des conglomérats, des grés fins friables et des marnes rougeâtres

c. Miocène : il est constitué d'une alternance de marnes gypseuse avec des grés et calcaire.

II.3.3 Le quartenaire

Est présent par d'anciennes alluvions et des sédiments fins.

II.4 Pédologie :

Selon l'étude pédologique de là (FAO, 1973) les sols de la région du hodna sont les suivent :

II.4.1 Les sols minéraux bruts

Les sols minéraux bruts d'apports alluviaux qui sont des sols très évoluées, constitue de profil de type (A) C, (A) R ou R. la matière organique se trouve sous forme de traces dans les 20 cm supérieure, et atteindre 1 à 1,5 %, dans les 2-3cm supérieure.

II.4.2 Les sols peu évoluées

Ce sont des sols caractérisés par une altération physique plus poussée. Le profil est de type AC. La matière organique peut exister en quantités élevées dans les 20cm supérieures.

II.4.3 Les sols calcimagnésiques

Ce type de sols est déterminé par présence d'ions alcalino-terreux dans les horizons supérieurs et dans la partie inférieurs si elle existe. Le profil de ces sols est de type AR ou ACouA(B) R ou A(B) C.

II.4.4 Les sols halomorphes

Ce type de sols est caractérisé par la présence d'une forte teneur en sels de sodium, et / ou par le sodium échangeable « sols sodique ».

II.4.5 Les sols hydromorphes

Ce type de sols est caractérisé par une hydromorphie important. L'excès d'eau peut se traduits par l'engorgement permanent d'une partie ou de la totalité du profile. L'eau peut provenir de la nappe phréatique ou de la surface en coédition de drainage imparfait.

L'hydromorphie est caractérisé par l'horizonne (Gley) ou de pseudogly.



II.4.6 Les sols isohumiques

Ils sont des sols à profil de type A(B) C, et parfois ABC .le type de profil AC existe rarement. On peut rencontrer en profondeur un horizon de pseudogley ou un horizon à croute calcaire ou gypseuse ou indure .la matière organique est incorporée dans tout le profiles, et est très évoluée dans les horizons supérieurs.

II.5 Climat

La région d'étude est une partie du sous bassin versant d'oued k'sob (M'sila) lequel fait partie du bassin versant endoréique Hodnéen. Dans cette étude, on tendra de procéder à des calculs à partir des données météorologiques disponibles.

Le Hodna est caractérisé par des conditions climatiques sévères un été chaud et sec, un hiver et des saisons intermédiaire troublés par le passage sur la méditerranée et plus rarement sur le Sahara du nord, de perturbations cycloniques donnant un régime des vents variables et quelque fois des pluies (MIMOUNE, 1995)

Les principaux éléments du climat (pluies, température, vent...) sont étudiés sur la base des données récoltées auprès de la station météorologique de M'sila (1988-2013).

II.5.1 La précipitation

On distingue sous le terme général de pluviométrie la quantité totale de précipitation reçue par unité de surface et unité de temps. Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale. (RAMADE, 2003).

Sur la région d'El-Hodna, on relève un gradient de 40mm pour 100mm la partie Nord et un gradient de 20mm pour la partie Sud (DJEBAÏLI, 1984).

Les données de précipitation pour la station météorologique de M'sila s'étendent sur la période allant de 1988 à 2014. La variation interannuelle des précipitations est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 5: Répartitions interannuelle des précipitations (mm).

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
P(mm)	213	282	146	157	105	348	252	125	225	188
Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014			
P(mm)	171	153	121	168	168	179	170			

Source : station météorologique de M'sila (2014)

Les hauteurs annuelles des précipitations pour la période (1998 –2014) varient de 105 mm en 2002 à 384 mm en 2003, tandis que la moyenne pluviométrique interannuelle est égale à 209mm.

On remarque que la pluviosité mensuelle est très variable, et ne suit pas une évolution régulière. Avec un maximum en Septembre et un minimum en Aout voir Tableau n° 6.



Tableau 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
P (mm)	17,38	12,92	15,38	21,58	23,27	9,54	3,69	7,46	27,96	21,38	18,31	18,58

Source : station météorologique de M’sila (2014)

Les quantités pluviométrique sont répartie d’une manière hétérogène où la période pluvieuse s’étend de Septembre jusqu’à Mai.

Afin de connaitre la quantité de précipitation tombée aux différentes phases de développement de la végétation, nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel.

Tableau 7: Répartitions saisonnier des précipitations

Pluviométrie	Automne	hiver	Printemps	Eté	Totale	Indicatif saisonner
P (mm)	69,27	51,33	58,23	20,90	199,73	A .P .H.E
P (%)	35	26	29	10	100	A .P .H.E

Source : station météorologique de M’sila (2014). A : Automne .H : hiver P : Printemps E : Eté

La station de M’sila est caractérisée par un régime saisonniers de type **A.P.H.E.** c’est l’automne qui est généralement le plus pluvieux, et la saison la plus sèche est l’Eté.

II.5.2 Température

La température représente a un facteur limitant de premier important car elle conditionne la répartition de la totalité des espèces et des communautés d’être vivant dans la biosphère (RAMADE, 2003).

L’étude de la variation de la température dans le temps a une grand importance dans l’évolution de la matière organique des fait qu’elle constitue le paramètre principale qui conduction le phénomène de dégradation de matière organique, autrement dit, elle une grand influence sur le bilan humique. Elle intervenait aussi dans la répartition de la totalité des espèces et des communautés d’être vivant dans la biosphère

Les températures moyennes minimales et maximales (1998-2014).sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
M	19,00	21,57	27,09	30,66	36,31	41,11	43,60	42,52	38,36	32,47	25,06	19,63
m	-1,57	-1,17	1,31	4,17	8,38	14,02	19,22	18,74	13,71	8,21	1,32	-2,14
M+m/2	8,72	10,20	14,20	17,41	22,34	27,57	31,41	30,63	26,03	20,34	13,19	8,74

M :moyennes mensuelles des maxima.**m** :moyennes mensuelles des minima.**M +m/2** : moyennes mensuelles (T Max +T min/2)Source : station météorologique de M’sila (2014)



L'analyse de ces données montre que : le maximum des températures moyennes mensuelles est atteint en aout avec une valeur de 44 ,3°C, alors que le minimum est observé en Décembre avec une valeur de -0,6°C la température moyenne annuelle est 20,16°C.

II.5.3 Les autres facteurs climatiques

II.5.3.1 Les vents :

Le vent est un phénomène continuél au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce au particule sableuse qu'il transporte (RAMADE, 2003)

Les vents dominants qui soufflent dans la région de M'sila sont :

Le vent d'ouest, dit dhahraoui est pluvieux, il est fréquent en automne, en hiver et au printemps.

Le vent du Nord (N) ; est dit Bahri est moins fréquent, il est froid et sec.

Les vents à directions variable (Var), qui souffle surtout pendant les saisons sèches.

Le siroco : vent chaud et sec, souffle général du sud, il entrave le développement des cultures il constitue la cause du faible tapis végétal dans la wilaya de m'sila pour ce que les vents chauds et secs accentuent le dessèchement des substrats et limite l'installation de la végétation (RAMADE, 2003)

Les vents du Nord sont fréquents pendant l'Hiver, alors que ceux du Nord-est bien repartis toute l'année accèdent facilement dans la cuvette du Hodna par la vallée de l'oued Barika. Ceux du sud n'atteignent le Hodna qu'en été, période durant laquelle ils soufflent avec des rafales brulantes.

Tableau 9: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.

Mois	Jan	fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	déc
Vitesse du vent (m/s)	3,58	3,7	4,02	4,07	4,05	4,17	4,74	9,25	7,71	4,56	4,5	3,9

Source : Station météorologique de M'sila (2014)

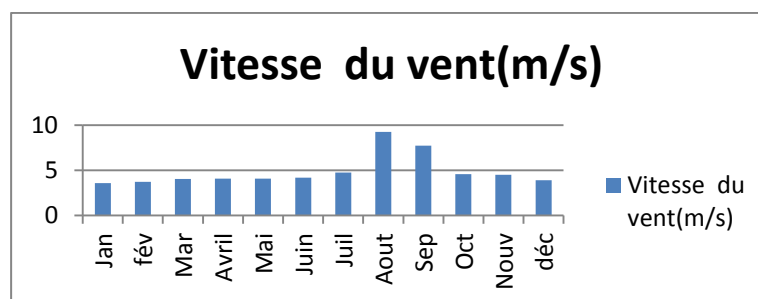


Figure 8 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila (1998 à 2014)



Les vents soufflent à leurs maximums pendant le mois d'octobre avec 3,69 m/s .le Sirocco qui sévie à partir du printemps accroît le déficit hydrique des cultures.

II.5.3.2 L'humidité :

L'humidité relative moyenne mensuelle prend une valeur de 37,29% au mois de juillet qui est considéré comme le mois le plus sec alors que le plus humide est Janvier avec une valeur de 75,62%.

Tableau 10: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014 .

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
L'humidité	85	67	60	52,64	39,17	35,70	37,29	48,34	56,88	60,17	68,52	71,64

Source : station météorologique de M'sila (2014)

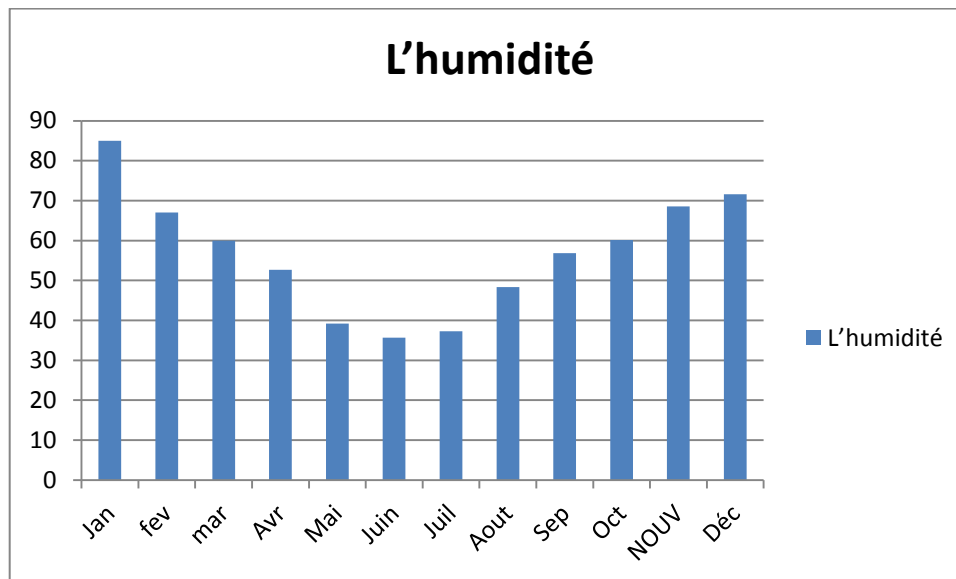


Figure 9 : Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila (1998 à 2014)

II.5.4 Synthèse climatique :

Nous avons retenu les paramètres les plus importants, la température, les précipitations le vent pour définir le type du climat de notre région d'étude.

II.5.4.1 Diagramme ombrothermique de bagnouls et gausson

Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et gausson est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année. Les mois sont portés en abscisses, et on ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec $P=2T$.

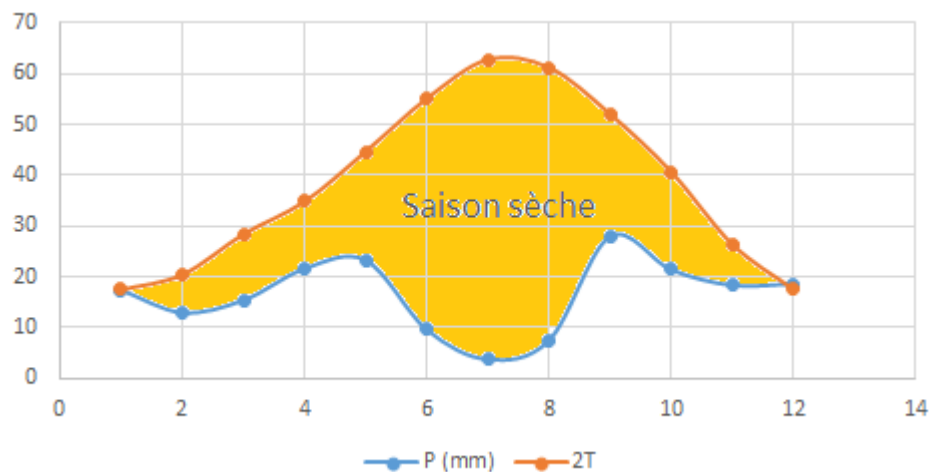


Figure 10 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila 1988-2013

La figure porte sur le diagramme ombrothermique de la région d'étude établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 17ans.

Une période est considérée sèche lorsque la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température ; il s'agit le plus souvent d'une saison sèche estivale.

Dans notre cas la saison sèche est longue de 10 mois elle s'étale donc presque sur toute de l'année.

II.5.4.2 Climagramme D'EMBERGER

Le climagramme d'Emberger permet de limiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviothermique s'écrit :

$$Q2 = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

Q2 : Le quotient pluviothermique de DADI BOUHOUN1997.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus Chaud en kelvin ($^{\circ}\text{C}+273$).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid kelvin.

Ce quotient croit avec les hauteurs des précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques annuelles, c'est-à-dire les différences entre le mois le plus chauds et les mois le plus froids.



Tableau 11 : Valeurs du quotient pluviothermique

Données	P (mm)	m (°C)	M (°C)	M-m (°C)	Q2
Station (M'sila)	197,46	-2,14	43,60	45,74	14,82
Étage Bioclimatique	Aride inferieure				

Dans le cas de M'sila la valeur de ce quotient est $Q_2 = 14,82$, donc connaissant la moyenne de température minimales du mois le plus froid ($m = -2,14^\circ\text{C}$), on peut donc placer la zone de M'sila dans l'étage Aride inferieure sur le climagramme d'Emberger voir figure ci-dessous.

