

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre:  
N° de série :

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Ecologie

**Par : ROUARI Abdelmalek**

**Thème**

**Modélisation de la variabilité spatiale de  
quelques propriétés du sol dans la région  
de Ghardaïa (cas de Hassi F'Hel)**

**Soutenu publiquement le : 26/06/2018**

**Devant le jury :**

<b>M. KHELLAF Khoudir</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>M. BENBRAHIM Fouzi</b>	Maître de conférences B	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>
<b>M<sup>me</sup>. MEBAREK OUDINA Asmahane</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Examinatrice</b>

**Année universitaire 2017/2018**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre:  
N° de série :

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Ecologie et environnement

**Spécialité :** Ecologie

**Par :ROUARI Abdelmalek**

**Thème**

**Modélisation de la variabilité spatiale de  
quelques propriétés du sol dans la région  
de Ghardaïa (cas de Hassi Fehal)**

**Soutenu publiquement le : 26/06/2016**

**Devant le jury :**

<b>M. KHalaf Khoudir</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>M. BENBRAHIM Fouzi</b>	Maître de conférences B	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>
<b>M<sup>me</sup>. MEBAREK OUDINA Asmahane</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Examinatrice</b>

**Année universitaire 2017/2018**

# *DEDICACES*

*Je dédie ce mémoire:*

*A mes très chers parents (Allaoua et Dalila) pour leurs patiences, leurs amours,  
leurs sacrifices et leurs aides.*

*A me très cher frère Zakaria et mes très chers sœurs Amel et Aicha*

*A mes amis et à mes collègues*

*A tout le personnel enseignant, technique et administratif de la faculté  
d'essciences de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'Université du  
Ghardaïa*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et contribué à la réalisation de ce  
mémoire.*

***ROUARI Abdelmalek.***

# REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions Le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.*

*Mes respectueux remerciements vont tout d'abord à Monsieur BENBRAHIM Fouzi, maître de conférences B à l'Université de Ghardaïa, pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. La qualité de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il m'a accordés, m'ont permis de réaliser le présent travail dans les meilleures conditions.*

*Je remercie également monsieur KHOUDIR Khellaf, maître assistant A à l'Université de Ghardaïa, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Je remercie également madame MEBAREK OUDINA Asmahane, maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa, d'avoir accepté d'examiner le présent travail.*

*Je profite également de cette occasion pour remercier :*

*Monsieur BENSLAMA Mohamed, Professeur à l'université BADJI MOKHTAR-Annaba, pour son accueil et son aide précieuse.*

*Monsieur KRAIMAT Mohammed enseignant-chercheur à l'université de Ghardaïa, pour ces conseils et son aide durant la réalisation de ce travail.*

*Monsieur BENSLAMA Abdel Raouf, doctorant à l'université BADJI MOKHTAR-Annaba pour son aide au laboratoire.*

*Le corps professoral et administratif de la Faculté de sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et*

*qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.*

*Les ingénieurs et techniciens de laboratoire de la faculté de sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, notamment M. BENHAMOUDA, M. MOULAY, M. MESSAITFA, M. BELKOUCZ, Mlle. DJEBRIT et Melle. ZAHOANI pour leur patience, énergie, créativité, présence, aide à nous et vos conseils pendant la réalisation de nos mémoires.*

*Je remercie aussi tous mes Ami(e)s que j'aime tant, CHIBANI DJ, BARADAI B, DAHMANE S, BENSALÉM W, BAHAZ A, ATIAA H, AMRANI Z, TALBI M, DAOUEN F, T'FYECH M, OUDJANA O, NADJER I, pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement*

*Je remercie également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation du présent mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Enfin Je remercie chaleureusement tous les membres de ma famille pour leur patience et pour m'avoir assuré les conditions favorables pour réaliser ce travail.*

***ROUARI Abdelmalek.***

# **Modélisation de la variabilité spatiale de quelques propriétés du sol dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi Fehal)**

## **Résumé**

La productivité d'un agrosystème ou un écosystème naturel dépend essentiellement de la variabilité des propriétés des sols à l'échelle du champ. Ce travail a pour objectif la modélisation de la variabilité spatiale de la réaction du sol et de la conductivité électrique par une approche géostatistique. Le travail a été réalisé dans la région de Hassi Fehal, Ghardaïa, les échantillons ont été prélevés sur une profondeur de 0 à 25 cm et analysés pour la salinité du sol et le pH. L'analyse combinée de la variance et du taux de variation annuelle des paramètres étudiés a montré une diminution très hautement significative du pH et une augmentation très hautement significative de la salinité du sol. L'analyse géostatistique a révélé divers modèles et niveaux de distribution spatiale des propriétés étudiées. Les résultats ont montré une dépendance spatiale modérée à forte pour le pH et forte pour la salinité. L'analyse variographique a montré que l'effet de pépite est très faible pour la réaction du sol et nul pour la salinité. La portée varie de 30,25 mètres pour la réaction du sol à 48.13 mètres pour la salinité, confirmant ainsi la validité de l'échantillonnage adopté et permettant l'optimisation des plans d'échantillonnage futurs. Les résultats de la validation croisée ont abouti à la sélection des modèles de variogrammes les plus fiables à savoir, le circulaire et l'exponentiel, qui ont servi à la réalisation des cartes de variabilité spatiale par krigeage ordinaire. Synthétiquement, les résultats indiquent que l'intensification agricole par la céréaliculture sous pivot dans la région de Hassi Fehal influencé quantitativement et qualitativement la teneur et la variabilité spatiale des propriétés du sol. Ces résultats doivent être pris en considération pour une gestion intégrée et durable des terres dans ces régions similaires.

**Mots clés :** Ghardaïa, variogramme, géostatistiques, salinité, pH, sol.

## نمذجة التباين المكاني لبعض خصائص التربة في منطقة غرداية (حالة حاسي فحل)

### ملخص

تعتمد إنتاجية النظام البيئي الزراعي أو النظام الايكولوجي الطبيعي أساسا على تغير خصائص التربة على مستوى الحقل. هذا العمل من اجل نمذجة المتغيرات المكانية لحموضة و الناقلية الكهربائية للتربة وفقا لنهج جيواحصائي. وقد اجري هذا العمل في منطقة حاسي فحل (غرداية)، وأخذت العينات على عمق يتراوح من 0 إلى 25 سم، وبهدف معرفة ملوحة وحموضة هذه التربة. التحليل المشترك للتباين ومعدل التغير السنوي للخصائص المدروسة يبين زيادة عالية الدلالة في ملوحة التربة وانخفاض عالي الدلالة في معامل الحموضة. كشف التحليل الجيو إحصائي عن نماذج ومستويات مختلفة للتوزع المكاني للخصائص المدروسة. وأظهرت النتائج اعتماد مكاني من معتدل إلى مرتفع لدرجة الحموضة ، و مرتفع لملوحة. كما بين التحليل المتباين النصفى أن التشدر منخفض جدا بالنسبة للملوحة ودرجة الحموضة. ويتراوح مدى التأثير من 30,25 متر لدرجة الحموضة إلى 48.13 متر للملوحة، مما يؤكد صحة طريقة أخذ العينات المعتمدة ويسمح بتحسين خطط أخذ العينات مستقبلا. وقد أدت نتائج التحليل المتبادل إلى اختيار النماذج الأكثر موثوقية، وهي النماذج الدائرية، والأسية، والتي استخدمت لإنجاز خرائط التوزع المكاني بواسطة الكريجينغ العادي. مما خلصت، تشير النتائج إلى أن التكتيف الزراعي من الحبوب المحورية في منطقة حاسي الفحل أثرت كمياً ونوعياً على التغير المكاني لخصائص التربة ، وهي نتيجة يجب أخذها بعين الاعتبار للإدارة المتكاملة والمستدامة للأراضي في المناطق المماثلة.

**الكلمات الدالة:** غرداية، المتباين النصفى، الجيو إحصاء، الملوحة، درجة الحموضة، التربة.

## **The spatial variability modelling of some soil properties on Ghardaia region (case of Hassi Fehal)**

### **Abstract**

The productivity of agrosystème or natural ecosystem depends essentially on variability of soil properties on field scale. This work is for objective the modelling of soil reaction spatial variability and electric conductivity by geostatistical approach. The work was realized on Hassi Fehal region (Ghardaïa), samples were taken from depth from 0 to 25 cm and analyzed for the salinity and pH of soil. The analysis combined by variance and annual variation rate of studied parameters showed a very highly significant decrease of pH and salinity. The geostatistical analysis revealed diverse models and levels for spatial distribution of studied properties. The results showed a spatial dependence moderated in strong for pH and salinity. The variographic analysis showed that the effect of nugget is very low for the ground reaction and nothing for salinity. The reach varies of 30,25m for soil reaction to 48.13m for salinity. So confirming validity of adopted and allowing future plans optimization of sampling. The results of crossed validation ended on variograms models selection of most reliable to be known, circular and exponential, which were used to realize of spatial variability cards by ordinary krigage. Synthetically, the results indicate that the agricultural intensification by cereals cultivation under pivot on Hassi Fehal region influenced quantitatively and qualitatively the content and spatial variability of soil properties. These results must be considered for an integrated and long-lasting lands management on these similar regions.

**Keywords:** Ghardaïa, variogram, geostatistical, salinity, pH, soil.



## Liste des tableaux

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Limites géographique de Ghardaïa	<b>3</b>
<b>Tableau 2</b>	Géomorphologie et pédologie de zones d'étude	<b>4</b>
<b>Tableau 3</b>	Données climatiques des zones d'études de 2007 à 2016	<b>5</b>
<b>Tableau 4</b>	Classes d'intensité de la variabilité	<b>15</b>
<b>Tableau 5</b>	Résultats d'analyses de pH du sol	<b>23</b>
<b>Tableau 6</b>	Validation croisée des variogrammes de la réaction du sol de la parcelle de référence	<b>28</b>
<b>Tableau 7</b>	Validation croisée des variogrammes de la réaction du sol de la parcelle cultivée	<b>33</b>
<b>Tableau 8</b>	Modèles de variogramme les mieux adaptés et paramètres des modèles pour le pH du sol.	<b>36</b>
<b>Tableau 9</b>	Les Résultats d'analyses de la salinité du sol	<b>37</b>
<b>Tableau 10</b>	Validation croisée des variogrammes de la salinité de la parcelle de référence	<b>41</b>
<b>Tableau 11</b>	Validation croisée des variogrammes de la salinité de la parcelle cultivée	<b>46</b>
<b>Tableau 12</b>	Modèles de variogramme les mieux adaptés et paramètres des modèles pour la salinité du sol	<b>49</b>

## Liste des figures

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Ghardaïa (2007 -2016)	<b>7</b>
<b>Figure 2</b>	Place de la région d'étude (Ghardaïa) sur le Climagramme d'EMBERGER (2007-2016)	<b>8</b>
<b>Figure 3</b>	Situation géographique de la station d'étude	<b>10</b>
<b>Figure 4</b>	position de deux parcelles cultivée et référence	<b>10</b>
<b>Figure 5</b>	Plan d'échantillonnage détaillé	<b>12</b>
<b>Figure 6</b>	Boite à moustaches de la variation de la réaction du sol	<b>24</b>
<b>Figure 7</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Circulaire)	<b>25</b>
<b>Figure 8</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (sphérique)	<b>26</b>
<b>Figure 9</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Exponentiel)	<b>26</b>
<b>Figure 10</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Gaussien)	<b>27</b>
<b>Figure 11</b>	Carte de variabilité spatiale du pH dans la parcelle référence	<b>29</b>
<b>Figure 12</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle cultivée (Circulaire)	<b>30</b>
<b>Figure 13</b>	Variogramme de PH du sol dans la parcelle cultivée (sphérique)	<b>31</b>
<b>Figure 14</b>	Variogramme de PH du sol dans la parcelle cultivée (Exponentiel)	<b>31</b>
<b>Figure 15</b>	Variogramme de pH du sol dans la parcelle cultivée (Gaussien)	<b>32</b>
<b>Figure 16</b>	Carte de variabilité spatiale du pH dans la parcelle cultivée	<b>34</b>
<b>Figure 17</b>	Boite à moustaches de la variation de la salinité du sol	<b>38</b>
<b>Figure 18</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Circulaire)	<b>39</b>
<b>Figure 19</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référencée (sphérique)	<b>39</b>
<b>Figure 20</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Exponentiel)	<b>40</b>
<b>Figure 21</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Gaussien)	<b>41</b>
<b>Figure 22</b>	Carte de variabilité spatiale de CE dans la parcelle référence	<b>42</b>
<b>Figure 23</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (Circulaire)	<b>43</b>
<b>Figure 24</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle (sphérique)	<b>43</b>
<b>Figure 25</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle (Exponentiel)	<b>44</b>
<b>Figure 26</b>	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle (Gaussien)	<b>45</b>
<b>Figure 27</b>	Carte de variabilité spatiale de CE dans la parcelle cultivée	<b>47</b>

## LISTE DES ABREVIATION

°C	: Degree Celsius
ANOVA	: Analyse of Variation
ANRH	: Agence National Des Ressources Hydriques
CACO3	: Carbonate du Calcium
CEC	: Capacité d'échange Cationique
CV	: Coefficient de Variation
D.P.A.T	: Department de Planification et de L'aménagement du Territoire
D.S.A	: Direction des Services Agricoles
Ha	: Hectare
MO	: Matière Organique
MOS	: Matière Organique du sol
NPK	: Azote, Phosphore, Potassium
ONM	: Office National de Météorologie
PH	: Potential Hydrogène
QX	: Quintaux
SGBD	: Système de Gestion de Base de Données
SIG	: systèmes d'information géographiques
SUA	: Surface Agricole Utile
TVA	: Taux de Variation Annuelle
Um	: Micrometer
R	: Témoin
P	: Pivot
U.S.D.A	: Département de l'Agriculture des États-Unis

## Table des matières

Titre.....	Page
Introduction.....	1
<b>Partie 1: Matériel et méthode</b>	
<b>Chapitre 1: présentation de site d'étude</b>	
1. Situation géographique.....	3
2. Géomorphologie, géologie et pédologie.....	3
3. Hydrogéologie.....	4
3.1. Nappes aquifères.....	4
3.1.1. Nappe du continental intercalaire (C.I.).....	4
3.1.2. Nappe phréatique.....	4
3.1.3. Complexe terminal.....	5
4. Synthèse Climatique et bioclimatique.....	5
4.1. Température.....	6
4.2. Précipitations.....	6
4.3. Vents.....	6
4.4. Synthèse bioclimatique.....	6
<b>Chapitre 2 : Matériel et méthodes d'étude</b>	
1. Approche méthodologique.....	9
1.1. Choix des sites d'étude.....	9
1.2. Choix des parcelles d'étude.....	10
1.2.1. Travail du sol.....	11
1.2.2. Semis.....	11
1.2.3. Fertilisation.....	12

1.3. Echantillonnage.....	12
1.4. Analyses au laboratoire.....	12
1.4.1. Analyses du sol.....	12
2. Analyses statistiques.....	14
2.1. Variation annuelle des paramètres étudiés.....	14
2.2. Statistiques descriptives.....	14
2.3. Analyse de variance à un facteur.....	14
2.4. Coefficient de variation.....	15
3. Modélisation géostatistique.....	15
4. Géostatistique.....	17
4.1. Eléments de la géostatistique.....	18
4.2. Analyse de la structure spatiale.....	18
4.2.1. théorie des variables régionalisées.....	18
4.2.2. Variogramme.....	18
4.2.3. krigeage.....	20
4.2.4. Validation croisé.....	21
4.2.5. Réalisation des cartes thématiques.....	22

## **Partie 2 : Résultats et discussion**

1. Etude de la réaction du sol.....	23
2. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la réaction du sol.....	24
2.1. Modélisation géostatistique de la variabilité de la réaction du sol dans la parcelle de référence.....	24
2.1.1. Analyse variographique.....	24
2.1.2. Validation croisée.....	28

2.1.3. Cartographie par krigeage.....	28
2.2. Modélisation géostatistique de la variabilité de la réaction du sol dans la parcelle cultivée.....	29
2.2.1. Analyse variographique.....	29
2.2.2. Validation croisée.....	33
2.2.3. Cartographie par krigeage.....	33
3. Discussion.....	34
1. Etude de la salinité du sol.....	37
2. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la salinité du sol.....	38
2.1. Modélisation géostatistique de la salinité dans la parcelle de référence.....	38
2.1.1. Analyse variographique.....	38
2.1.2. Validation croisée.....	41
2.1.3. Cartographie par krigeage.....	42
2.2. Modélisation géostatistique de la salinité dans la parcelle cultivée.....	43
2.2.1. Analyse variographique.....	43
2.2.2. Validation croisée.....	45
2.2.3. Cartographie par krigeage.....	46
3. Discussion.....	47
Conclusion.....	50
Références bibliographique.....	53

---

# ***INTRODUCTION***

---

Le sol est un milieu fragile et très complexe, trop longtemps considéré comme un simple support de l'agriculture (NOUMEUR, 2008).

Le défi majeur des pays Nord africains est double: assurer une sécurité alimentaire pour une population à fort taux démographique et amortir la dégradation des ressources naturelles. Ces pays ont besoin, plus que jamais de revoir leurs modes d'utilisation des terres pour assurer une sécurité alimentaire et un développement agricole durable (CDSR, 2001 ; BOUDIAR, 2013).

Un des défis importants de l'agriculture du 21<sup>ème</sup> siècle est de faire face à une demande mondiale croissante en aliments tout en minimisant les impacts sur l'environnement et en restant économiquement viable (FOLEY et *al.*, 2011; ROBERTSON et *al.*, 2005; DAVIS et *al.*, 2012 ; UGARTE NANO, 2015).

La qualité d'un sol qui est définie simplement comme étant sa capacité à fonctionner, dépend de multiples facteurs intrinsèques au sol, à l'écosystème ou d'origines anthropiques. Les notions de fertilité, de productivité, de durabilité des ressources et de qualité environnementale sont les principales bases des définitions actuelles de la qualité des sols (RAPHAEL, 2004).

Pour protéger et gérer au mieux les sols, il est essentiel d'avoir une connaissance objective et scientifique de leur qualité. Le concept de qualité des sols est dès lors un point central qu'il est nécessaire de préciser afin de rechercher des indicateurs appropriés (ANAÏS, 2014).

L'étude des sols d'Algérie constitue une préoccupation majeure des pédologues algériens. En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer (KHEMGANI, 2010). Cependant, il faut constater que l'Algérie n'est que partiellement couverte par des études cartographiques et pédologiques. Les données nécessaires à la mise en oeuvre des politiques envisagées ne sont donc pas disponibles (BERKAL, 2006 ; BENAMEUR, 2017).

La qualité physique, chimique et biologique des sols sahariens posent à la fois des problèmes d'ordre agronomiques (aptitude culturale faible) et environnementaux (érosion et ruissellement de surface) (KOULL, 2007).

Selon HALITIM (1988), la mise en valeur des terres dans ces régions, l'augmentation de la productivité par unité de surface et leur conservation exigent ici plus qu'ailleurs des études détaillées.



La cartographie des sols est d'une importance particulière pour bien comprendre leur organisation, leurs localisations et distributions spatiales et leurs caractéristiques (LEGROS, 1996). Ces informations sont fondamentales du fait que les sols supportent le développement durable et, comme l'eau, ils sont des ressources primaires qui jouent un rôle essentiel dans les fonctionnements biophysique et biochimique des différents écosystèmes végétaux. Comprendre la distribution spatiale et l'aménagement des sols est une étape critique pour concevoir l'équilibre complexe des processus chimiques et physiques pour rendre, notamment, les écosystèmes agricoles plus productifs (SCULL *et al.*, 2003 ; BENAZZOUZ, 2011).

Actuellement, il y a une très grande demande d'une information précise sur les sols par les modélisateurs de l'environnement, de l'érosion et de l'hydrologie, les ingénieurs de génie, les planificateurs en milieu urbain et rural, les forestiers, ainsi que les agriculteurs (BADRAOUI, 2006 ; BENAZZOUZ, 2011).

L'objectif de ce travail est de modéliser la variabilité spatiale de quelques propriétés du sol à savoir le pH et la salinité dans la région de Hassi Fehal (GHARDAIA).

Le présent document est structuré en deux parties. La première présente la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail et les résultats obtenus sont présentés et discutés dans la deuxième partie.

***MATÉRIEL  
ET MÉTHODES***

***CHAPITRE 1 :  
PRÉSENTATION  
DU SITE D'ÉTUDE***

La wilaya de Ghardaia issu du dernier découpage administratif et s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne (A.N.A.R.H, 2007).

### 1. Situation géographique de la wilaya de ghardaia

La wilaya de Ghardaïa, se situe à 600 Km au Sud d'Alger dans la partie centrale du Nord du Sahara algérien aux portes du désert à 32° 30 de latitude Nord et à 3° 45 de longitude (BEN SEMAOUNE, 2008). Le tableau ci-dessous résume ces limites géographiques

**Tableau 1** : Limites géographique de Ghardaïa (BENBRAHIM, 2018)

		<b>Ghardaïa</b> (HOUICHITI, 2009)
<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>		86.560
<b>Limites</b>	<b>Nord</b>	Laghouat et Djelfa
	<b>Est</b>	Ouargla
	<b>Sud</b>	Tamanrasset
	<b>Ouest</b>	El-Bayadh et Adrar
<b>Administrations</b>	<b>Dairates</b>	09
	<b>communes</b>	13

### 2. Géomorphologie, géologie et pédologie

La wilaya de Ghardaïa est caractérisée par des plaines dans le continental terminal, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km (OULMANE, 2016).

Sur l'ensemble des paysages sahariens, le sable ne couvre qu'une faible partie de la surface (20% environ). Les hamadas et les regs représentent l'essentiel du paysage ; les sols alluviaux et les sols à encroûtement ne constituent que des phénomènes locaux (OZENDA, 1991 ; MONOD, 1992).

Généralement, les sols de la région de Ghardaïa sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne. Cependant, ils sont souvent marqués par la présence en surface d'un abondant argileux de type « Hamada », alors que dans les dépressions, ils sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux (DUBOST, 1991 ; KACI, 2005).

