

# Table des matières

<b>La série Télédétection pour l'observation des surfaces continentales . . . . .</b>	13
André MARIOTTI	
<b>Introduction . . . . .</b>	17
Nicolas BAGHDADI et Mehrez ZRIBI	
<b>Chapitre 1. Physique de la mesure dans le domaine optique . . . . .</b>	21
Xavier BRIOTTET	
1.1. Introduction . . . . .	21
1.2. Grandeurs radiatives . . . . .	22
1.2.1. Préambule . . . . .	22
1.2.2. Grandeurs radiatives . . . . .	23
1.2.2.1. Cas particulier du corps noir . . . . .	24
1.2.2.2. La polarisation . . . . .	25
1.2.3. Propriétés radiatives de la matière . . . . .	25
1.2.3.1. Propriétés optiques des surfaces terrestres . . . . .	28
1.2.3.2. Exemples de propriétés optiques des surfaces terrestres . . . . .	31
1.2.3.3. Cas de l'atmosphère . . . . .	36
1.2.4. Introduction au transfert radiatif . . . . .	42
1.3. Présentation des principaux systèmes d'acquisition d'image dans le domaine optique . . . . .	48
1.4. Méthodes d'inversion pour estimer les propriétés optiques et la température de surface . . . . .	55
1.4.1. Méthodes d'inversion dans le domaine réflectif (0.4-2.5 µm) . . . . .	55
1.4.1.1. Les méthodes empiriques . . . . .	56
1.4.1.2. Les méthodes basées sur le transfert radiatif . . . . .	57

1.4.2. Méthodes d'inversion dans le domaine émissif (8.0-12.0 µm) . . . . .	62
1.4.2.1. Méthodes empiriques . . . . .	63
1.4.2.2. Méthodes avec hypothèses <i>a priori</i> . . . . .	64
1.4.2.3. Méthodes de régularisation . . . . .	66
1.4.2.4. Méthodes multitemporelles . . . . .	66
1.5. Bibliographie . . . . .	67
<b>Chapitre 2. Traitement d'images satellitaires multispectrales . . . . .</b>	<b>73</b>
Kenji OSE, Thomas CORPETTI et Laurent DEMAGISTRI	
2.1. Introduction . . . . .	73
2.2. Notions et rappels sur l'image . . . . .	74
2.2.1. Tableau de valeurs . . . . .	74
2.2.2. Stockage physique des images . . . . .	77
2.2.2.1. Codage des pixels . . . . .	78
2.2.2.2. Formats de fichiers et métadonnées . . . . .	79
2.2.3. Les quatre résolutions . . . . .	84
2.2.3.1. Résolution spatiale . . . . .	84
2.2.3.2. Résolution spectrale . . . . .	86
2.2.3.3. Résolution temporelle . . . . .	87
2.2.3.4. Résolution radiométrique . . . . .	88
2.2.3.5. Combinaison des résolutions spatiale et spectrale : fusion de données . . . . .	89
2.3. Visualisation des images optiques multispectrales . . . . .	90
2.3.1. Enregistrement de l'image satellitaire multispectrale . . . . .	91
2.3.2. Affichage monochromatique et gestion des contrastes . . . . .	91
2.3.3. Synthèse additive et compositions colorées . . . . .	95
2.3.4. Détection de changement . . . . .	97
2.4. Les prétraitements des images satellitaires multispectrales . . . . .	98
2.4.1. Prétraitements géométriques . . . . .	98
2.4.1.1. Déformations géométriques et orthorectification des images . . . . .	98
2.4.1.2. Transformations polynomiales . . . . .	101
2.4.1.3. Généralisation aux fonctions rationnelles polynomiales . . . . .	103
2.4.1.4. Mise en œuvre d'une transformation géométrique . . . . .	104
2.4.2. Prétraitements radiométriques . . . . .	105
2.4.2.1. Du compte numérique à la luminance . . . . .	106
2.4.2.2. De la luminance à la réflectance apparente . . . . .	107
2.4.2.3. Corrections des effets atmosphériques . . . . .	109
2.4.2.4. Corrections des effets topographiques . . . . .	111
2.5. Extraction d'informations . . . . .	114

---

2.5.1. Méthodes non supervisées : <i>clustering</i> . . . . .	114
2.5.2. Méthodes supervisées : classification et régression . . . . .	116
2.5.2.1. Classification . . . . .	117
2.5.2.2. Régression . . . . .	123
2.5.2.3. Notes . . . . .	125
2.5.2.4. Valeurs spectrales, indices de textures, pixel <i>versus</i> objet . . . . .	126
2.6. Conclusions et perspectives . . . . .	131
2.7. Bibliographie . . . . .	133