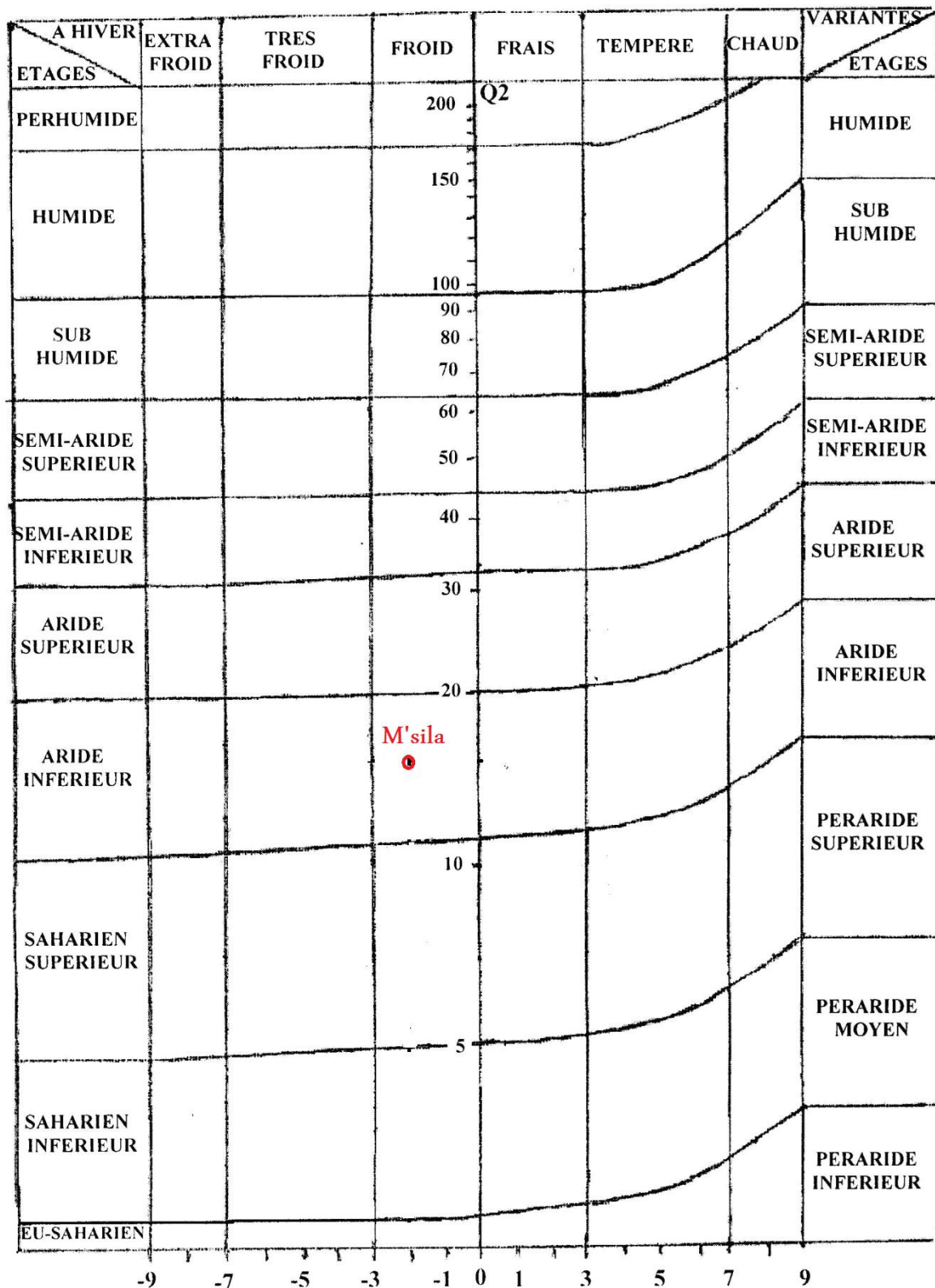


Figure 11 : Climogramme d'Emberger et représentation de la zone d'étude 1988-2013

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

I. Matériels

Cette étude vise à maitre en évidence l'application des différentes méthodes d'interpolation déterministes (IDW : l'inverse de la distance pondéré) et probabilistes (statistique et géostatistique) pour cartographier les la conductivité électrique du sol et analyser sa variabilité spatiale et ses relation avec les autres caractéristiques du sol.

I.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude fait partie des périmètres irriguées de Ksob c'est une pépinière appartenant à La commune de M'sila, et gérée par l'office des périmètres irriguées Sa superficie fait plus les 60 ha, à vocation d'arboriculture (olivier, et abricotier). Les sols de la zone d'étude appartiennent aux deux classes peu évolué alluviaux et isohumique (sièrozem).

La géologie de la zone appartient au quaternaire, selon (CAPOLONI & SARY, 1971) la géomorphologie est du quaternaire moyen (Amero-tensiftien) est représentée par des glacis d'accumulation (Amerien) et des glacis d'accumulation polygéniques (Tensiftien). La zone d'étude est traversée par Oued Ksob dont le lit est caillouteux.

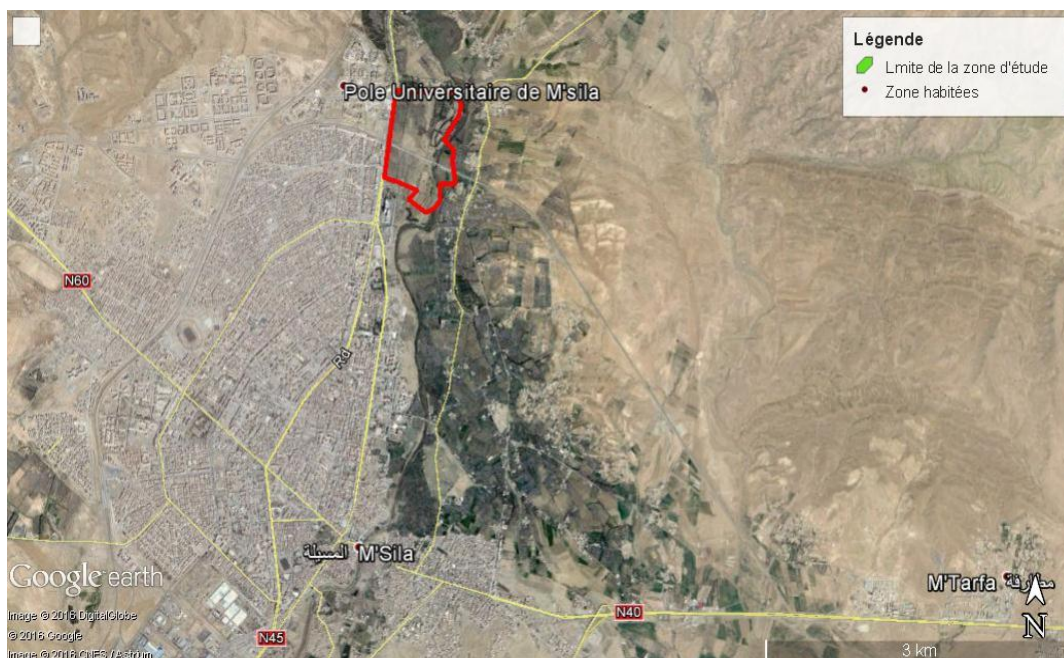


Figure 12 : Situation géographique de la zone d'étude

I.2 L'occupation du sol

La zone d'étude est occupée majoritairement par l'abricotier suivi par l'olivier et en fin par les céréales, les terres nues sont minoritaires

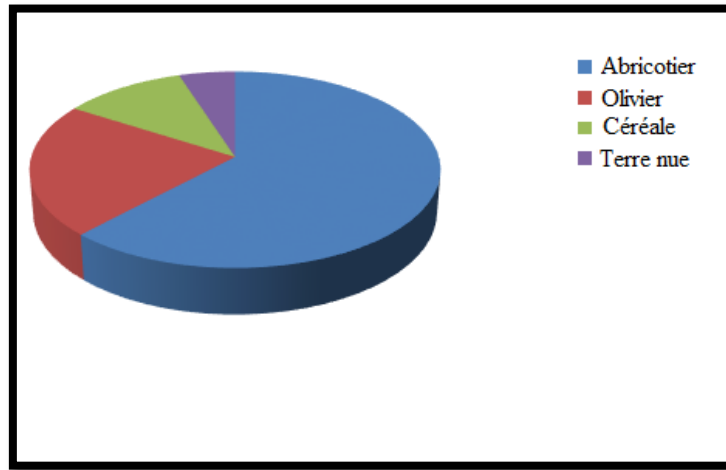


Figure 13 : L'occupation du sol de la zone d'étude

II.Méthode

L'étude de la variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol ou la salinité du sol, est réalisée en trois étapes comme la montre la figure 12 ;

- Echantillonnage et prospection du sol
- Analyse au laboratoire des caractéristiques du sol
- Traitement statistique et géostatistique des données et production de carte de salinité

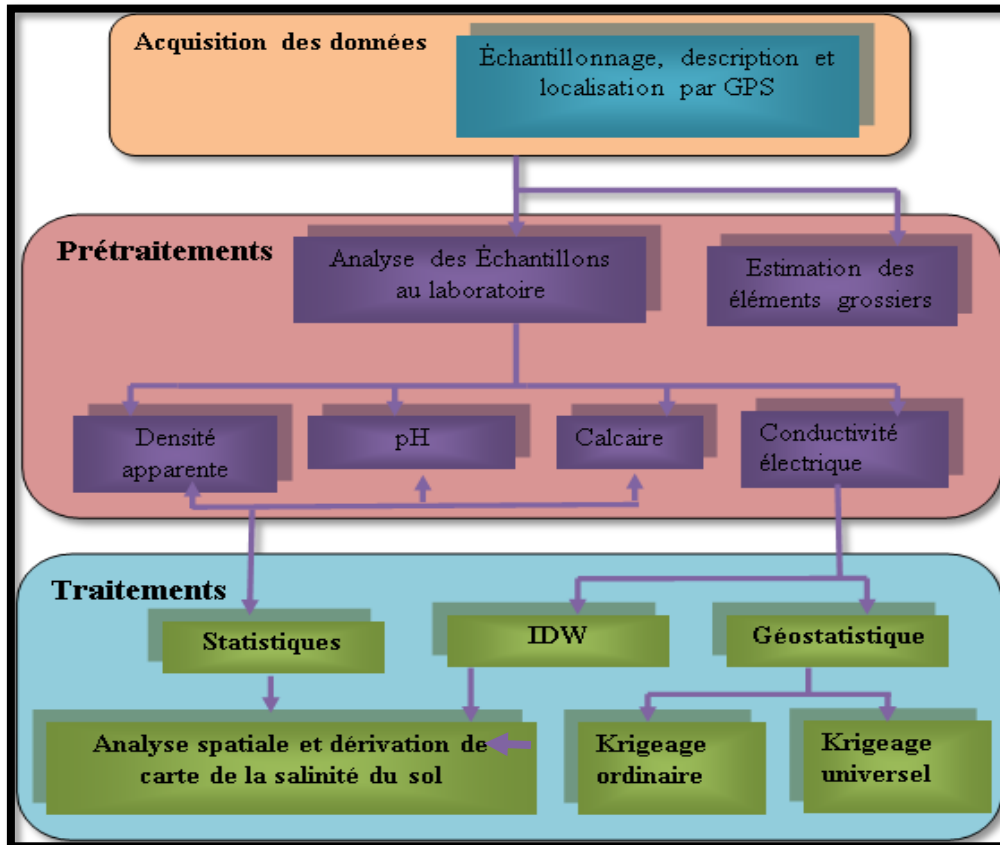


Figure 14 : Organigramme méthodologique

II.1 Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des sols

II.1.1 Stratégie d'échantillonnage des sols

La couche de surface (0-20 cm) du champ d'étude a été échantillonnée et géo-référencée (à l'aide d'un GPS assurant une précision planimétrique de ± 5 m). Ces échantillons (n=56) ont été prélevés selon un dispositif d'échantillonnage fixe établi en fonction de la réalité du terrain et la distance séparant les échantillons (80 à 200 m)

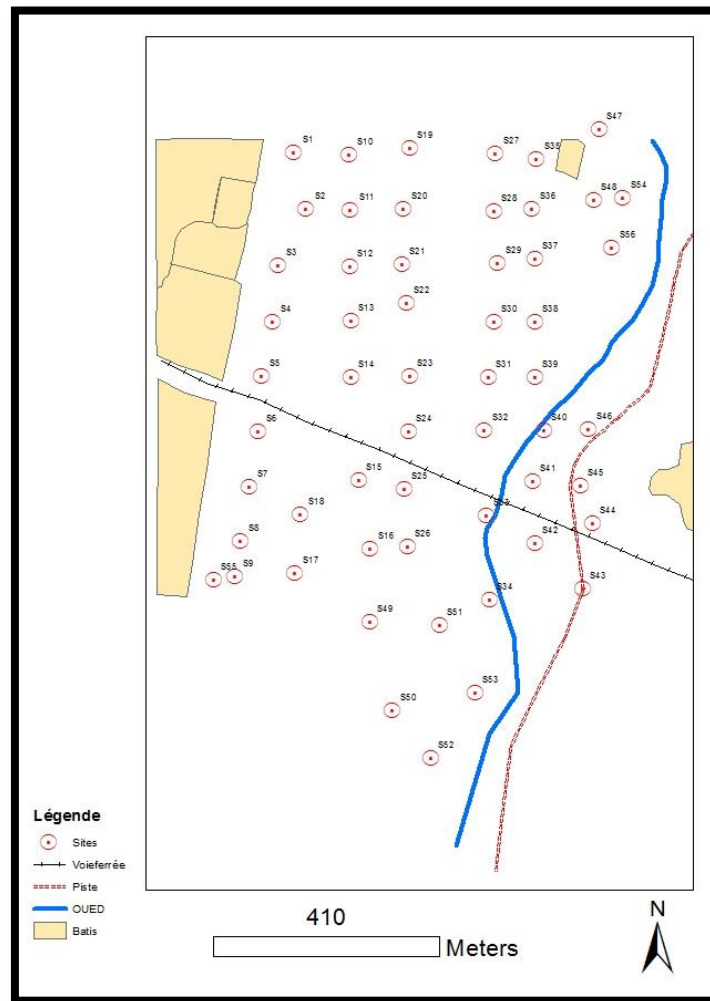


Figure 15: Plan d'échantillonnage du sol

II.1.2 Analyses physiques et chimiques des sols

Les échantillons ont été séchés à l'air, à la température ambiante. Les sols séchés ont ensuite été broyés et tamisés à 2 mm. Le tamisât représente la terre fine qui va subir les analyses ultérieures. Le refus constitue les éléments grossiers, il est pesé pour être exprimé en pourcent du poids total de l'échantillon de terre.

II.1.2.1 La conductivité électrique

Elle représente la quantité des sels solubles dans la solution du sol, on mesure la conductivité électrique par un conductimètre dans une suspension (sol/eau de 1/5) (AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978).

II.1.2.2 Le pH

Le pH est l'abréviation du potentiel hydrogène qui est un paramètre servant à définir si un milieu est acide ou basique.

Par mesure de pH on peut distinguer entre :

- Acidité actuelle ou pH eau
- Acidité totale ou pH KCl

Le pH eau, pH kCl est mesuré par voie électro métrique sur une suspension aqueuse dont le rapport sol /eau (respectivement : sol /solution KCl N) = (1/2,5).

II.1.2.3 Le calcaire total

Dans cette étude nous avons retenu la méthode volumétrique nommée aussi la méthode « Calcimètre de Bernard ». Elle est basée sur la mesure du volume de CO₂ dégagé suite à l'action d'un excès d'acide de chlorure (HCL) sur un poids connu d'un échantillon de sol (BAIZE D. , 2000).

II.1.2.4 Calcaire actif

On agite la terre avec une quantité connue d'oxalate d'ammonium N/5. On filtre. On titre au permanganate cette solution avant et après son contact avec la terre. La différence entre les deux titrages correspond à la quantité de calcium du carbonate ayant réagi sur l'oxalate d'ammonium.(AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978)

II.2 Analyse de la variabilité spatial du sol et prédiction de la salinité

Au cours de cette étape une analyse variographique sans dérive (Krigage ordinaire) et avec dérive (kigeage universel) suivie d'une prédiction de la salinité par ces deux méthodes ainsi que par la méthode déterministe l'inverse de la distance pondéré (IDW). Ces trois méthodes sont ensuite évaluées en comparant les erreurs entre les valeurs observé et prédite par chaque méthode.

II.2.1 Analyse variographique

Les valeurs observées de la conductivité électrique du sol, serviront à établir le variogramme expérimentale il est ensuite interprété en fonction de ses paramètres à savoir laportée, le palier et l'effet pépite.