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (D.P. A .T, 2005) qui sont :

- ❖ La Chabka du M'Zab occupe une superficie d'environ 8000 km<sup>2</sup>, représentant 21% de la région du M'Zab (COYNE, 1989) ;

- ❖ La région des daïas occupe une petite partie de la région de Ghardaïa, présente dans la commune de Guerrara. Elle s'étend du Sud de l'Atlas saharien d'une part et jusqu'au méridien de Laghouat d'autre part (COYNE, 1989);
- ❖ La région des Ergs située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs qui sont des sols solides et caillouteux. Cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (COYNE, 1989).

**Tableau 2:**Géomorphologie et pédologie de la zone d'étude (BENBRAHIM, 2018).

	Formes géomorphologiques						Types de sols	Références
	Erg	Reg	Sebkha	Lit d'Oued	Hamada	Chebka		
Ghardaïa	+	+	-	+	+	+	- Roches calcaires. - Dominance d'un faciès gypseux	PASSAGER, 1958 ; URBATIA, 1996
+ : presence						- : Absence		

### 3. Hydrogéologie

Selon A.B.H.S. (2006), les ressources hydriques sont caractérisées par les nappes aquifères et le réseau hydrographique.

#### 3.1. Nappes aquifères

Les nappes aquifères comportent la nappe phréatique, la nappe du continentalintercalaire.

##### 3.1.1. Nappe du Continental Intercalaire (C.I.)

La nappe phréatique est un aquifère superficiel dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Elle est alimentée par les pluies (DUBOST, 1991).

##### 3.1.2. Nappe phréatique

Nappe couvre une surface de 600.000 m<sup>2</sup>. Elle occupe la totalité du Sahara septentrional algérien, se prolonge dans le Sud de la Tunisie et le Nord de la Libye. Il existe 234 forages exploités avec un volume de prélèvement annuel de 213584130 m<sup>3</sup>(A.B.H.S, 2006).

### 3.1.3. Complexe terminal

Cette nappe n'a pas l'importance du continental intercalaire car elle est moins présente. La région de Ghardaïa ne bénéficie pas des eaux de cette nappe (A.B.H.S, 2006) son inexploitation est due à son altitude (DUBOST, 1991).

## 4. Synthèse Climatique et bioclimatique

La région saharienne se caractérise par un climat de type aride avec de fortes amplitudes entre le jour et la nuit et entre l'Eté et l'Hiver (OULMANE, 2016).

Les auteurs ont proposé de nombreuses façons de rendre compte de la globalité du climat essentiellement liée à l'interaction humidité/température. Deux catégories de descripteurs de climats ont été proposées: des descripteurs numériques (indices climatiques) et des descripteurs graphiques (diagrammes) et ce dans l'intérêt de mettre en évidence l'importance de ce facteur climat et son action sur la répartition des espèces végétales (BOUDIA, 2014).

**Tableau 3 :** Données climatiques de Ghardaïa de 2007 à 2016 (O.N.M., 2016).

Mois	Température (°C)			P (mm)	V (km/h)
	Moy.	Max.	Min.		
Janvier	11.96	17.73	6.8	6.04	11,78
Février	13.2	18.85	7.83	2.82	10,91
Mars	16.83	22.71	10.48	8.61	12,71
Avril	21.77	27.99	15.13	5.51	11,72
Mai	26.3	32.6	19.36	2.92	12,49
Juin	31.38	37.83	27.73	3.12	12,33
Juillet	35.22	41.49	28.26	1.42	10,2
Août	34.17	40.56	27.78	2.74	9,68
Septembre	29.49	35.68	23.47	11.32	10,7
Octobre	23.55	29.41	17.94	10.99	10,06
Novembre	16.4	22.07	11.18	7.06	10,48
Décembre	11.11	17.57	7.3	4.72	10,74
Moyenne annuelle	24.46	28.71	16.72	70.29*	11,57

T : Température; H : humidité relative ; P : Pluviométrie ; V : Vitesse du vent ;  
\* cumule annuelle

Les indices climatiques montrent que Ghardaïa est caractérisée par un climat hyperaride et présente un caractère xérique, une continentalité pluviale et thermique, ce qui accentue l'aridité, et une durée d'évaporation de la tranche annuelle de pluie très courte (YOUCEF, 2003).

#### **4.1. Température**

La température est importante pour les êtres vivants. Ses variations agissent sur le comportement des différentes espèces (BENBRAHIM, 2018). Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver (BELLI, 2012).

La température moyenne du mois le plus froid est Décembre (11,11 °C.), et la température moyenne du mois le plus chaud est Juillet (35,22 °C.) (O.N.M., 2016).

#### **4.2. Précipitations**

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale (RAMADE, 1984). La pluie dans un désert est par définition rare et exceptionnel (CATALISANO et MASSA, 1986). Les précipitations sont très faibles et irrégulières (BENSAHA, 2011).

Le cumul annuel des précipitations est 70,29 mm, avec un maximum en Septembre.

#### **4.3. Vents**

Il n'y a pas de désert sans vents, le vent est le facteur principal de la topographie désertique (BENSAHA, 2011).

Pendant certaines périodes de l'année, en général en mars et avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut (BELLI, 2012).

D'après les données de l'O.N.M. (2016), les vents sont fréquents sur toute l'année, avec une vitesse moyenne annuelle de 11.57 km/h et maximale de 12,71km/h.

#### **4.4. Synthèse bioclimatique**

Pour caractériser le climat d'une région, il faut procéder à une synthèse des principaux facteurs climatiques (température et précipitation).

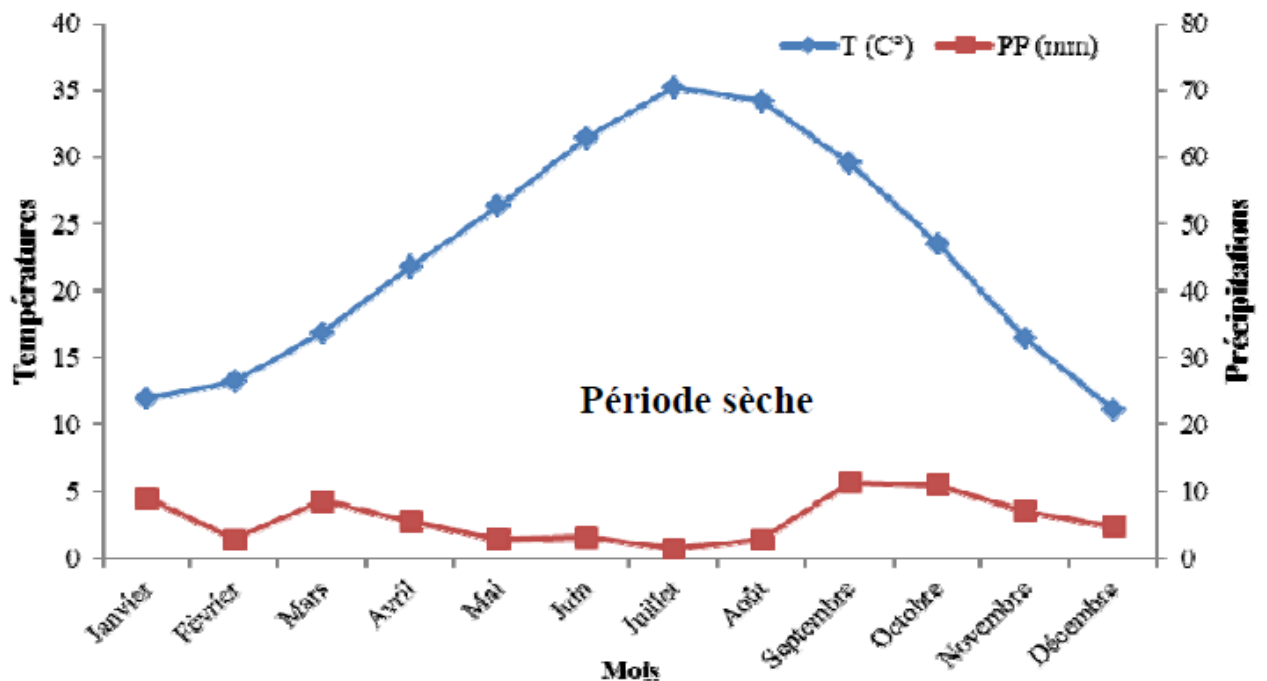
La synthèse des données climatiques est représentée par le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et par le climagramme d'Emberger (DAJOZ, 1971).

#### 4.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен permet de déterminer les périodes sèches et humides de n'importe quelle région à partir de l'exploitation des données des précipitations mensuelles et des températures moyennes mensuelles (DAJOZ, 2003).

D'après FRONTIER et *al.* (2004), les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausсен sont constitués en portant en abscisses les mois et en ordonnées, à la fois, les températures moyennes mensuelles en (°C) et les précipitations mensuelles en (mm). L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures dans les unités choisies ( $P = 2T$ ).

Un mois est réputé «sec» si les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne et réputé «humide» dans le cas contraire (FRONTIER et *al.*, 2004).



**Figure 1:** Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Ghardaïa (2007 -2016).

Les diagrammes ombrothermiques (Fig. 01) montre que la période de sécheresse s'étale presque sur toute l'année de Janvier jusqu'à Décembre.

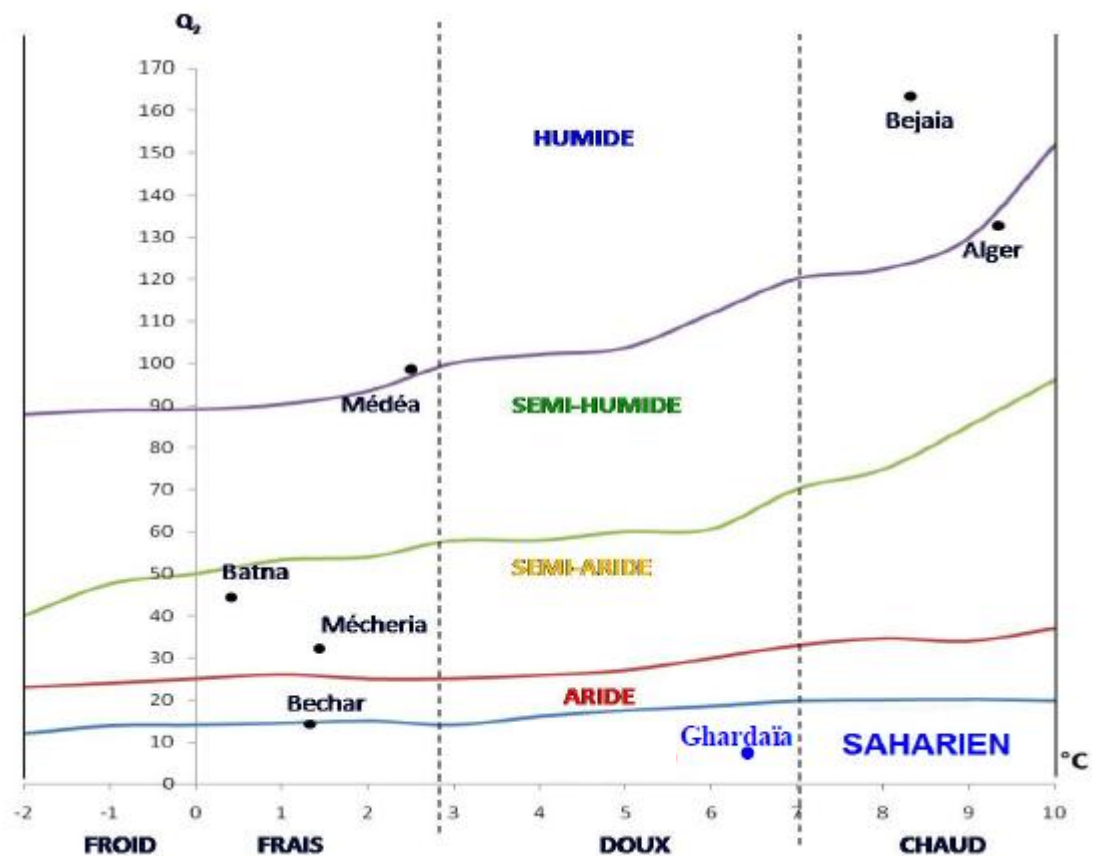
#### 4.2.2. Climagramme d'Emberger

Le calcul du quotient pluviothermique  $Q_2$  d'Emberger est nécessaire pour déterminer l'étage bioclimatique d'une station. Notons d'abord que ce quotient, mis au point par Emberger (1955) et amélioré par Daget en 1977, n'est applicable qu'aux climats de type méditerranéen (BARKAT, 2014). Il est défini par la formule simplifiée suivante (STEWART, 1969)

$$Q_2 = 3,43 p / (M - m)$$

- ❖ P= Pluviométrie moyenne en (mm).
- ❖ M= Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en (°C).
- ❖ m= Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C).
- ❖ 3,43= Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

Après avoir reporté la valeur du  $Q_2$  qui est égale à 6.18 sur le climagramme, nous remarquons que la région de Ghardaïa appartient à l'étage bioclimatique saharien à Hiver doux.



**Figure 2:** Place de la région d'étude (Ghardaïa) sur le Climagramme d'EMBERGER (2007-2016)



***MATÉRIEL ET  
MÉTHODES***

***CHAPITRE 2 :  
MATÉRIEL ET  
MÉTHODES D'ÉTUDE***

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols (LARSON et PIERCE, 1992).

### 1. Approche méthodologique

Pour évaluer la qualité du sol, l'U.S.D.A. (1999) a proposé deux manières d'évaluation:

- ❖ Soit par la prise de mesures périodiquement dans le temps pour surveiller les changements ou la qualité du sol.
- ❖ Soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état du sol de référence à l'écosystème naturel.

Nous avons choisi la deuxième approche pour réaliser notre travail.

L'objectif de notre travail est d'étudier le fonctionnement d'un écosystème terrestre (sol) soumis à des perturbations anthropiques intenses (intensification agricole), par l'analyse de quelques propriétés du sol (pH, conductivité électrique) et en suite, par l'analyse de leur taux de variation annuel et l'étude de leurs variabilités spatiales.

#### 1.1. Choix des sites d'étude

Nous avons sélectionné le site dans la ferme de HOUTIA situé à HASSI Fehal pour le déroulement de notre travail expérimental. Les coordonnées de la station sont les suivants :

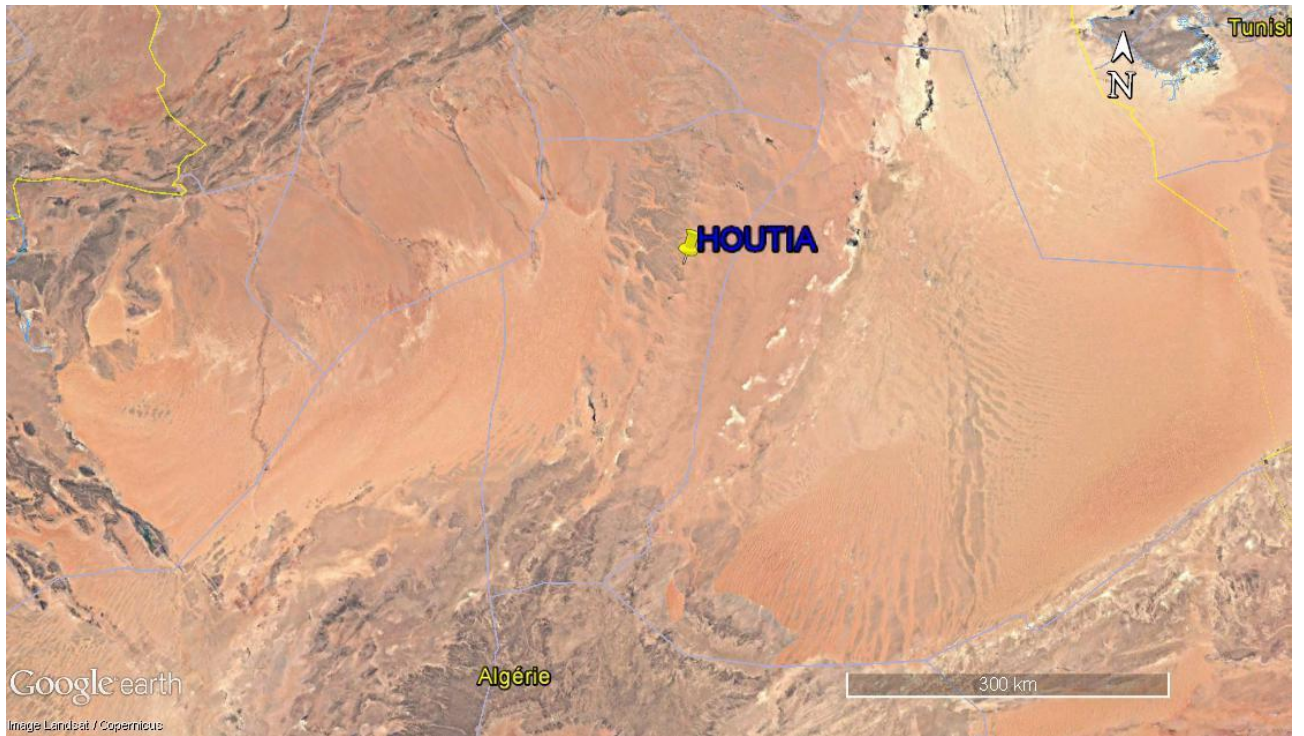
- Latitude : 31°44' Nord

- Longitude : 3°43' Est

- Altitude : 431 m

Le choix de la ferme HOUTIA est fait pour les raisons suivantes :

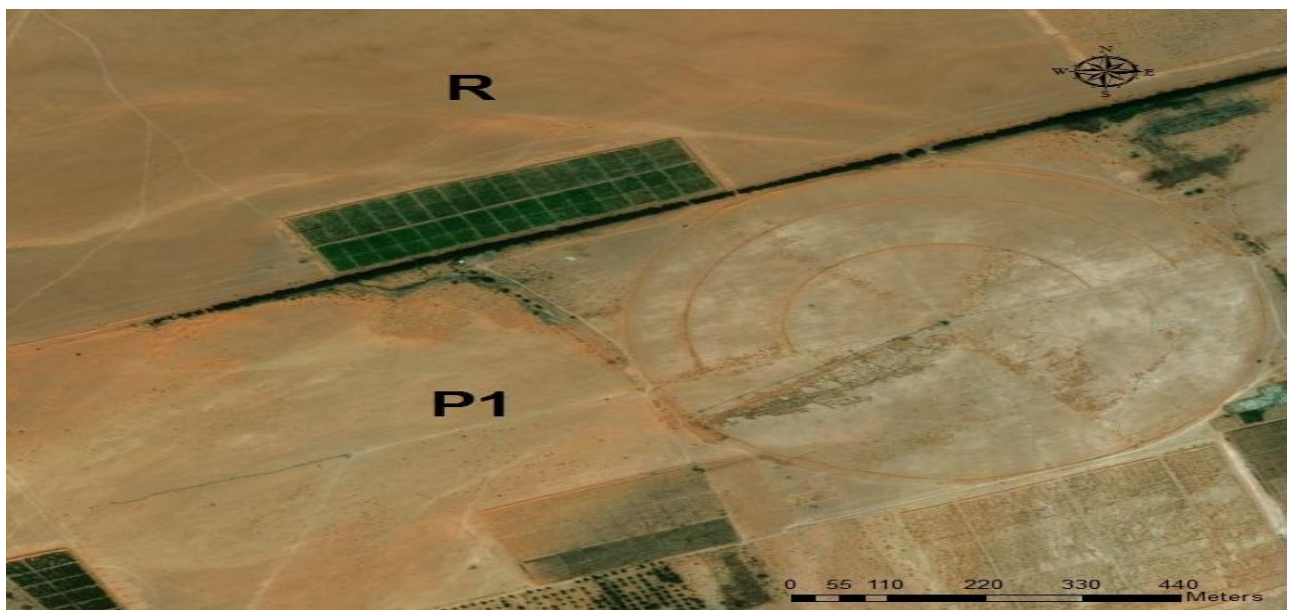
- Hétérogénéité dans le nombre d'année de culture
- L'irrigation des champs de la céréale par centre pivots
- L'existence d'une parcelle non cultivée (témoin)
- Les facilités rencontrées par le propriétaire de la ferme



**Figure 3** : Situation géographique de la station d'étude

## 1.2. Choix des parcelles d'étude

Nous avons sélectionné une parcelle irriguée par pivot pendant 19 ans et une parcelle de référence jamais cultivée.



**Figure 4** : Position des deux parcelles cultivée (R) et référence (P)

La ferme HOUTIA a été créée en 1990 à Ghardaïa, dans la commune de Hassi Fehal, à une distance d'environ 100 Km du chef-lieu de la Wilaya de Ghardaïa.

Elle couvre une superficie totale de 703 ha, avec une superficie exploitée estimée à 450 ha. Cette ferme spécialisée en céréaliculture compte 3 pivots de 32 ha. En plus de la céréaliculture, la phoeniciculture trouve sa place avec un effectif de 1000 pieds couvrant une superficie de 10 ha, comprenant les variétés Deglet Nour, Ghars, Bentkhabala et Azerza.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent du continental intercalaire (albien) et captent par 02 forrages.

Les principales opérations de conduite de la céréaliculture dans le site d'étude sont synthétisées comme suite:

### **1.2.1. Travail du sol**

Pour un meilleur rendement, la préparation du sol est nécessaire, à partir du labour par des instruments selon la texture du sol. En raison d'ameublir le sol en profondeur, faciliter le lessivage des sels et l'incorporation de la fumure de fond (DSA, 2013).

Le travail du sol dans la parcelle d'étude s'étale du 1<sup>er</sup> au 20 Octobre, le passage des outils tel que la charrue à disque s'effectue pour l'enfouissement d'engrais. La profondeur de labour est de 20 cm. il est suivi par des cultivateur à socs et cultivateur à dents. La récolte s'effectue à l'aide d'une moissonneuse-batteuse.

