

Table des matières

Remerciements	1
Introduction	3
Thierry PHULPIN	
Partie 1. L'observation de l'atmosphère terrestre par satellite : une coopération internationale	9
Chapitre 1. Histoire des satellites météorologiques	11
Sylvain LE MOAL	
1.1. Les débuts de la télédétection et la conquête de l'espace	11
1.2. TIROS-1, le premier satellite météorologique	14
1.3. Les satellites météorologiques américains	16
1.3.1. Les satellites défilants	16
1.3.2. Les satellites géostationnaires	21
1.4. Les satellites météorologiques russes	24
1.4.1. Les satellites défilants	24
1.4.2. Les satellites géostationnaires	27
1.5. Les satellites météorologiques européens	28
1.5.1. L'épopée Meteosat	28
1.5.2. Quarante-six ans après TIROS-1, l'arrivée de MetOp	33
1.6. Et ailleurs ?	35
1.6.1. Japon	35
1.6.2. Chine	36
1.6.3. Corée	38

1.6.4. Inde	39
1.7. Bibliographie	40

Chapitre 2. Le rôle de la National Oceanic and Atmospheric Administration

(NOAA, États-Unis)	43
-------------------------------------	-----------

Sid-Ahmed BOUKABARA, Mitch GOLDBERG, Timothy J. SCHMIT,
 Andrew HEIDINGER, Satya KALLURI, Patricia WEIR, Frank GALLAGHER,
 David SPENCER et Ross N. HOFFMAN

2.1. Programme de satellites de la NOAA : contexte historique	44
2.1.1. Origine des programmes de satellites environnementaux polaires et géostationnaires de la NASA et de la NOAA	44
2.1.2. Missions en orbite terrestre basse (LEO)	47
2.1.3. Missions en orbite terrestre géostationnaire (GEO)	49
2.2. Constellation spatiale actuelle de la NOAA	52
2.2.1. Le programme JPSS de la NOAA	52
2.2.2. Série GOES-R	56
2.2.3. Programmes collaboratifs	59
2.3. Applications	60
2.4. Perspectives d'avenir : conception de l'architecture de la prochaine génération	66
2.4.1. Facteurs influençant la stratégie de la NOAA	66
2.4.2. Architecture spatiale de prochaine génération de la NOAA	68
2.5. En résumé	71
2.6. Remerciements	72
2.7. Bibliographie	72

Chapitre 3. Le rôle de la National Aeronautics and Space Administration

(NASA, États-Unis)	75
-------------------------------------	-----------

Michael SEABLUM

3.1. Les débuts de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)	75
3.2. L'ère Nimbus (1964-1979)	76
3.3. Le système d'observation de la Terre (1982-2004)	80
3.4. Le « A-Train » (2004-aujourd'hui)	91
3.5. Enquêtes décennales (« decadal surveys ») et ruptures technologiques (2007-aujourd'hui)	94
3.6. Bibliographie	97

Chapitre 4. Le rôle de l'Agence spatiale européenne (ESA)	99
Paul INGMANN	
4.1. Missions en orbite géostationnaire (GEO).	99
4.2. Missions en orbite terrestre basse (LEO)	102
4.2.1. ERS	103
4.2.2. Envisat	104
4.2.3. MetOp	105
4.2.4. Les concepts des missions Earth Explorer et Earth Watch	107
4.3. Initiative de l'ESA sur le changement climatique (CCI)	125
4.4. Bibliographie	126
Chapitre 5. Le rôle d'EUMETSAT (Europe)	129
François MONTAGNER	
5.1. Introduction : les enjeux	129
5.1.1. Valeur du service public des satellites météo.	129
5.1.2. EUMETSAT, pièce maîtresse dans le jeu européen.	129
5.1.3. Climat et environnement.	130
5.2. L'organisation	130
5.2.1. Premiers pas	130
5.2.2. Stabilité et croissance	132
5.2.3. Gouvernement	132
5.2.4. Mutualisations européennes : EUMETSAT, ECMWF, EUMETNET	133
5.2.5. Mutualisation mondiale sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale (OMM)	134
5.3. Les satellites météo géostationnaires : du synoptique au zoom régional	134
5.3.1. Les Meteosat de première génération	134
5.3.2. Les Meteosat de seconde génération.	137
5.3.3. Agilité des missions géostationnaires	139
5.3.4. Stabilisation par rotation ou sur trois axes : aspects système	139
5.3.5. Meteosat troisième génération	140
5.4. Les satellites MetOp, première source pour la prévision météo numérique	141
5.4.1. Synergie des observations	142
5.4.2. Continuité et innovation	143
5.4.3. La seconde génération du Système polaire européen	144
5.4.4. Économies d'échelle	145

5.4.5. Coopération autour de l'orbite polaire.	146
5.5. Perspective et innovation météo.	147
5.6. Climat	148
5.7. EUMETSAT et Copernicus	148
5.7.1. Un mariage de raison.	148
5.7.2. EUMETSAT et les services Copernicus	149
5.7.3. Continuité et expansion : le défi du CO ₂	150
5.8. Bibliographie.	150

Chapitre 6. Le rôle du Centre national d'études spatiales (CNES, France)

151

Carole DENIEL et Pierre TABARY

6.1. Le CNES et les missions scientifiques	151
6.2. Gaz à effet de serre et composition de l'atmosphère.	152
6.2.1. Merlin, une volonté politique franco-allemande	153
6.2.2. MicroCarb, un projet stratégique et persévérant	154
6.2.3. TRAQ, Geotrope, Mageaq, des projets prometteurs mais sans suite	156
6.3. IASI et IASI-NG, pour la météorologie, la composition atmosphérique et le climat	157
6.4. Propriétés physiques de l'atmosphère	161
6.4.1. Aérosols et nuages : Parasol, Calipso et l'A-Train.	162
6.4.2. La suite : 3MI et EarthCARE	164
6.4.3. Une suite étudiée à plus long terme : ACCP	165
6.4.4. Megha-Tropiques et les précipitations.	166
6.5. Infrastructures et moyens d'observation complémentaires	167
6.6. Le rôle des modèles numériques	170
6.7. Bibliographie.	170

