

Table des matières

Avant-propos	11
Introduction	15
Chapitre 1. Notions fondamentales en physique de l’atmosphère et du rayonnement	17
Introduction	17
1.1. Structure et composition de l’atmosphère terrestre.	18
1.1.1. Structure verticale de l’atmosphère	18
1.1.2. Gaz atmosphériques	20
1.1.3. Aérosols et hydrométéores	22
1.2. Aérosols atmosphériques.	23
1.2.1. Généralités	23
1.2.2. Propriétés microphysiques des aérosols.	25
1.3. Nuages.	28
1.3.1. Définitions et classification	28
1.3.2. Formation.	30
1.3.3. Propriétés microphysiques.	31
1.4. Rayonnement dans l’atmosphère terrestre.	35
1.4.1. Rayonnement électromagnétique.	35
1.4.2. Quelques éléments de radiométrie	36
1.4.3. Rayonnements solaire et terrestre	37
1.4.4. Réflexion et émission du rayonnement par une surface.	43
1.5. Bilan radiatif du système climatique	45
1.5.1. Equilibre radiatif de l’atmosphère	45

1.5.2. Effet de serre et effet parasol	47
1.5.3. Forçage radiatif des composants atmosphériques	49
1.5.4. Impact climatique des aérosols	51
1.5.5. Impact climatique des nuages	52
1.5.6. Sensibilité climatique.	53
1.5.7. Observation du bilan radiatif	53
1.6. Pour aller plus loin	55
Chapitre 2. Instrumentation et sondeurs	57
Introduction	57
2.1. Plateformes, satellites et capteurs	58
2.1.1. Les types d'orbites	58
2.1.1.1. Orbite géostationnaire (GeO).	59
2.1.1.2. Orbite basse ou <i>Low Earth Orbits</i> (LEO)	60
2.1.2. Paramètres caractéristiques des satellites	61
2.1.3. Géométrie des lignes de visée.	62
2.1.3.1. Nadir	62
2.1.3.2. Limbe et occultation solaire	65
2.2. Techniques de détection infrarouge.	67
2.2.1. Radiomètres	67
2.2.2. Instruments à haute résolution spectrale.	69
2.2.2.1. Spectromètres à réseaux	69
2.2.2.2. Spectromètres à transformée de Fourier	73
2.3. Pour aller plus loin	76
Chapitre 3. Transfert radiatif direct dans les atmosphères absorbantes	77
Introduction	77
3.1. Absorption et émission gazeuse.	77
3.1.1. Généralités	77
3.1.2. Spectroscopie rovibrationnelle	79
3.1.2.1. Vibration de molécules diatomiques	80
3.1.2.2. Vibration de molécules polyatomiques	82
3.1.2.3. Spectre vibrationnel	84
3.1.2.4. Rotation des molécules diatomiques	84
3.1.2.5. Rotation des molécules polyatomiques	86
3.1.2.6. Spectre rotationnel	88
3.1.2.7. Rovibration	89

3.1.3. Profils de raies	92
3.1.3.1. Elargissement naturel	92
3.1.3.2. Elargissement dû à la pression	93
3.1.3.3. Elargissement dû à la vitesse	94
3.1.3.4. Profil de Voigt	95
3.1.4. Intensité des raies et coefficient d'absorption	96
3.2. Equation de transfert radiatif en milieu absorbant	97
3.3. Résolution de l'ETR	100
3.3.1. Modèles à haute résolution spectrale :	
codes <i>Line-By-Line</i>	101
3.3.2. Modélisation approchée de l'absorption gazeuse	102
3.3.2.1. Modèles de bandes	102
3.3.2.2. Méthode de la k-distribution	104
3.3.3. Conditions aux limites et paramètres atmosphériques	108
3.4. Pour aller plus loin	108

Chapitre 4. Transfert radiatif direct dans les atmosphères diffusantes 111

Introduction	111
4.1. Diffusion atmosphérique	111
4.1.1. Principales propriétés de la diffusion	112
4.1.1.1. Indice de réfraction.	112
4.1.1.2. Paramètre de taille	112
4.1.1.3. Sections efficaces.	113
4.1.1.4. Facteur d'efficacité.	114
4.1.1.5. Albédo de diffusion simple	114
4.1.1.6. Fonction de phase de diffusion.	115
4.1.1.7. Facteur d'asymétrie	115
4.1.2. Diffusion de Rayleigh	116
4.1.3. Diffusion de Mie	117
4.1.4. Particules non sphériques	117
4.1.5. Coefficient d'extinction et épaisseur optique.	118
4.2. Polarisation	119
4.3. Equation de transfert radiatif (ETR) en milieu diffusant	122
4.3.1. Expression générale de l'ETR	122
4.3.2. Résolution de l'ETR	124
4.3.2.1. Méthodes statistiques « tridimensionnelles-3D »	124
4.3.2.2. Méthodes explicites dites « plans-parallèles »	125
4.3.3. Dépendance azimutale du champ de rayonnement	127
4.3.4. Simplification de la fonction de phase.	129

4.4. Méthodes numériques pour résoudre l'ETR en milieu diffusant plan-parallèle	131
4.4.1. Expressions analytiques approchées	131
4.4.2. Méthode des ordonnées discrètes	132
4.4.3. Méthode de l' <i>Adding-Doubling</i>	133
4.4.4. Méthode des ordres successifs de diffusion	134
4.5. Liste de codes de transfert radiatif	134
4.6. Pour aller plus loin	135
Chapitre 5. Méthodes de restitution des paramètres géophysiques	137
Introduction	137
5.1. Processus d'inversion	138
5.1.1. Principe du processus d'inversion	138
5.1.2. Les vecteurs de mesure et d'état	138
5.1.3. Le modèle direct	139
5.2. Modèles linéaires	140
5.2.1. Moindres carrés linéaires (MCL)	140
5.2.2. Modèle linéaire régularisé	141
5.3. Inversion non linéaire	143
5.4. Méthode d'estimation optimale (OEM)	145
5.4.1. Méthode d'inversion	146
5.4.2. Sensibilité de la mesure et analyse du contenu en information	148
5.4.3. Analyse d'erreur du profil inversé	149
5.4.4. Exemple d'inversion d'un profil de vapeur d'eau à partir de IASI	150
5.5. Bases d'apprentissages	155
5.6. Pour aller plus loin	162
Chapitre 6. Télédétection spatiale infrarouge : quelques applications	163
Introduction	163
6.1. Isotopologues de la vapeur d'eau	164
6.2. Feux de biomasse et gaz traces	168
6.3. Eruptions volcaniques	172
6.3.1. Dioxyde de soufre	173
6.3.2. Aérosols volcaniques	175

6.4. Propriétés physiques des nuages	179
6.4.1. Classification et propriétés physiques des nuages de glace.	181
6.4.2. Phase thermodynamique et altitude des nuages	184
6.5. Pour aller plus loin	190
Annexe 1. Liste des symboles et unités des paramètres utilisés	191
Annexe 2. Acronymes et abréviations	195
Annexe 3. Tableaux	201
Bibliographie	211
Index	219