



**HAL**  
open science

# Fouille de données spatiales et modélisation de linéaires de paysages agricoles

Sébastien da Silva

► **To cite this version:**

Sébastien da Silva. Fouille de données spatiales et modélisation de linéaires de paysages agricoles. Informatique [cs]. Université de Lorraine, 2014. Français. NNT : 2014LORR0156 . tel-01101424v2

**HAL Id: tel-01101424**

**<https://inria.hal.science/tel-01101424v2>**

Submitted on 8 Jan 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Fouille de données spatiales et modélisation de linéaires de paysages agricoles

## THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 11 Septembre 2014

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université de Lorraine

(mention informatique)

par

Sébastien Da Silva

### Composition du jury

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| <i>Rapporteurs :</i> | Marie-Odile CORDIER<br>Didier JOSSELIN  | Professeur, Université de Rennes<br>Directeur de Recherche CNRS, Avignon  |
| <i>Examineurs :</i>  | Katarzyna ADAMCZYK<br>Isabelle DEBLED-RENNESSON<br>Alexandre JOANNON<br>Amedeo NAPOLI | Ingénieur de Recherche, INRA Jouy-en-Josas<br>Professeur, Université de Nancy<br>Chargé de Recherche INRA, Rennes<br>Directeur de Recherche CNRS, Nancy |
| <i>Directrices :</i> | Florence LE BER<br>Claire LAVIGNE   | Directrice de la Recherche, ENGEES Strasbourg<br>Directrice de Recherche, INRA-PACA Avignon   |

Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications — UMR 7503

Mis en page avec la classe thesul.

# Remerciements



*Je dédie cette thèse  
à mes anges gardiens*



# Sommaire

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Chapitre 1 Introduction</b> | <b>xv</b> |
|--------------------------------|-----------|

---

---

## Partie I Contexte

---

---

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| <b>Chapitre 2 Problématique</b> | <b>3</b> |
|---------------------------------|----------|

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| <b>Chapitre 3 État de l'art</b> | <b>7</b> |
|---------------------------------|----------|

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Méthodes statistiques et géométriques pour l'analyse et la génération<br>d'information spatiale . . . . . | 8  |
| 3.1.1 Méthodes de caractérisation de données spatiales . . . . .  | 8  |
| 3.1.2 Prise en compte de la proximité spatiale . . . . .  | 11 |
| Rappel . . . . .  | 11 |
| Pseudo-distance . . . . .   | 12 |
| 3.1.3 Méthodes de pavage . . . . .  | 13 |
| 3.2 Courbe remplissant l'espace . . . . .   | 14 |
| 3.2.1 Présentation . . . . .  | 15 |
| 3.2.2 Courbe de Hilbert . . . . .   | 17 |
| 3.2.3 Chemin de Hilbert adaptatif . . . . .   | 17 |
| Présentation . . . . .  | 18 |
| 3.3 Méthodes de Markov . . . . .  | 20 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.3.1 | Rappels . . . . .                           | 20 |
| 3.3.2 | Utilisation des modèles de Markov . . . . . | 21 |

---

---

## Partie II Pré-traitements et fouille de données spatiales

---

---

|                   |  |           |
|-------------------|--|-----------|
| <b>Chapitre 4</b> | <b>Données et pré-traitements</b>        | <b>27</b> |
| 4.1               | Présentation des données . . . . .       | 28        |
| 4.1.1             | Description des zones d'études . . . . . | 28        |
| 4.1.2             | Production des données . . . . .         | 28        |
| 4.2               | Préparation des données . . . . .        | 29        |
| 4.2.1             | Découpe en segments . . . . .            | 29        |
| 4.2.2             | Découpe en cellules . . . . .            | 29        |
| 4.2.3             | Classification des cellules . . . . .    | 31        |
| 4.3               | Analyse des données . . . . .            | 32        |
| 4.3.1             | Dans leur globalité . . . . .            | 32        |
| 4.3.2             | Par classe . . . . .                     | 34        |

---

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>Chapitre 5</b> | <b>Caractérisation des structures spatiales de segments par l'étude de leurs voisinages</b>                           | <b>37</b> |
| 5.1               | Études de voisinages et densité de segments dans l'espace . . . . .   | 38        |
| 5.1.1             | Outils développés . . . . .   | 38        |
|                   | Distance entre segments . . . . .   | 38        |
|                   | Voisinage d'un segment . . . . .  | 39        |
|                   | Angle entre segments . . . . .  | 40        |
|                   | Densité relative de différents types de segments dans le voisinage d'un segment . . . . .                             | 41        |
|                   | Densité relative, à l'échelle de la cellule, de différents types de segments dans le voisinage d'un segment . . . . . | 42        |