### **1.2.2. Semis**

Pour le semis il faut prendre en considération les variétés, dont les semences à une faculté germinative doit être supérieur à 90% pour le blé et entre 95 % et 98 % pour l'orge, la dose et la densité est en fonction du poids, de la variété, de la teneur de sol et de l'eau en sels (DSA, 2013).

Dans la parcelle d'étude le semis s'effectue en Octobre avec une dose qui varie selon les variétés utilisées. La profondeur de semis de l'ordre de 7 cm.

### **1.2.3. Fertilisation**

Dans la parcelle d'étude, la fertilisation s'effectue par engrais de fond (TSP 46 % à une dose de 2 qtx/ha), les complémentaires (potassium, NPK), les amendements azotée (urée 46 % à une dose de 4 qtx/ha) et les oligo-éléments. L'amendement est réalisé juste avant les semis.

### 1.3. Echantillonnage

Les échantillons sont prélevés selon un maillage systématique de 15 x 15 m, avec un nombre de 30 échantillons par parcelle pivot et de même pour la parcelle de référence sur une profondeur de 0 à 25 cm. Les échantillons sont pris aux noeuds de la grille.

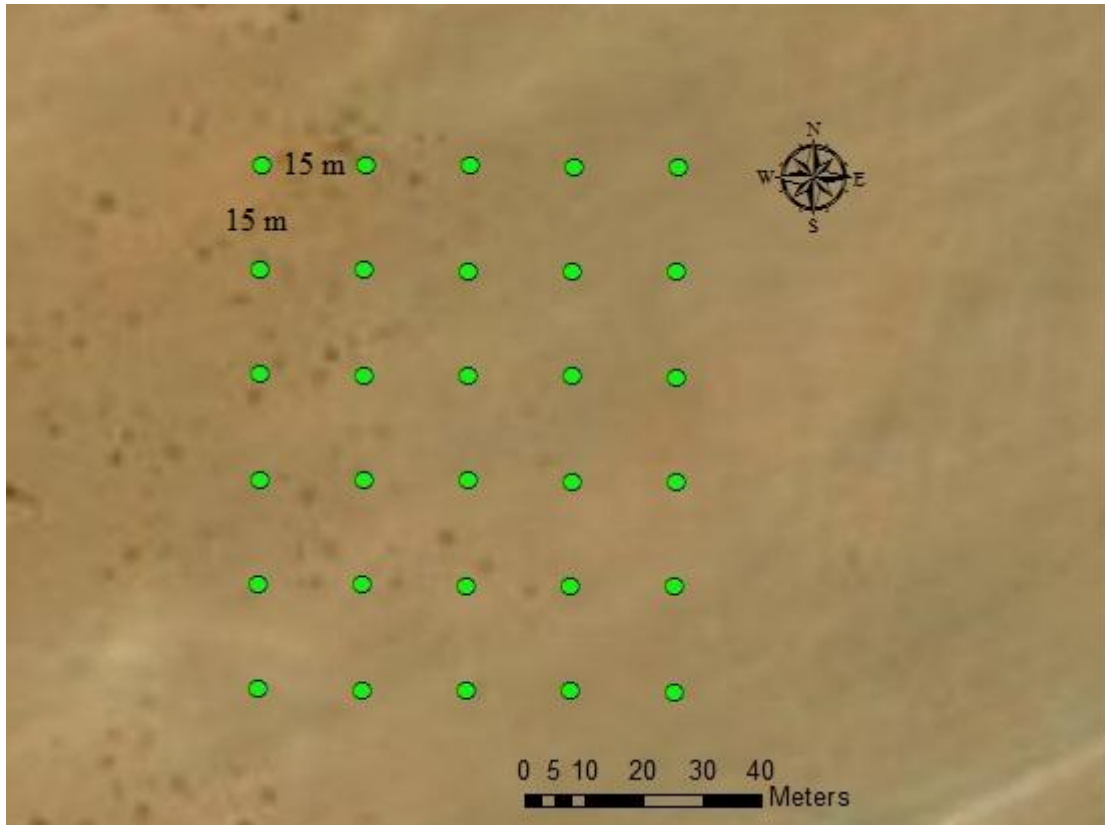


Figure 5: Plan d'échantillonnage détaillé

### 1.4. Analyses au laboratoire

#### 1.4.1. Analyses du sol

Les échantillons des sols prélevés ont été séchés à l'air libre et tamiser avec un tamis de 2 mm. Les analyses du sol concernent, la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique et le pH du sol

#### A. Mesure du pH

Mesuré au pH mètre à électrode en verre, avec un rapport sol/eau (1/5).

### Matériel

Balance de précision à 0,1mg, spatules, verre de montre, pissette souple de 250ml, béchers de 50ml (1 par échantillons), pH-mètre + électrodes, agitateur magnétique et barreaux aimantés.

### Réactifs

Eau déminéralisée exempte de matières réductrices et ayant une conductivité inférieure 0,5  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ .

### Méthode

La méthode proposée par MATHIEU et PIELTAIN (2009) est de :

- Peser 10 g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50 ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près.

### A. Mesure de la conductivité électrique (C.E.)

#### Matériel

Balance de précision à 0,1 mg, spatules, verre de montre, pissette souple de 250ml, béchers de 50 ml (1 par échantillons), Conductivimètre + électrodes, agitateur magnétique et barreaux aimantés.

#### Réactifs

Eau déminéralisée exempte de matières réductrices et ayant une conductivité inférieure à 0,5  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ .

#### Méthode

Mesuré au conductimètre, avec un rapport sol / eau de 1/5.

- Peser 10 g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50 ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près.

## 2. Analyses statistiques

### 2.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

Le nombre d'années depuis la mise en culture intensive sous irrigation est variable, un indicateur normalisé de variation de la qualité des sols est utilisé. Il s'agit du taux de variation annuelle de chaque propriété du sol dont la forme générale est la suivante (BADRAOUI et al., 1998) :

$$\text{TVA-qi} = (\text{qit2} - \text{qit1}) / (t2 - t1)$$

Avec:

qit1: la valeur moyenne de la propriété qi au début de l'irrigation,

qit2: la valeur moyenne de la propriété qi après un certain nombre d'années (t2- t1) d'irrigation.

### 2.2. Statistiques descriptives

Cet outil d'analyse génère un rapport de statistiques à une seule variable pour les données contenues dans la plage d'entrée, fournissant ainsi des informations sur la tendance centrale et la dispersion des données (MICROSOFT CORPORATION, 1993 ; DHUNNA et DIXIT, 2010 in BENBRAHIM, 2018).

Les statistiques descriptives dans notre cas concernent la moyenne, l'écart type, le minimum, et le maximum.

### 2.3. Analyse de variance à un facteur

Nous avons procédé à une analyse de variance à un facteur entre les échantillons du sol de la parcelle de référence et ceux du sol cultivé pour chaque paramètre et pour chaque horizon.

Cette analyse va permettre la mise en évidence de l'existence ou pas de différences entre les moyennes et la signification de ces différences si elles existent.

Les traitements des données obtenues fait appel à des approches statistiques. Les résultats obtenus pour chaque paramètre seront interprétés statistiquement. D'après DAGNILLIE (1975 in BENBRAHIM, 2018), l'analyse de la variance consiste à étudier la comparaison des moyennes à partir de la variabilité des échantillons. Il permet suivant le niveau de la signification de déterminer

l'influence des facteurs étudiés ou des interactions entre les facteurs. La probabilité inférieure à 0,001 donne un effet très hautement significatif, à 0,01 un effet hautement significatif et à 0,05 un effet significatif et pour une probabilité supérieure à 0,05 on considère que l'effet n'est pas significatif.

Les logiciels utilisés pour les analyses statistiques sont STATISTICA version 5.1 et XLSTAT version 2014.5.03.

#### 2.4. Coefficient de variation

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, il est une statistique utile pour comparer le degré de variation par rapport à une série de données à l'autre, même si les moyennes sont considérablement différentes l'une de l'autre.

$$CV (\%) = 100.\sigma/m$$

Cinq (5) classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par NOLIN et *al.*, 1997 (in BENBRAHIM, 2018) pour qualifier l'intensité de la variabilité des propriétés du sol.

**Tableau 4:** Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et *al.*, 1997 in BENBRAHIM, 2018)

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

### 3. Modélisation géostatistique

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. En particulier, on cherche à modéliser ce que l'expérience courante nous enseigne : deux données proches géographiquement tendent à être similaires en valeur. Cette modélisation nous permettra de réaliser des prédictions spatiales ou de tester des hypothèses en intégrant explicitement cette dépendance spatiale dans les calculs(DENIS, 2012).

Les données sont les simples faits, elles ne sont pas utilisables si elles sont exploitées séparément les unes des autres. Mais lorsque ces données sont traitées, organisées, structurées ou présentées dans un contexte donné, elles deviennent utiles: elles sont appelées « information ».



L'information spatiale ajoute une référence ou un composant spatial à cette notion. Au cours des deux dernières décennies, l'information spatiale est devenue de plus en plus importante. Cette tendance a favorisé le développement des systèmes qui permettent aux utilisateurs de saisir, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et afficher l'information spatiale. Les systèmes dotés de telles capacités sont désignés sous le terme de « Systèmes d'Information Géographique » (SIG) (GOODCHILD et al. 1987., LAURINI et al, 1992).

La préparation des données des modèles numériques est fastidieuse et prend beaucoup de temps. Les systèmes d'information géographique (SIG) minimisent l'effort et améliorent l'efficacité des modèles numériques. De plus, les SIG présentent une plate forme de grande capacité de collecte de gestion de traitement d'analyse de modélisation et affichage de données géoréférencées (CHAABAN, 2011).

Le contexte de l'information géographique s'est largement développé depuis la fin du XXe siècle grâce à l'évolution des outils informatiques. L'apparition conjointe des technologies de l'information et de la communication et la circulation accrue des données, notamment suite à l'avènement de l'internet, font ainsi de la géomatique (science des données à référence spatiale (PORNON, 2007). une discipline nouvelle et indispensable, utilisée pour répondre à des problématiques très variées à travers une approche multidisciplinaire et multithématique (BERGERON, 1992; CLARKE, 2001; GADAL, 2008). Elle fait appel à un vocabulaire spécifique et emploie des technologies singulières: les systèmes d'information géographique (FLORENT, 2015).

Les données géographiques représentent des relations géométriques qui ne sont pas prises en compte par les modèles de données traditionnels et qui ne peuvent être exploitées par un SGBD classique. De plus l'exploitation de telles données ne consiste pas uniquement à faire des requêtes sur des informations signalétiques mais elle implique aussi d'effectuer d'autres traitements d'analyse et de présentation. Aussi, il existe des logiciels particuliers pour accéder aux données géographiques et les traiter: les systèmes d'information géographique (SIG) (BUCHER, 2002).

Un consensus de définitions montre que les SIG ne peuvent être considérés comme de simples logiciels de traitement de données spatialisées. Parmi ces définitions, Celle de Françoise De Blomac illustre bien ce concept: un SIG est « un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnels capables de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées » (DE BLOMAC ET AL., 1994 ; FLORENT, 2015).

La catégorie des logiciels de traitement de l'information géographique numérique est plus large que la catégorie des SIG, elle comprend aussi des logiciels dédiés au traitement d'image, des logiciels métier comme ceux utilisés par le cadastre ou certaines communautés urbaines. Parmi les SIG, on distingue généralement les logiciels professionnels fournissant des fonctions de traitements avancées (Arcgis, ArcInfo, Intergraph MGE, Geomedia, Smallworld, Lamps), les logiciels "bureautique" moins sophistiqués mais plus simples d'emploi (MapInfo, ArcView, Geoconcept), les composants et les extensions dédiés par exemple à la publication de données sur le Web (ex : Geoconcept explorer, ArcIMS) et, plus récemment, les serveurs de base de données (Oracle Spatial, Data Blade Informix, Spatial Data Engine d'ESRI) (BUCHER, 2002).

### 4. géostatistique

La géostatistique est un outil d'analyse de la structure de variation et d'organisation spatiale de l'information géographique, comme les propriétés des sols (fertilité, texture...). Elle regroupe un ensemble de techniques statistiques permettant aux pédologues et aux scientifiques du sol de mieux comprendre et de reproduire le modèle de la variabilité spatiale des sols (TRANGMAR *et al.*, 1986 *in* BENBRAHIM, 2018).

La géostatistique est basée sur la théorie des variables régionalisées. C'est-à-dire une fonction  $z(x)$  dans un domaine  $D$  de l'espace géographique (qui inclut éventuellement un intervalle de l'axe temporel), où  $x$  est un vecteur de coordonnées spatiales et  $z$  est une valeur de la quantité d'intérêt (MOURAH, 2011).

La géostatistique s'intéresse à décrire des phénomènes structurés dans l'espace, éventuellement dans le temps, et à quantifier les incertitudes d'estimation, qu'elles soient globales ou locales (DESNOYERS, 2010).

#### 4.1. Eléments de la géostatistique

Selon SAOUD (2014), Les méthodes de la géostatistique se basent sur l'analyse de la structure spatiale d'une variable dans l'espace géographique en étudiant:

- ❖ La structure spatiale de la variable concernée par le variogramme (variographie),
- ❖ L'estimation spatiale par la méthode d'interpolation associée.

## 4.2. Analyse de la structure spatiale

L'analyse de la structure spatiale constitue la première étape dans l'étude géostatistique, elle nous renseigne sur la structure de la variabilité spatiale de la variable considérée en reposant sur la théorie des variables régionalisées (MATHÉRON, 1965).

### 4.2.1. Théorie des variables régionalisées :

Un phénomène est dit régionalisé s'il se déplace dans un espace  $E$  et y manifeste une certaine structure (nombreux exemple dans les sciences de la terre).  $F(x)$  est une variable régionalisée (V.R) si elle désigne la valeur au point  $x \in E$  (MATHERON, 1969).

Le phénomène à étudier prend des valeurs  $x$  dans l'espace. Si  $Z(x)$  désigne la valeur du point  $x$  d'une caractéristique  $Z$  de ce phénomène nous dirons que  $Z(x)$  est une variable régionalisée qui dépend de la position de  $X$  dans l'espace (MOURAH, 2011).

### 4.2.2. Variogramme

Le variogramme est un outil particulier qui mesure la structure spatiale. Il décrit comment la variance d'une propriété mesurée en deux points varie en fonction de la distance entre ces points (GASCUEL et *al.*, 1993 in SAOUD, 2014).

Ce formalisme permet d'exprimer de manière statistique la continuité de la couverture pédologique (SAOUD, 2014).

## B. Les principales caractéristiques générales d'un variogramme

Le variogramme est caractérisé par trois composantes principales, l'effet de pépité, le palier et la portée.

L'effet de pépité correspond à la valeur de la semi-variance pour une distance nulle. En théorie, on devrait avoir  $\gamma(h) \rightarrow 0$  pour  $h \rightarrow 0$ , mais fréquemment, le variogramme présente une ordonnée à l'origine non nulle, qualifiée d'effet de pépité. Il est interprété comme le résultat d'erreurs de mesure ou d'une variabilité spatiale présente à une distance inférieure au pas d'échantillonnage; Le palier représente la valeur de la semi-variance à partir de laquelle le variogramme ne croît plus; La portée est la distance à partir de laquelle le palier est atteint; les valeurs de la variable entre deux points sont considérées indépendantes (non corrélées) au-delà de la portée (MICHEL et *al.*, 2011).

Le variogramme est ainsi l'outil essentiel d'analyse de la structure spatiale d'une variable. Il permet en premier lieu d'analyser la dissemblance entre les observations les plus proches en regard de la variabilité générale et des erreurs de mesure éventuelles et raisonner de la sorte la pertinence du plan d'échantillonnage retenu. L'analyse de la forme générale du variogramme et de la portée renseigne sur la forme de variabilité étudiée : si la portée est court, les variations du sol se font sur de courtes distances et leur cartographie suppose une densité d'échantillonnage relativement élevée ; si au contraire, les portées sont plus grandes et l'effet de pépite modéré, les variations sont alors plus graduelles et supposent un effort d'échantillonnage moindre (MICHEL *et al.*, 2011).

Dans notre travail nous avons testé quatre modèles de variogramme les plus utilisés en sciences du sol (BENBRAHIM, 2018), à savoir, le modèle circulaire, sphérique, exponentiel et gaussien

Les formes générales et les équations des modèles mathématiques de variogrammes utilisés dans la présente étude sont présentées comme suit (MCBRATNEY et WEBSTER, 1986 ; SRIVASTAVA et PARKER, 1988 ; OLIVER et WEBSTER, 1990 ; WEBSTER et OLIVER, 2007 ; GAETAN et GUYON, 2008) :

- **Modèle circulaire**

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{a} \right) \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{a} \right)^2} \right) \quad 0 < h \leq a$$
$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$
$$\gamma(0) = 0$$

- **Modèle sphérique**

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1,5 \left( \frac{h}{a} \right) - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$
$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$
$$\gamma(0) = 0$$

- **Modèle exponentiel**

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right) \quad h > 0$$
$$\gamma(0) = 0$$

- **Modèle gaussien**

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right) \quad h > 0$$
$$\gamma(0) = 0$$

**Où :**

$C_0 + C$  : représente le palier, avec :  $C_0$  : Effet de pélite et  $C$  : palier partiel (variance de la variable aléatoire  $Z(s)$ ).

$a$  : représente la portée

### 4.2.3. krigage

Les méthodes probabilistes (ou stochastiques) d'interpolation sont appelées méthodes géostatistiques, puisqu'elles découlent directement de l'analyse géostatistique des données d'observation et incorporent le concept du phénomène naturel (CRESSIE, 1993 ; GOOVAERTS, 1997).

Parmi les méthodes géostatistiques, il est possible d'utiliser les techniques de régression classique, de régression locale et de krigage (FLORENT, 2015).

Le Krigage est une méthode d'interpolation issue de la géostatistique. Cette méthode porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige. Dans les années 1950, Krige a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. C'est cependant le français Matheron qui a formalisé l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour en estimer la répartition spatiale.

Matheron a également assuré le développement de cette méthode au Centre de Géostatistique de l'Ecole des Mines de Paris et lui a donné le nom de « Krigeage » (BUSLIG, 2014).

Une fois connu 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 (JEAN-PAUL CHILES, 2004).

Le krigeage est le meilleur estimateur sans biais et un interpolateur exact. C'est le premier interpolateur spatial à considérer l'indépendance spatiale des données (BELARIBI, 2017).

Il existe plusieurs types de Krigeage (KRESSE et DANKO, 2012), les plus connues sont: le simple, l'ordinaire et l'universel (GRATTON, 2002; BAILLARGEON, 2005).

Dans notre travail, nous avons adopté le krigeage ordinaire qui est la méthode la plus fréquemment utilisée (GRATTON, 2002; OSAMA *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2012).

#### 4.2.4. Validation croisé

La validation croisée permet le bon choix du modèle de variogramme susceptible de fournir les meilleures prévisions. Les statistiques calculées servent de diagnostics, indiquant si le modèle et les valeurs de ses paramètres associés sont raisonnables (QUENUM, 2009). C'est une étape d'importance capitale avant de cartographier une surface donnée ou un phénomène par interpolation (BENBRAHIM, 2018).

La validation croisée s'effectue en éliminant à tour de rôle chaque observation et de la prévoir à l'aide des autres observations en utilisant le krigeage (GAETAN et GUYON, 2008). De cette manière, nous pouvons comparer la valeur prédite à la valeur observée et obtenir des informations utiles sur la qualité du modèle de krigeage (BENBRAHIM, 2018).

Le meilleur modèle de variogramme est sélectionné sur la base des critères suivants (CRESSIE, 1993; SALLAM *et al.*, 2011; BHADRA *et al.*, 2012 ; YAN *et al.*, 2015 ; BENBRAHIM, 2018):

- Erreur moyenne (de prédiction) (Mean error) « ME » proche de zéro 0.
- La plus petite erreur quadratique moyenne (root-mean-square error) « RMSE »
- Une erreur moyenne standardisée (mean standardized error) « MSE » proche de zéro 0.
- Une erreur quadratique moyenne standardisée (root-mean-square standardized error) « RMSSE » proche de 1.

- Une erreur standard moyenne d'interpolation (average standard error) « ASE » proche de l'erreur quadratique moyenne (RMSE).

### **4.2.5. Réalisation des cartes thématiques**

La cartographie des variables présentant une structure spatiale peut être réalisée par le krigeage (LAURENT et ROSSI, 1997).

Dans notre travail, nous avons réalisé des cartes thématiques par krigeage en sélectionnant le meilleur modèle de variogramme par validation croisée. Les cartes thématiques de différents paramètres étudiés sont tracées par le logiciel ARCGIS 10.1.