L'ajustement du variogramme au modèle théorique le plus convenable (sphérique, circulaire et stable) en comparant les paramètres suivants :

- Effet pépite le plus faible
- $[(\text{Palier} - \text{effet pépite})/\text{Palier}] * 100$ le model donnant la valeur la plus forte est choisie.

La simulation du meilleur modèle est réalisée sur Arc gis 10.2 .2

II.2.2 Prédiction de la conductivité électrique du sol

Généralement, les méthodes d'interpolation spatiale permettent l'estimation de valeurs de variables inconnues à partir de valeurs observées connues selon certains critères et conditions. Les méthodes déterministes comme Spline, polynomiale, inverse de la distance pondéré (IDW). Par contre, les méthodes probabilistes comme la géostatistique reposent sur le principe de l'autocorrélation spatiale qui préconise que les observations rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires. En outre, elles se distinguent par le calcul d'erreurs d'estimation associées (Matheron G. , 1963); Krige, 1963). Dans ce qui suit nous allons présenter les méthodes considérées dans notre recherche, à savoir : IDW, le Krigeage ordinaire (KO) et le Krigeage universel (KU).

II.2.2.1 Méthode de l'inverse de la distance pondéré

C'est méthode d'interpolation basée sur une moyenne pondérée ou chaque valeur du point inconnu (à prédire) est calculée comme une moyenne pondérée des valeurs des points observés (connus). Elle effectue des estimations par interpolation basée sur les distances entre le point dont on souhaite estimer sa valeur et les points voisins dont on dispose déjà de mesures issues d'un échantillonnage sur le terrain. C'est l'une des plus populaires et les plus employées. Elle est facile et rapide, mais crée des zones circulaires autour des valeurs observées, notamment si les observations ne sont pas assez denses ou si les points du voisinage ne sont pas assez nombreux. Bien entendu, cet aspect peut être lissé en jouant sur la puissance et le voisinage, mais il peut introduire des erreurs grossières dans l'estimation des valeurs des points inconnus.

II.2.2.2 Méthode de la géostatistique

La procédure géostatistique de krigeage (Webster & Oliver, 2001), fondée sur la théorie des variables régionalisées (Matheron G. , 1963), permet l'interpolation spatiale entre les endroits échantillonnés. Elle permet d'exploiter la corrélation spatiale entre des observations voisines dans l'espace pour prédire aux endroits non échantillonnés.

Le krigeage ordinaire (KO) est la méthode la plus générale et largement utilisée pour caractériser et cartographier la variation spatiale de la salinité des sols (Schloeder, Zimmerman, & Jacobs, 2001); (Walter, McBratney, Douaoui, & Minasny, 2001), l'application de cette méthode est réalisée à l'aide d'une Plate-forme ArcGIS; Geostatistical Analyst (Johnston, Ver. Hoef, Krivoruchko, & Lucas, 2001).

Quant au KU, aussi appelé krigeage en présence d'une dérive, il considère la variable non stationnaire mais avec un modèle de tendance (Matheron G. , Le krigeage universel. Vol.

1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, École des Mines de Paris, France, Fontainebleau, 1969). La stationnarité se définit par la constance de l'espérance, mais aussi par la covariance entre deux observations qui dépend uniquement de la distance entre ces observations.

II.2.3 Analyse statistique

Les analyses statistiques (statistiques descriptive, variances corrélations) ont été réalisées à l'aide de Statistica

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Analyse de la variabilité spatiale de la conductivité électrique

I.1 Statistique descriptive

Les résultats qui figurent dans le tableau qui suit, montre que la conductivité électrique (CE) de la suspension sol/eau de 1/5 varie d'un minimum de 0.10 mS/cm à un maximum de 8,27 mS/cm. L'écart type est de 1.41.

Selon (AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978) ces valeurs indiquent que les échantillons de sol varient de non salés (<0.6 mS/cm) à extrêmement salés (>6)

Tableaux : Statistique descriptive de la conductivité électrique

Tableau 12 : Statistique descriptive de la conductivité électrique du sol

Paramètre	Nombre d'échantillon	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
CE_1/5__mS/cm	56	1,28694	0,101900	8,27000	1,41406

L'histogramme de distribution des valeurs de la conductivité électrique (figure 14) montre une distribution qui ne suit pas la loi normale, la moyenne s'écarte de la médiane avec une forte valeur du kurtosis (>3). Ces valeurs nécessitent une transformation ($y=\log CE$) pour devenir conforme à la normalité.

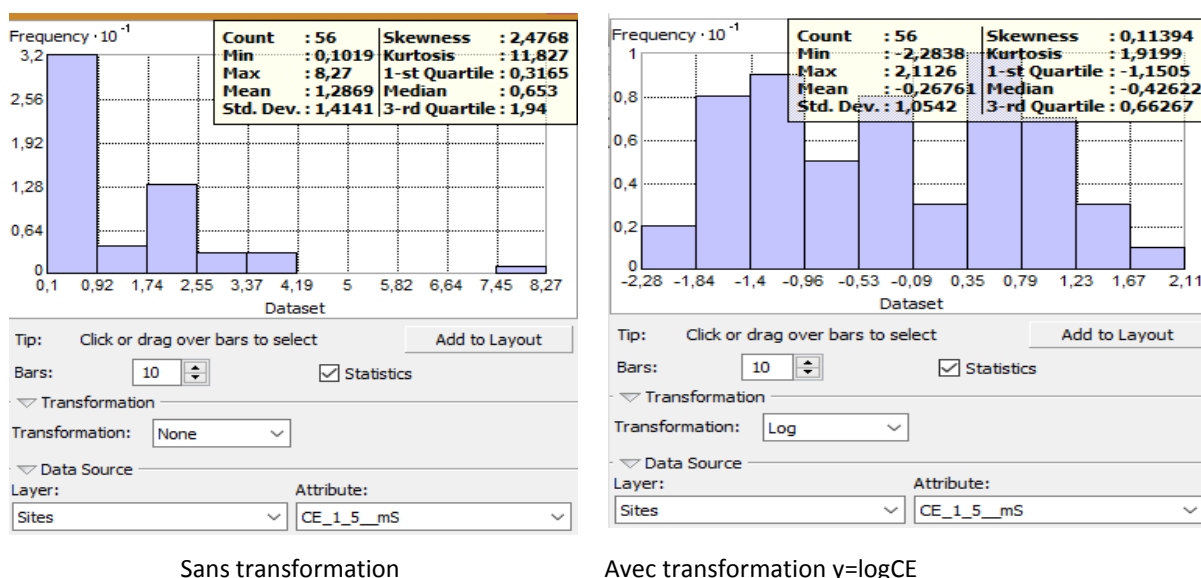


Figure 16 : Histogramme de distribution de la conductivité électrique

Les calculs concernant les variogrammes et les prédictions seront faite avec la variable transformée, mais lors de l'expression des résultats on revient à la variable d'origine.

I.2 Variographie

I.2.1 Variogramme expérimentale sans dérive

I.2.1.1 Model d'ajustement du variogramme

Le variogramme expérimentale issue des données de la conductivité électrique a été ajusté aux modèles théoriques ; circulaire, sphérique et gaussien. La comparaison des paramètres du variogramme (tableau 13) montre que le modèle circulaire constitue le meilleur ajustement car il présente l'effet pépite le plus faible et la variance expliquée par la structure spatiale est la plus forte (69,42%).

Tableau 13 : comparaison entre les trois model d'ajustement du variogramme

Model	Portée a (m)	Effet pépite C0	Pallier (C+C0)	$[C/(C+C0)]*100$
Circulaire	263,92	0,37	1,21	69,42%
Sphérique	301,08	0,52	1,21	57,02%
Gaussien	274,35	0,58	1,23	43,09%

I.2.1.2 Interprétation du variogramme

Le variogramme de la figure (15) indique la présence d'une structure spatiale, ou la variance expliquée par cette dernière dépasse les deux tiers (69,42%) de la variance total, ce qui autorise l'interpolation à partir de cette structure.

L'effet pépite est notable (31,58 % de la variance totale) il est due aux erreurs d'échantillonnages, erreur d'analyse et d'éventuel erreur de stationnarité (dérives).

La portés dépasse les 263 mètres elle signifie que les pas d'échantillonnage supérieur à cette distance ne permettent pas l'évaluation de la variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol.

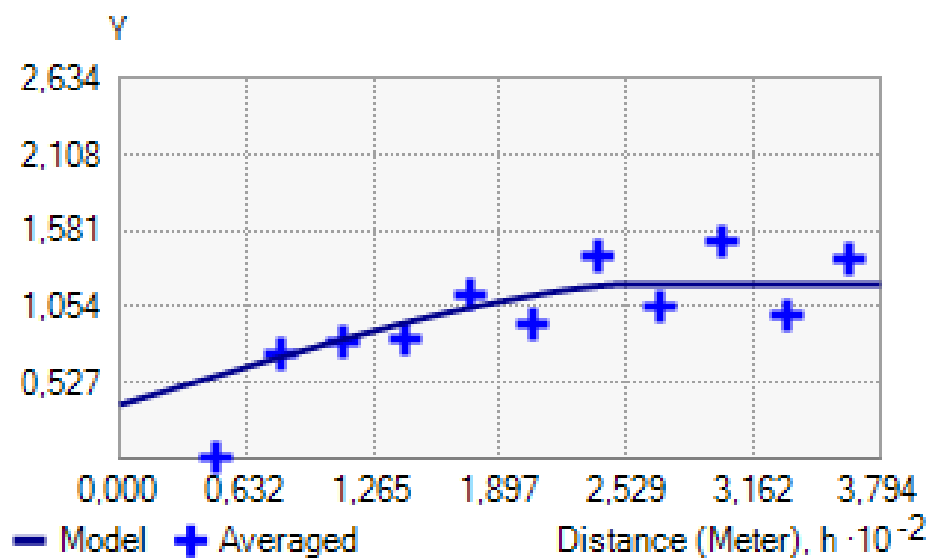


Figure 17 : Variogramme de la conductivité électrique ajusté par le model circulaire

I.2.1.3 Anisotropie

L'analyse variographique a révélé une anisotropie selon une ellipse à grand axe orienté selon la direction Nord-Sud (angle 0°). La structure spatiale est différente la portée est plus importante selon le grand axe.

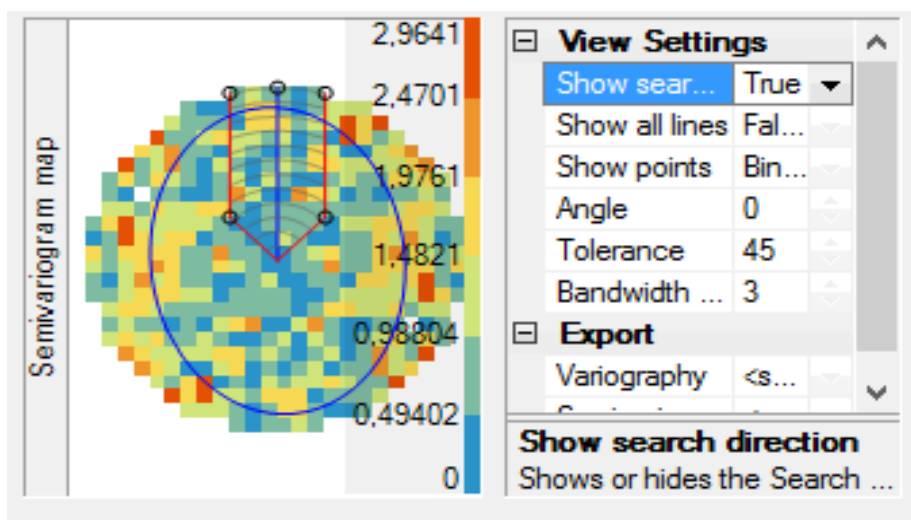


Figure 18 : Anisotropie variographique

Cette direction est la même que celle de Oued Ksob, dénotant une influence probable de la géomorphologie fluviale sur la variabilité de la conductivité électrique du sol.

I.2.2 Variogramme expérimentale avec dérive constante

I.2.2.1 Modèles d'ajustement du variogramme avec dérive

On remarque aussi que l'ordre de classement des modèles est le même qu'avec le variogramme sans dérive (tableau 14). Le modèle circulaire reste le meilleur, l'effet pépite n'a pas diminué donc on peut écarter l'erreur de stationnarité.

Tableau 14 : Comparaison entre les trois model d'ajustement du variogramme

Model	Portée a (m)	Effet pépite C0	Pallier (C+C0)	$[C/(C+C0)]*100$
Circulaire	252,92	0,39	1,22	68,03%
Sphérique	338,56	0,53	1,20	55,83%
Gaussien	333,66	0,70	1,23	43,09%

I.2.2.2 Interprétation du variogramme et anisotropie

Le variogramme présente la même allure que le variogramme précédant avec une portée légèrement moins importante (tableau 14) le même effet pépite donc une interprétation similaire. On peut dire la même chose sur l'anisotropie.

II. Prédiction de la conductivité électrique du sol

II.1 Prédiction par la méthode de l'inverse de la distance pondéré (IDW)

La carte de salinité prédite par la méthode IDW (figure 19) montre une représentation de l'ensemble des classes de salinité, les classes non salées et peu salé occupent la partie nordet les classes salées et très salées la partie sud. La classe extrêmement salés est représentés par une petite plage. On remarque aussi que la surface est parsemée de petites plages arrondis de classe de salinité, relevant une faiblesse de prédiction.