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Tests . . . . .   | 43 |
|       | Test des facteurs qui impactent les densités relatives . . . . .  | 43 |
|       | Test de significativité des densités relatives observées . . . . .  | 43 |
| 5.2   | Densité relative au voisinage des segments de haies . . . . .   | 44 |
| 5.2.1 | Le plus proche voisin d'un segment de haie . . . . .  | 44 |
| 5.2.2 | Densité relative de segments de haies, routes et canaux dans<br>les voisinages de segments de haies . . . . . | 44 |
|       | Distributions des voisins sur deux cellules typiques . . . . .  | 44 |
|       | Synthèse en considérant l'ensemble des cellules . . . . .   | 47 |
|       | Effet de l'orientation relative des voisins . . . . .   | 48 |
|       | Comportement différent des segments de haie de type<br>HP et HV . . . . .                                     | 48 |
|       | Hétérogénéité au sein des paysages : l'effet "classe" . . . . .   | 53 |

---

**Chapitre 6 Apprentissage sur les structures spatiales pour les gé-  
rer** **55**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.1   | Linéarisation de l'information spatiale avec le chemin de Hilbert<br>adaptatif . . . . .                | 56 |
| 6.1.1 | Définition de case et profondeur de découpe dans le chemin<br>de Hilbert adaptatif . . . . .            | 56 |
| 6.1.2 | Définition de temps de parcours et temps d'attente dans le<br><i>CHA</i> . . . . .                      | 57 |
| 6.2   | Apprentissage par chaînes de Markov . . . . .   | 59 |
| 6.2.1 | Markov sur le chemin de Hilbert adaptatif . . . . .   | 59 |
| 6.2.2 | Distance entre matrices de transition . . . . .   | 59 |
| 6.3   | Création du chemin de Hilbert adaptatif pour les données A et B . . . . .                               | 60 |
| 6.3.1 | Caractérisation des chemins de Hilbert adaptatifs par les pro-<br>fondeurs de découpe . . . . .         | 60 |
| 6.3.2 | Caractérisation des chemins de Hilbert adaptatifs par les<br>temps d'attente . . . . .                  | 63 |
| 6.4   | Utilisation des chaînes de Markov sur les informations linéarisées<br>pour les données A et B . . . . . | 65 |
| 6.4.1 | Calcul des matrices de transition . . . . .   | 65 |
| 6.4.2 | Classification des matrices de transition . . . . .   | 67 |



---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 7.3 | Génération améliorée - Ajustement à partir des connaissances du domaine . . . . . | 94 |
|-----|---|----|

---

---

## Partie IV Conclusion

---

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Chapitre 8 Conclusion et perspectives</b> | <b>99</b> |
|--|-----------|

---

---

## Partie V Bibliographie

---

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>Bibliographie</b>  | <b>105</b> |
| <b>Annexe</b>   | <b>115</b> |
| <b>Annexe A Manuel utilisateur de l’Outil</b>               | <b>115</b> |
| A.1 Interface et utilisation . . . . .                      | 115        |
| A.1.1 Partie Prétraitement . . . . .                        | 117        |
| Découpe . . . . .   | 119        |
| Nombre d’éléments par cellule . . . . .                     | 120        |
| Résumé des informations . . . . .                           | 121        |
| A.1.2 Partie Statistiques . . . . .                         | 122        |
| A.1.3 Partie Apprentissage . . . . .                        | 124        |
| Création du fichier résumé de classe . . . . .              | 126        |
| Classification des valeurs . . . . .                        | 126        |
| A.1.4 Partie Simulation . . . . .                           | 128        |
| Création de la liste des centres de cases . . . . .         | 128        |
| Création de la liste des centres de cases classés . . . . . | 129        |
| A.1.5 Dessin des barycentres simulés . . . . .              | 132        |
| A.1.6 Dessins des segments de haies simulés . . . . .       | 133        |