---

# ***RÉSULTATS ET DISCUSSIONS***

---



**1. Etude de la réaction du sol**

Les résultats d'analyses de pH sont présentés synthétiquement dans le tableau 05

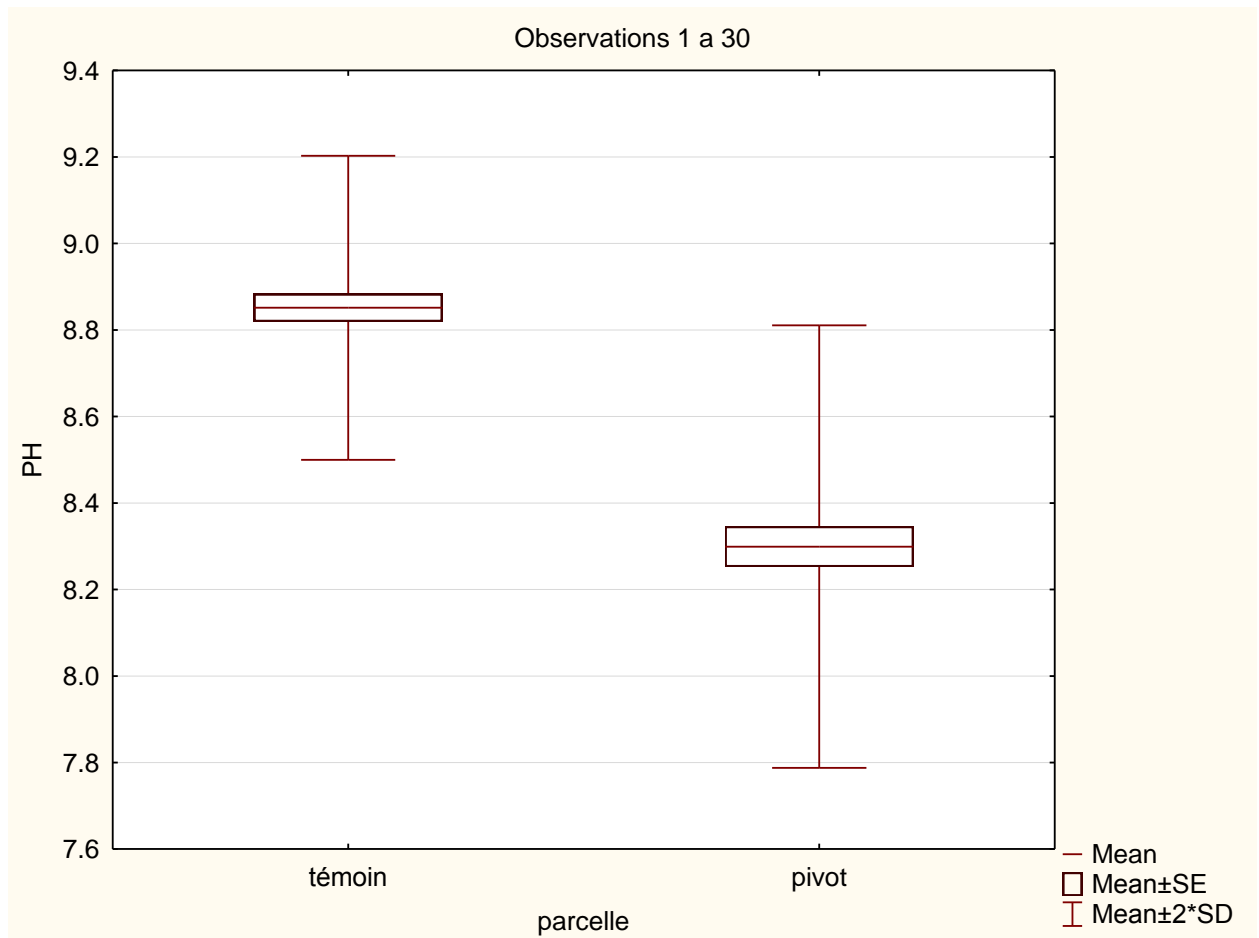
**Tableau 5:** Résultats d'analyses de pH du sol

pH à 26°C	R	P
<b>Nombre d'échantillons</b>	30	30
<b>Moyenne</b>	8.85	8.30
Écart-type	0.18	0.26
Minimum	8.50	7.91
Maximum	9.12	8.76
Coefficient de variation	1.98	3.08
TVA-pH (/an)	-	-0.029±0.016

Dans la parcelle non cultivée (R), le pH varie de 8.50 à 9.12 (alcalin à très alcalin) avec une moyenne de  $8.85 \pm 0.18$  et un CV de 1.98 %.

Dans la parcelle cultivée (P), le pH varie de 7.91 à 8.76 (alcalin à très alcalin) avec une moyenne de  $8.30 \pm 0.26$  et un CV de 3.08%.

L'analyse du taux de variation annuelle montre que le pH a diminué dans la parcelle cultivée (P) après 19 ans d'exploitation du sol, avec une évolution moyenne annuelle de  $-0.029 \pm 0.016$ /an. L'analyse de variance a montré que cette diminution est très hautement significative ( $F^{1,58} = 95,016$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S.).



**Figure 6 :** Boite à moustaches de la variation de la réaction du sol

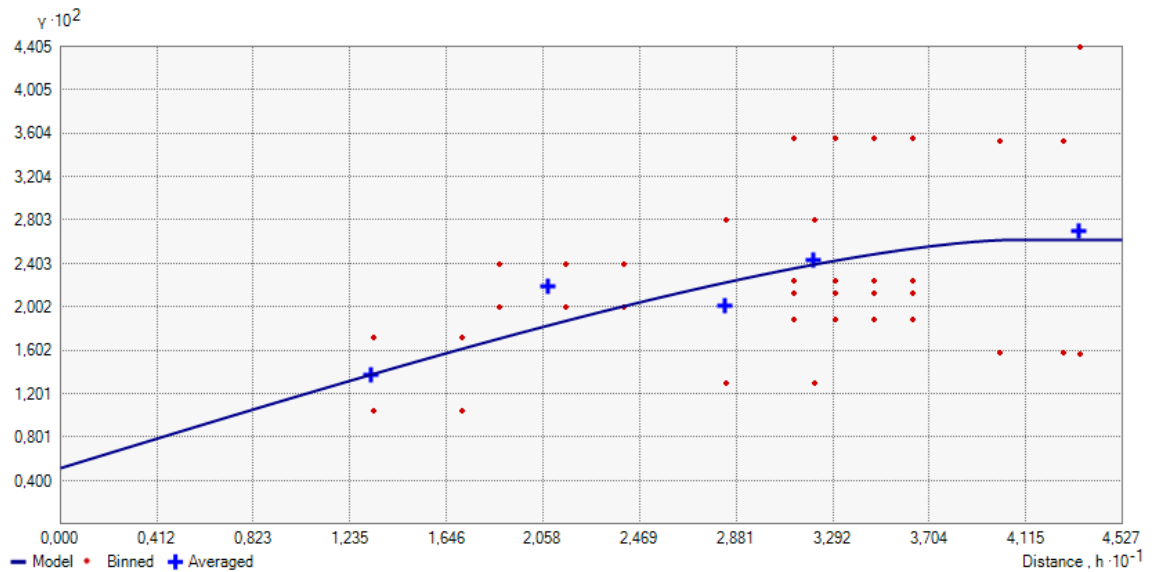
## 2. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la réaction du sol

L'analyse variographique a été effectuée sur quatre modèles les plus fréquemment utilisés à savoir le modèle circulaire, le modèle sphérique, le modèle exponentiel et le modèle gaussien, suivie d'une validation croisée afin de choisir le meilleur modèle de variogramme qui sera utilisé par la suite dans la réalisation des cartes de variabilité spatial du pH par krigeage simple.

### 2.1. Modélisation géostatistique de la variabilité de la réaction du sol dans la parcelle de référence

#### 2.1.1. Analyse variographique

La figure 7, montre le variogramme ajusté au modèle circulaire,



**Figure 7:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Circulaire)

Le variogramme ajusté au modèle circulaire (Fig. 7) est caractérisé par un palier de 0.0211, une portée de 40.42 m et un effet de pépite de 0.0051.

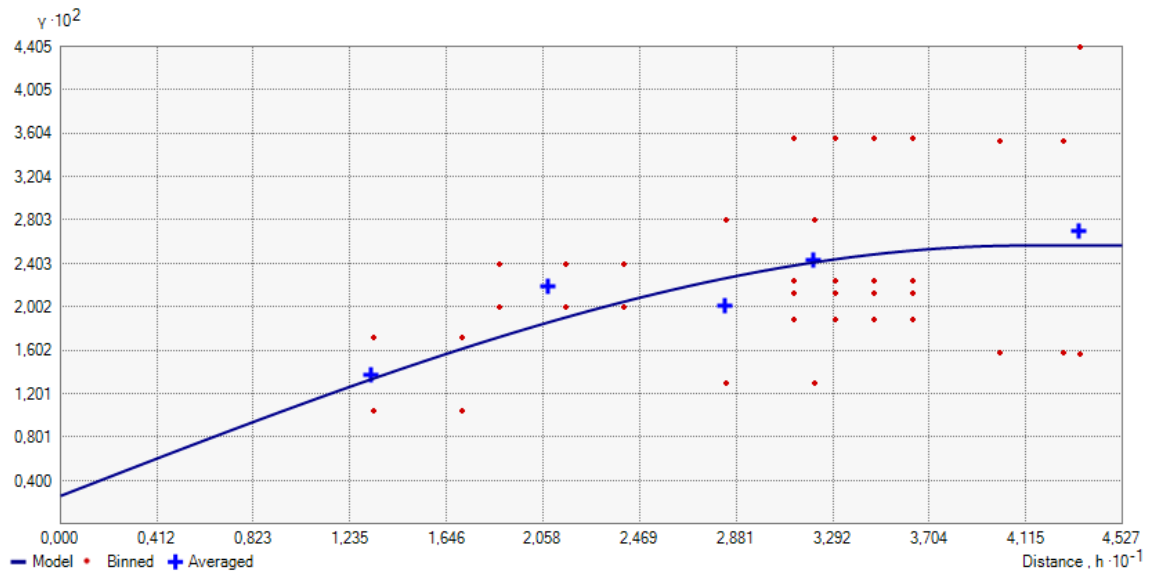
L'équation du modèle circulaire de la réaction du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit de la manière suivante:

$$\gamma(h) = 0.0051 + 0.0211 \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{40.42} \right) \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{40.42} \right)^2} \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 8, montre le variogramme ajusté au modèle sphérique,



**Figure 8:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (sphérique)

Le variogramme ajusté au modèle sphérique (Fig. 8) est caractérisé par un palier de 0.0231 une portée de 41.19 m et un effet de pépité de 0.0026

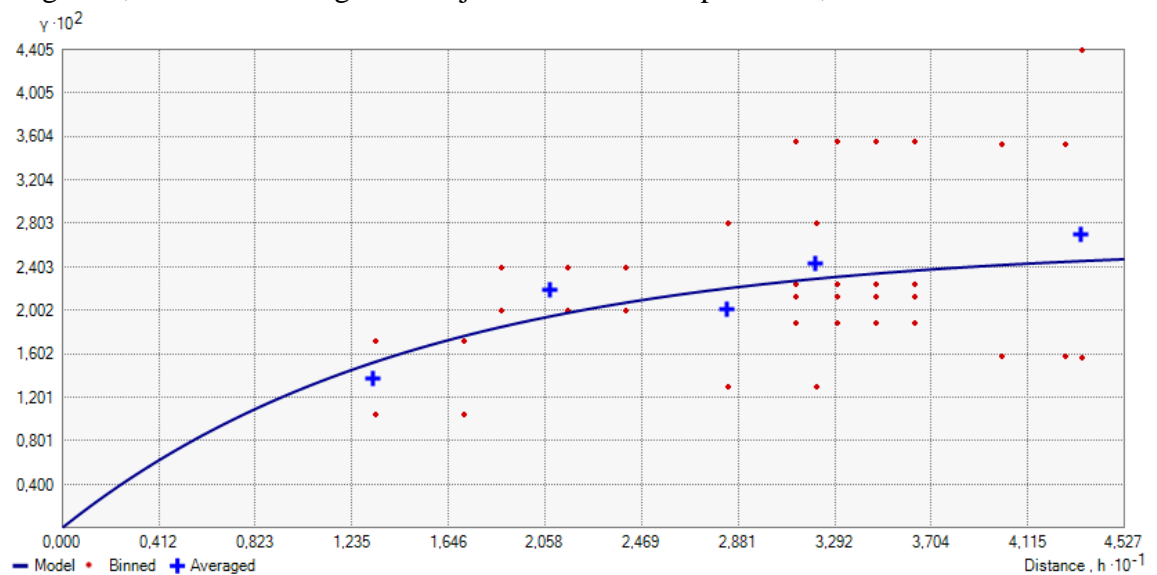
L'équation du modèle sphérique de la réaction du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit ainsi:

$$\gamma(h) = 0.0026 + 0.0231 \left( 1.5 \left( \frac{h}{41.19} \right) - 0.5 \left( \frac{h}{41.19} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 9, montre le variogramme ajusté au modèle exponentiel,



**Figure 9:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Exponentiel)

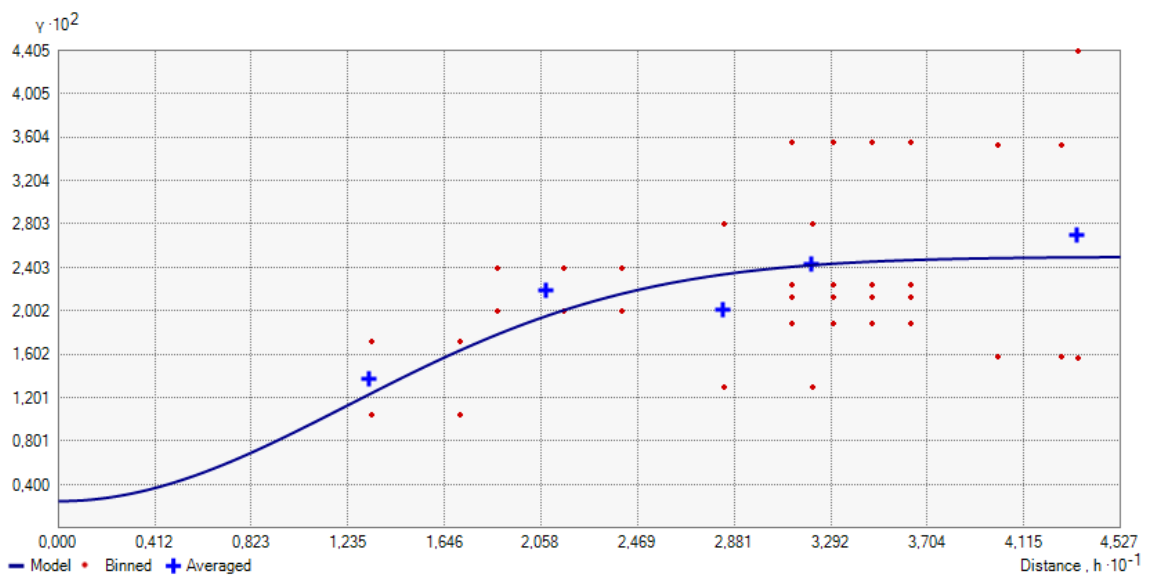
Le variogramme ajusté au modèle exponentiel (Fig. 9) présente un palier de 0.0260, une portée de 45.27m et un effet de pépité de 0.

L'équation du modèle exponentiel de la réaction du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit comme suit:

$$\gamma(h) = 0 + 0.0260 \left( 1 - \exp \left( - \frac{h}{45.27} \right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 10, montre le variogramme ajusté au modèle Gaussien



**Figure 10:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle R (Gaussien)

Le variogramme ajusté au modèle Gaussien (Fig. 10) présente un palier de 0.0226, une portée de 30.25 m et un effet de pépité de 0.0024

L'équation du modèle gaussien de la réaction du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit de la façon suivante:

$$\gamma(h) = 0.0024 + 0.0226 \left( 1 - \exp \left( - \frac{h}{30.25} \right)^2 \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

**2.1.2. Validation croisée:**

Le tableau 06 représente une synthèse des résultats de la validation croisée des modèles de variogramme de la réaction du sol dans la parcelle de référence.

**Tableau 6:** Validation croisée des variogrammes de la réaction de la parcelle de référence (R)

<b>pH</b>	<b>circulaire</b>	<b>Sphérique</b>	<b>Exponentiel</b>	<b>gaussien</b>
Echantillons	30 of 30	30 of 30	30 of 30	30 of 30
Erreur moyenne de prédiction (ME)	0.0052699	0.00599203	0.0068428	0.00473432
Erreur quadratique moyenne (RMSE)	0.11519865	0.11356457	0.11300408	0.10603026
Erreur moyenne standardisée (MSE)	0.03515829	0.04203088	0.04418326	0.03769063
Erreur quadratique moyenne standardisée (RMSSE)	0.94307038	0.94672914	0.84268151	0.96508899
Erreur standard moyenne d'interpolation « ASE »	0.12553672	0.12341828	0.13585481	0.11489613
RMSE-ASE	0.0103381	0.0098537	0.0228507	0.0088659

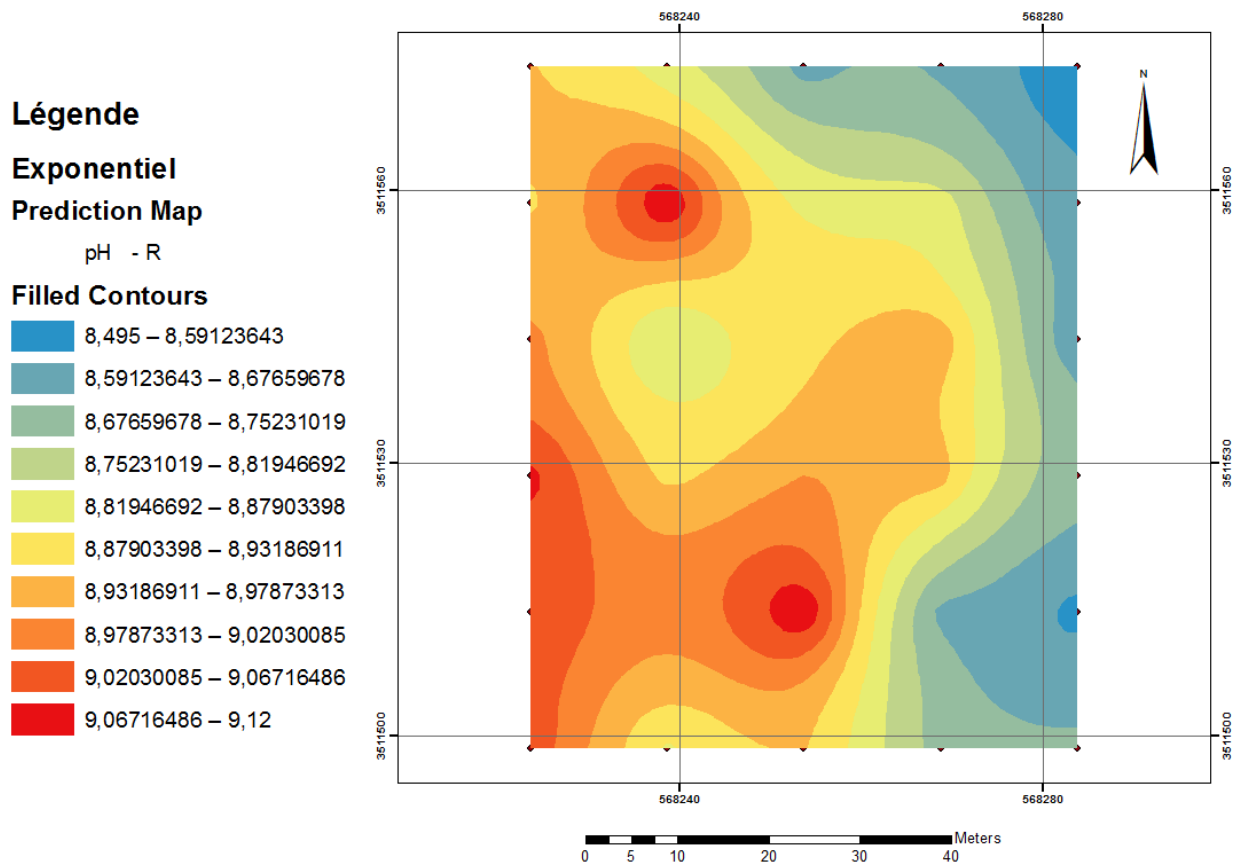
A partir du tableau 06, représentant les paramètres de la validation croisée des variogrammes expérimentaux de la réaction du sol dans la parcelle de référence (R), tous les modèles ont une erreur de prédiction moyenne et une erreur moyenne standardisée proche du 0 ainsi qu'une erreur quadratique moyenne standardisée proche du 1, ce qui signifie que les quatre modèles sont optimaux. Le modèle le plus valide est le modèle exponentiel car l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est la plus proche à l'erreur standard moyenne d'interpolation (ASE).

Le modèle exponentiel fournira la meilleure interpolation possible par krigeage, et nous permettra de tracer la carte la plus fiable.

**2.1.3. Cartographie par krigeage**

Les résultats de la validation croisée ont montrés que le meilleur modèle de variogramme expérimental est le modèle exponentiel. Ce modèle à été utilisée pour la réalisation de la carte de variabilité spatiale de la réaction du sol dans la parcelle de référence par krigeage.

La carte (Fig.11) montre une variation faible de la réaction du sol dans la parcelle de référence, avec un coefficient de variation de 1.98 % selon l'échelle de NOLIN et al. (1997).



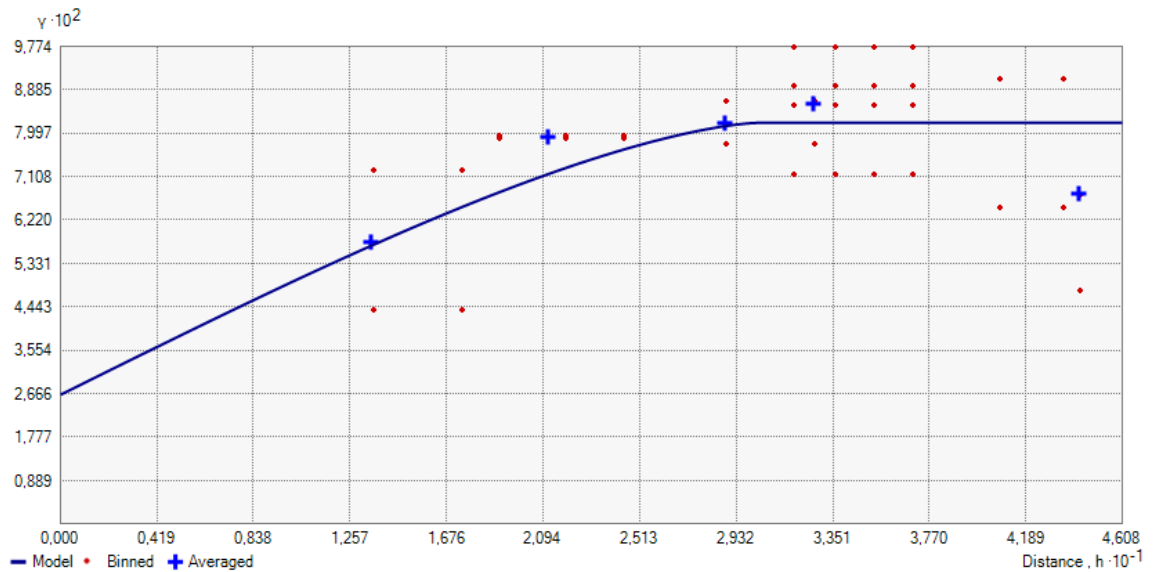
**Figure 11:** Carte de variabilité spatiale du pH dans la parcelle de référence (R)

Nous observons que la variation de pH dans cette parcelle augmente suivant un gradient Est-Ouest, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans l'Ouest de la parcelle. Le sol est très alcalin dans toute la parcelle avec des valeurs variant de 8.495 à 9.12.