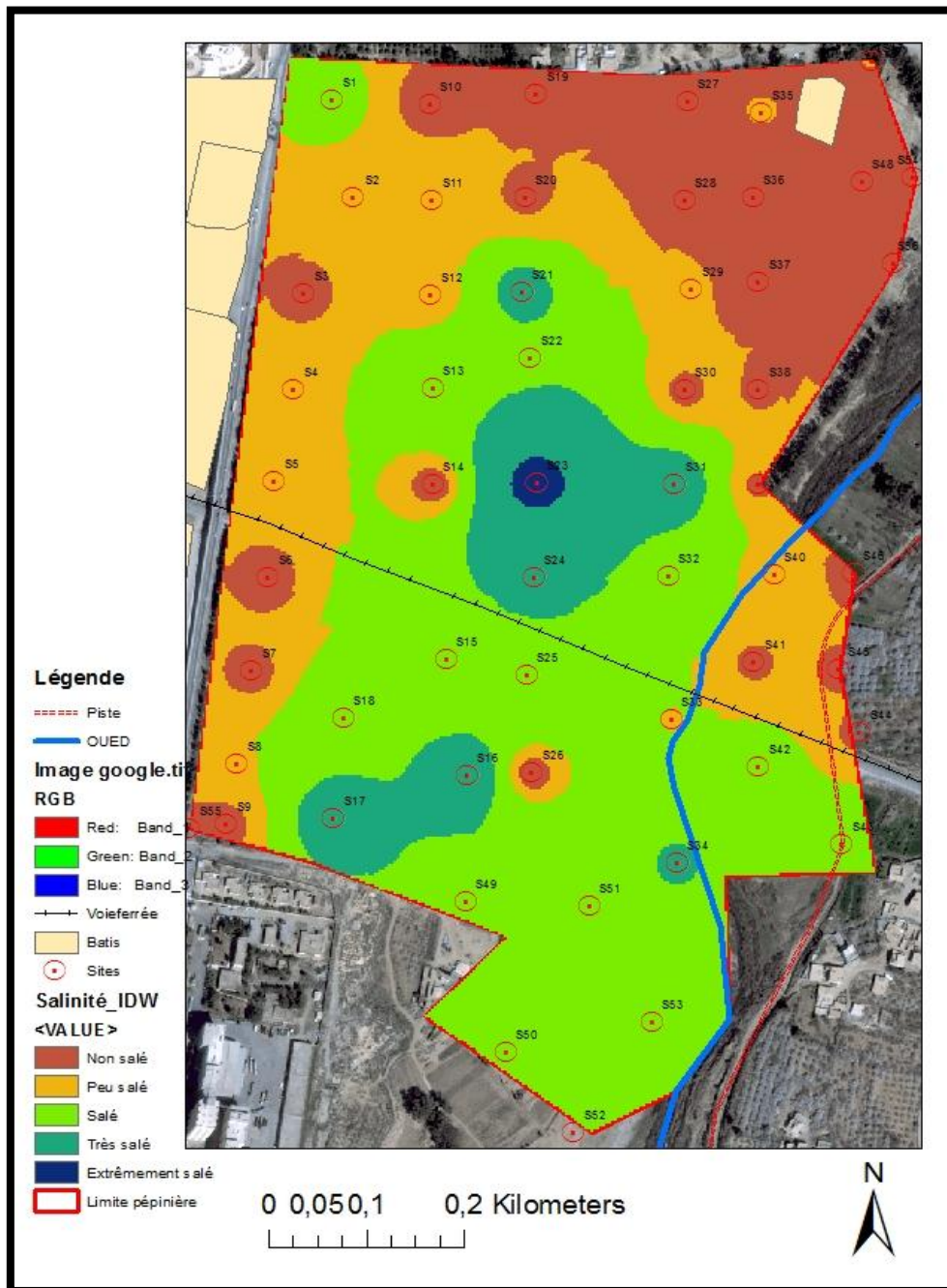


Figure 19 : Carte de salinité prédite par la méthode IDW

- **Erreur de prédiction :** On appelle erreur de prédiction la différence entre les valeurs des points prédits et les points observés. Plus cette différence est faible et plus la prédiction est meilleure.

Les valeurs prédites sont corrélées par une droite ($y=0,199507066314913x+3,16106681357016$), qui s'écarte de la droite $y=x$ (figure 18) d'où une erreur de prédiction qui augmente vers les valeurs faibles et élevées et s'annule pour les valeurs moyennes.

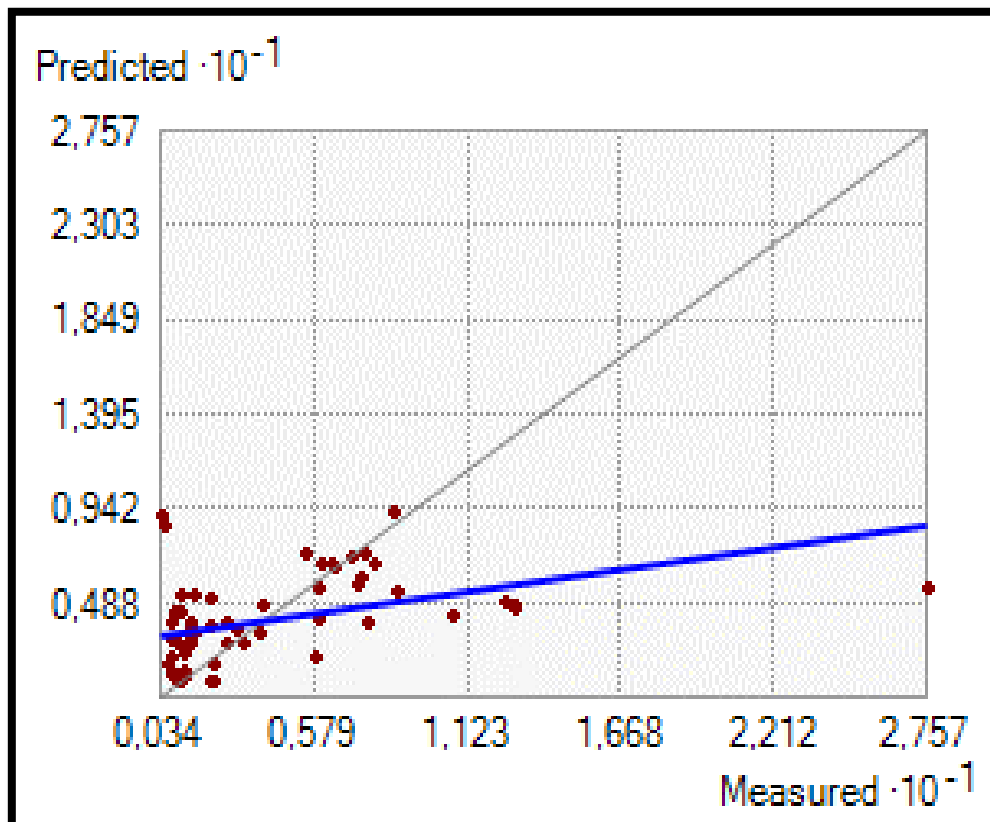


Figure 20 : Corrélation entre valeur prédite et observé d'IDW

II.2 Prédiction par la méthode du Krigeage ordinaire

Les classes de salinités présentent la même localisation dans la zone d'étude que la méthode IDW toutefois les surfaces qui les représentent sont différentes. Avec cette méthode il y'a moins de plage ronde isolées d'où une meilleur prédiction des valeurs Voir figure 21

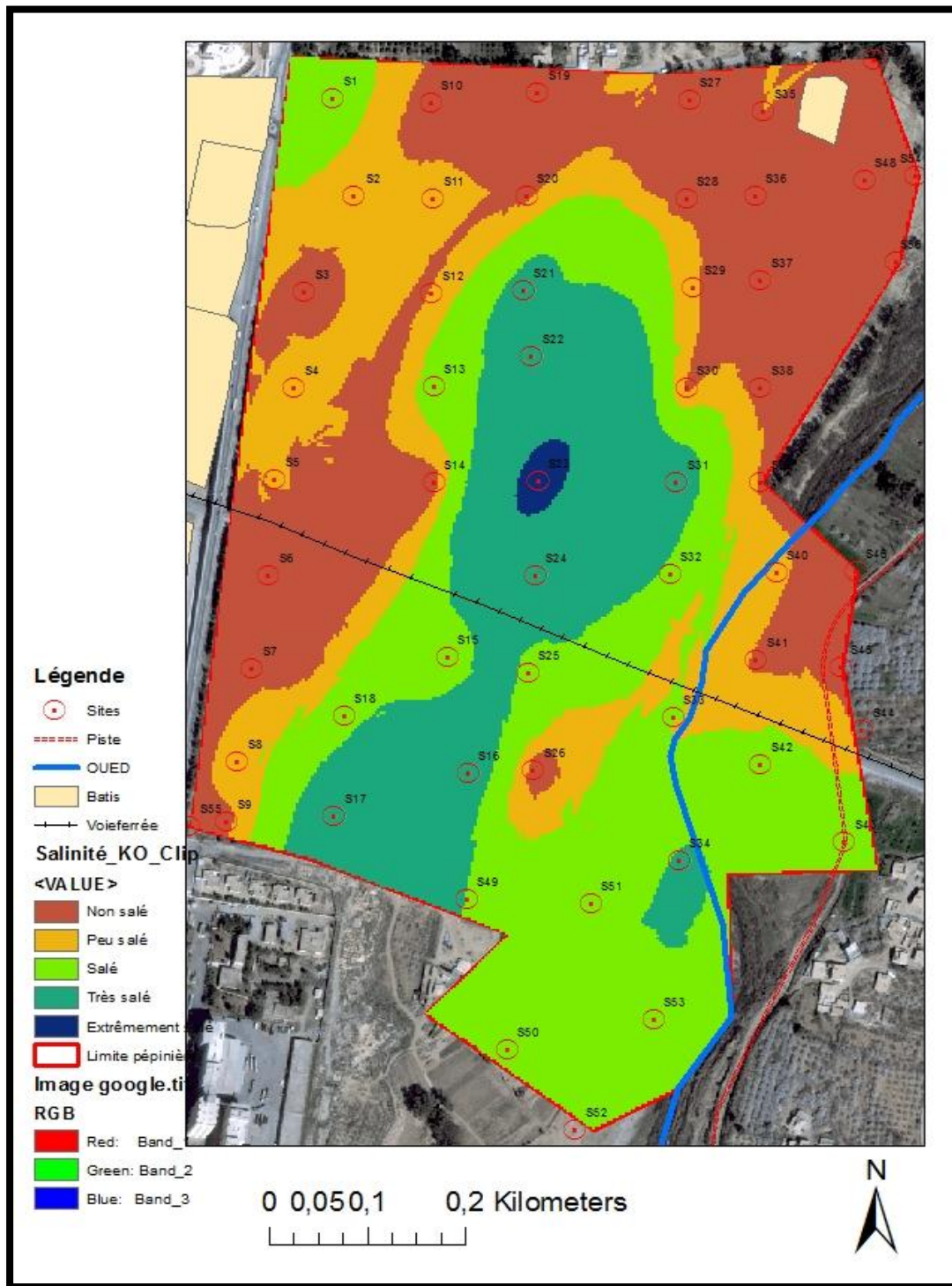


Figure 21 : Prédiction de la conductivité électrique du sol par la méthode de KO

- Erreur de prédiction :Les valeurs prédite sont corrélées par une droite ($y=0,354500782411037 * x + 0,671052194026941$), qui s'écarte de la droite $y=x$ (figure 20) d'où une erreur de prédiction présentent la même allure mais avec des amplitudes légèrement plus importante.

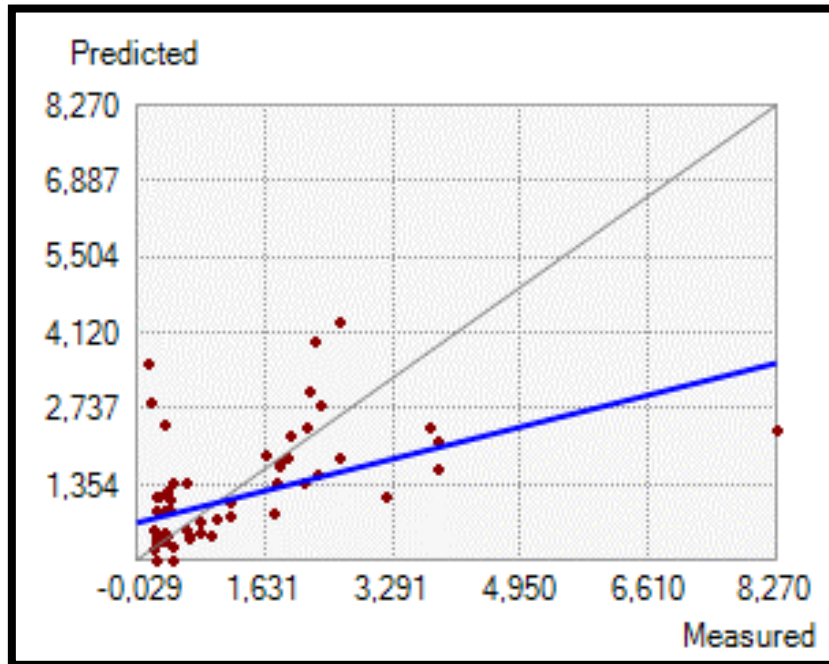


Figure 22 : Corrélation entre valeurs observés et prédite de KO

II.3 Prédiction par la méthode du Krigeage universel

La carte de salinité issue du krigeage universel (figure 23) présente une similitude frappante avec celle du krigeage ordinaire figure (21) ceci est due au fait qu'ils présentent la même structure spatiale représenté par des variogrammes similaire dénotant l'absence de dérive dans les valeurs de la conductivité électrique du sol.

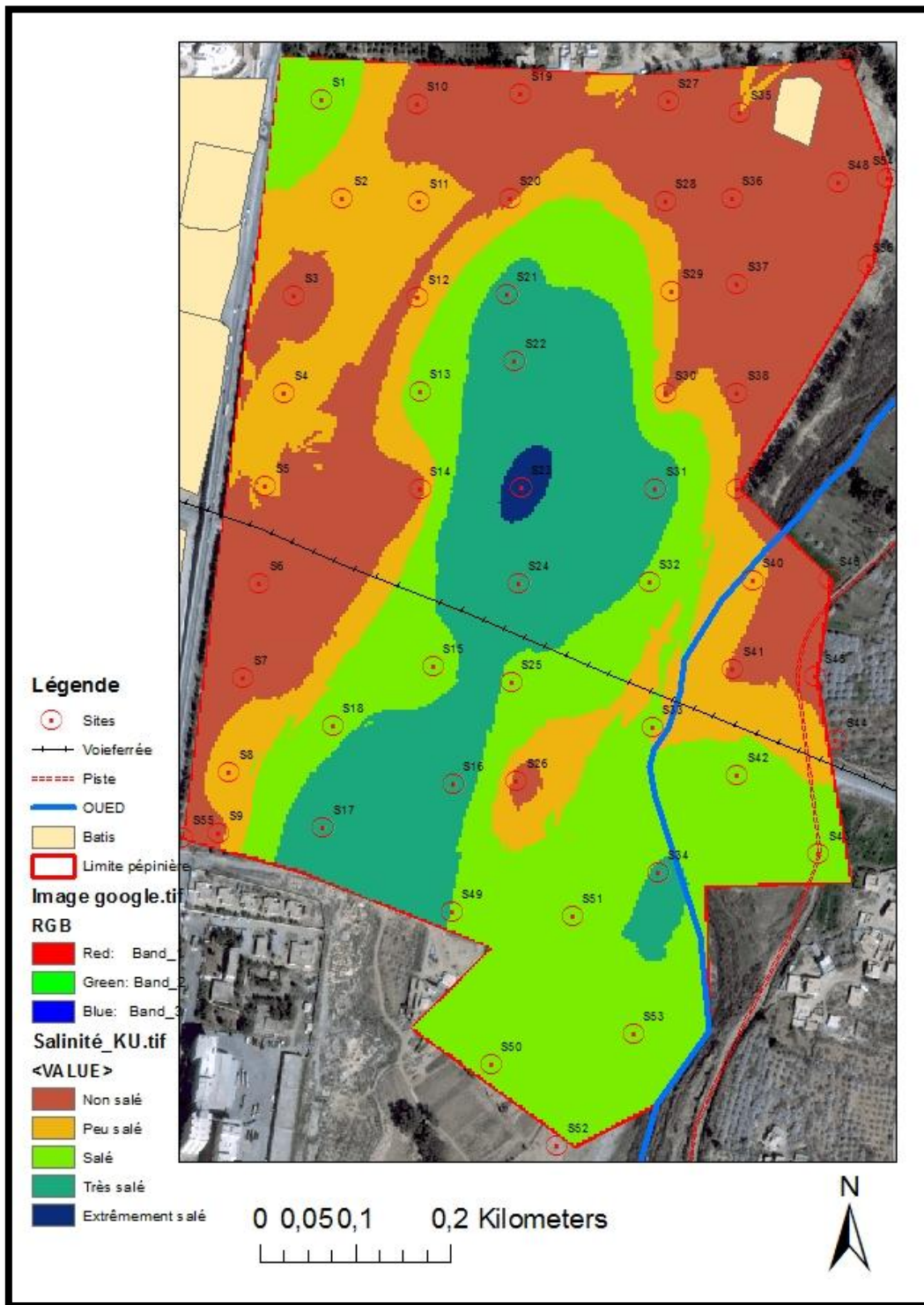


Figure 23 : prédiction de la conductivité électrique par Krigage Universel

- **Erreur de prédiction :**Les valeurs prédite sont corrélées par une droite ($y=0,354500782411037 * x + 0,671052194026941$), qui s'écarte de la droite $y=x$ (figure 20) d'où une erreur de prédiction similaire avec celle du krigage ordinaire. Voir figure 22