# Table des figures

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 1.1 | Un aperçu des étapes qui composent le processus d'Exploration de Données [30] . . . . .   | xvii |
| 1.2 | Un aperçu des étapes qui composent le cheminement du travail de recherche durant la thèse . . . . .                                 | xxii |
| 3.1 | Exemples pour la comparaison visuelle des différentes distances de $\mathbb{R}^2$ .   | 12   |
| 3.2 | Premières itérations pour la construction d'une courbe de Peano . . . .   | 15   |
| 3.3 | Les trois premières itérations pour la construction d'une courbe remplissant l'espace à partir de trois motifs différents . . . . . | 16   |
| 3.4 | Motifs pour la construction d'une courbe remplissant l'espace . . . . .   | 17   |
| 3.5 | Exemples de cases créées par division d'une cellule carrée . . . . .  | 18   |
| 3.6 | Exemple de construction de chemin de Hilbert adaptatif dans une cellule, d'après un nuage de point. . . . .                         | 19   |
| 4.1 | Plan du chapitre 4 : Création de données pré-traitées et transformées .   | 27   |
| 4.2 | Géographie des cellules pour les deux jeux de données . . . . .   | 31   |
| 4.3 | Représentation d'une zone cellulaire, la cellule cible au centre (en gris foncé), les voisines autour (en bleu clair) . . . . .     | 32   |
| 4.4 | Histogrammes circulaires des angles pour les deux jeux de données . . .   | 33   |
| 4.5 | Visualisation des classes obtenues par classification hiérarchique pour les deux jeux de données . . . . .                          | 34   |
| 5.1 | Plan du chapitre 5 : Caractériser les structures spatiales par l'étude de leurs voisinages . . . . .                                | 37   |
| 5.2 | Schéma explicatif pour le calcul de la distance entre deux segments . .   | 40   |
| 5.3 | Visualisation du voisinage à une distance $b$ d'un segment $S$ de longueur $L$ , pour la distance DiSt . . . . .                    | 40   |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.4 | Proportion de chaque type de voisin le plus proche pour chaque classe de cellule. Le résultat est présenté pour chaque paysage (à gauche : basse vallée de la Durance, à droite : Bretagne), pour chaque type de haie (1) : haies HV, 2) haies HP) et pour les orientations parallèles et perpendiculaires. Le type de voisin est route (noir), haie (gris clair) ou canal (gris foncé) . . . . .  | 45 |
| 5.5 | Deux cellules typiques et leur zone cellulaire dans la basse vallée de la Durance ( $A-5\_6$ à gauche) et en Bretagne ( $B-9\_2$ à droite). Le carré central représente la cellule de dimension $1100m \times 1100m$ . Les lignes vertes représentent les haies, les noirs représentent les routes et les bleus représentent les canaux. . . . .   | 46 |
| 5.6 | Densité relative $D_r^I(\mathcal{C}, b, C(\theta))$ de chaque type d'éléments (haies, routes, canaux) dans un voisinage croissant (de $20m$ à $500m$ ) autour des segments de haies pour deux cellules typiques ( $A-5\_6$ pour la basse vallée de la Durance et $B-9\_2$ pour la Bretagne). $D_r^I(\mathcal{C}, b, C(\theta))$ est donné pour les deux orientations relatives (parallèle et perpendiculaire) et dans le voisinage de tous les segments de haies (à gauche), des haies HP (au centre) ou des haies HV (à droite). . . . .  | 47 |
| 5.7 | Densité relative normalisée de chaque type de segments (en haut : routes, au milieu : haies, en bas : canaux) à des distances croissantes des segments de haies dans chaque paysage (Bretagne à gauche et basse vallée de la Durance à droite). Les traits pleins représentent les segments de haies HP, les traits en pointillés représentent les segments de haies HV, les ronds noirs sont présents sur les courbes concernant l'orientation parallèle du voisinage et les courbes sans ronds noirs concernent l'orientation perpendiculaire du voisinage . . . . .   | 49 |
| 5.8 | Densité relative normalisée de voisins du type routes ou haies, pour deux tailles de voisinages (20 m et 100 m de distance). Les résultats sont présentés pour tous les segments de haies du paysage de Bretagne (en haut), et pour les segments de haies HV (au milieu) ou de haies HP (en bas) pour le paysage de la basse vallée de la Durance. Les lignes grises correspondent aux tendances du changement pour les voisins avec l'orientation relative perpendiculaire et les lignes noires pour les voisins avec une orientation relative parallèle. Chaque ligne correspond à une classe avec son numéro correspondant indiqué sur la gauche. . . . . | 52 |

