

# 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. Cartographie de propriétés primaires de sol par télédétection optique visible-proche infra-rouge (Vis-PIR)</b> . . . . .	19
Cécile GOMEZ et Philippe LAGACHERIE	
1.1. Introduction . . . . .	19
1.2. Signatures spectrales des sols . . . . .	20
1.3. Estimations des propriétés de sol à partir de leur signature spectrale . . . . .	23
1.3.1. Approche par indice spectral . . . . .	23
1.3.2. Approche chimiométrique . . . . .	26
1.3.3. Calibration/validation . . . . .	28
1.3.4. Indicateurs de performances de ces modèles . . . . .	29
1.4. Applications directes de modèles d'estimation . . . . .	31
1.4.1. Exemple de spatialisation de propriétés primaires de sol par imagerie Vis-PIR multispectrale . . . . .	33
1.4.2. Exemple de spatialisation de propriétés primaires de sol par imagerie Vis-PIR hyperspectrale . . . . .	35
1.4.3. Limites . . . . .	38
1.5. Utilisation des produits de télédétection Vis-PIR pour la cartographie numérique des sols . . . . .	39
1.5.1. Produits de télédétection Vis-PIR comme nouvelle source de données pour la CNS . . . . .	40
1.5.2. Utilisation de produits de télédétection Vis-PIR comme covariables pour la CNS . . . . .	42

1.6. Perspectives . . . . .	42
1.7. Bibliographie . . . . .	44

## **Chapitre 2. Méthodes d'estimation des variables biophysiques de la végétation à partir d'observations satellitaires . . . . . 51**

Frédéric BARET

2.1. Introduction . . . . .	51
2.2. Définition des variables biophysiques . . . . .	53
2.2.1. Indice foliaire : LAI, GLAI, PAI, GAI, valeurs apparentes et effectives. . . . .	53
2.2.2. FAPAR : conditions d'illumination et distinction entre éléments verts et non verts . . . . .	55
2.3. Méthodes d'inversion des modèles de transfert radiatif . . . . .	55
2.3.1. Approches centrées sur les variables radiométriques : minimisation de l'écart entre réflectances observées et simulées . . . . .	56
2.3.2. Approche centrée sur les variables d'intérêt : apprentissage automatique. . . . .	58
2.3.3. Avantages et limites des différentes approches . . . . .	61
2.4. Performances théoriques d'estimation des différentes variables d'intérêt. . . . .	63
2.5. Comment gérer la nature sous-déterminée et mal posée du problème inverse ? . . . . .	65
2.5.1. Sous-détermination et nature mal posée du problème inverse . . . . .	65
2.5.2. Réduction des incertitudes du MTR . . . . .	67
2.5.3. Utilisation de l'information <i>a priori</i> . . . . .	68
2.5.4. Utilisation de contraintes additionnelles . . . . .	70
2.6. Combinaison de méthodes et de capteurs pour améliorer les estimations . . . . .	73
2.6.1. Méthodes hybrides et d'ensemble . . . . .	73
2.6.2. Combinaison de capteurs pour construire de longues séries temporelles. . . . .	74
2.7. Conclusion . . . . .	78
2.8. Bibliographie . . . . .	80

## **Chapitre 3. Cartographie de l'occupation des sols à partir d'images optiques . . . . . 93**

Jordi INGLADA

3.1. Introduction . . . . .	93
3.1.1. La cartographie par imagerie de télédétection . . . . .	93
3.1.2. Occupation et utilisation des sols . . . . .	94
3.1.3. Les nomenclatures . . . . .	95
3.1.4. Détection de changements d'occupation des sols . . . . .	98

3.2. Les données en entrée. . . . .	98
3.2.1. Types d'imagerie . . . . .	99
3.2.2. Données de référence pour l'étalonnage et la validation . . . . .	101
3.3. Les approches de production de cartes d'occupation des sols . . . . .	104
3.3.1. La validation des cartes . . . . .	104
3.3.2. Extraction de primitives . . . . .	107
3.3.3. Méthodes de classification. . . . .	113
3.3.4. Détection de changements. . . . .	116
3.4. Exemples d'application. . . . .	116
3.4.1. Cartographie générique de l'occupation des sols . . . . .	116
3.4.2. Cartographie détaillée des cultures agricoles. . . . .	119
3.5. Bibliographie. . . . .	121