## 2.2. Modélisation géostatistique de la variabilité de la réaction du sol dans la parcelle cultivée

### 2.2.1. Analyse variographique

La figure 12, montre le variogramme ajusté au modèle circulaire,



**Figure 12:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle cultivée (P) (Circulaire)

Le variogramme ajusté au modèle circulaire (Fig. 12) est caractérisé par un palier de 0,0557, une portée de 30.25 m et un effet de pépité de 0,0264.

L'équation du modèle circulaire de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit de la manière suivante:

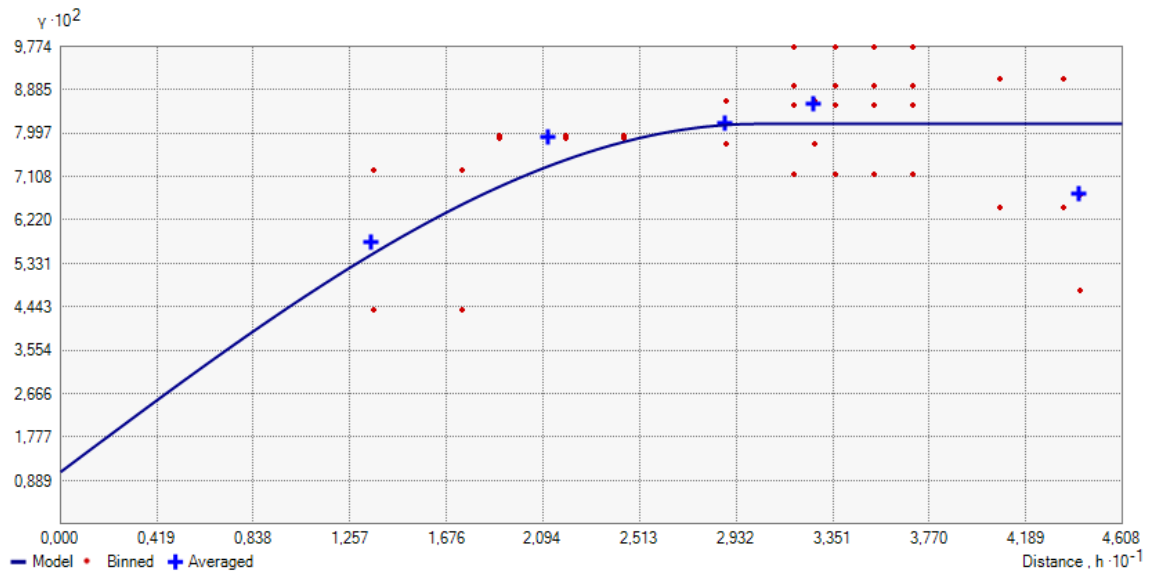
$$\gamma(h) = 0.0264 + 0.0557 \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{30.25} \right) \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{30.25} \right)^2} \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 13, montre le variogramme ajusté au modèle sphérique,





**Figure 13** : Variogramme de pH du sol dans la parcelle cultivée (P) (sphérique)

Le variogramme ajusté au modèle sphérique (Fig. 13) est caractérisé par un palier de 0,0713, une portée de 30.25 m et un effet de pépité de 0,0106

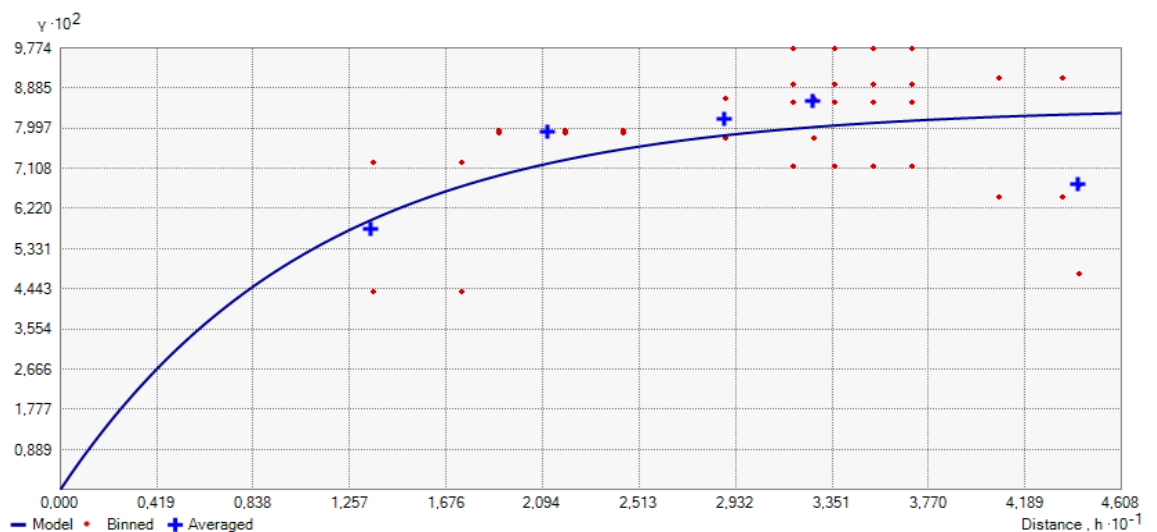
L'équation du modèle sphérique de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit ainsi:

$$\gamma(h) = 0.0106 + 0.0713 \left( 1.5 \left( \frac{h}{30.25} \right) - 0.5 \left( \frac{h}{30.25} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 14, montre le variogramme ajusté au modèle exponentiel,



**Figure 14**: Variogramme de PH du sol dans la parcelle cultivée (P) (Exponentiel)

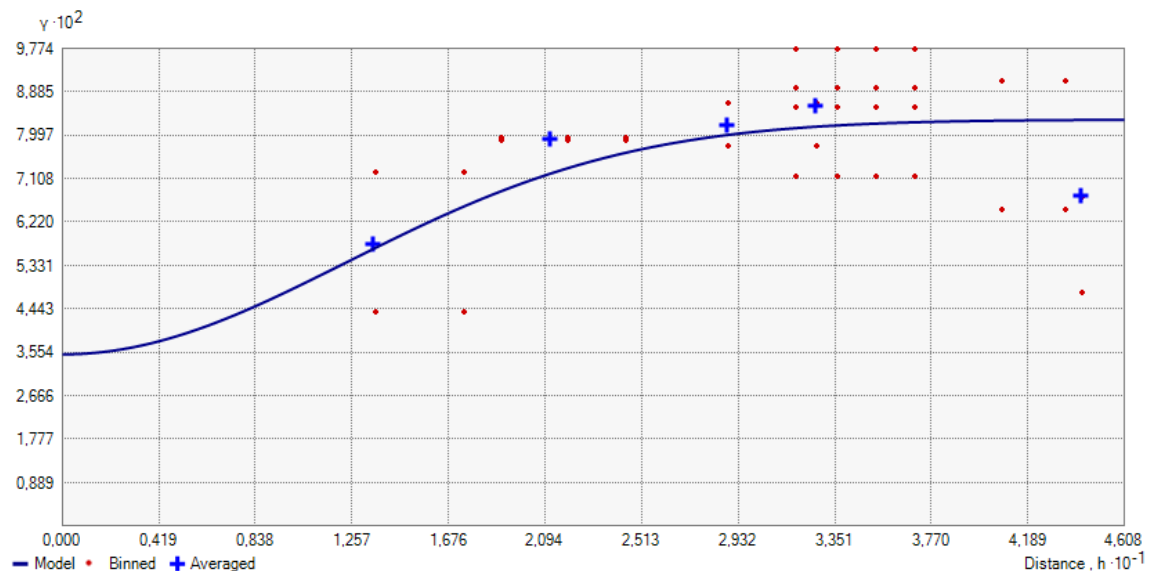
Le variogramme ajusté au modèle exponentiel (Fig. 14) présente un palier de 0.0846, une portée de 33.17 m et un effet de pépité de 0

L'équation du modèle exponentiel de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit comme suit:

$$\gamma(h) = 0 + 0.0846 \left( 1 - \exp \left( - \frac{h}{33.17} \right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 15, montre le variogramme ajusté au modèle Gaussien



**Figure 15:** Variogramme de pH du sol dans la parcelle cultivée (P) (Gaussien)

Le variogramme ajusté au modèle Gaussien (Fig. 15) présente un palier de 0,0481, une portée de 30.25 m et un effet de pépité de 0.0351

L'équation du modèle gaussien de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit de la façon suivante:

$$\gamma(h) = 0.0351 + 0.0481 \left( 1 - \exp \left( - \frac{h}{30.25} \right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

**2.2.2. Validation croisée:**

Le tableau 07, représente une synthèse des résultats de la validation croisée des modèles de variogramme de la réaction du sol dans la parcelle de cultivée.

**Tableau 7 :** Validation croisée des variogrammes de la réaction de la parcelle cultivée (P)

<b>pH</b>	<b>circulaire</b>	<b>Sphérique</b>	<b>Exponentiel</b>	<b>gaussien</b>
Echantillons	30 of 30	30 of 30	30 of 30	30 of 30
Erreur moyenne de prédiction (ME)	-0.0025931	-0.0030208	-0.0020313	-0.0023591
Erreur quadratique moyenne (RMSE)	0.24364043	0.24088949	0.25212284	0.24513344
Erreur moyenne standardisée (MSE)	-0.0050225	-0.0067323	-0.0038576	-0.0045374
Erreur quadratique moyenne standardisée (RMSSE)	0.94090634	0.94275742	0.94182212	0.94335265
Erreur standard moyenne d'interpolation « ASE »	0.26120605	0.25803384	0.26926495	0.26192614
RMSE-ASE	-0.0175656	-0.0171443	-0.0171421	-0.0167927

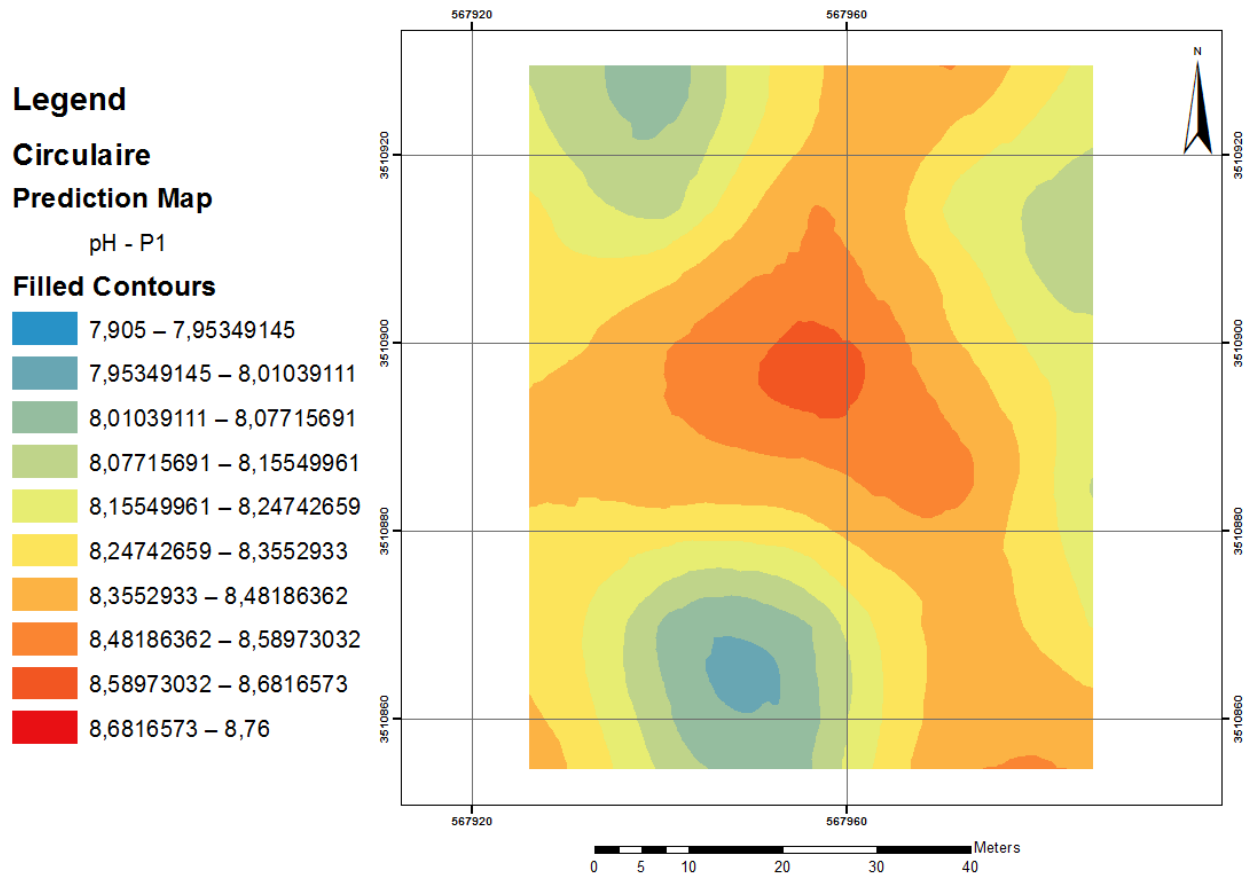
A partir du tableau 07, représentant les paramètres de la validation croisée des variogrammes expérimentaux de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P), tous les modèles ont une erreur de prédiction moyenne et une erreur moyenne standardisée proche du 0 ainsi qu'une erreur quadratique moyenne standardisée proche du 1, ce qui signifie que les quatre modèles sont optimales. Le modèle le plus valide est le modèle circulaire car l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est la plus proche à l'erreur standard moyenne d'interpolation (ASE).

Le modèle circulaire fournira la meilleure interpolation possible par krigeage, et nous permettra de tracer la carte la plus fiable.

**2.2.3. Cartographie par krigeage**

Les résultats de la validation croisée ont montrées que le meilleur modèle de variogramme expérimental est le modèle circulaire. Ce modèle à été utilisée pour la réalisation de la carte de variabilité spatiale de la réaction du sol dans la parcelle cultivée par krigeage.

La carte (Fig. 16) montre une variation faible de la réaction du sol dans la parcelle cultivée (P), avec un coefficient de variation de 3.08 % selon l'échelle de NOLIN et *al.* (1997).



**Figure 16 :** Carte de variabilité spatiale du pH dans la parcelle cultivée (P)

Nous observons que la variation de pH dans cette parcelle augmente suivant un gradient nord-centre, sud-centre et ouest-centre ; les valeurs les plus élevée sont enregistrés dans le centre de la parcelle. Le sol est très acide dans toute la parcelle avec des valeurs variant de 7.905 à 8.76.

### 3. Discussion

Le pH du sol est une notion permettant de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Le pH est une expression logarithmique de l'acidité d'une solution. Il est mesuré par un pH mètre à électrode en verre, préalablement étalonnée à l'aide d'une solution tampon de pH connu sur des extraits aqueux au 1/5 de la solution du sol. Dans les zones arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN et al., 1965 in BACI, 1982).

L'étude de la variabilité spatiale de pH du sol exprimée par l'extrait dilué, a été réalisée dans la ferme Houtia à Hassi Fehal, Ghardaïa.

Les résultats obtenus montrent que le sol est très alcalin. Le pH a passé d'une moyenne de 8.85 pour la parcelle de référence (R) à 8.30 pour le sol cultivée (P) après 19 ans d'exploitation du sol en céréaliculture sous pivot, soit une diminution de 0.55 et un taux de variation annuel de  $-0.029 \pm 0.0167$ , l'analyse de variance a montré que cette diminution est très hautement significative. Cette diminution de pH est due probablement à l'absorption des sels par la culture et aussi le lessivage par les eaux d'irrigation qui entraîne les sels alcalinisant surtout le calcaire (HALITIM, 1973) en profondeur, sachant que la texture grossière du sol favorisant une bonne lixiviation des sels, en absence d'une nappe phréatique proche de la surface (BENBRAHIM, 2018).

Selon ENRIGH (1991), il existe une relation hautement significative entre l'apport du calcaire et l'augmentation du pH, VOROBYOVA et al. (1991), pensent que les variations des valeurs du pH sont conditionnées par l'équilibre calcium/carbonates des sols.

L'intensification agricole a conduit à une modification de la variabilité spatiale de la réaction du sol, cette modification est détecté par l'augmentation légère du coefficient de variation après 19 ans de mise en culture, ce coefficient qui passe de 1.98 % à 3.08 % montre une variation spatiale très faible de la réaction du sol.

La modélisation géostatistique a indiqué différents modèles de distribution spatial de la réaction du sol, ainsi que différents niveaux de dépendance spatiale, la validation croisée a montré que les modèles de variogrammes les plus fiables sont l'exponentiel pour la parcelle de référence et le circulaire pour la parcelle cultivée.

L'analyse des variogrammes a montré un effet de pépite très faible, indiquant une faible variation du pH à des distances inférieures au pas d'échantillonnage (15 m) dans les deux parcelles. Ces résultats se rapprochent de ceux trouvés pour le pH du sol par SAFARI et al. (2013) et DARWISH et al. (2015) et BENBRAHIM (2018). Dans les deux parcelles étudiées, la réaction du sol est modérément à fortement dépendante de l'espace, les valeurs du degré de dépendance spatiale sont de 00 % pour la parcelle de référence, de et 47,39 % pour la parcelle cultivée (Tabl. 10).

**Tableau 8:** Modèles de variogramme les mieux adaptés et paramètres des modèles pour le pH du sol.

	<b>pH de la parcelle référence (Exponentiel)</b>	<b>pH de la parcelle cultivée (Cerculaire)</b>
Effet de pépite	-----	0.0264
Portée (m)	45.27	30.25
Palier	0.0260	0.0557
DDS (%)	0	47.39

Selon CAMBARDELLA *et al.*, (1994), la dépendance modérée des propriétés du sol est contrôlée par des variations extrinsèques. Cette variabilité extrinsèque est la variation imposée sur un champ dans le cadre de la pratique de l'agriculture RAO et WAGENET (1985). Cela suppose l'implication de toutes les pratiques culturelles telles que l'irrigation, la fertilisation et le labour (BENBRAHIM, 2018).

Les valeurs de la portée varient dans les deux parcelles, la portée est de 45.27 mètres dans la parcelle de référence et de 30,25 mètres dans la parcelle cultivée.

Les valeurs de portée trouvées dans notre étude sont incluses dans la fourchette signalée par la plupart des auteurs. Cette fourchette varie de 28,18 mètres (TOLA *et al.*, 2017) à 81.11 mètres (BENBRAHIM, 2018).

L'utilité de la portée demeure dans la détermination du pas d'échantillonnage dans les futurs travaux sur la réaction du sol. Ce pas d'échantillonnage doit être inférieur ou égal à la portée trouvée dans cette étude (de 30.25 à 45.27 mètres).

Après la sélection des modèles de variogrammes les plus performants par validation croisée, des cartes de variabilité spatiale de la réaction du sol ont été réalisées par krigeage ordinaire. Ces cartes montrent que les valeurs les plus élevées du pH sont enregistrées à l'ouest de la parcelle de référence, et au centre de la parcelle cultivée.

1. Etude de la salinité du sol

Les résultats d’analyses de la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique de l’extrait diluée 1/5 sont présentés synthétiquement dans le tableau 9

Tableau 9:Résultats d’analyses de la salinnité du sol

CE à 25°C (dS/m)	R	P
<b>Nombre d'échantillons</b>	30	30
<b>Moyenne</b>	0.084	0.19
Écart-type	0.05	0.09
Minimum	0.048	0.08
Maximum	0.25	0.45
Coefficient de variation (%)	54.13	45.68
TVA-CE (dS/m/an)	-	0,0057±0,0058

Dans la parcelle non cultivée (R), la salinité varie de 0.048 à 0.25 dS/m avec une moyenne de  $0.084 \pm 0.05$  dS/m et un CV de 54.13 %.

Dans la parcelle cultivée (P), la salinité varie de 0.08 à 0.45 dS/m avec une moyenne de  $0.19 \pm 0.09$  dS/m (non salé) et un CV de 45.68 %.

L’analyse du taux de variation annuelle montre que la salinité a légèrement augmenté dans la parcelle cultivée (P) par rapport à la parcelle non cultivée (R) après 19 ans d’exploitation du sol, avec une évolution moyenne annuelle de  $0,0057 \pm 0,0058$  dS/m/an. L’analyse de variance montre que cette augmentation est très hautement significative ( $F^{1,58} = 36,119$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S.).

