

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Florent DEMORAES	
<b>Avant-propos</b> . . . . .	3
<b>Introduction. Logiciels et bases de données</b> . . . . .	7
<b>Chapitre 1. Contexte méthodologique</b> . . . . .	11
1.1. L'approche systémique en santé . . . . .	11
1.2. Risque et santé publique . . . . .	16
1.3. L'épidémiologie . . . . .	20
1.4. La géographie de la santé. . . . .	21
1.5. L'analyse spatiale pour l'épidémiologie et la géographie de la santé . . . . .	22
1.6. Les systèmes d'information géographique . . . . .	28
1.7. Structure de l'ouvrage . . . . .	30
<b>Chapitre 2. Analyse spatiale d'un phénomène de santé : principes généraux</b> . . . . .	33
2.1. L'analyse spatiale en épidémiologie et géographie de la santé. . . . .	33
2.1.1. La distribution spatiale d'un phénomène de santé . . . . .	33
2.1.2. L'analyse spatiale en épidémiologie . . . . .	35
2.1.3. Dépendance spatiale et statistique . . . . .	40
2.1.4. Relations de causalité, facteurs explicatifs, facteurs de confusion . . . . .	41

2.1.5. L'incertitude dans la localisation des événements . . . . .	43
2.1.6. Les données agrégées dans des unités géographiques. . . . .	43
2.2. Terminologie et formalisme pour l'analyse spatiale . . . . .	45
2.2.1. Objets, attributs, événements . . . . .	46
2.2.2. Localisation et domaine spatial . . . . .	47
2.2.3. Le formalisme de l'analyse descriptive . . . . .	50
2.2.4. Le formalisme de l'analyse explicative . . . . .	53
2.3. Démarche générale d'analyse spatiale en épidémiologie . . . . .	56
2.3.1. La démarche de l'analyse descriptive . . . . .	56
2.3.2. La démarche de l'analyse explicative . . . . .	58
2.3.3. Méthodes pour l'analyse spatiale. . . . .	59
2.3.4. Analyse spatiale et géographie de la santé . . . . .	61
2.4. Connaissances nécessaires en épidémiologie et en statistique . . . . .	61
2.4.1. Épidémiologie . . . . .	61
2.4.2. L'analyse statistique . . . . .	62
2.4.2.1. Les principes . . . . .	62
2.4.2.2. Intervalles de confiance . . . . .	64
2.4.2.3. Le principe des tests statistiques . . . . .	65
2.4.3. Méthodes d'ajustement d'un modèle à des données. . . . .	67
2.4.3.1. Le maximum de vraisemblance . . . . .	67
2.4.3.2. L'inférence bayésienne . . . . .	69
2.4.3.3. Moindres carrés. . . . .	71
2.4.3.4. Critère d'information d'Akaike ( <i>Akaike Information Criterion</i> , AIC) . . . . .	72
2.4.4. Quelques distributions et modèles . . . . .	72
2.4.4.1. Les variables de Bernoulli et la loi binomiale . . . . .	72
2.4.4.2. La distribution de Poisson. . . . .	73
2.4.4.3. La distribution normale . . . . .	74
2.4.4.4. La distribution Gamma et la loi du khi-deux ( $\chi^2$ ). . . . .	75

### **Chapitre 3. Données spatialisées en santé . . . . . 77**

3.1. Introduction. . . . .	77
3.2. Les données de santé . . . . .	78
3.2.1. Les différents types de données pour les individus . . . . .	78
3.2.2. Données de santé : individuelles et agrégées . . . . .	79
3.2.3. La description du système de santé . . . . .	80
3.3. La spatialisation des données épidémiologiques . . . . .	80
3.3.1. La localisation dans l'espace . . . . .	80
3.3.2. La localisation dans le temps . . . . .	82
3.3.3. La localisation dans l'espace et dans le temps . . . . .	82