## **Chapitre 4. Fonctionnement des surfaces agricoles : apport de la télédétection . . . . . 123**

Dominique COURAULT, Valérie DEMAREZ, Martine GUÉRIF, Michel LE PAGE,  
Vincent SIMONNEAUX, Sylvain FERRANT et Amanda VELOSO

4.1. Introduction. . . . .	123
4.2. Indicateurs de suivi du développement des cultures . . . . .	127
4.3. Indicateurs de pratiques agricoles à l'échelle du territoire . . . . .	128
4.3.1. Identification des cultures et successions . . . . .	129
4.3.2. Caractérisation des pratiques culturelles . . . . .	129
4.4. Estimation de l'état hydrique et des besoins en eau des cultures à partir de modèles . . . . .	142
4.4.1. Estimation de l'évapotranspiration par modélisation simplifiée du bilan hydrique . . . . .	144
4.4.2. Application au pilotage de l'irrigation en mode opérationnel en temps quasi réel à l'échelle de la parcelle. . . . .	146
4.5. Quantification de la production agricole. . . . .	150
4.5.1. Rappel sur les modèles de cultures. . . . .	150
4.5.2. Rappel sur les méthodes d'utilisation combinée de modèles et de données de télédétection . . . . .	151
4.5.3. Estimation de biomasse et de rendement par forçage de modèles simples. . . . .	152
4.5.4. Estimation de biomasse et de rendement par forçage de modèles intermédiaires. . . . .	154
4.5.5. Estimation de biomasse et de rendement à partir de modèles complexes . . . . .	156
4.6. Quelques exemples d'études d'impacts environnementaux de l'agriculture : modélisation spatialisée des flux d'eau, d'azote et de CO <sub>2</sub> . . . . .	160

4.6.1. Analyse de l'impact de l'irrigation sur la recharge de la nappe phréatique (approche par modélisation intégrée) . . . . .	160
4.6.2. La modélisation spatialisée des flux d'eau et d'azote . . . . .	164
4.6.3. La modélisation spatialisée des flux de CO <sub>2</sub> et des bilans de carbone . . . . .	166
4.7. Agriculture de précision . . . . .	169
4.7.1. Conseils basés sur des indicateurs pour la conduite des cultures . . . . .	170
4.7.2. Conseils basés sur l'utilisation d'un modèle de culture . . . . .	173
4.8. Conclusion et perspectives . . . . .	175
4.9. Bibliographie . . . . .	176

## **Chapitre 5. Apport de la télédétection pour le suivi des cultures en zones tropicales . . . . . 185**

Pierre TODOROFF et Jaco KEMP

5.1. Introduction : le cas des cultures tropicales . . . . .	185
5.1.1. Les enjeux de la télédétection pour le suivi des cultures tropicales . . . . .	185
5.1.2. Des contextes spécifiques . . . . .	186
5.2. La cartographie des cultures . . . . .	189
5.2.1. Exemple d'une méthode d'analyse de séries temporelles d'images optiques pour la cartographie des parcelles de canne à sucre au Kenya . . . . .	190
5.2.2. Exemple d'une méthode d'analyse orientée objet d'images optiques à très haute résolution spatiale pour cartographier l'occupation du sol et les cultures de l'île de la Réunion . . . . .	193
5.2.3. Le potentiel de la polarimétrie radar en Afrique du Sud . . . . .	200
5.3. La prévision de rendement . . . . .	207
5.3.1. Exemple de prévision de rendement par télédétection optique . . . . .	208
5.4. Le suivi des récoltes . . . . .	212
5.4.1. Enjeux . . . . .	212
5.4.2. Exemple du suivi de la récolte de canne à sucre par télédétection radar à la Réunion . . . . .	213
5.5. Conclusion et perspectives . . . . .	216
5.6. Bibliographie . . . . .	218

## **Chapitre 6. Etude des paysages agricoles par télédétection radar . . . . . 223**

Samuel CORGNE, Laurence HUBERT-MOY et Julie BETBEDER

6.1. Introduction . . . . .	223
6.2. Identification de la couverture hivernale des sols en contexte agricole intensif . . . . .	226