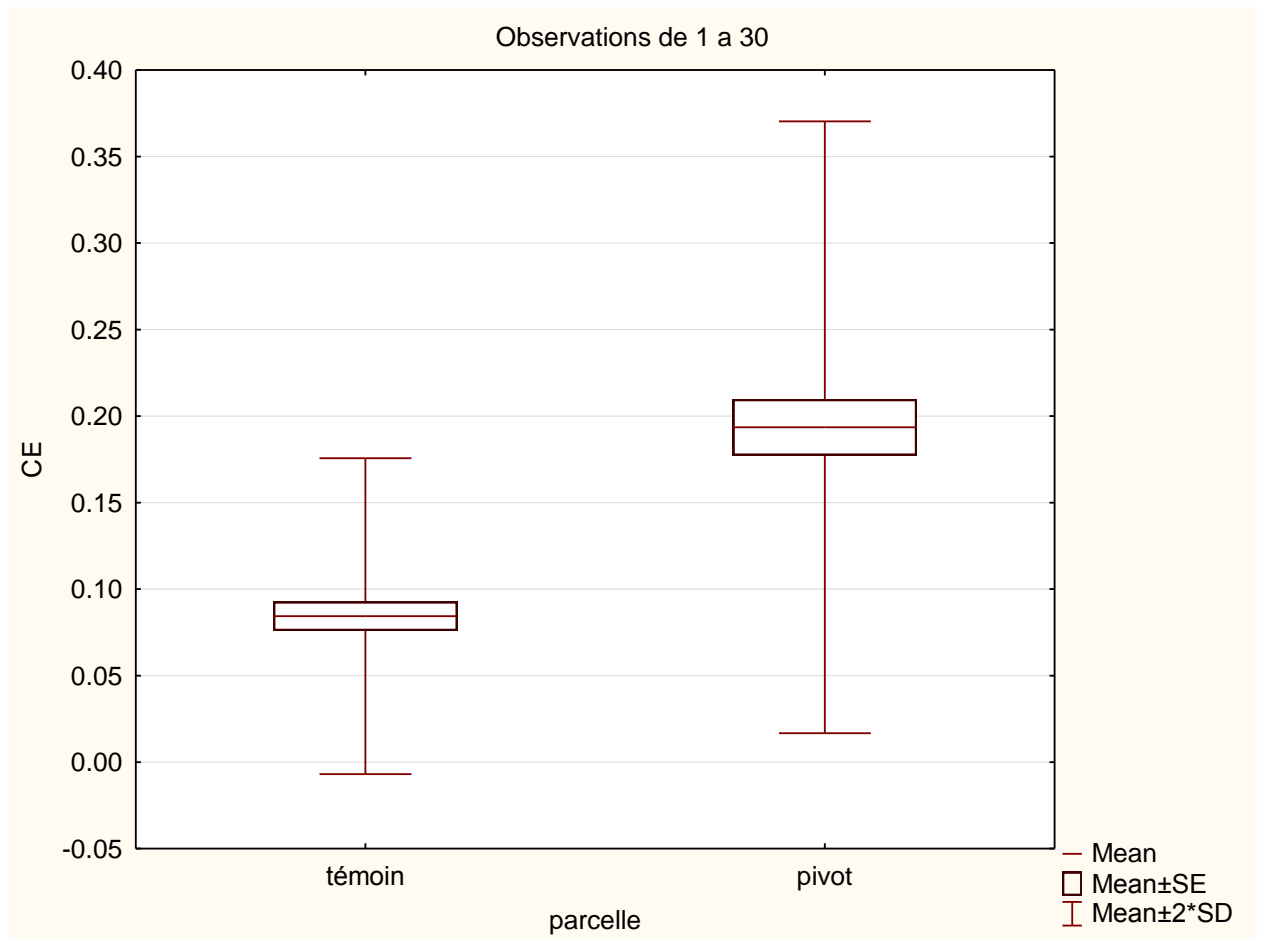


Figure 17 : Boite à moustaches de la variation de la salinité du sol

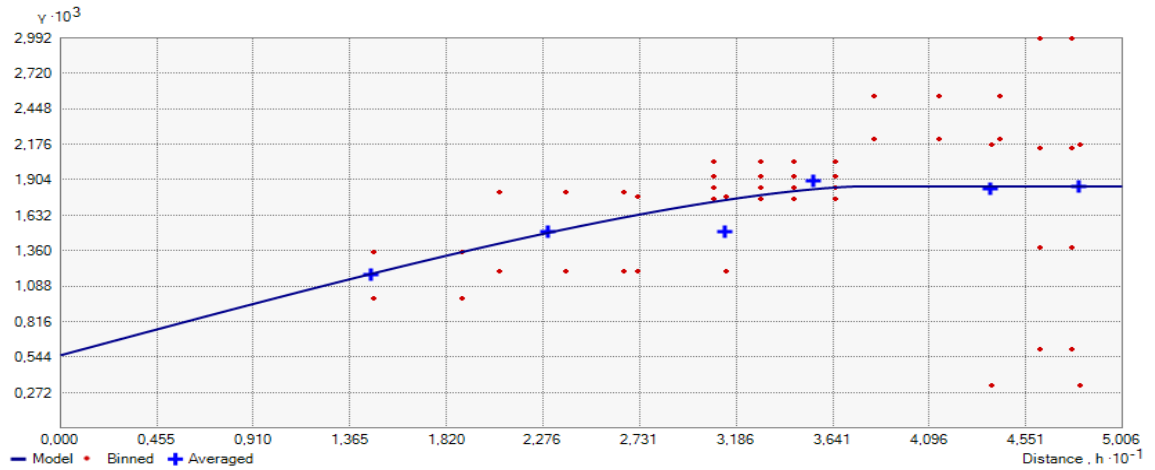
## 2. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la salinité du sol

### 2.1. Modélisation géostatistique de la salinité dans la parcelle de référence

#### 2.1.1. Analyse variographique

La figure 18, montre le variogramme ajusté au modèle circulaire,





**Figure 18 :** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Circulaire)

Le variogramme ajusté au modèle circulaire (Fig. 18) est caractérisé par un palier de 0.0013, une portée de 37.71 m et un effet de pépité de 0.0006.

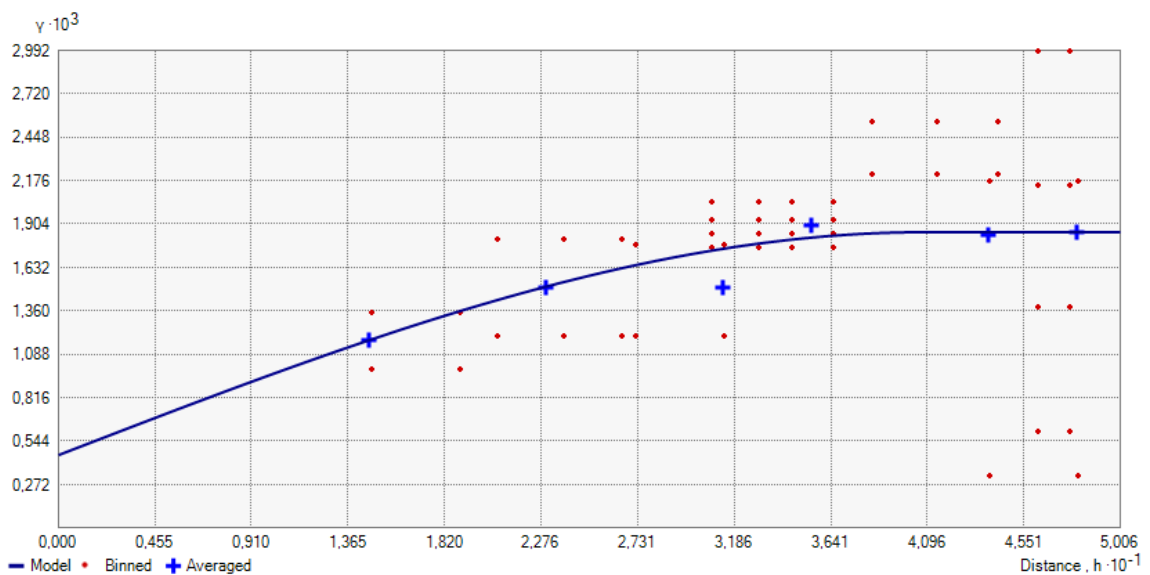
L'équation du modèle circulaire de la salinité du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit de la manière suivante:

$$\gamma(h) = 0.0006 + 0.0013 \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{37.71} \right) \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{37.71} \right)^2} \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 19, montre le variogramme ajusté au modèle sphérique,



**Figure 19:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (sphérique)

Le variogramme ajusté au modèle sphérique (Fig. 19) est caractérisé par un palier de 0.0014, une portée de 40.80 m et un effet de pépité de 0.0005.

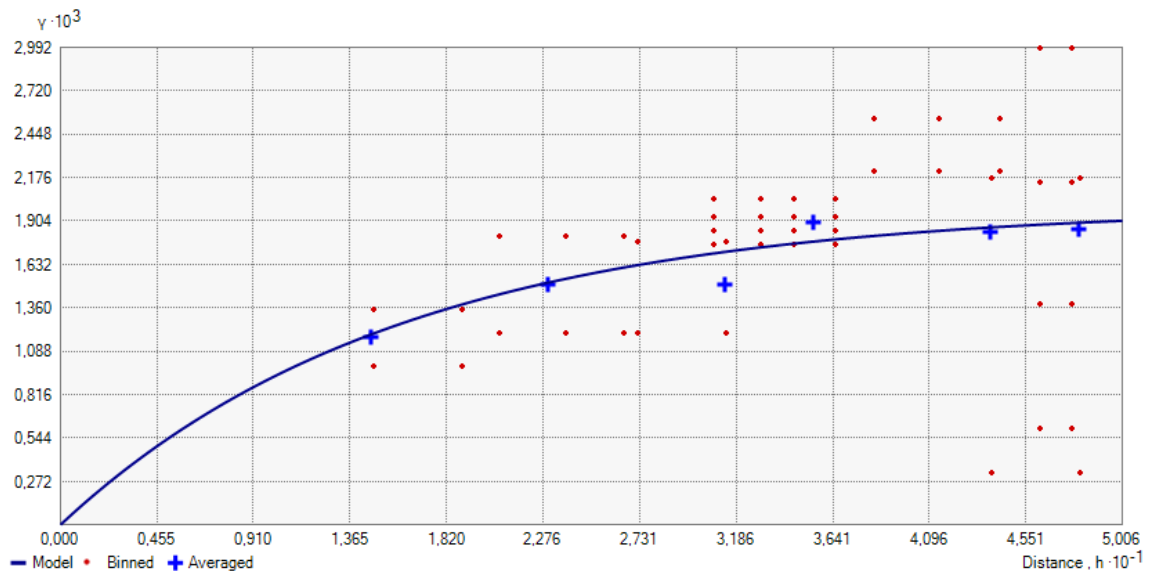
L'équation du modèle sphérique de la salinité du sol dans la parcelle de référence s'écrit ainsi:

$$\gamma(h) = 0.0005 + 0.0014 \left( 1.5 \left( \frac{h}{40.80} \right) - 0.5 \left( \frac{h}{40.80} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 20, montre le variogramme ajusté au modèle exponentiel,



**Figure 20:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Exponentiel)

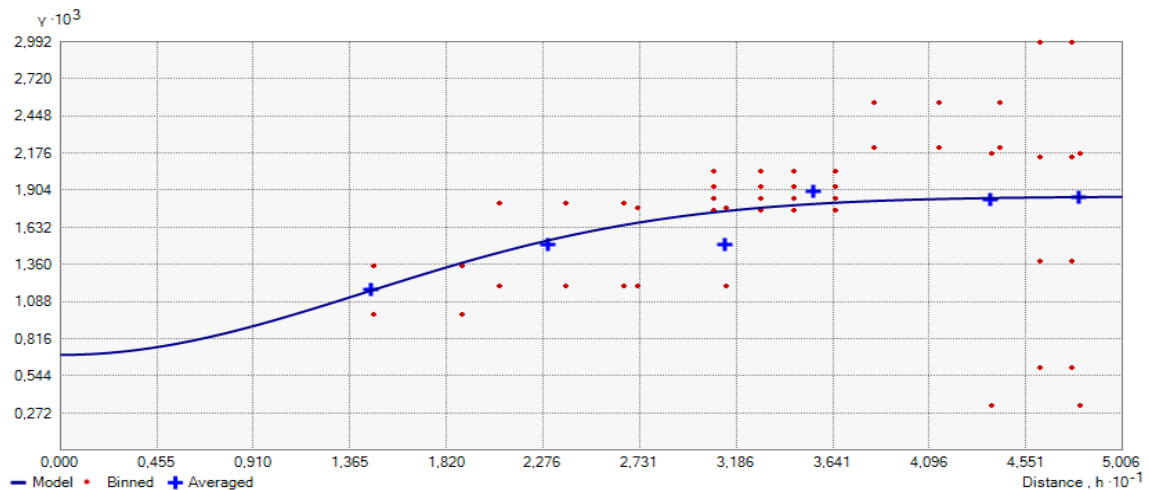
Le variogramme ajusté au modèle exponentiel (Fig. 20) présente un palier de 0.0020, une portée de 48.13 m et un effet de pépité de 0.

L'équation du modèle exponentiel de la salinité du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit comme suit:

$$\gamma(h) = 0 + 0.0020 \left( 1 - \exp \left( - \frac{h}{48.13} \right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 21, montre le variogramme ajusté au modèle Gaussien,



**Figure 21:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle référence (Gaussien)

Le variogramme ajusté au modèle Gaussien (Fig. 21) présente un palier de 0.0012, une portée de 35.13 m et un effet de pépité de 0.0007.

L'équation du modèle gaussien de la salinité du sol dans la parcelle de référence (R) s'écrit de la façon suivante:

$$\gamma(h) = 0.0007 + 0.0012 \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{35.13}\right)^2 \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

### 2.1.2. Validation croisée:

Le tableau 10, représente une synthèse des résultats de la validation croisée des modèles de variogramme de la salinité du sol dans la parcelle de référence (R).

Tableau 10: Validation croisée des variogrammes de la salinité de la parcelle de référence

CE	circulaire	Sphérique	Exponentiel	gaussien
Echantillons	30 of 30	30 of 30	30 of 30	30 of 30
Erreur moyenne de prédiction (ME)	-0.0008163	-0.0008226	-0.0011129	-0.0008625
Erreur quadratique moyenne (RMSE)	0.0386437	0.03872378	0.03870631	0.03889961
Erreur moyenne standardisée (MSE)	-0.0146055	-0.014976	-0.0233134	-0.0162908
Erreur quadratique moyenne standardisée (RMSSE)	1.03955216	1.04248957	1.02930146	1.05021447
Erreur standard moyenne d'interpolation « ASE »	0.03633034	0.03628561	0.0368191	0.03614435
RMSE-ASE	0.00231336	0.00243817	0.00188721	0.00275526

A partir du tableau 12, représentant les paramètres de la validation croisée des variogrammes expérimentaux de la salinité dans la parcelle de référence (R), tous les modèles ont une erreur de prédiction moyenne et une erreur moyenne standardisée proche du 0 ainsi qu'une erreur quadratique moyenne standardisée proche du 1, ce qui signifie que les quatre modèles sont optimales. Le modèle le plus valide est le modèle exponentiel car l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est la plus proche à l'erreur standard moyenne d'interpolation (ASE).

Le modèle exponentiel fournira la meilleure interpolation possible par krigeage, et nous permettra de tracer la carte la plus fiable

### 2.1.3. Cartographie par krigeage

Les résultats de la validation croisée ont montrées que le meilleur modèle de variogramme expérimental est le modèle exponentiel. Ce modèle à été utilisée pour la réalisation de la carte de variabilité spatiale de la salinité dans la parcelle de référence par krigeage.

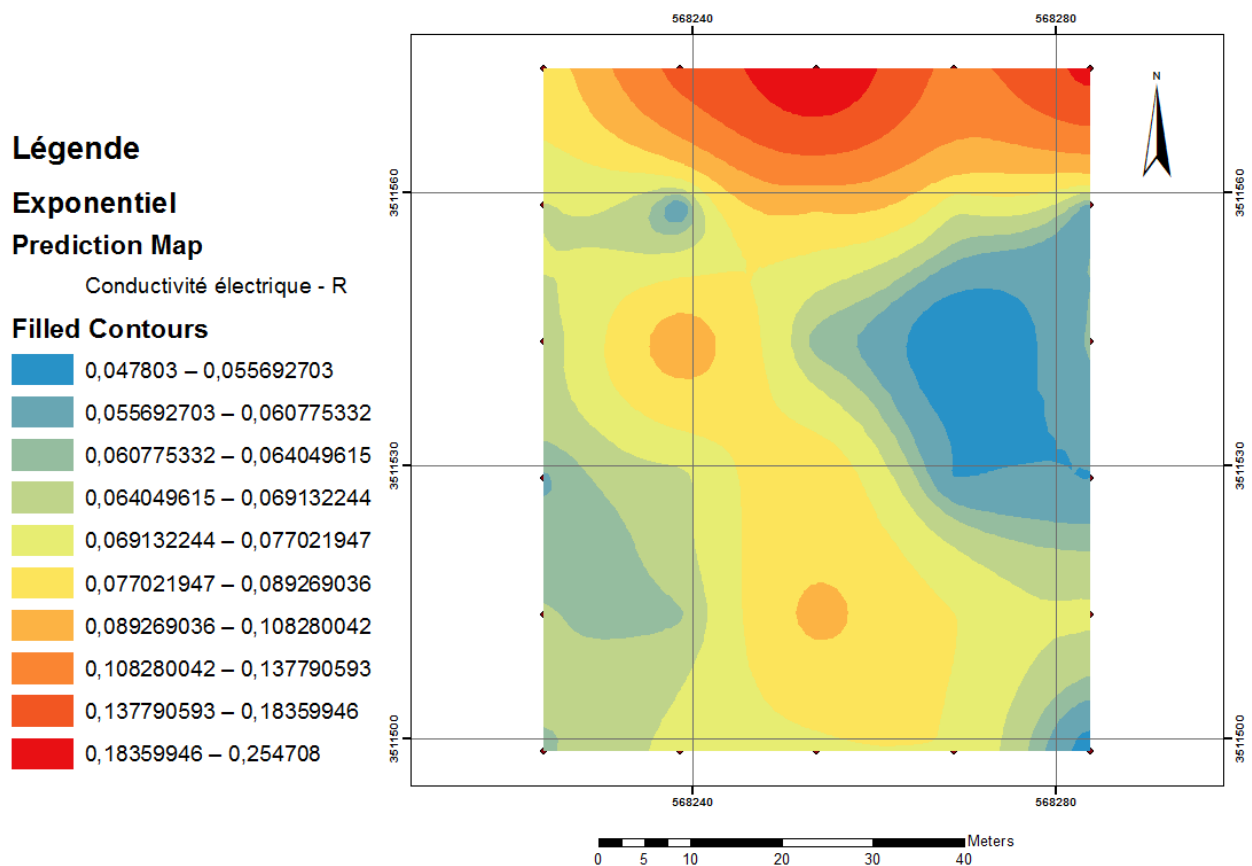


Figure 22 : Carte de variabilité spatiale de CE dans la parcelle référence (R)

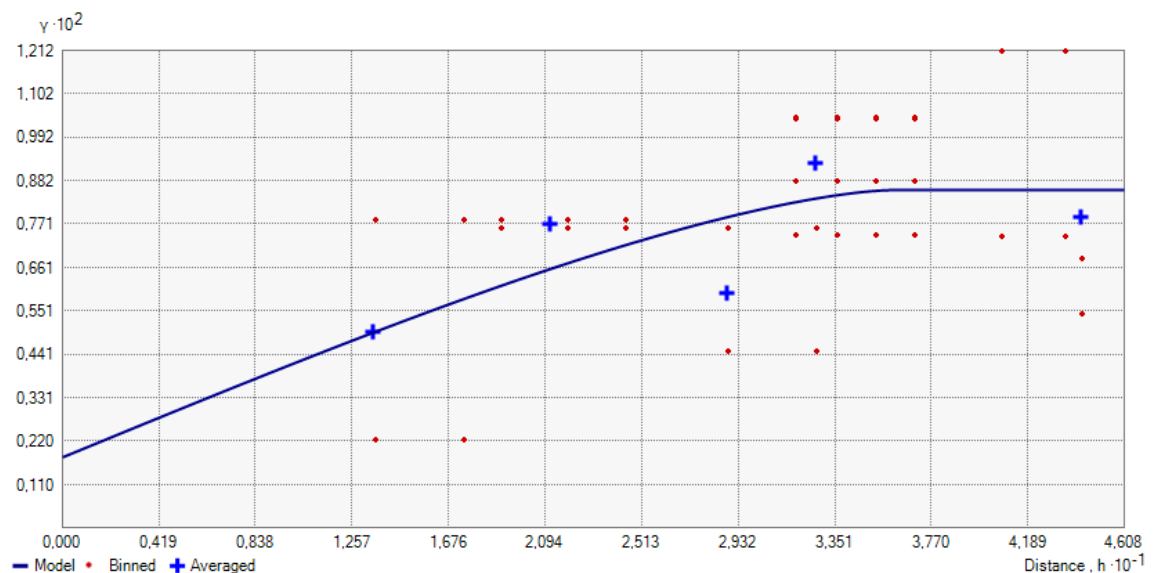
La carte (Fig. 22) montre une variation très élevée de la salinité dans la parcelle de référence, avec un coefficient de variation de 54.13 % selon l'échelle de NOLIN et al. (1997).

Nous observons que la variation de la salinité dans cette parcelle augmente suivant un gradient sud-nord, les valeurs les plus élevée sont enregistrés dans le nord de la parcelle. Le sol est non salé dans toute la parcelle avec des valeurs variant de 0.254708 à 0.047803 dS/m.

## 2.2. Modélisation géostatistique de la salinité dans la parcelle cultivée

### 2.2.1. Analyse variographique

La figure 23, montre le variogramme ajusté au modèle circulaire,



**Figure 23:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) (Circulaire)

Le variogramme ajusté au modèle circulaire (Fig.23) est caractérisé par un palier de 0.0068, une portée de 35.89 m et un effet de pépite de 0,0018.