3.3.4. Données agrégées sur un critère spatial . . . . .	82
3.3.5. Éthique et localisation . . . . .	84
3.4. Les sources de données . . . . .	84
3.4.1. Les données épidémiologiques . . . . .	84
3.4.2. Les données géographiques et environnementales . . . . .	85
3.4.3. L'accès aux données géographiques . . . . .	86

## **Chapitre 4. Représentations cartographiques et outils de synthèse . . . . . 89**

4.1. Introduction . . . . .	89
4.1.1. Pourquoi cartographier ? . . . . .	89
4.1.2. Comment cartographier ? . . . . .	90
4.2. Représentations cartographiques . . . . .	92
4.2.1. Cartographie des événements ou des états de santé . . . . .	92
4.2.2. Cartographie de taux : prévalence, incidence, risque, <i>odd-ratio</i> . . . . .	94
4.2.3. Cartographie des flux et des relations spatiales . . . . .	96
4.2.4. Limites de la cartographie . . . . .	97
4.2.5. Cartographie de la significativité d'un taux. . . . .	105
4.2.6. Ajustement d'un taux. . . . .	106
4.3. Statistiques descriptives et outils de synthèse visuelle. . . . .	110
4.3.1. Points moyens, points médians . . . . .	110
4.3.2. Ellipses de dispersion . . . . .	112
4.4. Interpolations et surfaces de tendance . . . . .	113
4.4.1. Interpolations et représentation continue . . . . .	114
4.4.2. Directions et gradients . . . . .	118
4.4.3. Anamorphoses. . . . .	120
4.5. Animations spatio-temporelles . . . . .	121
4.5.1. Quoi et comment . . . . .	121
4.5.2. Cartographie animée . . . . .	122

## **Chapitre 5. Analyse de la distribution spatiale . . . . . 125**

5.1. Introduction . . . . .	125
5.1.1. Méthodes « directes » pour l'analyse spatiale . . . . .	125
5.1.2. Espace continu, semis de points, sous-ensembles . . . . .	129
5.2. Analyses spatiales globales . . . . .	131
5.2.1. Position, étendue, orientation . . . . .	132
5.2.1.1. La position absolue. . . . .	132
5.2.1.2. L'étendue . . . . .	133
5.2.1.3. L'orientation . . . . .	135

---

5.2.2. Centralité . . . . .	135
5.2.3. Dépendance spatiale des valeurs . . . . .	137
5.2.3.1. Regroupement, dispersion, uniformité . . . . .	139
5.2.3.2. Autocorrélation : indices construits sur les couples de points . . . . .	143
5.2.4. Analyse spatiale bivariée . . . . .	150
5.2.4.1. Cas général pour les variables quantitatives . . . . .	151
5.2.4.2. Cas particulier pour les valeurs quantitatives . . . . .	152
5.2.4.3. Cas général pour les variables qualitatives booléennes . . . . .	153
5.2.4.4. Cas particulier : points sources . . . . .	154
5.2.4.5. Exemple . . . . .	154
5.2.5. Forme globale du phénomène et recherche d'un modèle géométrique . . . . .	156
5.3. Analyses spatiales locales . . . . .	156
5.3.1. Les indicateurs d'association spatiale locale (LISA) . . . . .	157
5.3.1.1. L'indice de Moran local . . . . .	160
5.3.1.2. L'indice de Getis-Ord . . . . .	161
5.3.2. Recherche de singularités par balayage spatial ( <i>spatial scan</i> ) . . . . .	162
5.3.2.1. La recherche d'agrégats locaux . . . . .	163
5.3.2.2. Attraction-répulsion . . . . .	169
5.3.3. Analyses autour d'un point source . . . . .	171
5.4. Exemple : émergence et diffusion de l'influenza aviaire . . . . .	172
5.4.1. Introduction . . . . .	173
5.4.2. Cartographie . . . . .	174
5.4.2.1. Cartographie des cas . . . . .	174
5.4.2.2. Cartographie thématique . . . . .	177
5.4.3. Analyse de la distribution spatiale des cas . . . . .	178
5.4.3.1. Analyse centrographique . . . . .	178
5.4.3.2. Analyse de la distribution spatiale globale . . . . .	179
5.4.3.3. Analyse de la distribution spatiale locale . . . . .	182
5.4.3.4. Comparaison de la distribution des positifs et des négatifs . . . . .	185
5.4.4. Analyses spatio-temporelles . . . . .	186
5.4.4.1. Cartographie . . . . .	186
5.4.4.2. Analyses statistiques spatio-temporelles . . . . .	189
5.4.4.3. Émergences . . . . .	191
5.4.4.4. Reconstruction de parcours . . . . .	193
5.4.5. Analyses des facteurs de risque . . . . .	194
5.4.5.1. Facteurs de risque intrinsèques . . . . .	195
5.4.5.2. Facteurs de risque environnementaux . . . . .	195