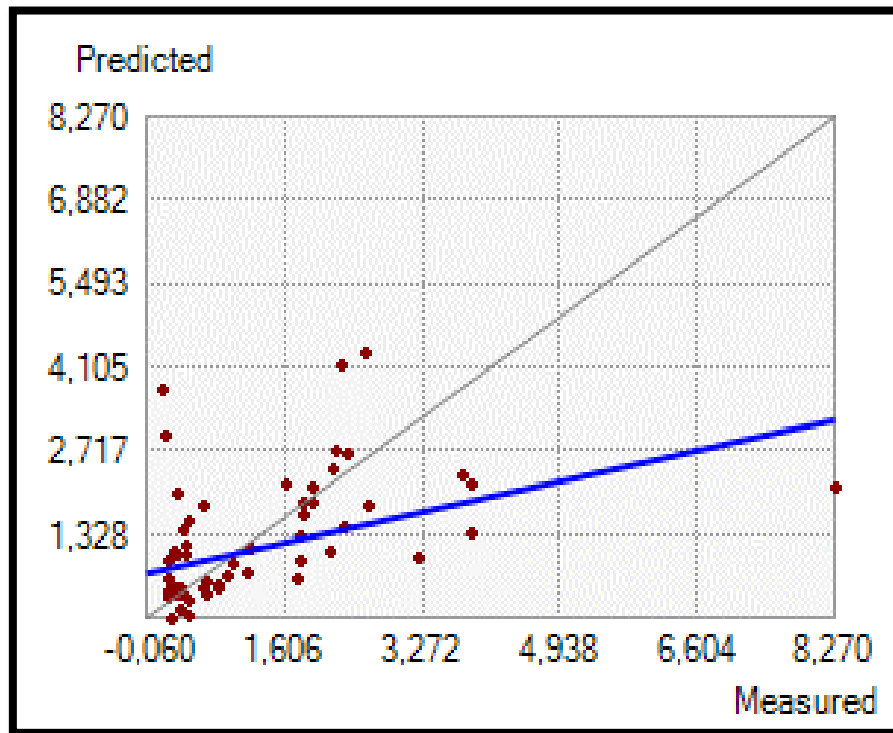


Figure 24 : Corrélation entre valeurs prédite et observé de KU

II.4 Discussion

Les méthodes de prédiction de la conductivité électrique utilisée dans cette étude à savoir la méthode déterministe (IDW) et les méthodes géostatistique Krigeage ordinaire (KO) et Krigeage universel (KU) présentent des résultats valides, mais les méthodes géostatistiques sont meilleurs dans ce cas car ils éliminent les petites plages isolée chose que la méthode IDW ne peut faire, même si l'erreur de prédation est légèrement moins importante avec cette dernière.

III. Corrélation entre la conductivité électrique et les autres paramètres du sol

La matrice de corrélation (Tableau 15) révèle des corrélations négatives avec le pHeau et pHKcl au seuil d'erreur de 5% et avec la densité apparente au seuil d'erreur de 7.96%.

Tableau 15 : Matrice de corrélation entre la conductivité électrique du sol et les paramètres du sol

	Mean	Std.Dv.	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constant	Slope	Constant	Slope
pHeau	8,3264	0,29415									
logCE	-0,1114	0,46362	-0,589820	0,347887	-5,21607	0,000003	53	7,62915	-0,929635	8,2847	-0,37422
pHKCl	7,8549	0,15582									
logCE	-0,1114	0,46362	-0,281912	0,079475	-2,09837	0,040845	53	6,47720	-0,838786	7,8444	-0,09475
das	1,1690	0,13554									
logCE	-0,1114	0,46362	0,242901	0,059001	1,78822	0,079682	53	-1,08260	0,830848	1,1769	0,07101
Calcaire_t	32,4719	8,45007									
logCE	-0,1114	0,46362	-0,042137	0,001775	-0,30118	0,764500	53	-0,03631	-0,002312	32,3863	-0,76800
Calcaire_a	15,2317	7,40828									
logCE	-0,1114	0,46362	-0,047636	0,002269	-0,34057	0,734823	53	-0,06597	-0,002981	15,1469	-0,76119
Eléments	25,1623	11,10176									
logCE	-0,1114	0,46362	0,163583	0,026759	1,18417	0,241837	53	-0,28327	0,006831	25,5986	3,91715

III.1 Acidité actuel ou pHeau

Le pHeau diminue avec l'augmentation de la salinité, car les sels du sol sont constitués de sels de sodium essentiellement des chlorure et des sulfate qui sont des sels neutres qui luttent contre l'élévation du pH. (AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978) (BAIZE D., 2000)

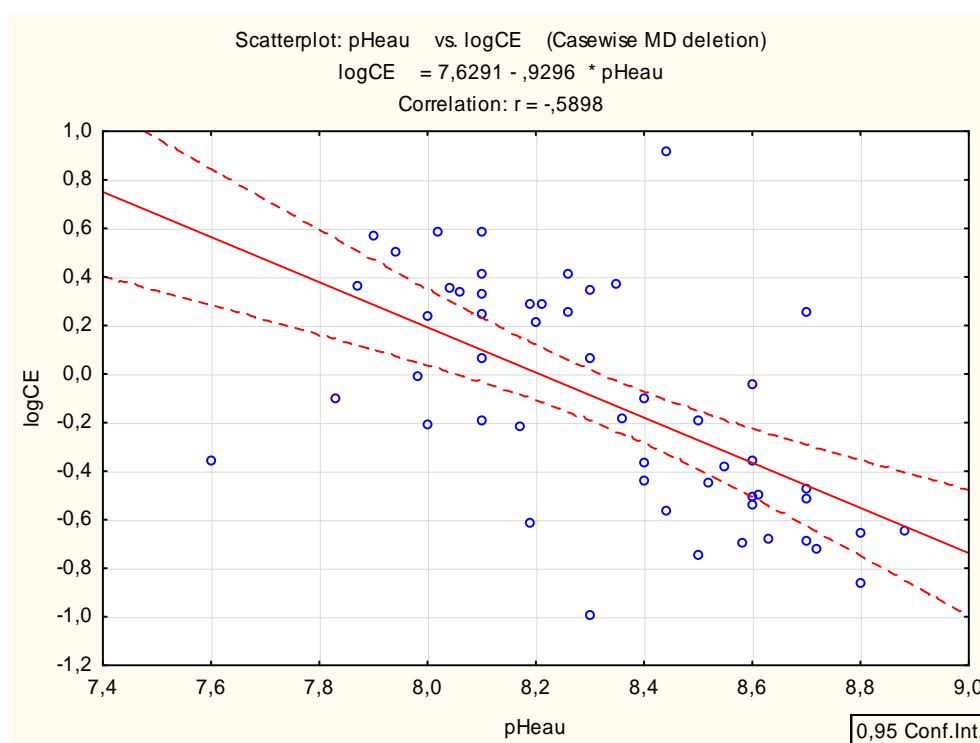


Figure 25 : corrélation pHeau conductivité électrique du sol

III.2 Acidité potentiel pHkcl

Le pH_{kcl} mesure l'acidité d'échange il donne une idée sur la pénétration du sodium dans le complexe d'échange sous la pression osmotique de la solution du sol (forte conductivité), La corrélation négative (voir figure 26) signifie que le pH_{kcl} diminue lorsque la

conductivité électrique augmente c'est-à-dire la pression osmotique du sodium augmente, ce qui maintient les protons H⁺ et gêne leur échange, d'où un pH_{KCl} plus faible.

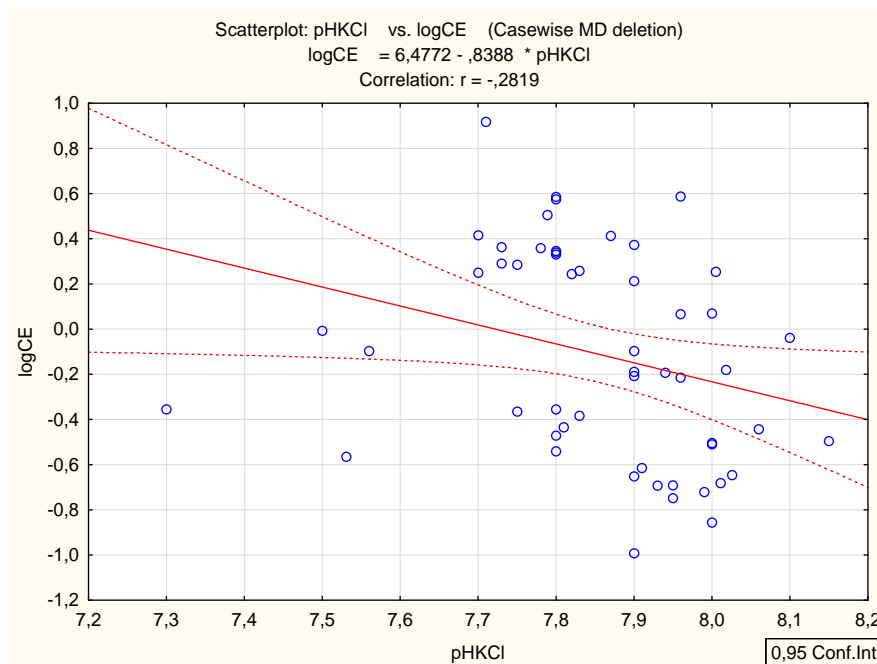


Figure 26 : Corrélation conductivité électrique pH_{KCl}

III.3 La densité apparente

La densité apparente est liée à la structure du sol qui est généralement lié au taux de sodium sur le complexe d'échange influencé à son tour par les sels de sodium. Donc plus la salinité est élevée et plus le risque sur dégradation de la structure (densité élevée) est présent mais qui se manifeste après le lessivage des sels.

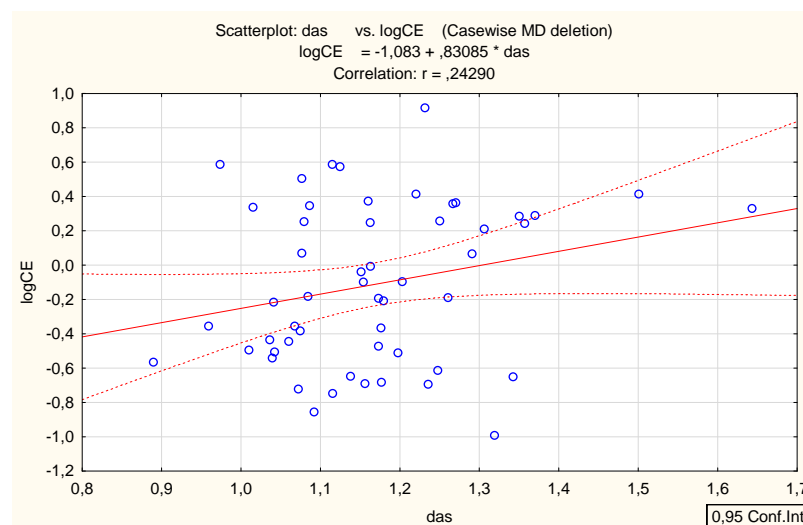


Figure 27 : Corrélation densité apparente du sol et la conductivité électrique du sol



Conclusion générale

L'objectif de ce travail est l'étude de la variabilité spatiale de la salinité de la pépinière de M'sila appartenant au périmètre irrigué de Ksob. Pour ce faire nous avons opté pour un échantillonnage discret de la zone d'étude selon un réseau rigide préétablie avec une densité d'un sondage à l'hectare. Une analyse variographique est d'abord réalisée afin d'identifier la structure spatiale de la conductivité électrique, suivie d'une interpolation comparative de cette dernière par trois méthodes (IDW, Krigeage ordinaire, Krigeage universel) classée on se basant sur l'erreur de prédiction enregistrée par chacune d'elle.

Les résultats font état des faits suivant :

L'existence d'une structure spatiale de la conductivité électrique avec plus de deux tiers de la variance expliquée par cette variance, ce qui ouvre la possibilité d'interpolation de cette variable.

Afin de capter la variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol il faut un pas d'échantillonnage moyen inférieur à 260 m

L'anisotropie variographique impose un pas d'échantillonnage plus important dans le sens nord-sud que dans le sens est-ouest.

La prédiction de la conductivité électrique est meilleure avec les méthodes géostatistiques (KO et KU) qui donne des résultats semblables, qu'avec la méthode déterministe (IDW) qui nécessite une densité d'échantillonnage plus importante pour éliminer les petites surfaces.

La carte de conductivité électrique issue de l'interpolation représente l'ensemble des classes de salinité du non salé a l'extrêmement salé.



Références

Bibliographie

ALDERMOCH, M. (1976). *Influence des soulitions salines sur les propriétés physique et l'évolution des minéraux phylliteux de sols systeme*. thèse doc.

ARROUAYS, D. (1995). *Analyse et modélisation spatiales de l'évolution des stocks de carbone organique des sols à l'échelle d'un paysage pédologique ; application à l'étude des sols de "touyas" du Piedmont pyrénéen*. Thèse de doctorat, E.N.S.A.M.

AUBERT, G. (1960). *Les sols de la zone arride ,étude de leure formation ,de leur conservation actes coll .unesco de paris sur le probleme de la zone arride*. paris.

AUBERT, G. (1978). *Méthodes d'analyses des sols*. Marseille.: Edit.C.R.D.P.Marseille.

AUBERT, G. (1983). *observation sur les caractéristique la denomination et la classification des sols salés ou sales sodiques* . Cashors Tom .ser.Pd Volxxx n°1.

AYERS, R. (1978). *Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte*. (éd. vol I n°3).

BAISE, D. (1988). *Guide d'analyse courantes en pédologie ,choise ,experssion presentation ,interpretation,INRA*. Paris.

BAIZE, D. (1986). *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie*. *Science du Sol* (Vol. 24(3)).

BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie. Choisis. Expression. Présentation. Interprétation*. 257p. Paris: 2ème Ed. INRA. Paris.

BAIZE, D., & GIRARD, M. (1995). *Référentiel Pédologique*. INRA Editions.

BANFIELD, C., & BASCOMB, C. (1976). *Variability in three areas of the Denchworth soil map unit. II. Relationships between soil properties and similarities between profiles using laboratory* (Vol. 27 (3)).

BECKETT, P., & WEBSTER, R. 1. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert* (Vol. 34).

BECKETT, P., & WEBSTER, R. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert*. (Vol. 34).

BOHBOT, H. (2014). *base pratique en crtographie et SIG,initiation à Arc GIS 10* (Vol. 1.1).

BONNET, E. (2000). *support de cours ArcGIS 9.X*.

BOULAIN, J. (1989). *Histoire des pédologues et de la science des sols* (éd. INRA Editions,).

BOULAIN, J. (1971). *hydropedologie, des écoles nationales de génie rurale, , des eaux et des forets*. alger.