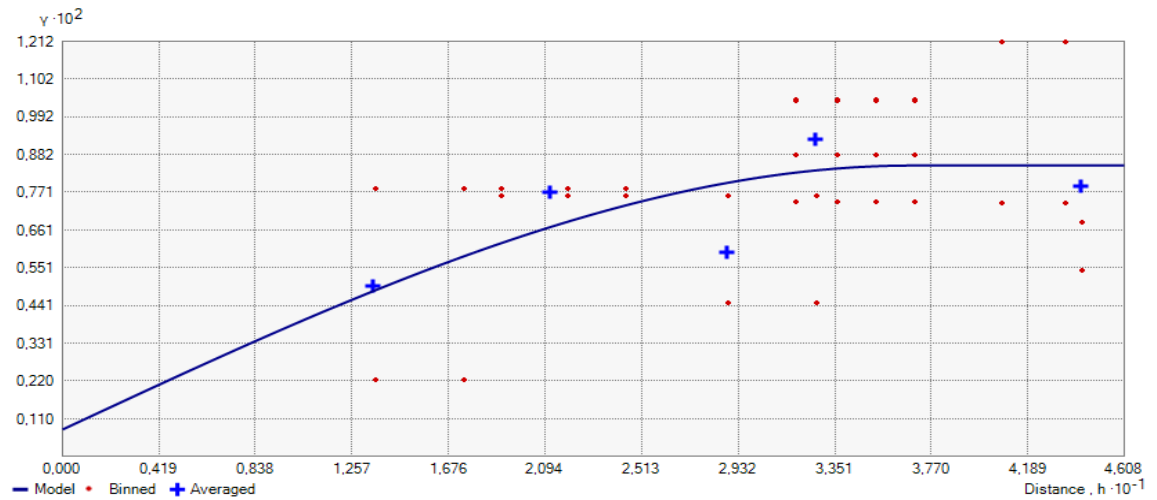
L'équation du modèle circulaire de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit de la manière suivante:

$$\gamma(h) = 0.0018 + 0.0068 \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{35.89} \right) \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{35.89} \right)^2} \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 24, montre le variogramme ajusté au modèle sphérique,



**Figure 24:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) (sphérique)

Le variogramme ajusté au modèle sphérique (Fig.24) est caractérisé par un palier de 0.0077, une portée de 36,85 m et un effet de pépite de 0.0008.

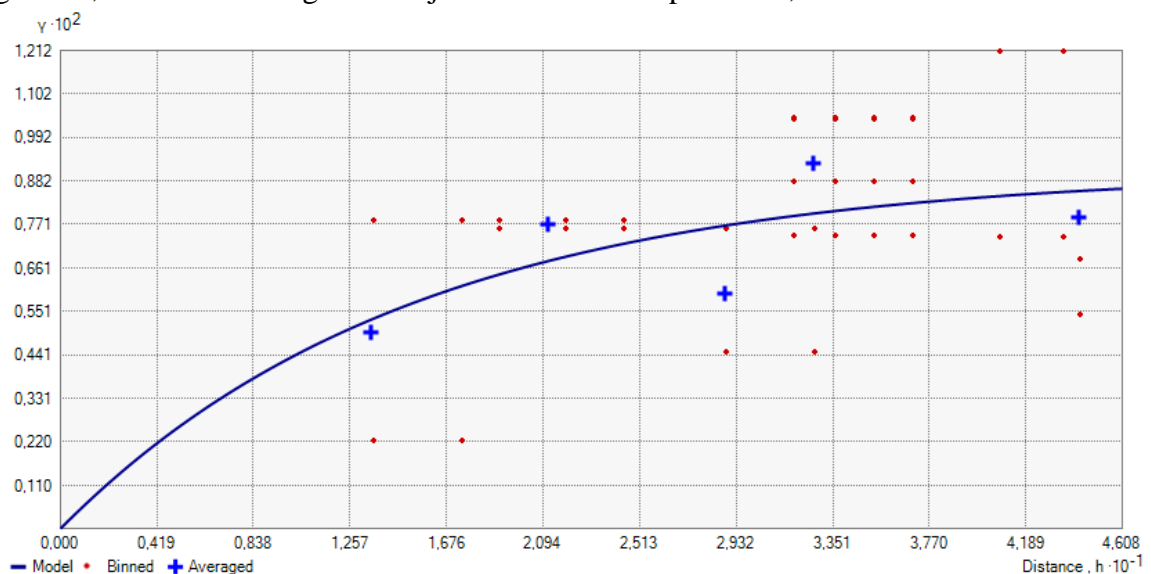
L'équation du modèle sphérique de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit ainsi:

$$\gamma(h) = 0.0008 + 0.0077 \left( 1,5 \left( \frac{h}{36.85} \right) - 0,5 \left( \frac{h}{36.85} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 25, montre le variogramme ajusté au modèle exponentiel,



**Figure 25:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) (Exponentiel)

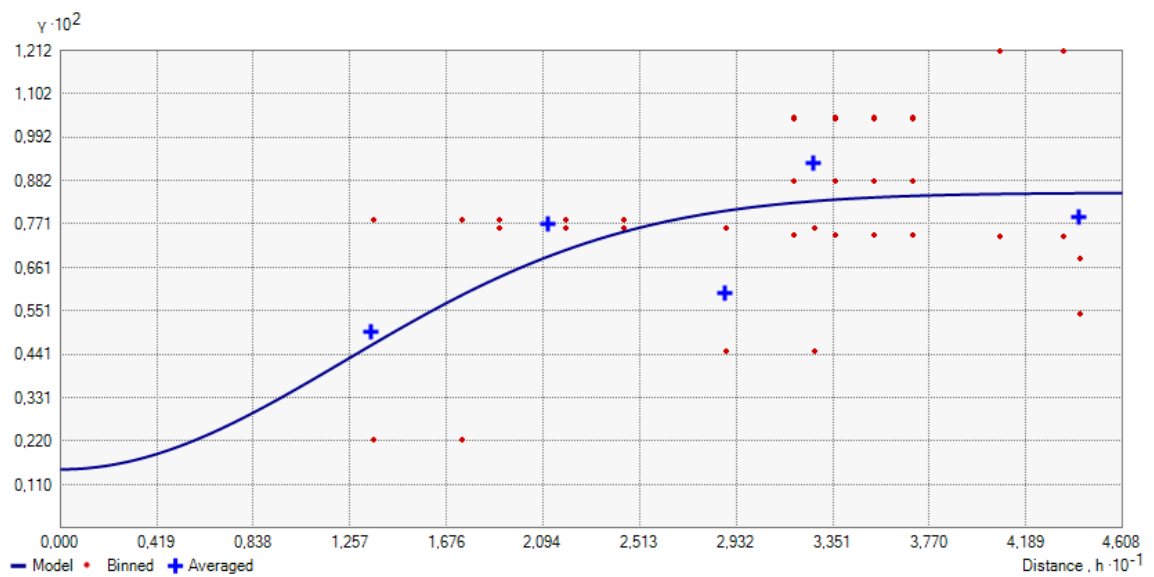
Le variogramme ajusté au modèle exponentiel (Fig. 25) présente un palier de 0.0091, une portée de 46,08m et un effet de pépité nul.

L'équation du modèle exponentiel de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit comme suit:

$$\gamma(h) = 0 + 0.0091 \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{46.08}\right) \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

La figure 26, montre le variogramme ajusté au modèle Gaussien



**Figure 26:** Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) (Gaussien)

Le variogramme ajusté au modèle Gaussien (Fig.26) présente un palier de 0.0070, une portée de 30.25 m et un effet de pépité de 0.0015.

L'équation du modèle gaussien de la salinité du sol dans la parcelle cultivée (P) s'écrit de la façon suivante:

$$\gamma(h) = 0.0015 + 0.0070 \left( 1 - \exp\left(-\frac{h}{30.25}\right)^2 \right) \quad h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

2.2.2. Validation croisée:

Le tableau.13, représente une synthèse des résultats de la validation croisée des modèles de variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée.

**Tableau 11** : Validation croisée des variogrammes de la salinité de la parcelle cultivée (P)

CE	circulaire	Sphérique	Exponentiel	gaussien
Echantillons	30 of 30	30 of 30	30 of 30	30 of 30
Erreur moyenne de prédiction (ME)	-0.0049218	-0.0048304	-0.0033506	-0.0033592
Erreur quadratique moyenne (RMSE)	0.0736657	0.0746857	0.0757273	0.07410771
Erreur moyenne standardisée (MSE)	-0.0553743	-0.0543985	-0.0340287	-0.0351749
Erreur quadratique moyenne standardisée (RMSSE)	0.95373844	0.97714726	0.93494318	0.99797467
Erreur standard moyenne d'interpolation « ASE »	0.075205	0.0743274	0.0797394	0.07223489
RMSE-ASE	-0.0015393	0.0003583	-0.0040121	0.00187282

A partir du tableau 13, représentant les paramètres de la validation croisée des variogrammes expérimentaux de la salinité dans la parcelle cultivée (P), tous les modèles ont une erreur de prédiction moyenne et une erreur moyenne standardisée proche du 0 ainsi qu'une erreur quadratique moyenne standardisée proche du 1, ce qui signifie que les quatre modèles sont optimales. Le modèle le plus valide est le modèle exponentiel car l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est la plus proche à l'erreur standard moyenne d'interpolation (ASE).

Le modèle exponentiel fournira la meilleure interpolation possible par krigeage, et nous permettra de tracer la carte la plus fiable.

2.2.3. Cartographie par krigeage

Les résultats de la validation croisée ont montrées que le meilleur modèle de variogramme expérimental est le modèle exponentiel. Ce modèle à été utilisée pour la réalisation de la carte de variabilité spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée (P) par krigeage.

La carte (Fig. 27) montre une variation très élevée de la salinité dans la parcelle de référence, avec un coefficient de variation de 45.68% selon l'échelle de NOLIN et *al.* (1997).



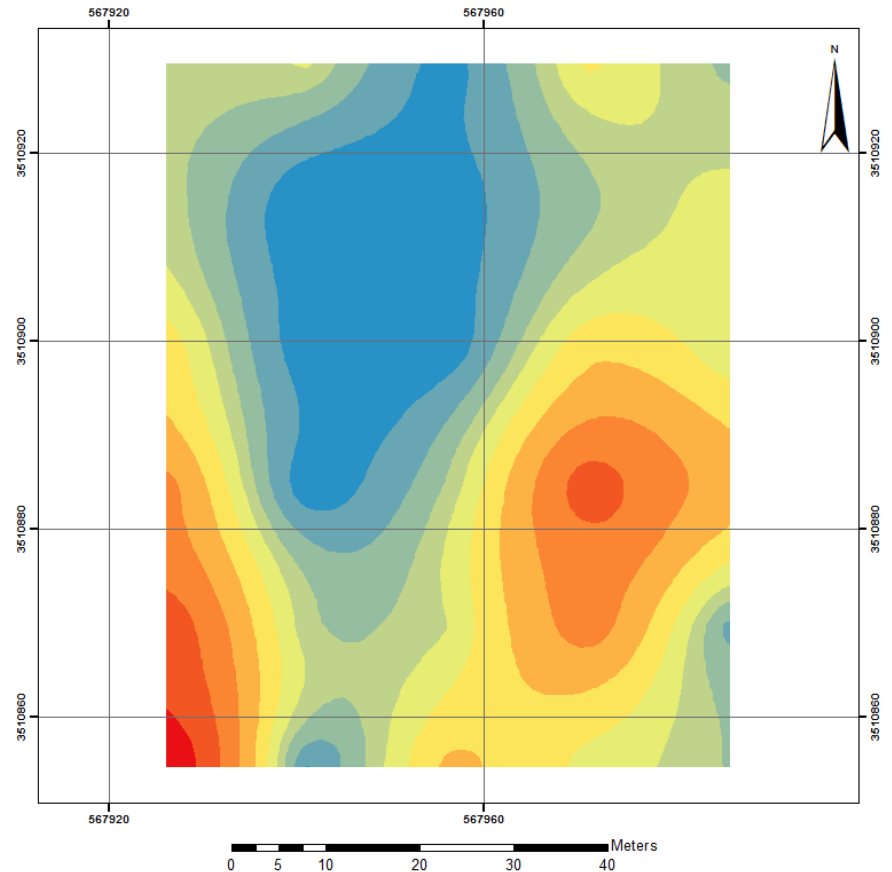
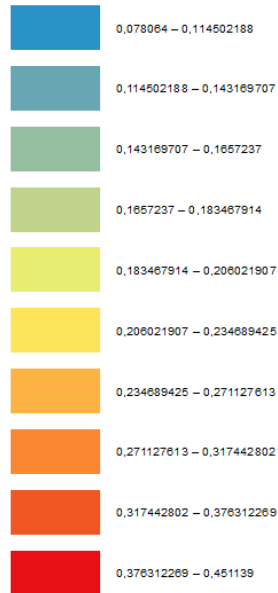
**Légende:**

**Exponentiel**

Prediction Map

Conductivité électrique - P1

Filled Contours



**Figure 27 :** Carte de variabilité spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée (P)

Nous observons que la variation de la salinité dans cette parcelle augmente suivant un gradient nord-sud, les valeurs les plus élevée sont enregistrés dans le sud-est et sud-ouest de la parcelle. Le sol est non salé dans toute la parcelle avec des valeurs variant de 0.078084 à 0.451129 dS/m.

### 3. Discussion

La conductivité électrique permet d’obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous, elle est nécessaire pour l’étude du complexe adsorbant des sols salés (AUBERT, 1978).

La mesure de la conductivité permet d’obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous sur un extrait saturé ou dilué (AUBERT., 1978 in BENZAHY, 1994); dans notre cas, nous avons choisi l'extrait dilué 1/5.

Selon AUBERT (1978 in BENBRAHIM, 2001), un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieure ou égale à 2dS/m.

L'étude de la variabilité spatiale de la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique de l'extrait dilué, a été réalisée dans la ferme HOUTIA à Hassi Fehal, Ghardaïa.

La conductivité électrique varie de 0.048 à 0.25 dS/m avec une moyenne de  $0.084 \pm 0.05$  dS/m dans la parcelle de référence (R) et de 0.08 à 0.45 dS/m avec une moyenne de  $0.19 \pm 0.09$  dS/m dans la parcelle cultivée (P). La conductivité électrique a augmenté significativement après 19 ans d'intensification agricole avec un taux de variation annuelle de  $0,0057 \pm 0,0058$  dS/m, sans que la classe de salinité soit affectée, le sol demeure non salé.

Selon BENBRAHIM (2018), l'eau d'irrigation de cette station est d'une qualité moyenne à médiocre, elle appartient à la classe C3S1. Les eaux de cette classe sont à utiliser avec précaution, en adoptant un système de drainage efficace.

Le sol des parcelles étudié est d'une texture grossière favorisant une bonne lixiviation des sels en profondeur. En absence d'une nappe phréatique proche de la surface, la remontée des sels en surface par capillarité est négligeable.

Il est à signaler que l'intensité de l'évolution de la salinité est en rapport avec la qualité de l'eau d'irrigation utilisée (RICHARDS, 1954 ; DURAND, 1958 ; DURAND, 1983, HALILAT, 1998 ; DJILI *et al.*, 2003 ; BENBRAHIM, 2001 et BENBRAHIM *et al.*, 2016).

De point de vue variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol, nous avons enregistré une diminution du coefficient de variation qui passe de 54.13 % (très élevé) dans la parcelle de référence à 45.68 % (élevé) dans la parcelle exploitée pendant 19 ans. Nous remarquons que la distribution spatiale des sels tend vers l'homogénéisation, ce qui est provoqué par l'irrigation et les travaux du sol.

Le facteur physiologique n'est pas à négliger, la pratique intensive de la céréaliculture avec une colonisation importante du système racinaire dans l'horizon de surface, contribue considérablement à la redistribution des sels dans le sol (BENBRAHIM, 2018).

La modélisation géostatistique a indiqué différents modèles de distribution spatiale de la salinité ainsi que différents niveaux de dépendance spatiale, la validation croisée a montré que le meilleur modèle de variogramme est l'exponentiel pour les deux parcelles de référence (R) et cultivée (P).

L'analyse des variogrammes a montré l'absence de l'effet de pépité dans les variogrammes exponentiel des deux parcelles, ce qui signifie, l'absence de variation de la CE à des distances inférieures au pas d'échantillonnage (inférieur à 15 m). l'absence de l'effet de pépité montre l'absence des microstructures à une échelle plus petite que celle explorée par le pas d'échantillonnage choisi (TRANGMAR *et al.*, 1986 ; CAMBARDELLA *et al.*, 1994). Ce qui montre par conséquent, la validité du pas d'échantillonnage choisi dans notre travail.

La variation de la conductivité électrique du sol est fortement dépendante de l'espace, cela est démontré par la valeur nulle (Tabl. 14) du degré de dépendance spatiale dans les deux parcelles de référence et cultivée.

**Tableau.12:** Modèles de variogramme les mieux adaptés et paramètres des modèles pour la conductivité électrique du sol.

	CE de la parcelle référence (Exponentiel)	CE de la parcelle cultivée (Exponentiel)
Effet de pépité	0	0
Portée (m)	48.13	46.08
Palier	0.0020	0.0091
DDS (%)	0	0

Les valeurs de la portée varient dans les deux parcelles, la portée est de 48.13 mètres dans la parcelle de référence (R) et de 46,08 mètres dans la parcelle cultivée (P). La portée exprime la distance de dépendance spatiale, au-delà de laquelle les variables sont spatialement indépendantes, c'est à dire, absence d'autocorrélation spatiale (HE *et al.*, 2015).

Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle trouvé par plusieurs chercheurs, de 27,5 mètre pour l'étude de BENBRAHIM (2018) dans la région de Ghardaïa à 1121 mètres en Iran (EMADI *et al.* 2008).

Nous rappelons que les valeurs de portée constitueront une référence de base dans la préparation de futurs plans d'échantillonnage. Ce pas d'échantillonnage doit être inférieur ou égal à la portée trouvée dans cette étude (de 46.08 à 48.13 mètres).

Les cartes de variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol réalisées par krigeage ordinaire révèlent une augmentation de la salinité du sol suivant un gradient sud-nord dans la parcelle de référence et suivant un gradient nord-sud dans la parcelle cultivée.

---

# ***CONCLUSION***

---

Ce travail a été fait sur la variabilité spatiale de la salinité et de la réaction du sol dans la région de Ghardaïa a été réalisé dans la ferme de HOUTIA à Hassi Fehal.

L'objectif étant de modéliser la variabilité spatiale de quelques propriétés du sol à savoir le pH et la salinité dans la région de Hassi Fehal (Ghardaïa).

Nous avons choisi deux parcelles, l'une jamais exploitée et l'autre exploitée pendant 19 ans en céréaliculture intensive sous centre pivot, avec un échantillonnage systématique sur maille régulière de 15 m x 15 m et une prise de 30 échantillons par parcelle sur une profondeur de 0 à 25 cm.

Le sol est très alcalin et non salé dans toutes les deux parcelles. Une diminution très hautement significative du pH de  $-0.029 \pm 0.0167$ /an été enregistrée après 19 ans d'agriculture intensive, accompagnée par une augmentation très hautement significative de la conductivité électrique de  $0,0057 \pm 0,0058$  dS/m/an sans que la classe de salinité soit affectée, le sol demeure non salé.

La variation spatiale de la réaction du sol est très faible dans les deux parcelles, le CV est de 1.98% et 3.08% dans la parcelle de référence (R) et la parcelle cultivée (P) respectivement. Pour la conductivité électrique, la variation spatiale est très élevée dans la parcelle de référence avec un CV de 54.13 % et élevée dans la parcelle cultivée avec un CV de 45.68 %.

La modélisation géostatistique a indiqué différents modèles de distribution spatiale de la réaction du sol et de la salinité, ainsi que différents niveaux de dépendance spatiale, la validation croisée a montré que les modèles de variogrammes les plus fiables sont l'exponentiel pour la parcelle de référence (R) et le circulaire pour la parcelle cultivée (P) pour la réaction du sol, et l'exponentiel pour les deux parcelles concernant la conductivité électrique.

L'analyse des variogrammes a montré un effet de pépité très faible, indiquant une faible variation du pH à des distances inférieures au pas d'échantillonnage (15 m) dans les deux parcelles et l'absence d'effet de pépité indiquant l'absence de variation de la conductivité électrique à des distances inférieures au pas d'échantillonnage.

Les valeurs faibles à nul de l'effet de pépité montrent la validité du pas d'échantillonnage choisi dans notre travail.

Dans les deux parcelles étudiées, la réaction du sol est modérément à fortement dépendante de l'espace, les valeurs du degré de dépendance spatiale sont de 47,39 % pour la parcelle cultivée, et

de 00 % pour la parcelle de référence. Quant à la conductivité électrique du sol, elle est fortement dépendante de l'espace vu les valeurs nulles du degré de dépendance spatiale dans les deux parcelles de référence et cultivée.

Les résultats de l'étude variographique ont révélés des valeurs de portée variant de 45.27 mètres dans la parcelle de référence (R) et de 30,25 mètres dans la parcelle cultivée (P) pour la réaction du sol, et de 48.13 mètres dans la parcelle de référence (R) et de 46,08 mètres dans la parcelle cultivée (P) pour la réaction du sol. Ce qui signifie, l'absence absence d'autocorrélation spatiale au-delà de ces distances et permet l'optimisation des plans d'échantillonnage futurs en adoptant un plan d'échantillonnage inférieur ou égale aux valeurs de portée trouvées dans notre étude.

Après la sélection des modèles de variogrammes les plus performants par la validation croisée, des cartes de variabilité spatiale de la réaction du sol et de la salinité ont été réalisés par krigeage ordinaire. Ces cartes montrent que les valeurs les plus élevés du pH sont enregistrés à l'ouest de la parcelle de référence (R), et au centre de la parcelle cultivée (P), or que les valeurs les plus élevée de la salinité sont détectés au nord de la parcelle de référence (R) et au sud de la parcelle cultivée (P).

Les résultats obtenus renseignent sur l'intensité d'évolution de la réaction du sol et de la conductivité électrique, ces résultats de diminution du pH sont encourageante vu la possibilité qu'offre cette diminution à une bonne nutrition minérale des plante.

De point de vue salinisation du sol, le taux d'évolution annuelle est très faible, ce qui donne un nombre d'année très important avant d'atteindre un seuil critique de tolérance à la salinité, ce qui offre une opportunité à la région de Hassi Fehal quant au développement de la céréaliculture sous pivot.

L'étude de l'état actuel des sols et la simulation de leurs évolution futurs est indispensable afin d'assurer une production suffisante aux populations actuelles sans compromettre celle des générations futures, en préservant les ressources en eau et en sol. Cette étude offre la possibilité de cartographier les zones à risque et de tracer les cartes d'aptitude à la culture, en tenant compte des principaux facteurs de dégradation du sol afin de préserver et/ou améliorer ces derniers.