Chapitre 7. Un effort international coordonné

173

Jérôme LAFEUILLE

7.1. Les enjeux de la coordination internationale	173
7.2. Instances de coordination multilatérale	174
7.2.1. Historique	174
7.2.2. La veille météorologique mondiale et sa composante spatiale.	175
7.2.3. CGMS	179
7.2.4. CEOS	182
7.3. Les fruits de la coordination	184
7.3.1. Continuité des missions	184

7.3.2. L'interétalonnage des instruments en orbite	185
7.3.3. La stratégie d'observation du climat	188
7.3.4. L'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques	188
7.3.5. L'accès aux données	189
7.3.6. Coopérations bilatérales	192
7.4. Une communauté élargie d'opérateurs spatiaux	193
7.4.1. Un nombre croissant d'agences opérationnelles nationales	193
7.4.2. L'émergence du secteur privé.	193
7.5. Conclusion	194
7.6. Bibliographie	195
Partie 2. Les bases physiques	197
Chapitre 8. Les orbites des satellites pour l'observation de l'atmosphère	199
Michel CAPDEROU	
8.1. Introduction.	199
8.2. Notions préliminaires	200
8.3. Satellites en orbite basse	202
8.3.1. Caractéristiques orbitales	202
8.3.2. Satellites héliosynchrones	204
8.3.3. Satellites non héliosynchrones	211
8.3.4. Satellites « phasés »	211
8.3.5. Échantillonnage spatiotemporel	212
8.3.6. Synergies de satellites LEO	217
8.4. Satellites en orbite géostationnaire	219
8.4.1. Caractéristiques orbitales	219
8.4.2. Conditions d'observation	221
8.5. Autres types d'orbites utilisées	222
8.5.1. Satellites en orbite HEO	222
8.5.2. Utilisation des satellites en orbite MEO.	223
8.6. Bibliographie	224
Chapitre 9. Physique de la mesure	225
Clémence PIERANGELO, Fatima KARBOU et Claude CAMY-PEYRET	
9.1. Principes physiques de l'observation de l'atmosphère par satellite	225
9.1.1. Principes de base de la télédétection	225
9.1.2. Absorption, diffusion, émission	228

9.1.3. Spectroscopie des espèces gazeuses	229
9.1.4. Propriétés optiques des particules	230
9.1.5. À la surface : réflexion et émission propre	233
9.1.6. Bases de paramètres spectroscopiques.	234
9.1.7. Bases pour les aérosols et nuages	234
9.1.8. Bases auxiliaires décrivant l'atmosphère	235
9.1.9. Bases auxiliaires décrivant la surface	235
9.2. L'équation de transfert radiatif	236
9.2.1. L'ETR sous forme différentielle	236
9.2.2. Intégration de l'ETR	237
9.2.3. L'ETR en mode polarisé.	239
9.2.4. Avancées récentes pour le transfert radiatif.	240
9.2.5. Analyse de l'ETR et implications pour la télédétection spatiale de l'atmosphère	240
9.2.6. Exemple du code 4AOP	243
9.3. Les capteurs optiques passifs : radiomètres et spectromètres.	244
9.3.1. Les radiomètres	245
9.3.2. Les spectromètres	246
9.3.3. Traitements de niveau 1	249
9.3.4. Les capteurs du futur	250
9.4. Les capteurs optiques actifs : les lidars.	250
9.4.1. Principe du lidar.	250
9.4.2. L'équation lidar	251
9.4.3. Les différents types de lidar spatiaux	252
9.4.4. Comparaison des capteurs optiques	258
9.5. Capteurs micro-ondes passifs et actifs	258
9.5.1. Spécificités des capteurs micro-ondes	258
9.5.2. Capteurs micro-ondes passifs	259
9.5.3. Capteurs micro-ondes actifs	260
9.5.4. Liste d'instruments micro-ondes	261
9.6. Bibliographie	261

**Chapitre 10. Le problème inverse et les techniques de restitution
des variables atmosphériques. 265**

Clémence PIERANGELO

10.1. Généralités sur l'inversion des variables atmosphériques	265
10.2. Expression matricielle du problème direct.	266
10.2.1. L'écriture matricielle	266
10.2.2. Linéarisation du problème	267
10.2.3. Dimensions typiques du problème	267

10.3. Les solutions du problème inverse	268
10.3.1. Les moindres carrés	268
10.3.2. Les méthodes probabilistes	269
10.4. Les méthodes avec bases précalculées	275
10.4.1. Méthodes empiriques	275
10.4.2. Méthodes neuronales	276
10.5. Bibliographie	278
Annexe 1. Les profils atmosphériques	279
Claude CAMY-PEYRET	
Annexe 2. Les paramètres spectroscopiques pour le transfert radiatif	287
Claude CAMY-PEYRET	
Annexe 3. Liste des capteurs et satellites cités dans l'ouvrage	297
Thierry PHULPIN, Didier RENAUT, Hervé ROQUET et Claude CAMY-PEYRET	
Annexe 4. Capteurs micro-ondes et sondeurs hyperspectraux infrarouges.	311
Thierry PHULPIN, Didier RENAUT, Hervé ROQUET et Claude CAMY-PEYRET	
Glossaire	317
Liste des acronymes	327
Liste des auteurs.	345
Index	347
Sommaire de <i>Satellites pour les sciences de l'atmosphère 2</i>	351