- BOULAIN, J. (1980). *Pédologie appliquée*. Ed. Masson.
- BOUMEZBEUR, A. (2002). *Atlas des 26 zone humides Algériennes internationale*. Alger: Direction générale des forets.
- BRESLER, L., CARTERD, L., & MCNEALB, E. (1982). *Saline and sodic soils ,advanced series in agriculture sciences*. Springer-Varlag.
- BRUS, D., & DE GRUIJTER, J. (1997). *Random sampling or geostatistical modelling. Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil*.
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal Interpolation and Isarithmic mapping of soil properties - I. The semi-variogram and punctual kriging. Journal of Soil Science (Vol. 31)*.
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. of Soil Sci. (Vol. 31)*.
- BUTLER, B. (1980). *Soil Classification for Soil Survey*. Clarendon Press, Oxford.
- c.p.c.s. (1967). *clasification des sols .laboratoire de géologie ,pédologie de l'E.N.S.A*. Paris: grignon.
- CALVET, R. (2003). *Le sol ,propreite et fonction ,phenomene physique et chimique Tom 2.Ed. françe Aricol*.
- CANNAVACCIUOLO, M. (1998). *Biodiversité et structure spatiale de la faune lombricienne dans une prairie temporaire de l'Ouest de la France. Université de Rennes I*.
- CAPOLONI, J., & SARY, M. (1971). *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila*. Alger: Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique.
- CHAPLOT, V. (1998). *Organisation spatiale des sols hydromorphes de fonds de vallée et modélisation,Thèse Thèse de doctorat, E.N.S.A. de Rennes*.
- CHERBUY, B. (1991). *les sols salés et leur réhabilitaion*. p. 35.
- CHERY, P. (1995). *Variabilité de l'épaisseur de la couverture de sol. Conséquences pour le bilan hydrique hivernal d'un secteur de Petite Beauce. Thèse de doctorat, Université Nancy I*.
- CHEVERRY, C. (1974). *contrubition à l'étude pédologique des polder du lac tchad .dynamie des sels en milieu continental subaride dans des sédiment argileux et organique*. Strasbourg: These universitaire louis pasteur .
- Chilès, J. (2004). *La modélisation géostatistique de la variabilité spatiale et ses applications.Earth Sciences. Université Pierre et Marie Curie*. paris VI.
- Chilès, J. P., Hélèn, D. R., Nicolas, Dimitri, D., Gaëlle, L., J, P. J., et al. (2005, Novembre 1). *Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués Manuel méthodologique et exemples d'applications*. p. 26.
- COCHRAN, W. (1977). *Samplng techniques*. J. Wiley & Sons, New York.



- CRESSIE, N. A. (1993). *Statistics for spatial data*. Wiley Series in Probability and.
- CRESSIE, N. (1991). *Part I. Geostatistical data, In 'Statistics of spatial data*. John Wiley &.
- DAGNELIE, P. (1981). *Principes d'expérimentation. Les presses agronomiques de Gembloux*.
- DAOUD, HALITIM, Y., & A. (1994). *Irrigation et salinisation au sahara Algérien secheresse*.
- DEMELON, A. (1966). *Dynamique du sol Tom.1,5 eme Ed du nod*. Paris.
- DENIS, A. (2012). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 35.
- DENIS, A., & ALLARD. (2012, 12 21). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 3.
- DERDOUR, H. (1981). *Contribution à l'étude de l'influence du taux de soduim échangeable sur le comporetement des sols au compactage* . Algerie: these Magister ,I.N.A.
- DJEBAILI, S. (1984). *Steppe Algérienne : phytosociologie et écologie* . OPU.
- DJILI, K. (2000). *Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie*. Thèse doctorat. INA, Alger.
- DOKOUTCHAEV, V. (1983). *Russian Chernozems. Israel Prog. Sci. Trans., Jerusalem, Israel, 1967,*.
- DUCHAUFFOUR, P. (1988). *Abréges de pédologie 2 eme édition .Masson (Vol. 2)*. Paris Millan .Barcelone .Mexico.
- DURAND, J. (1953). *Etude géologique ,hydrogéologique et pedologique des croute en Algerie* . S.E.S .Algerio.
- DUTHIL, J. (1973). *Elément d'ecologie d'agronomie*. T3.Ed,J.B.Bailliere parie.
- FAO. (1973). *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole dans la région du hodna*. Rome: Val FAO.
- FAO. (2005). *utilisation des engrais par culture en Algerie* .
- FICCIDC. (1988). *the proposed stardard for digital crtographique data. the american cartographer (Vol. 15(1))*.
- FRONTIER, S. (1997). *Stratégies d'échantillonnage en écologie*.Ed. Masson.
- GARG, VYASS, KATHJU, B., B, & S. (1963). *Salinity fertility interaction on groneth mineral composition and nitrogen metabolisme of indain mustrad*.
- Gascuel-Odoux, C. (1984). *Applicaion de la géostatistique a l'etude le la spatiale des propriété hydrique du sol*. ENSM paris et ENSA-INRA rennes.
- GASCUEL-ODOUX, C. (1984). *Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol*. Thèse doct.Ing. ENSM Fontainebleau & ENSA-INRA Rennes.



- Girard, M., Aurosseau, P., King, D., & Legos, J. (1989). *Apport de l'informatique à l'analyse spatiale-SCIENCE DU SOL* (Vol. 27, 4).
- GIRARD, M., AUROUSSEAU, P., KING, D., & LEGROS, J. (1989). *SCIENCE DU SOL, Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes* (Vol. 27, 4).
- Girard, M., Walter, C., Remy, J., Berthel, J., & morel, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. paris: Dunod.
- GIRARD, M., WALTER, C., REMYE, J., BERTHEL, J., & MOREL, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. Paris: Dunod.
- GOOVAERTS, P., GERARD, G., & FRANKART, R. (1989). *Etude de la variabilité spatiale de quelques propriétés chimiques du sol en Fagnes de Chimay, Belgique. Pédologie* (Vol. 39(1)).
- HAJRASULIHA, S., BANIABBASSI, N., METTHEY, J., & NIELSEN, D. (1980). *Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran. Irrigation Science* (Vol. 1(4)).
- HALITIM, A. (1973). *Etude experementation de l'amelioration des sols sodique d'Algerie en vie de leur mise en culture* . Renne: these de 3eme cycle ,Univ de Renne.
- HALITIM, A. (1988). *Sols des region arrides d'Algerie* . Alger: Opu ,Alger.
- HEUVELINK, G., & WEBSER, R. *Modelling soil variation: Past, Present and Future. Geoderma* (Vol. 100, No. 3-4).
- HOUEROU, H. (1975). *deterioration of the écologia équilibium in the aride zone of North Africa*. (R. FAO, Éd.)
- INSID. (2008, juillet). *LES SOLS SALINS EN ALGERIE. INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE* .
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron* (Vol. 18). No h.s.
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron.* 18 (No h.s.).
- Jamagne, M., King, D., Girard, M., & Hard, R. (1993). *science du sol* (Vol. 31).
- JENNY, H. (1961). *Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*
- Johnston, K., Ver. Hoef, J., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, ESRI, 380*. NewYork Street, Redlands, CA 92373–8100, USA.
- JUSTINE, M. (2001). *Le point sur l'irregation et la salinite des sols en zone sahelienne: risque et recomendations* .
- KUST, G. (1997). *The man tendenccies in the dynamics of soil salinity within of the delta of the amu darya and syrs darya rivers in codition of active modern desrtification*. pochvovedinie n°7.



- LAGACHERIE, P. (2002). *Cartographies des sols et de leurs propriétés à un niveau sub-régional. Habilitation à diriger des recherches.*
- LAHLOU, BADRAOUI, SOUDI, GOUMARI, TESSIER, M., M, et al. (2002). *Modilisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols* . Montpellier.
- LALLEMAND, A. (1980). *Amenagement des sols sales irregation avec des eaux salées.*
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols de l'analyse spatiale à la gestion des territoire*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires/ - Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).*
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. Ann. Agron. (Vol. 29(6)).*
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. (Vol. 29(6)).*
- MARSMAN, B., & GRUIJTER, J. (1986). *Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area. Soil Survey Papers (Vol. n° 15).*
- Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel. Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, École des Mines de Paris, France, Fontainebleau.*
- Matheron, G. (1963). *Principles of geostatistics, Economic Geology (Vol. vol. 58).*
- Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée, Tome I. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (14).*
- MATHIEU, PIELTAIN, C., & F. (2003). *Analyse chimique des sols*. Paris: tec et doc ,lavoisier.
- MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., & CHEVASSU, G. (1986). *Application de la prospection magnéto-tellurique artificielle à l'étude de la profondeur du sol. Agronomie (Vol. 6 (1)).*
- Midekor, A., & Wellens, J. (2007). *Intitiation à Arc GIS.*
- MIMOUNE, S. (1995). *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna)*. these doc.
- Nielsen, D., Biggar, J., & Erh, T. (1973). *spatial variability of field measured soil water properties. Hilgaradia.42.*
- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion. (C. d.-J. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, Éd.)*
- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture.*



- Peck A.J. (1983). *faield variability of soil physical properties*. Adv.irrigation 2.
- Provencher, M. 2. (2003). Évaluation spatiale de l'efficacité agronomique du LIOR dans la pomme de terre. *Thèse de maîtrise. Université. Laval.* , p. 68 .
- RAJU, K., JINO, L., & WADASI, R. (1993). *Exchange process at the land surface for a range of space and time scades*. Yokahana Japon: procedings of international symposuim heeldat yokahana.
- RAMADE, S. (2003). *Eléments d' ecologie ,Ecologie fondamentale* . 3eme Edition DUNOD.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1e édition). paris.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er éditon). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er édition). Italie, Italie.
- Régis, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1e édition). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1er). Italie.
- ROBERT, M. (1996). *le sol interface dans l'evirennement ressource pour le developpement* . Paris: Masson.
- RUELLAN, A. D. (1989). *L'analyse structurale de la couverture pédologique*. (Vol. 27, 4,).
- Schloeder, C., Zimmerman, N., & J acobs, M. (2001). *Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data*. *Soil Science Society of America Journal*, (Vol. 65).
- SERVANT, M. (1975). *Etude pedologique des sols halomorphes* . Montpilier: These Doc .Univ Montpilier.
- SERVANT, SERVAT, J., & t.F. (1966). *Introduction à l'etude des sols salés litteraux des langaux doc ,.* Montpellier: service d'étude des sols centre de recherches agronomique du MIDI34.
- Smith, J., Halvorson, J., & Robert, I. (1993). *Using multiple variable indicator kriging for evaluating soil quality*. *Soil Sci. Soc. Am*.
- SNEDECOR, G., & COCHRAN, W. (1971). *Méthodes statistiques*. Ed. Association de Coordination Technique Agricole. paris.
- SOIL, S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SOPHIE, B. (2005, Avril). Le krigeage :revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval* .
- SOPHIE, B. (2005). *Le krigeage:revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations*.



- SOUDANI, K. (2006). Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI- Environmental Systems Research Institute. Université d'Orsay. p. 6.
- STAFF., S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SZABOLCS, I. (1944). *The limitation of potential yield by salinity and alkalinity of soils with particular reference to the mediterranean regions*. Spain: proceeding IPI. Spain.
- TARDY, Y. (1993). *Péetrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson.
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. 15). INRA, Les colloques de l'INRA.
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. n°15). (P. L. l'INRA, Éd.) Ed. INRA,.
- VOLTZ, M. (1986). *Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial. Essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques*. Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM.
- walter, C. (2002). *analyse spatiale des sol en vue de leur gestion précise et leur surveillance*.
- WALTER, C. (2002). *Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance. Habilitation à diriger des recherches*.
- Walter, C., McBratney, A., Douaoui, A., & Minasny, B. (2001). *Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram*. *Australian Journal of Soil Research* 39:.
- WEBSTER, R. (2000). *Is soil variation random?* *Geoderma* (97)3-4,.
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps*. *Nature London* 219.
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps*. *Nature London*. London.
- WEBSTER, R., & OLIVER, M. (1990). *Statistical methods in soil and land resource survey*. *Spatial Information Systems, Oxford University Press*.
- Webster, R., & Oliver, M.-L. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. New York: John Wiley & Sons.
- WILDING, L., & DREES, L. (1983). *Spatial variability and pedology*. in WILDING L.P., SMECK N.E. et.
- WILFRID, D. (2006). *Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. »*. Université de Bretagne Sud Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique.
- WYNJONES, H., & GUNSTON, G. (1991). *Complement a preyor conflicting approachaes to salinity*.
- YAALON, D. (1971). *Soil-forming processes in time and space*. *Paleopedology – Origin, nature and dating of paleosols*. *Int. Soc. Soil. Sci. and Israel*.



you, MENG, XIAO, LIO, W., F.R, Z.H, et al. (1992). *Salt- water dynamics in soil : I Salt-Water dynamics in unsaturated soils under stable evaporatio codition* . pedosphere ,2,3.

ZID, C. (1991). *Les testes de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress Cas des stress salin et hydrique, l'amélioration des plantes* (éd. ed. Upelf-UREF).

Travaux cités

ALDERMOCH, M. (1976). *Influence des soulitions salines sur les propriétés physique et l'évolution des minéraux phylliteux de sols systeme*. thèse doc.

ARROUAYS, D. (1995). *Analyse et modélisation spatiales de l'évolution des stocks de carbone organique des sols à l'échelle d'un paysage pédologique ; application à l'étude des sols de "touyas" du Piedmont pyrénéen*. Thèse de doctorat, E.N.S.A.M.

AUBERT, G. (1960). *Les sols de la zone arride ,étude de leur formation ,de leur conservation actes coll .unesco de paris sur le probleme de la zone arride*. paris.

AUBERT, G. (1978). *Méthodes d'analyses des sols*. Marseille.: Edit.C.R.D.P.Marseille.

AUBERT, G. (1983). *observation sur les caractéristique la denomination et la classification des sols salés ou sales sodiques* . Cashors Tom .ser.Pd Volxxx n°1.

AYERS, R. (1978). *Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte*. (éd. vol I n°3).

BAISE, D. (1988). *Guide d'analyse courantes en pédologie ,choise ,experssion presentation ,interpretation,INRA*. Paris.

BAIZE, D. (1986). *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie*. *Science du Sol* (Vol. 24(3)).

BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie. Choies. Expression. Présentation. Interprétation*. 257p. Paris: 2ème Ed. INRA. Paris.

BAIZE, D., & GIRARD, M. (1995). *Référentiel Pédologique*. INRA Editions.

BANFIELD, C., & BASCOMB, C. (1976). *Variability in three areas of the Denchworth soil map unit. II.Relationships between soil properties and similarities between profiles using laboratory* (Vol. 27 (3)).

BECKETT, P., & WEBSTER, R. 1. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert* (Vol. 34).

BECKETT, P., & WEBSTER, R. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert*. (Vol. 34).

BOHBOT, H. (2014). *base pratique en crtographie et SIG,initiation à Arc GIS 10* (Vol. 1.1).

BONNET, E. (2000). *support de cours ArcGIS 9.X*.

BOULAIN, J. (1989). *Histoire des pédologues et de la science des sols* (éd. INRA Editions,).