L'étude sur la variabilité spatiale s'avère intéressante à une bonne compréhension de la situation actuelle des sols agricoles et de l'écosystème naturel, en vue d'une meilleure gestion, maintien et amélioration de leur productivité.

Au terme de ce travail, nous recommandons la poursuite de ce travail en tenant compte des éléments suivants :

- L'extension de l'étude sur d'autres paramètres et dans d'autres stations.
- L'étude de la variabilité verticale des propriétés du sol, afin de comprendre le devenir de chaque propriété dans le profil.

---

***RÉFÉRENCES***

***BIBLIOGRAPHIQUE***

---



**A.B.H.S. 2006** - Colloque international sur les ressources en eau dans le Sahara. Ed.Agen. Bass.Hydr.Saha., Ouargla, 194p.

**A.N.R.H., 2007-** Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaia.

**ALLARD D., 2012-** Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique. Mémoire de magister, I.N.A., Alger, 74p.

**AUBERT G., 1975** - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'I.N.A. Alger 6 (1), pp. 185-195.

**BACI L., 1978-** contribution à l'étude de la salinisation des sols de Hodna (Wilaya de M'sila).Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.N.A, Alger. 100rp.

**BADRAOUI M., 2006** -Connaissance et utilisation des ressources en sol au Maroc. 93-114p.disponible en ligne:

**BADRAOUI M., SOUDI B., FARHAT A., 1998** - Variation de la qualité des sols : unebase pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigationpar pivot au Maroc, Etude et gestion des sols 5(4), 1998, pp. 227-234.

**BAILLARGEON S., 2005-** Le krigeage: revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. Thèse de Maîtrise, université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada, 137p.

**BARKAT H., 2014** - Analyse des groupements Herpétologiques dans les Hautes PlainesSétifiennes (cas de la région de Beni Aziz). Mémoire de magister, Universite de Sétif, 74p.

**BELLI S., 2012-** La filière lait dans la région deGhardaïa : état et perspectives. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques, Universite Kasdi Merbah- Ouargla, 98p.

**BEN SEMAOUNE Y., 2008-** Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (S.A.G.E.)- cas de la région de Ghardaïa-. Mémoire de magister, Universite Kasdi Merbah – Ouargla, 114p.

**BENAMEUR F., 2017-** Etude de la variabilité spatiale de quelques paramètres pédologiques en surface de sol dans la région de Ouargla. Mémoire de master Université de Ouargla, 69p.

**BENAZZOUC M. S., (2011)-**Étude comparative entre la géostatistique et les méthodesdéterministes pour la cartographie des types de sols. Thèse de maîtrise Université d'Ottawa, 81p

**BENBRAHIM F., 2001** - Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette de Ouargla (Cas de l'exploitation de l'I.A.S.). Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.A.S., Ouargla, 115p.

**BENBRAHIM F., 2018**- Variabilité spatiale de la qualité du sol dans les agrosystèmes du Sahara algérien. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 123p.

**BENBRAHIM F., BENSLAMA M., KEMASSI A., DAREM S., HAMEL I., CHIKHI F., HALILAT M. T., 2016**- Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 31(5), pp.107-123.

**BENSAHA KH., 2011**- Les palmeraies de Metlili. Diagnostic et proposition de programme de rénovation. Mémoire D'ingénieur d'Etat en Agriculture, Université Kasdi Merbah – Ouargla -, 85p.

**BENZAHI Y., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111p.

**BERGERON M., 1992**- Vocabulaire de la géomatique. Office de la langue française, Québec. 41p.

**BERGERON M., 1993**- Vocabulaire de la géomatique. Office de la langue française, Québec. 41p.

**BERKAL I., 2006**- Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de Magister, INA Alger, 112p.

**BOUDIAR R., 2013**- Etude comparative des effets de travail du sol conventionnel et le semis direct sur l'évolution du sol en région semi-aride. Mémoire de magister, Université de Sétif, 104p.

**BRETZ, F., HOTHORN, T., WESTFALL P., 2011**- Multiple comparisons using R. Edition Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, U.S.A., 182p. rance, 269 pp.

**BUCHER B., 2002**- L'aide à l'accès à l'information géographique: un environnement de conception coopérative d'utilisations de données géographiques. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 207p.

**CADOT Y., 2010**- Influence de la date de vendange sur les composés phénoliques de la baie de raisin ; conséquences pour la typicité du vin, France. Thèse de doctorat, centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier, France, 269 pp.

**CAMBARDELLA C.A., MOORMAN T.B., PARKIN T.B., KARLEN D.L., NOVAK J.M., TURCO R.F., KONOPKA A.E., 1994**- Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, 58(5), pp.1501-1511.

**CATALISANO et MASSA., 1986**- le désert saharien. Ed. Dursus, Paris, 127p.

**CHAABAN F., 2011-** Apport potential des Système d'Informations Géographique (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable. Thèse de doctorat, Université de Lille sciences et Technologies, 198p.

**CLARKE KC., 2001-** Getting Started with Geographic Information Systems (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 352p.

**COYNE A., 1989 -** Le M'Zab Ed. Adolphe Jourdon, Algérie, 41p.

**CRESSIE N. A. C., 1993-** Statistics for Spatial Data. Revised Edition, Wiley, New York, 900p.

**D.P.A .T. 2005 -** Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142p.

**D.S.A., 2011-** Rapport d'activités agricoles (2011\_2012), Ghardaïa, 50.

**DAGNELIE P., 1975-** Théorie et méthodes statistiques: applications agronomiques Volume 2 : les méthodes de l'inférence statistique. Edition des presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 464p

**DAJOZ R., (1971) -** Précis d'écologie. Ed. DOUNOD, Paris, 434p

**DAJOZ R., 1971 -** Précis d'écologie. Edition Bordas. Paris, 434p.

**DAJOZ R., 2003-** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris. 615p.

**DARWISH K.M., RASHAD M., MOHAMED S.Z., GAD A., 2015.-** Spatial distribution analysis of soil variables for agronomic development in El-Omayed Area, North-Coastal of Egypt. Environmental earth sciences, 74(1), pp.889-901.

**DE BLOMAC F, GAL R, HUBERT M, RICHARD D, TOURET C. 1994.** Arc/Info, concepts et applications en géomatique. Paris, Hermès, 256 p.

**DHUNNA M., DIXIT J.B., 2010-** Information technology in business management, university science Press, Bangalore, 797p.

**DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A., BELDJOUZI Z., 2003 -** La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sécheresse 14(4), pp. 241-246.

**DSA., 2013-** Direction des services agricole, rapport des cultures en wilaya, p6.

**DUBOST D., 1991-** Ecologie, aménagement et développement des oasis algériennes. Thèse d'Etat de l'université de Tours, France, 550p.

**DUBOST D., 1991-** Ecologie. Aménagement et développement des oasis algérienne. Thèse d'état de l'université de Tours, pp. 45-48.

**DURAND J.H., 1958** - Les sols irrigables : Etude pédologique. Edition Imbert, Alger, 190p.

**DURAND J.H., 1983** - Les sols irrigables : Etude pédologique. Edition Imprimerie Boudin, Paris, 339p.

**EMADI MO., BAGHERNEJAD M., EMADI ME., MAFTOUN M., 2008-** Assessment of some soil properties by spatial variability in saline and sodic Soils in Arsanjan plain, southern Iran. Pakistan journal of biological sciences, 11(2), pp.238-243.

**FLOATE M. J. S ET ENRIGH P.D., 1991-** Effects of lime and 5 years sulphur phosphorus applications on soil Ph, sulphur, and phosphorus status of tussock grassland soils on Est at agro – uplands. New Zealand journal of agriculture. Research.33.4, 99: 453-465.

**FLORENT O., 2015-** Systèmes d'Information Géographique et Lien Environnement – Santé (SIGLES): contribution au développement d'outils cartographiques d'aide à la décision face aux risques sanitaires liés à l'environnement. Thèse de doctorat, Université droit et santé de Lille 2, 248 p.

**FRONTIER S., PICHOD-VIALE D., LEPRÊTRE A., DAVOULT D. et CH. LUCZAK., 2004-** Ecosystèmes, Structure, Fonctionnement, Evolution. 3ème édition, Ed. DUNOD, Paris, 549p.

**GADAL S., 2008-** Les systèmes d'informations géographiques libres. Agence universitaire de la francophonie. Ouvrage numérique.

**GAETAN C., GUYON X., (2008)-** Modélisation et statistique spatiales. Mathématiques et Applications 63. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 321p.

**GRATTON Y., 2002-** Le Krigeage: la méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, INRS-Eau-Terre-Environnement. Québec, Canada, 4p.

**GROS R., 2004-** Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origine anthropique: réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 253p.

**HALILAT M.T., 1998** - Etude expérimentale de sable additionnée d'argile. Comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse de doctorat, INA-PG Paris, 229p.

**HALITIM A., 1973** - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de doctorat. Université de Renne, 176 p.

**HALITIM A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie. Edition O.P.U., Alger, 384 p.

**HE B., CAI Y., RAN W., ZHAO X., JIANG H., 2015**- Spatiotemporal heterogeneity of soil salinity after the establishment of vegetation on a coastal saline field. *Catena*, 127, pp.129-134.

**KACI S., 2005** - Contribution à l'étude des potentialités de l'apiculture en milieu oasien: cas de la wilaya de Ghardaïa Mém. d'Ing. d'Etat. en Agr. Saha., Dpt des Sciences Agronomiques, U.K.M. - Ouargla, 144p.

**KHEMGANI A., 2010**- Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Mémoire de Magister, Univ. de Ouargla, 107p

**KOULL N., 2007**- Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla. Mémoire de magister, université de Ouargla, 99p .

**KRESSE W., DANKO D., 2012**- Springer Handbook of Geographic Information, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, USA, 1120p.

**LARSON W.E., PIERCE F.J., 1992** - Conservation and enhancement of soil quality In: Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management. IBSRAM Proceedings No. 12(2).pp.175-203.

**LAURENT J. Y., ROSSI J. P., 1997**- Stratégies d'échantillonnage au champ: détermination du nombre et de la disposition spatiale des points de prélèvements. Collection colloques et séminaires. L'échantillonnage : du prélèvement à l'analyse. Edition Rambaud Dominique, ORSTOM, Paris, pp.43-52.

**LAURINI R AND THOMPSON. D., (1992)**- "Fundamentals of spatial information systems", London, Academic Press, 680 p

**LEGROS J.P., 1996**- Cartographie des sols : De l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne (Suisse), 381 pages.

**LI X. M., YANG J. S., LIU M. X., LIU G. M., YU M., 2012**- Spatiotemporal changes of soil salinity in arid areas of south Xingjian using electromagnetic induction. *Journal of integrative agriculture*, Vol. 11, N° 8, p.1365-1376.

**MATHIEU C., PIELTAIN F., 2009-** Analyse chimique des sols : méthodes choisies. Editions Tec & doc, Paris, France, 388p.

**M. GOODCHILD AND F. MICHAEL., (1987)-** “A spatial analytical perspective on geographical information systems”, Journal of geographical information science, Vol. 1, N°4, P. 327-334.

**MICROSOFT CORPORATION, 1993-** Microsoft Excel: user's guide : version 5.0. Edition Microsoft Corporation, université du Michigan, U.S.A., 786p.

**MONOD T., 1992** – Du Désert.Sécheresse, 3(1), pp.7–24.

**MOURAH N., 2011-** Interpolation Géostatistique Le Krigeage. Mémoire de magister, Université 20 Aout 1955 De Skikda, 92p.

**NOLIN M.C., CAMBOURIS A.N., SIMARD R.R., 1997-** La variabilité des sols: son origine et sa gestion. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, campus du fort St-Jean, pp.35-77.

**NOUMEUR S. R., 2008-** Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote tellurique de la région de Hamla (Batna). Mémoire de magister, I.N.A., Alger, 74p.

**O.N.M., 2016-** Données météorologiques de Ghardaïa.

**OCCELLI F., 2014-** Systèmes d'Information Géographique et Lien Environnement – Santé (SIGLES): contribution au développement d'outils cartographiques d'aide à la décision face aux risques sanitaires liés à l'environnement. Thèse de doctorat, Ecole doctorale 446 Biologie Santé – Lille Nord de France, 268p.

**OSAMA M., FUKUMARA K., ISHIDA T., YOSHINO K., 2005-** Assessment of spatial variability of soil and canopy properties in a cassava field. *Journal of Japan society of hydrology and water resources*, Vol. 18, N° 5, p.501–509.

**OULMANE K., 2016-** Contribution à l'étude de l'évolution et modalités d'occupation spatiale de l'avifaune aquatique du Sebket El Meleh (El Goléa, Wilaya de Ghardaïa) .Mémoire de mastr, Université de Ghardaïa, 140p.

**OZENDA P., 1991-** Flore du Sahara. Edition du centre nationale des recherché scientifiques, Paris, 662p.

**PORNON H., 2007-** Bilan et perspectives de 20 années de Géomatique. Géomatique Expert, Vol. 1, N° 57, p. 36-46.

**QUENUM M., 2009-** Cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies, thèse de Philosophie Doctor (PhD), université de Québec, Canada, 206p.

**RAMADE F., 1984**—Eléments d'écologie – Ecologie fondamentale. Ed. Mc Graw-Hill Inc, Paris, 397 p.

**RAO P. S. C., WAGENET R.J., 1985** - Spatial variability of pesticides in field soils: methods for data analysis and consequences. *Weed Science*, 33(S2), pp.18-24.

**RAPPORT DJ, MCCULLUM J, MILLER MH (1997)** Soil health: its relationship to ecosystem health. In: *Biological indicators of soil health*. (eds Pankhurst et al.), pp. 29-48. CAB International, NY.

**RICHARDS L. A., 1954-** Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook N° 60*. United states department of agriculture, Washington, U.S.A., 159p.

**SAENGER A., 2013-**Caractérisation et stabilité de lamatière organique du sol en contexte montagnard calcaire :proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Thèse de doctorat, Université de grenoble, 269p

**SAENGER A., 2014-** Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire : proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 257p.

**SAFARI Y., ESFANDIARPOUR-BOROJENI I., KAMALI A., SALEHI M.H., BAGHERI-BODAGHABADI M., 2013-** Qualitative land suitability evaluation for main irrigated crops in the Shahrekord plain, Iran: A geostatistical approach compared with conventional method. *Pedosphere*, 23(6), pp.767-778.

**SALLAM G. A., YOUSSEF T., EMBABY M. E., SHALTOT F., 2011-** Using Geographic information system to infollow the fertilizers pollution migration. *Handbook of research on hydroinformatics: technologies, theories and applications*. Information science reference. Hershey, New York, pp.456-477.

**SAOUD M., 2014-** Evolution spatiale de la salinité des sols du Bas-Chélif. Mémoire de magister, I.N.A., Alger, 105p.

**SCULLA, P., FRANKLINA, J., CHADWICK, O.A. AND MCARTHUR, D. (2003)-** Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*, Vol. 27, N° 2, p. 171–197.

**STEWART P., 1969-** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. Bulletin I.N.A. Alger, 24-25pp.

**TOLA E., AL-GAADI K.A., MADUGUNDU R., ZEYADA A.M., KAYAD A.G., BIRADAR, C.M., 2017-** Characterization of spatial variability of soil physicochemical properties and its impact on Rhodes grass productivity. Saudi journal of biological sciences, 24(2), pp.421-429.

**TRANGMAR B.B., YOST R.S., UEHARA G., 1986-** Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in agronomy*, Vol. 38, p.45-94.

**TRANGMAR B.B., YOST R.S., UEHARA G., 1986-** Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in agronomy*, 38, pp.45-94.

**UGARTE NANO C.R., 2015-** Etude de la variabilité des propriétés physiques et hydrodynamiques d'un sol argileux sous l'effet de conduites en protection intégrée contre les adventices. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 211p.

**VOROBYOVA L.A., KRECHETOVA YE.V., GORONENKOVA YE., 1991-** Carbonate equilibria and alkalinity of soils of Djanybek experimental station. Moscow university soil science Bulletin. 46.4 , pp: 17-22.

**YAN T., YAN Y., XINGBANG H., LI H., 2015-** Performance analysis of different kriging interpolation methods based on air quality index in Wuhan. Sixth international conference on intelligent control and information processing (ICICIP), Wuhan, China, 26-28 Novembre, pp.331-335.

**YOUCEF F., 2003-** Mise au point d'une étude climatique du Sahara septentrional algérien (Ouargla, Touggourt, Ghardaïa). Mémoire d'ingénieur d'Etat, université de Ouargla, 88p.



## Modélisation de la variabilité spatiale de quelques propriétés du sol dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi Fehal)

### Résumé

La productivité d'un agrosystème ou un écosystème naturel dépend essentiellement de la variabilité des propriétés des sols à l'échelle du champ. Ce travail a pour objectif la modélisation de la variabilité spatiale de la réaction du sol et de la conductivité électrique par une approche géostatistique. Le travail a été réalisé dans la région de Hassi Fehal, Ghardaïa, les échantillons ont été prélevés sur une profondeur de 0 à 25 cm et analysés pour la salinité du sol et le pH. L'analyse combinée de la variance et du taux de variation annuelle des paramètres étudiés a montré une diminution très hautement significative du pH et une augmentation très hautement significative de la salinité du sol. L'analyse géostatistique a révélé divers modèles et niveaux de distribution spatiale des propriétés étudiées. Les résultats ont montré une dépendance spatiale modérée à forte pour le pH et forte pour la salinité. L'analyse variographique a montré que l'effet de pépite est très faible pour la réaction du sol et nul pour la salinité. La portée varie de 30,25 mètres pour la réaction du sol à 48.13 mètres pour la salinité, confirmant ainsi la validité de l'échantillonnage adopté et permettant l'optimisation des plans d'échantillonnage futurs. Les résultats de la validation croisée ont abouti à la sélection des modèles de variogrammes les plus fiables à savoir, le circulaire et l'exponentiel, qui ont servi à la réalisation des cartes de variabilité spatiale par krigeage ordinaire. Synthétiquement, les résultats indiquent que l'intensification agricole par la céréaliculture sous pivot dans la région de Hassi Fehal influencé quantitativement et qualitativement la teneur et la variabilité spatiale des propriétés du sol. Ces résultats doivent être pris en considération pour une gestion intégrée et durable des terres dans ces régions similaires.

**Mots clés :** Ghardaïa, variogramme, géostatistiques, salinité, pH, sol.

### نمذجة التباين المكاني لبعض خصائص التربة في منطقة غرداية (حالة حاسي فحل)

#### ملخص

تعتمد إنتاجية النظام البيئي الزراعي أو النظام الإيكولوجي الطبيعي أساساً على تغير خصائص التربة على مستوى الحقل. هذا العمل من أجل نمذجة المتغيرات المكانية لحموضة و الناقلية الكهربائية للتربة وفقاً لنهج جيواحصائي. وقد أجري هذا العمل في منطقة حاسي فحل (غرداية)، وأخذت العينات على عمق يتراوح من 0 إلى 25 سم، ويهدف معرفة ملوحة وحموضة هذه التربة. التحليل المشترك للتباين ومعدل التغير السنوي للخصائص المدروسة يبين زيادة عالية الدلالة في ملوحة التربة وانخفاض عالي الدلالة في معامل الحموضة. كشف التحليل الجيو إحصائي عن نماذج ومستويات مختلفة للتوزيع المكاني للخصائص المدروسة. وأظهرت النتائج اعتماد مكاني من معتدل إلى مرتفع لدرجة الحموضة، و مرتفع لملوحة. كما بين التحليل المتباين النصفى أن التشدد منخفض جداً بالنسبة للملوحة ودرجة الحموضة. ويتراوح مدى التأثير من 30,25 متر لدرجة الحموضة إلى 48.13 متر للملوحة، مما يؤكد صحة طريقة أخذ العينات المعتمدة ويسمح بتحسين خطط أخذ العينات مستقبلاً. وقد أدت نتائج التحليل المتبادل إلى اختيار النماذج الأكثر موثوقية، وهي النماذج الدائرية، والأسية، والتي استخدمت لإنجاز خرائط التوزيع المكاني بواسطة الكريجينغ العادي. مما خلصت، تشير النتائج إلى أن التكتيف الزراعي من الحبوب المحورية في منطقة حاسي فحل أثرت كمياً ونوعياً على التغير المكاني لخصائص التربة، وهي نتيجة يجب أخذها بعين الاعتبار للإدارة المتكاملة والمستدامة للأراضي في المناطق المماثلة.

**الكلمات الدالة:** غرداية، المتباين النصفى، الجيو إحصاء، الملوحة، درجة الحموضة، التربة.

## The spatial variability modelling of some soil properties on Ghardaia region (case of Hassi Fehal)

### Abstract

The productivity of agrosystème or natural ecosystem depends essentially on variability of soil properties on field scale. This work is for objective the modelling of soil reaction spatial variability and electric conductivity by geostatistical approach. The work was realized on Hassi Fehal region (Ghardaïa), samples were taken from depth from 0 to 25 cm and analyzed for the salinity and pH of soil. The analysis combined by variance and annual variation rate of studied parameters showed a very highly significant decrease of pH and salinity. The geostatistical analysis revealed diverse models and levels for spatial distribution of studied properties. The results showed a spatial dependence moderated in strong for pH and salinity. The variographic analysis showed that the effect of nugget is very low for the ground reaction and nothing for salinity. The reach varies of 30,25m for soil reaction to 48.13m for salinity. So confirming validity of adopted and allowing future plans optimization of sampling. The results of crossed validation ended on variograms models selection of most reliable to be known, circular and exponential, which were used to realize of spatial variability cards by ordinary krigage. Synthetically, the results indicate that the agricultural intensification by cereals cultivation under pivot on Hassi Fehal region influenced quantitatively and qualitatively the content and spatial variability of soil properties. These results must be considered for an integrated and long-lasting lands management on these similar regions.

**Keywords:** Ghardaïa, variogram, geostatistical, salinity, pH, soil.