<b>Chapitre 6. Analyse spatiale du risque . . . . .</b>	<b>199</b>
6.1. Introduction . . . . .	199
6.2. Analyses spatiales par agrégation . . . . .	199
6.2.1. L'opération d'agrégation spatiale . . . . .	201
6.2.2. L'analyse statistique . . . . .	206
6.2.2.1. Agrégation et standardisation . . . . .	207
6.2.2.2. <i>Standardized Mortality Ratio</i> (SMR) . . . . .	210
6.2.2.3. Étude de la distribution statistique des SMR . . . . .	212
6.2.2.4. Faibles effectifs et faibles probabilités . . . . .	217
6.2.2.5. Recherche de corrélations environnementales . . . . .	218
6.2.3. Analyse spatiale de l'agrégation . . . . .	219
6.2.4. Appartenance spatiale . . . . .	222
6.3. La modélisation statistique de données spatialisées . . . . .	223
6.3.1. Corrélations statistiques et relations spatiales . . . . .	223
6.3.2. La modélisation statistique . . . . .	224
6.3.3. Les modèles spatiaux . . . . .	226
6.3.4. Hétérogénéité spatiale des paramètres . . . . .	229
6.3.4.1. Régression avec poids spatial (GWR) . . . . .	229
6.3.4.2. Fonctions <i>spline</i> . . . . .	231
6.3.4.3. Analyse par surface de tendance ( <i>trend surface analysis</i> ) . . . . .	231
6.3.4.4. Régression avec krigeage . . . . .	232
6.4. Exemple : l'analyse des facteurs de risque de la tuberculose . . . . .	232
6.4.1. Données épidémiologiques et socio-économiques . . . . .	233
6.4.2. Analyse de la distribution statistique et spatiale des taux . . . . .	234
6.4.3. Modélisation statistique du SMR et de l'incidence . . . . .	238
<b>Chapitre 7. Analyses et modélisations spatio-temporelles . . . . .</b>	<b>245</b>
7.1. Relations temps-distance . . . . .	246
7.2. Points moyens mobiles . . . . .	246
7.3. Autocorrélation et agrégats spatio-temporels . . . . .	248
7.3.1. Autocorrélation spatio-temporelle globale . . . . .	248
7.3.2. Autocorrélation spatio-temporelle locale . . . . .	248
7.3.3. Agrégats spatio-temporels . . . . .	249
7.3.4. Modélisation statistique : GTWR . . . . .	249
7.4. Émergence, diffusion, parcours . . . . .	250
7.5. La modélisation spatio-temporelle des phénomènes de santé . . . . .	252
7.5.1. Modélisation et simulation de processus . . . . .	252
7.5.2. L'approche déterministe des modèles SEIR . . . . .	255

7.5.3. Modèles SEIR et localisation . . . . .	257
7.5.4. L'approche non déterministe des modèles multi-agents . . . . .	259
<b>Glossaire</b> . . . . .	<b>261</b>
<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>263</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>273</b>