- BOULAIN, J. (1971). *hydropedologie, des écoles nationales de génie rurale, , des eaux et des forets.* alger.
- BOULAIN, J. (1980). *Pédologie appliquée.* Ed. Masson.
- BOUMEZBEUR, A. (2002). *Atlas des 26 zone humides Algériennes internationale .* Alger: Direction générale des forets.
- BRESLER, L., CARTERD, L., & MCNEALB, E. (1982). *Saline and sodic soils ,advanced series in agriculture sciences.* Springer-Varlag.
- BRUS, D., & DE GRUIJTER, J. (1997). *Random sampling or geostatistical modelling. Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil.*
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal Interpolation and Isarithmic mapping of soil properties - I. The semi-variogram and punctual kriging. Journal of Soil Science (Vol. 31).*
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. of Soil Sci. (Vol. 31).*
- BUTLER, B. (1980). *Soil Classification for Soil Survey.* Clarendon Press, Oxford.
- c.p.c.s. (1967). *clasification des sols .laboratoire de géologie ,pédologie de l'E.N.S.A.* Paris: grignon.
- CALVET, R. (2003). *Le sol ,properte et fonction ,phenomene physique et chimique Tom 2.*Ed. françe Aricol.
- CANNAVACCIUOLO, M. (1998). *Biodiversité et structure spatiale de la faune lombricienne dans une prairie temporaire de l'Ouest de la France.* Université de Rennes I.
- CAPOLONI, J., & SARY, M. (1971). *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila.* Alger: Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique.
- CHAPLOT, V. (1998). *Organisation spatiale des sols hydromorphes de fonds de vallée et modélisation, Thèse Thèse de doctorat, E.N.S.A. de Rennes.*
- CHERBUY, B. (1991). *les sols salés et leur réhabilitaion.* p. 35.
- CHERY, P. (1995). *Variabilité de l'épaisseur de la couverture de sol. Conséquences pour le bilan hydrique hivernal d'un secteur de Petite Beauce.* Thèse de doctorat, Université Nancy I.
- CHEVERRY, C. (1974). *contrubition à l'étude pédologique des polder du lac tchad .dynamie des sels en milieu continental subaride dans des sédiment argileux et organique .* Strasbourg: These universitaire louis pasteur .
- Chilès, J. (2004). *La modélisation géostatistique de la variabilité spatiale et ses applications.*Earth Sciences. Université Pierre et Marie Curie. paris VI.



- Chilès, J. P., Hélèn, D. R., Nicolas, Dimitri, D., Gaëlle, L., J, P. J., et al. (2005, Novembre 1). Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués Manuel méthodologique et exemples d'applications. p. 26.
- COCHRAN, W. (1977). *Sampling techniques*. J. Wiley & Sons, New York.
- CRESSIE, N. A. (1993). *Statistics for spatial data*. Wiley Series in Probability and.
- CRESSIE, N. (1991). *Part I. Geostatistical data*, In 'Statistics of spatial data. John Wiley &.
- DAGNELIE, P. (1981). *Principes d'expérimentation. Les presses agronomiques de Gembloux*.
- DAOUD, HALITIM, Y., & A. (1994). *Irrigation et salinisation au sahara Algérien secheresse*.
- DEMELON, A. (1966). *Dynamique du sol Tom.1,5 eme Ed du nod*. Paris.
- DENIS, A. (2012). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 35.
- DENIS, A., & ALLARD. (2012, 12 21). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 3.
- DERDOUR, H. (1981). *Contribution à l'étude de l'influence du taux de soduim échangeable sur le comporetement des sols au compactage* . Algerie: these Magister ,I.N.A.
- DJEBAILI, S. (1984). *Steppe Algérienne : phytosociologie et écologie* . OPU.
- DJILI, K. (2000). *Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie*. Thèse doctorat. INA, Alger.
- DOKOUTCHAEV, V. (1983). *Russian Chernozems. Israel Prog. Sci. Trans., Jerusalem, Israel, 1967,*.
- DUCHAUFFOUR, P. (1988). *Abrégés de pédologie 2 eme édition .Masson (Vol. 2)*. Paris Millan .Barcelone .Mexico.
- DURAND, J. (1953). *Etude géologique ,hydrogéologique et pedologique des croute en Algerie* . S.E.S .Algerio.
- DUTHIL, J. (1973). *Elément d'ecologie d'agronomie*. T3.Ed,J.B.Bailliere parie.
- FAO. (1973). *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole dans la région du hodna*. Rome: Val FAO.
- FAO. (2005). *utilisation des engrais par culture en Algerie* .
- FICCIDC. (1988). *the proposed stardard for digital crtographique data. the american cartographer (Vol. 15(1))*.
- FRONTIER, S. (1997). *Stratégies d'échantillonnage en écologie*.Ed. Masson.
- GARG, VYASS, KATHJU, B., B, & S. (1963). *Salinity fertility interaction on groneth mineral composition and nitrogen metabolisme of indain mustrad*.



- Gascuel-Oudou, C. (1984). Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. ENSM Paris et ENSA-INRA Rennes.
- GASCUEL-ODOUX, C. (1984). *Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse doct. Ing. ENSM Fontainebleau & ENSA-INRA Rennes.*
- Girard, M., Auroisseau, P., King, D., & Legos, J. (1989). *Apport de l'informatique à l'analyse spatiale-SCIENCE DU SOL* (Vol. 27, 4).
- GIRARD, M., AUROUSSEAU, P., KING, D., & LEGROS, J. (1989). *SCIENCE DU SOL, Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes* (Vol. 27, 4).
- Girard, M., Walter, C., Remy, J., Berthel, J., & Morel, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. Paris: Dunod.
- GIRARD, M., WALTER, C., REMYE, J., BERTHEL, J., & MOREL, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. Paris: Dunod.
- GOOVAERTS, P., GERARD, G., & FRANKART, R. (1989). *Etude de la variabilité spatiale de quelques propriétés chimiques du sol en Fagnes de Chimay, Belgique. Pédologie* (Vol. 39(1)).
- HAJRASULIHA, S., BANIABBASSI, N., METTHEY, J., & NIELSEN, D. (1980). *Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran. Irrigation Science* (Vol. 1(4)).
- HALITIM, A. (1973). *Etude expérimentation de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture*. Rennes: thèse de 3ème cycle, Univ de Rennes.
- HALITIM, A. (1988). *Sols des régions arides d'Algérie*. Alger: Opu, Alger.
- HEUVELINK, G., & WEBSTER, R. *Modelling soil variation: Past, Present and Future. Geoderma* (Vol. 100, No. 3-4).
- HOUEROU, H. (1975). *deterioration of the ecological equilibrium in the arid zone of North Africa*. (R. FAO, Éd.)
- INSID. (2008, juillet). LES SOLS SALINS EN ALGERIE. *INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE*.
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron* (Vol. 18). No h.s.
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron*. 18 (No h.s.).
- Jamagne, M., King, D., Girard, M., & Hard, R. (1993). *science du sol* (Vol. 31).
- JENNY, H. (1961). *Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*
- Johnston, K., Ver. Hoef, J., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, ESRI, 380. New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.*



- JUSTINE, M. (2001). *Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne: risque et recommandations*.
- KUST, G. (1997). *The main tendencies in the dynamics of soil salinity within of the delta of the amudarya and syrdarya rivers in condition of active modern desertification*. pochvovedinie n°7.
- LAGACHERIE, P. (2002). *Cartographies des sols et de leurs propriétés à un niveau sub-régional. Habilitation à diriger des recherches*.
- LAHLOU, BADRAOUI, SOUDI, GOUMARI, TESSIER, M., M, et al. (2002). *Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols*. Montpellier.
- LALLEMAND, A. (1980). *Amenagement des sols sales irrigation avec des eaux salées*.
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols de l'analyse spatiale à la gestion des territoires*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires/ - Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).*
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols*. Ann. Agron. (Vol. 29(6)).
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols*. (Vol. 29(6)).
- MARSMAN, B., & GRUIJTER, J. (1986). *Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area*. Soil Survey Papers (Vol. n° 15).
- Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel. Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, École des Mines de Paris, France, Fontainebleau*.
- Matheron, G. (1963). *Principles of geostatistics, Economic Geology* (Vol. vol. 58).
- Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée, Tome I. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (14).
- MATHIEU, PIELTAIN, C., & F. (2003). *Analyse chimique des sols*. Paris: tec et doc ,lavoisier.
- MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., & CHEVASSU, G. (1986). *Application de la prospection magnéto-tellurique artificielle à l'étude de la profondeur du sol*. Agronomie (Vol. 6 (1)).
- Midekor, A., & Wellens, J. (2007). *Intitiation à Arc GIS*.
- MIMOUNE, S. (1995). *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna)*. these doc.
- Nielsen, D., Biggar, J., & Erh, T. (1973). *spatial variability of field measured soil water properties*. Hilgaradia.42.



- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. (C. d.-J. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, Éd.)
- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture.
- Peck A.J. (1983). *field variability of soil physical properties*. Adv.irrigation 2.
- Provencher, M. 2. (2003). Évaluation spatiale de l'efficacité agronomique du LIOR dans la pomme de terre. *Thèse de maîtrise. Université. Laval.* , p. 68 .
- RAJU, K., JINO, L., & WADASI, R. (1993). *Exchange process at the land surface for a range of space and time scales*. Yokahana Japon: proceedings of international symposium heeldat yokahana.
- RAMADE, S. (2003). *Eléments d'écologie ,Écologie fondamentale* . 3eme Edition DUNOD.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1e édition). paris.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er éditon). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er édition). Italie, Italie.
- Régis, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1e édition). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1er). Italie.
- ROBERT, M. (1996). *le sol interface dans l'evirennement ressource pour le developpement* . Paris: Masson.
- RUELLAN, A. D. (1989). *L'analyse structurale de la couverture pédologique*. (Vol. 27, 4,).
- Schloeder, C., Zimmerman, N., & J acobs, M. (2001). *Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data*. *Soil Science Society of America Journal*, (Vol. 65).
- SERVANT, M. (1975). *Etude pedologique des sols halomorphes* . Montpellier: These Doc .Univ Montpellier.
- SERVANT, SERVAT, J., & t.F. (1966). *Introduction à l'etude des sols salés litteraux des langaux doc ,.* Montpellier: service d'étude des sols centre de recherches agronomique du MIDI34.
- Smith, J., Halvorson, J., & Robert, I. (1993). *Using multiple variable indicator kriging for evaluating soil quality*. *Soil Sci. Soc. Am*.
- SNEDECOR, G., & COCHRAN, W. (1971). *Méthodes statistiques*. Ed. Association de Coordination Technique Agricole. paris.
- SOIL, S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.



SOPHIE, B. (2005, Avril). Le krigeage : revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval*

SOPHIE, B. (2005). *Le krigeage: revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations.*

SOUDANI, K. (2006). Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI- Environmental Systems Research Institute. Université d'Orsay. p. 6.

STAFF., S. S. (1951). *Soil Survey Manual. US Department of Agriculture, Washington.*

SZABOLCS, I. (1944). *The limitation of potential yield by salinity and alkalinity of soils with particular reference to the mediterranean regions* . Spain: proceeding IPI.Spain.

TARDY, Y. (1993). *Pédrologie des latérites et des sols tropicaux.* Masson.

VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. 15). INRA, Les colloques de l'INRA.

VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. n°15). (P. L. l'INRA, Éd.) Ed. INRA,.

VOLTZ, M. (1986). *Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial. Essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques.* Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM.

walter, C. (2002). *analyse spatiale des sol en vue de leur getion précise et leur surveillance.*

WALTER, C. (2002). *Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance.* Habilitation à diriger des recherches.

Walter, C., McBratney, A., Douaoui, A., & Minasny, B. (2001). *Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram.* *Australian Journal of Soil Research* 39:.

WEBSTER, R. (2000). *Is soil variation random?* *Geoderma* (97)3-4,.

WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps.* *Nature London* 219.

WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps.* *Nature London.* London.

WEBSTER, R., & OLIVER, M. (1990). *Statistical methods in soil and land resource survey. Spatial Information Systems, Oxford University Press.*

Webster, R., & Oliver, M.-L. (2001). *Geostatistics for environmental scientists.* New York: John Wiley & Sons.

WILDING, L., & DREES, L. (1983). *Spatial variability and pedology.* in WILDING L.P., SMECK N.E. et.



WILFRID, D. (2006). *Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. »*. Université de Bretagne Sud Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique.

WYNJONES, H., & GUNSTON, G. (1991). *Completely a prey to conflicting approaches to salinity*.

YAALON, D. (1971). *Soil-forming processes in time and space*. Paleopedology – Origin, nature and dating of paleosols. Int. Soc. Soil. Sci. and Israel.

you, MENG, XIAO, LIO, W., F.R, Z.H, et al. (1992). *Salt- water dynamics in soil : I Salt-Water dynamics in unsaturated soils under stable evaporatio codition* . pedosphere ,2,3.

ZID, C. (1991). *Les testes de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress Cas des stress salin et hydrique, l'amélioration des plantes* (éd. ed. Upelf-UREF).

ALDERMOCH, M. (1976). *Influence des soulitions salines sur les propriétés physique et l'évolution des minéraux phylliteux de sols systeme*. thèse doc.

ARROUAYS, D. (1995). *Analyse et modélisation spatiales de l'évolution des stocks de carbone organique des sols à l'échelle d'un paysage pédologique ; application à l'étude des sols de "touyas" du Piedmont pyrénéen*. Thèse de doctorat, E.N.S.A.M.

AUBERT, G. (1960). *Les sols de la zone arride ,étude de leure formation ,de leur conservation actes coll .unesco de paris sur le probleme de la zone arride*. paris.

AUBERT, G. (1978). *Méthodes d'analyses des sols*. Marseille.: Edit.C.R.D.P.Marseille.

AUBERT, G. (1983). *observation sur les caractéristique la denomination et la classification des sols salés ou sales sodiques* . Cashors Tom .ser.Pd Volxxx n°1.

AYERS, R. (1978). *Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte*. (éd. vol I n°3).

BAISE, D. (1988). *Guide d'analyse courantes en pédologie ,choise ,experssion presentation ,interpretation,INRA*. Paris.

BAIZE, D. (1986). *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie*. *Science du Sol* (Vol. 24(3)).

BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie. Chois. Expression. Présentation. Interprétation*. 257p. Paris: 2ème Ed. INRA. Paris.

BAIZE, D., & GIRARD, M. (1995). *Référentiel Pédologique*. INRA Editions.

BANFIELD, C., & BASCOMB, C. (1976). *Variability in three areas of the Denchworth soil map unit. II. Relationships between soil properties and similarities between profiles using laboratory* (Vol. 27 (3)).

BECKETT, P., & WEBSTER, R. 1. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert* (Vol. 34).