6.2.1. Contexte général . . . . .	226
6.2.2. Site d'étude et données. . . . .	227
6.2.3. Méthodologie . . . . .	230
6.2.4. Résultats . . . . .	232
6.3. Suivi phénologique et caractérisation des cultures à partir d'une série d'images radar . . . . .	236
6.3.1. Contexte général . . . . .	236
6.3.2. Site d'étude et données. . . . .	236
6.3.3. Méthodologie . . . . .	237
6.3.4. Résultats . . . . .	239
6.4. Perspectives . . . . .	243
6.5. Bibliographie . . . . .	244

## **Chapitre 7. Imagerie optique multispectrale satellitaire pour des applications forestières . . . . .**

247

Dominique GUYON et Nathalie BRÉDA

7.1. Introduction. . . . .	247
7.2. Points-clés spécifiques des couverts forestiers . . . . .	249
7.2.1. Structure du couvert forestier et réflectance . . . . .	250
7.2.2. Quelle information attendre sur les couverts forestiers ? . . . . .	257
7.3. Exemples d'applications . . . . .	277
7.3.1. Estimation et gestion de la ressource forestière : volume de bois, biomasse aérienne, stocks de carbone. . . . .	277
7.3.2. Suivi de la réponse fonctionnelle des forêts face au climat et aux aléas. . . . .	295
7.4. Perspectives . . . . .	309
7.5. Bibliographie . . . . .	311

## **Chapitre 8. Caractérisation des forêts à l'aide de la technologie lidar . . . . .**

321

Adrien MICHEZ, Sébastien BAUWENS, Stéphanie BONNET et Philippe LEJEUNE

8.1. Introduction. . . . .	321
8.2. La technique lidar . . . . .	322
8.3. La technologie lidar en foresterie : plateformes et applications . . . . .	322
8.3.1. Lidar satellite : cas du projet ICESat. . . . .	324
8.3.2. Lidar aérien . . . . .	327
8.3.3. Lidar terrestre . . . . .	334
8.4. Quelles perspectives pour la technologie lidar en foresterie ? . . . . .	340
8.4.1. Evolution technologique. . . . .	340
8.4.2. Fusion avec des données optiques et lidar multispectral . . . . .	341

8.4.3. Vers une cartographie globale des forêts du globe avec des données lidar ? . . . . .	342
8.5. Bibliographie . . . . .	343
<b>Chapitre 9. Biomasse des forêts par télédétection radar . . . . .</b>	<b>349</b>
Ludovic VILLARD, Thuy LE TOAN, Dinh HO TONG MINH, Stéphane MERMOZ et Alexandre BOUVET	
9.1. La biomasse des forêts à l'échelle globale. . . . .	349
9.1.1. La biomasse forestière, une variable essentielle pour le climat. . . . .	349
9.1.2. Attentes autour d'une meilleure connaissance de la biomasse à l'échelle globale . . . . .	353
9.1.3. Estimations de la biomasse des forêts à l'échelle globale : quels moyens ? . . . . .	356
9.2. La télédétection radar pour quantifier la biomasse des forêts : physique et techniques de la mesure . . . . .	360
9.2.1. Mécanismes d'interaction des ondes radar avec les couverts forestiers et relations avec la biomasse. . . . .	360
9.2.2. Techniques de mesures SAR pertinentes pour la biomasse . . . . .	369
9.3. La biomasse à partir du SAR bande L . . . . .	383
9.3.1. Introduction . . . . .	383
9.3.2. Relations mesures radar (bande L) <i>versus</i> biomasse . . . . .	385
9.3.3. Inversion des relations des mesures radar (bande L) avec la biomasse . . . . .	389
9.4. La mission BIOMASS : biomasse des forêts avec le SAR bande P . . . . .	389
9.4.1. Objectifs scientifiques de la mission. . . . .	389
9.4.2. Concept de la mission BIOMASS . . . . .	390
9.5. Conclusion et perspectives . . . . .	395
9.6. Bibliographie . . . . .	397
<b>Acronymes . . . . .</b>	<b>405</b>
<b>Glossaire . . . . .</b>	<b>423</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>437</b>
<b>Comité scientifique . . . . .</b>	<b>443</b>
<b>Sommaires des autres volumes de la série . . . . .</b>	<b>445</b>