### Chapitre 3. Modèles numériques de terrain à partir d'images optiques . . . . .

Jean-Marc DELVIT et Julien MICHEL

3.1. Introduction : les grands principes de la stéréoscopie spatiale . . . . .	137
3.2. Modélisation géométrique de la prise de vue . . . . .	139
3.2.1. Principe général . . . . .	139
3.2.2. Modélisation physique de la prise de vue . . . . .	140
3.2.2.1. Calcul du modèle direct . . . . .	140
3.2.2.2. Calcul du modèle inverse . . . . .	142
3.2.3. Modélisation analytique de la géométrie de prise de vue . . . . .	144
3.2.4. Affinage du modèle géométrique de prise de vue . . . . .	145
3.2.4.1. Principe général . . . . .	146
3.2.4.2. Choix des inconnues . . . . .	147
3.2.4.3. Choix des points d'appui . . . . .	148
3.2.4.4. Affinage simultané de plusieurs modèles : la spatiotriangulation . . . . .	149
3.2.5. Notion de géométrie épipolaire . . . . .	152
3.3. Mise en correspondance d'images . . . . .	154
3.3.1. Quelques grands principes . . . . .	154
3.3.2. Taxonomie des algorithmes de stéréo-restitution . . . . .	156
3.3.2.1. Hypothèses . . . . .	157
3.3.2.2. Fonctions de coûts . . . . .	157
3.3.2.3. Méthodes locales . . . . .	158
3.3.2.4. Méthodes globales . . . . .	159
3.3.2.5. Raffinement . . . . .	160
3.3.3. Les défauts classiques de l'estimation de disparité . . . . .	162
3.3.3.1. Faces visibles, faces cachées . . . . .	162
3.3.3.2. Adhérence . . . . .	163
3.3.3.3. Zones non discriminantes . . . . .	164
3.3.3.4. Structures pseudo-périodiques et autosimilarité . . . . .	164
3.3.3.5. Asynchronie . . . . .	165
3.4. De la disparité au modèle numérique de surface . . . . .	165

3.5. Quelques conclusions et perspectives . . . . .	169
3.6. Bibliographie . . . . .	170
<b>Chapitre 4. Traitement d'images hyperspectrales . . . . .</b>	<b>173</b>
Xavier CEAMANOS et Silvia VALERO	
4.1. Introduction . . . . .	173
4.2. Images hyperspectrales, leur représentation et leur prétraitement . . . . .	175
4.2.1. Qu'est-ce qu'une image hyperspectrale ? . . . . .	175
4.2.2. Réduction du bruit et restitution des propriétés de surface . . . . .	176
4.2.3. Réduction de dimensionnalité . . . . .	177
4.2.4. Compression d'images hyperspectrales . . . . .	179
4.2.5. Autres représentations des données hyperspectrales . . . . .	180
4.3. Caractérisation spectrale . . . . .	182
4.3.1. Bibliothèques spectrales . . . . .	182
4.3.2. Méthodes d'association spectrale . . . . .	183
4.4. Segmentation spectrale . . . . .	185
4.5. Classification spectrale . . . . .	186
4.5.1. Introduction . . . . .	186
4.5.2. Classification spectrale non supervisée . . . . .	189
4.5.3. Classification spectrale supervisée . . . . .	191
4.5.4. Classification spatiale-spectrale . . . . .	194
4.6. Démixage spectral . . . . .	194
4.6.1. Types de mélange sous-pixel et modèle de mélange . . . . .	194
4.6.2. Estimation du nombre de pôles purs . . . . .	196
4.6.3. Extraction de pôles purs et estimation des cartes d'abondance . . . . .	196
4.6.4. Exemple de démixage spectral . . . . .	197
4.7. Détection de cibles, anomalies et objets . . . . .	198
4.7.1. Détection de cibles . . . . .	198
4.7.2. Détection d'anomalies . . . . .	199
4.7.3. Détection d'objets . . . . .	200
4.8. Nouvelles directions dans le traitement d'images hyperspectrales . . . . .	201
4.9. Bibliographie . . . . .	203
<b>Chapitre 5. Principe et physique de la mesure lidar . . . . .</b>	<b>209</b>
Patrick CHAZETTE, Julien TOTEMS, Laurent HESPEL et Jean-Stéphane BAILLY	
5.1. Introduction . . . . .	209
5.2. Généralités sur l'instrument lidar . . . . .	209
5.2.1. Définition et historique . . . . .	209
5.2.2. Les applications en géophysique . . . . .	211