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 6.1 | Plan du chapitre 6 : Caractériser les structures spatiales pour les générer   | 55 |
| 6.2 | Forme additive du temps de parcours . . . . .   | 58 |
| 6.3 | Proportion de la distribution de la variable <i>Profondeur de Découpe</i> pour une cellule moyenne, selon chaque classe, pour les données A. La profondeur de découpe est en abscisse. L'ordonnée est exprimée en pourcentage, par rapport à l'ensemble des valeurs prises par la variable <i>Profondeur de Découpe</i> sur l'ensemble de la cellule moyenne. . . . . | 61 |
| 6.4 | Proportion de la distribution de la variable <i>Profondeur de Découpe</i> pour une cellule moyenne, selon chaque classe, pour les données B. La profondeur de découpe est en abscisse. L'ordonnée est exprimé en pourcentage, par rapport à l'ensemble des valeurs prises par la variable <i>Profondeur de Découpe</i> sur l'ensemble de la cellule moyenne. . . . .  | 62 |
| 6.5 | Représentation des classes d'angle pour les données. . . . .  | 66 |
| 6.6 | Représentation graphique du résultat de la classification des matrices de transition suivant les deux variables, pour les données A. Chaque couleur correspond à une classe. . . . .  | 67 |
| 6.7 | Représentation graphique du résultat de la classification des matrices de transition suivant les deux variables, pour les données B. Chaque couleur correspond à une classe. . . . .  | 69 |
| 7.1 | Plan du chapitre 7 : Générer des segments de haies dans le plan . . . .   | 73 |
| 7.2 | Exemple de probabilité de transition d'une variable <i>Angle</i> pour la classe $[\frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{2}]$ . . . . .  | 79 |
| 7.3 | Exemples de cellules simulées . . . . .   | 80 |
| 7.4 | Nombre de segments de haies par cellule pour les données A. En abscisse : le code des cellules du paysage A et la classe dans laquelle elles sont. En ordonnée : Le nombre de segments de haies. . . . .  | 82 |
| 7.5 | Nombre de segments de haies par cellule pour les données B. En abscisse : le code des cellules du paysage B et la classe dans laquelle elles sont. En ordonnée : Le nombre de segments de haies. . . . .  | 83 |
| 7.6 | Proportion des segments de type HV pour un échantillon de cellules issues du paysage A. En abscisse : le code des cellules du paysage A et la classe dans laquelle elles sont. . . . .  | 85 |
| 7.7 | Proportion des segments de type HV pour un échantillon de cellules issues du paysage B. En abscisse : le code des cellules du paysage B et la classe dans laquelle elles sont. . . . .  | 86 |



|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.8  | Proportion des segments de type HP pour un échantillon de cellules issues du paysage A. En abscisse : le code des cellules du paysage A et la classe dans laquelle elles sont. . . . .  | 88  |
| 7.9  | Proportion des segments de type HP pour un échantillon de cellules issues du paysage B. En abscisse : le code des cellules du paysage B et la classe dans laquelle elles sont. . . . .  | 89  |
| 7.10 | Pour chaque cellule, proportion de chaque classe de longueur, en moyenne pour les 100 cellules générées (cercle noir), et pour la cellule réelle (cercle rouge). Les cellules sont issues du paysage A. . . . .                                       | 91  |
| 7.11 | Distribution de la variable <i>Profondeur de Découpe</i> pour 100 cellules simulées (en noir) et pour la cellule réelle correspondante (en rouge). En ordonnées : la proportion de chaque valeur de profondeur de découpe sur chaque cellule. . . . . | 93  |
| 7.12 | Processus ajusté à partir des connaissances du domaine avec retour sur trace. . . . .   | 95  |
| 7.13 | Résultat d'une cellule simulée (à gauche) pour la cellule réelle issue des données A (à droite) par la génération ajustée avec connaissance du domaine. . . . .   | 95  |
| 7.14 | Résultat d'une cellule simulée (à gauche) pour la cellule réelle issue des données B (à droite) par la génération ajustée avec connaissance du domaine. . . . .   | 96  |
| A.1  | Présentation de l'interface et des différents éléments qui la constituent .   | 116 |
| A.2  | Présentation de l'onglet extraction . . . . .   | 117 |
| A.3  | Présentation de l'onglet découpe . . . . .  | 118 |
| A.4  | Présentation de l'onglet de calcul de distance entre les éléments . . . . .   | 122 |
| A.5  | Présentation de l'onglet distance . . . . .   | 123 |
| A.6  | Présentation de l'onglet densité . . . . .  | 124 |
| A.7  | Présentation de l'onglet Hilbert adaptatif . . . . .  | 125 |
| A.8  | Présentation de l'onglet classement des variables . . . . .   | 126 |
| A.9  | Présentation de l'onglet création des matrices de transition . . . . .  | 127 |
| A.10 | Présentation de l'onglet création cellule vide . . . . .  | 128 |
| A.11 | Les trois premières itérations pour la construction d'un chemin de Hilbert  | 129 |
| A.12 | Présentation de l'onglet Simulation des points pour une cellule . . . . .   | 130 |
| A.13 | Présentation de l'onglet de simulation pour un paysage . . . . .  | 132 |
| A.14 | Présentation de l'onglet dessin pour une cellule . . . . .  | 132 |