- BECKETT, P., & WEBSTER, R. (1971). *Soil variability: A review. Soils fert.* (Vol. 34).
- BOHBOT, H. (2014). *base pratique en cartographie et SIG, initiation à Arc GIS 10* (Vol. 1.1).
- BONNET, E. (2000). *support de cours ArcGIS 9.X.*
- BOULAIN, J. (1989). *Histoire des pédologues et de la science des sols* (éd. INRA Editions,).
- BOULAIN, J. (1971). *hydropédologie, des écoles nationales de génie rural, des eaux et des forêts.* alger.
- BOULAIN, J. (1980). *Pédologie appliquée.* Ed. Masson.
- BOUMEZBEUR, A. (2002). *Atlas des 26 zones humides Algériennes internationale.* Alger: Direction générale des forêts.
- BRESLER, L., CARTER, L., & MCNEAL, E. (1982). *Saline and sodic soils, advanced series in agriculture sciences.* Springer-Verlag.
- BRUS, D., & DE GRUIJTER, J. (1997). *Random sampling or geostatistical modelling. Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil.*
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal Interpolation and Isarithmic mapping of soil properties - I. The semi-variogram and punctual kriging. Journal of Soil Science* (Vol. 31).
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. of Soil Sci.* (Vol. 31).
- BUTLER, B. (1980). *Soil Classification for Soil Survey.* Clarendon Press, Oxford.
- c.p.c.s. (1967). *classification des sols. laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A.* Paris: grignon.
- CALVET, R. (2003). *Le sol, propriété et fonction, phénomène physique et chimique Tom 2.* Ed. France Agricole.
- CANNAVACCIUOLO, M. (1998). *Biodiversité et structure spatiale de la faune lombricienne dans une prairie temporaire de l'Ouest de la France.* Université de Rennes I.
- CAPOLONI, J., & SARY, M. (1971). *Atlas des cartes géomorphologiques du chott El Hodna feuille de M'sila.* Alger: Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique.
- CHAPLOT, V. (1998). *Organisation spatiale des sols hydromorphes de fonds de vallée et modélisation, Thèse de doctorat, E.N.S.A. de Rennes.*
- CHERBUY, B. (1991). *les sols salés et leur réhabilitation.* p. 35.
- CHERY, P. (1995). *Variabilité de l'épaisseur de la couverture de sol. Conséquences pour le bilan hydrique hivernal d'un secteur de Petite Beauce. Thèse de doctorat, Université Nancy I.*



- CHEVERRY, C. (1974). *contrubition à l'étude pédologique des polder du lac tchad .dynamie des sels en milieu continental subaride dans des sédiment argileux et organique* . Strasbourg: These universitaire louis pasteur .
- Chilès, J. (2004). *La modélisation géostatistique de la variabilité spatiale et ses applications*.Earth Sciences. Université Pierre et Marie Curie. paris VI.
- Chilès, J. P., Hélèn, D. R., Nicolas, Dimitri, D., Gaëlle, L., J, P. J., et al. (2005, Novembre 1). Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués Manuel méthodologique et exemples d'applications. p. 26.
- COCHRAN, W. (1977). *Sampling techniques*. J. Wiley & Sons, New York.
- CRESSIE, N. A. (1993). *Statistics for spatial data*. Wiley Series in Probability and.
- CRESSIE, N. (1991). *Part I. Geostatistical data*, In '*Statistics of spatial data*. John Wiley &.
- DAGNELIE, P. (1981). *Principes d'expérimentation*. Les presses agronomiques de Gembloux.
- DAOUD, HALITIM, Y., & A. (1994). *Irrigation et salinisation au sahara Algérien secheresse*.
- DEMELON, A. (1966). *Dynamique du sol Tom.1,5 eme Ed du nod*. Paris.
- DENIS, A. (2012). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 35.
- DENIS, A., & ALLARD. (2012, 12 21). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 3.
- DERDOUR, H. (1981). *Contribution à l'étude de l'influence du taux de soduim échangeable sur le comporetement des sols au compactage* . Algerie: these Magister ,I.N.A.
- DJEBAILI, S. (1984). *Steppe Algérienne : phytosociologie et écologie* . OPU.
- DJILI, K. (2000). *Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie*. Thèse doctorat. INA, Alger.
- DOKOUTCHAEV, V. (1983). *Russian Chernozems*. Israel Prog. Sci. Trans., Jerusalem, Israel, 1967,.
- DUCHAUFFOUR, P. (1988). *Abréges de pédologie 2 eme édition* .Masson (Vol. 2). Paris Millan .Barcelone .Mexico.
- DURAND, J. (1953). *Etude géologique ,hydrogéologique et pedologique des croute en Algerie* . S.E.S .Algerio.
- DUTHIL, J. (1973). *Elément d'ecologie d'agronomie*. T3.Ed,J.B.Bailliere parie.
- FAO. (1973). *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole dans la région du hodna*. Rome: Val FAO.
- FAO. (2005). *utilisation des engrais par culture en Algerie* .



FICCIDC. (1988). *the proposed standard for digital cartographic data. the american cartographer* (Vol. 15(1)).

FRONTIER, S. (1997). *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Ed. Masson.

GARG, VYASS, KATHJU, B., B. & S. (1963). *Salinity fertility interaction on growth mineral composition and nitrogen metabolism of indain mustard*.

Gascuel-Oudou, C. (1984). *Application de la géostatistique à l'étude de la spatialité des propriétés hydriques du sol*. ENSM paris et ENSA-INRA rennes.

GASCUEL-ODOUX, C. (1984). *Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol*. Thèse doct. Ing. ENSM Fontainebleau & ENSA-INRA Rennes.

Girard, M., Auroseau, P., King, D., & Legos, J. (1989). *Apport de l'informatique à l'analyse spatiale-SCIENCE DU SOL* (Vol. 27, 4).

GIRARD, M., AUROUSSEAU, P., KING, D., & LEGROS, J. (1989). *SCIENCE DU SOL, Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes* (Vol. 27, 4).

Girard, M., Walter, C., Remy, J., Berthel, J., & Morel, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. Paris: Dunod.

GIRARD, M., WALTER, C., REMYE, J., BERTHEL, J., & MOREL, J. (2005). *sol et environnement, cours, exercices et études de cas*. Paris: Dunod.

GOOVAERTS, P., GERARD, G., & FRANKART, R. (1989). *Etude de la variabilité spatiale de quelques propriétés chimiques du sol en Fagnes de Chimay, Belgique*. *Pédologie* (Vol. 39(1)).

HAJRASULIHA, S., BANIABBASSI, N., METTHEY, J., & NIELSEN, D. (1980). *Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran*. *Irrigation Science* (Vol. 1(4)).

HALITIM, A. (1973). *Etude expérimentation de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture*. Rennes: thèse de 3ème cycle, Univ de Rennes.

HALITIM, A. (1988). *Sols des régions arides d'Algérie*. Alger: Opu, Alger.

HEUVELINK, G., & WEBSTER, R. *Modelling soil variation: Past, Present and Future*. *Geoderma* (Vol. 100, No. 3-4).

HOUEROU, H. (1975). *deterioration of the ecological equilibrium in the arid zone of North Africa*. (R. FAO, Éd.)

INSID. (2008, juillet). *LES SOLS SALINS EN ALGERIE*. INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE.

JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols*. *Ann. agron* (Vol. 18). No h.s.

JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols*. *Ann. agron*. 18 (No h.s.).



- Jamagne, M., King, D., Girard, M., & Hard, R. (1993). *science du sol* (Vol. 31).
- JENNY, H. (1961). *Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*
- Johnston, K., Ver. Hoef, J., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, ESRI, 380*. NewYork Street, Redlands, CA 92373–8100, USA.
- JUSTINE, M. (2001). *Le point sur l'irregation et la salinite des sols en zone sahelienne: risque et recomandations* .
- KUST, G. (1997). *The man tendenccies in the dynamics of soil salinity within of the delta of the amu darya and syrs darya rivers in codition of active modern desrtification*. pochvovedinie n°7.
- LAGACHERIE, P. (2002). *Cartographies des sols et de leurs propriétés à un niveau sub-régional. Habilitation à diriger des recherches*.
- LAHLOU, BADRAOUI, SOUDI, GOUMARI, TESSIER, M., M, et al. (2002). *Modilisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols* . Montpellier.
- LALLEMAND, A. (1980). *Amenagement des sols sales irregation avec des eaux salées*.
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols de l'analyse spatiale à la gestion des territoire*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires/ - Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10)*.
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. Ann. Agron.* (Vol. 29(6)).
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols.* (Vol. 29(6)).
- MARSMAN, B., & GRUIJTER, J. (1986). *Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area. Soil Survey Papers* (Vol. n° 15).
- Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel. Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, École des Mines de Paris, France, Fontainebleau*.
- Matheron, G. (1963). *Principles of geostatistics, Economic Geology* (Vol. vol. 58).
- Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée, Tome I. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (14).
- MATHIEU, PIELTAIN, C., & F. (2003). *Analyse chimique des sols*. Paris: tec et doc ,lavoisier.
- MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., & CHEVASSU, G. (1986). *Application de la prospection magnéto-tellurique artificielle à l'étude de la profondeur du sol. Agronomie* (Vol. 6 (1)).
- Midekor, A., & Wellens, J. (2007). *Intitiation à Arc GIS*.



- MIMOUNE, S. (1995). *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna)*. these doc.
- Nielsen, D., Biggar, J., & Erh, T. (1973). *spatial variability of field measured soil water properties*. Hilgaradia.42.
- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. (C. d.-J. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, Éd.)
- Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture.
- Peck A.J. (1983). *faield variability of soil physical properties*. Adv.irrigation 2.
- Provencher, M. 2. (2003). Évaluation spatiale de l'efficacité agronomique du LIOR dans la pomme de terre. *Thèse de maîtrise. Université. Laval.* , p. 68 .
- RAJU, K., JINO, L., & WADASI, R. (1993). *Exchange process at the land surface for a range of space and time scades*. Yokahana Japon: procedings of international symposium heeldat yokahana.
- RAMADE, S. (2003). *Eléments d' ecologie ,Ecologie fondamentale* . 3eme Edition DUNOD.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1e édition). paris.
- Régis, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er éditon). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er édition). Italie, Italie.
- Régis, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1e édition). Italie.
- RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1er). Italie.
- ROBERT, M. (1996). *le sol interface dans l'evirennement ressource pour le developpement* . Paris: Masson.
- RUELLAN, A. D. (1989). *L'analyse structurale de la couverture pédologique*. (Vol. 27, 4,).
- Schloeder, C., Zimmerman, N., & J acobs, M. (2001). *Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data*. *Soil Science Society of America Journal*, (Vol. 65).
- SERVANT, M. (1975). *Etude pedologique des sols halomorphes* . Montpellier: These Doc .Univ Montpellier.
- SERVANT, SERVAT, J., & t.F. (1966). *Introduction à l'etude des sols salés litteraux des langaux doc* ,. Montpellier: service d'étude des sols centre de recherches agronomique du MIDI34.
- Smith, J., Halvorson, J., & Robert, I. (1993). *Using multiple variable indicator kriging for evaluating soil quality*. *Soil Sci. Soc. Am*.



- SNEDECOR, G., & COCHRAN, W. (1971). *Méthodes statistiques*. Ed. Association de Coordination Technique Agricole. paris.
- SOIL, S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SOPHIE, B. (2005, Avril). Le krigeage : revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval* .
- SOPHIE, B. (2005). *Le krigeage: revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations*.
- SOUDANI, K. (2006). Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI- Environmental Systems Research Institute. Université d'Orsay. p. 6.
- STAFF., S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SZABOLCS, I. (1944). *The limitation of potental yield by salinity and alkalinity of soils with particulr reference to the mediterranean regions* . Spain: proceding IPI.Spain.
- TARDY, Y. (1993). *Péetrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson.
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. 15). INRA, Les colloques de l'INRA.
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. n°15). (P. L. l'INRA, Éd.) Ed. INRA,.
- VOLTZ, M. (1986). *Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial. Essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques*. Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM.
- walter, C. (2002). *analyse spatiale des sol en vue de leur getion précise et leur surveillance*.
- WALTER, C. (2002). *Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance*. Habilitation à diriger des recherches.
- Walter, C., McBratney, A., Douaoui, A., & Minasny, B. (2001). *Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram*. *Australian Journal of Soil Research* 39:.
- WEBSTER, R. (2000). *Is soil variation random?* *Geoderma* (97)3-4,.
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps*. *Nature London* 219.
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps*. *Nature London*. London.
- WEBSTER, R., & OLIVER, M. (1990). *Statistical methods in soil and land resource survey*. *Spatial Information Systems*, Oxford University Press.



Webster, R., & Oliver, M.-L. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. New York: John Wiley & Sons.

WILDING, L., & DREES, L. (1983). *Spatial variability and pedology*. in WILDING L.P., SMECK N.E. et.

WILFRID, D. (2006). *Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. »*. Université de Bretagne Sud Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique.

WYNJONES, H., & GUNSTON, G. (1991). *Complètement a preyor conflicting approchaes to salinity* .

YAALON, D. (1971). *Soil-forming processes in time and space*. Paleopedology – Origin, nature and dating of paleosols. Int. Soc. Soil. Sci. and Israel.

you, MENG, XIAO, LIO, W., F.R, Z.H, et al. (1992). *Salt- water dynamics in soil : I Salt-Water dynamics in unsaturated soils under stable evaporatio codition* . pedosphere ,2,3.

ZID, C. (1991). *Les testes de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress Cas des stress salin et hydrique, l'amélioration des plantes* (éd. ed. Upelf-UREF).

الملخص

كلمات البحث: التحليل المكاني، ملوحة التربة، Krigage العادي و Krigage العالمي، المسافة العكسية (IDW) الهدف من هذا العمل هو دراسة التغيرات المكانية للملوحة في نقاط مختلفة من التربة تابعة للمسيحة 'المسقية من القصب باستخدام برنامج ArcGIS، استعمال طريقة المسافة العكسية IDW و Krigage العادي و Krigage العالمي لاشتقاق الخرائط الجزئية لكل فئة من ملوحة التربة و أبرزت النتائج المحصل عليها في هذه الخطوة من المعلومات النموذجية للتحليل المكاني للتوصيل الكهربائي انه يحافظ على سلامة التصنيف التي تم الحصول عليها بواسطة التحاليل المخبرية لكل من نقاط العينات، هناك أوجه تشابه بين هاتين الطريقتين و Krigage العادي و Krigage العالمي و التوزيع المكاني للملوحة متصلة بعدة عوامل مثل الخواص الفيزيائية للتربة.

Résumé

Mots clés : analyses spatial, la salinité du sol, inverse distance IDW , Krigage ordinaire KO et Krigage universel, KU

Le but de ce travail est d'étudier la variabilité spatiale de la salinité à divers points d'un sol à pépinière de k'sob irriguée en utilisant le logiciel ArcGIS, utilisez méthodes d'interpolation déterministes inverse distance (IDW) et probabilistes (Krigage ordinaire et Krigage universel) pour obtenir des cartes partielles de chaque classe de la salinité du sol et mis en évidence les résultats obtenus dans cette étape de l'information typique pour l'analyse spatiale de la conductivité électrique qui maintient l'intégrité de la classification obtenue par des analyses de laboratoire pour chacun des points d'échantillonnage, il y a des similitudes entre ces deux méthodes et Krigage ordinaire et Krigage universel et la répartition spatiale de la salinité liée à plusieurs facteurs tels que les propriétés physiques du sol.

Abstract

Keywords : spatial variability, Krigage ordinary and universal Krigage, inverse distance (IDW)

The aim of this work is to study the spatial variability of salinity at various points of a soil to irrigated k'sob nursery using ArcGIS software, use interpolation methods deterministic inverse distance (IDW) and probabilistic (Krigage ordinary and universal Krigage) for partial maps of each class of soil salinity and highlighted the results obtained in this phase of the typical information for spatial analysis of electrical conductivity that maintains the integrity of the classification obtained by laboratory analysis for each of the sampling points, there are similarities between these two methods and ordinary Kriging and universal Kriging and spatial distribution of salinity due to several factors such as soil physical properties.