---

5.2.3. Les systèmes lidars embarqués . . . . .	212
5.3. Généralités sur les systèmes optiques des lidars . . . . .	215
5.3.1. Architecture et chaîne fonctionnelle . . . . .	215
5.3.2. Emission . . . . .	216
5.3.2.1. Laser . . . . .	216
5.3.2.2. Mise en forme du faisceau émis . . . . .	218
5.3.3. Balayage . . . . .	219
5.3.4. Réception. . . . .	220
5.3.4.1. Collection du flux . . . . .	220
5.3.4.2. Filtrage . . . . .	223
5.3.4.3. Détection. . . . .	224
5.4. Equation lidar du profileur . . . . .	226
5.4.1. Interaction avec les milieux diffusants et résolution verticale . . . . .	226
5.4.1.1. Rétrodiffusion. . . . .	226
5.4.1.2. Atténuation . . . . .	227
5.4.1.3. Profondeur d'interaction . . . . .	227
5.4.2. Puissance rétrodiffusée. . . . .	228
5.4.3. Cas d'une émission laser brève . . . . .	230
5.4.3.1. Détection en comptage de photons . . . . .	230
5.4.3.2. Détection analogique . . . . .	231
5.4.3.3. Forme générale de l'équation lidar . . . . .	232
5.4.4. Contribution du fond de ciel. . . . .	233
5.4.5. Fonction de recouvrement . . . . .	234
5.5. Sources d'incertitude sur la mesure lidar . . . . .	236
5.5.1. Bruit instrumental . . . . .	236
5.5.1.1. Bruit de détection. . . . .	236
5.5.1.2. Le rapport signal sur bruit. . . . .	238
5.5.1.3. Impact sur la mesure de distance par lidar . . . . .	240
5.5.2. Incertitudes de géoréférencement . . . . .	242
5.6. Bibliographie . . . . .	245
 <b>Chapitre 6. Méthodes de traitement de données lidar . . . . .</b>	 251
Clément MALLET, Nesrine CHEHATA et Jean-Stéphane BAILLY	
6.1. Introduction . . . . .	251
6.2. Analyse des formes d'onde lidar . . . . .	252
6.2.1. Technologie . . . . .	252
6.2.2. Déconvolution de formes d'onde . . . . .	255
6.2.3. Méthodes de détection et de décomposition non supervisées . . . . .	256
6.2.4. Méthodes supervisées . . . . .	258
6.2.4.1. Extraction de la partie utile des formes d'onde . . . . .	259
6.2.4.2. Réduction de la dimension des formes d'onde . . . . .	260

6.2.4.3. Modèles statistiques . . . . .	266
6.2.5. Méthodes d'inversion d'équations lidar . . . . .	267
6.3. Traitement des nuages de points 3D . . . . .	267
6.3.1. Extraction d'attributs lidar. . . . .	268
6.3.1.1. Attributs fondés sur les altitudes . . . . .	269
6.3.1.2. Attributs fondés sur les échos . . . . .	269
6.3.1.3. Attributs fondés sur la géométrie 3D locale . . . . .	271
6.3.1.4. Attributs fondés sur l'intensité lidar . . . . .	271
6.3.1.5. Attributs dérivés de la forme d'onde . . . . .	273
6.3.2. Filtrage et segmentation de nuages de points 3D . . . . .	274
6.3.3. Reconnaissance de formes : extraction de plans, de sphères et de cylindres . . . . .	278
6.3.4. Classification, synergie avec d'autres sources de données . . . . .	280
6.4. Perspectives . . . . .	284
6.5. Bibliographie . . . . .	286
 <b>Chapitre 7. Modèles numériques de terrain à partir de données lidar aéroportées . . . . .</b>	295
Clément MALLET et Nicolas DAVID	
7.1. Introduction . . . . .	295
7.2. Filtrage de nuages de points 3D . . . . .	298
7.2.1. Introduction . . . . .	298
7.2.2. Filtrage morphologique . . . . .	301
7.2.3. Densification progressive . . . . .	301
7.2.4. Filtrage fondé sur l'ajustement de surfaces . . . . .	302
7.2.5. Intégration d'informations non géométriques . . . . .	304
7.3. Interpolation/ajustement de surface. . . . .	306
7.4. Qualification des modèles numériques de terrain . . . . .	307
7.5. Bibliographie . . . . .	310
 <b>Acronymes . . . . .</b>	315
 <b>Glossaire . . . . .</b>	333
 <b>Index . . . . .</b>	347
 <b>Comité scientifique . . . . .</b>	353
 <b>Sommaries des autres volumes de la série . . . . .</b>	355