

enet

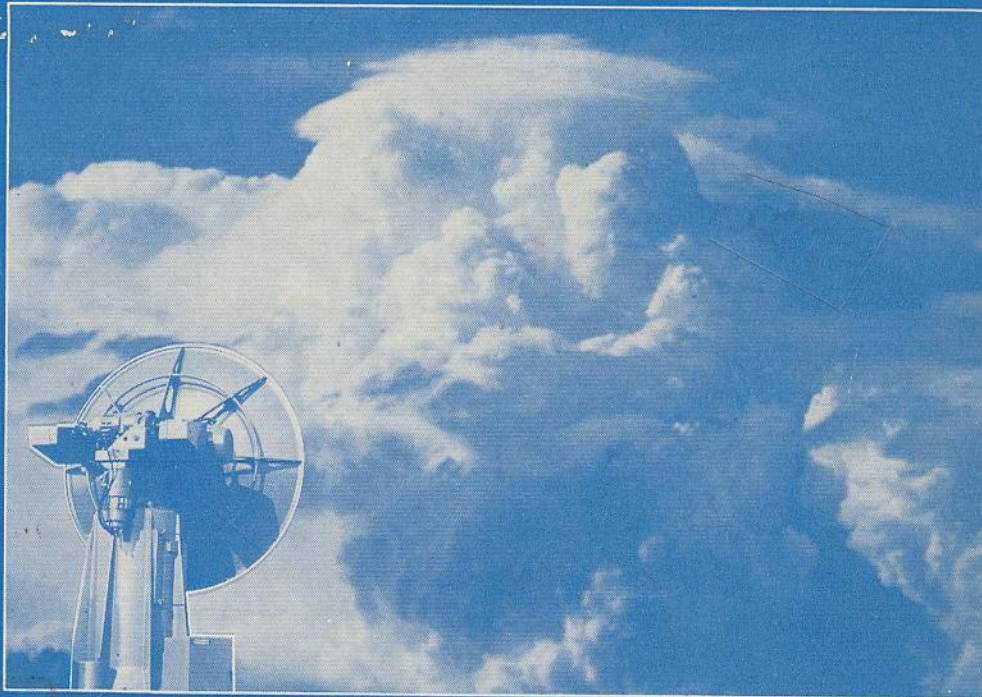
enst

COLLECTION TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

RADARMÉTÉOROLOGIE

TÉLÉDÉTECTION ACTIVE DE L'ATMOSPHÈRE

par H. Sauvageot



Radarmétéorologie

CNT



22801000 435



EYROLLES

TABLE DES MATIÈRES

PREFACE	VII
AVANT-PROPOS	XIII
CHAPITRE 1 - Le sondage en volume de l'atmosphère	1
1.1 - <i>Introduction</i>	1
1.2 - <i>Le capteur</i>	4
1.2.1 - Radar non cohérent	4
1.2.2 - Radar cohérent	7
Principe - Ambiguïtés - Autres types de radar.	
1.2.3 - Visualisation des données	15
1.2.4 - Sensibilité du récepteur	18
Signal minimal détectable - Récepteur à filtrage adapté.	
1.2.5 - Résolution et distorsion - Forme du faisceau	22
Résolution radiale - Forme du faisceau et gain de l'antenne - Résolution transversale - Atténuation - Réfraction - Volume de résolution de l'impulsion.	
1.3 - <i>L'équation du radar : forme générale</i>	33
1.4 - <i>Etalonnage et implantation</i>	37
1.5 - <i>Propriétés du signal et estimation de son intensité</i>	39
1.5.1 - Fluctuation du signal	39
1.5.2 - Distribution de probabilité du signal instantané - Fonction de transfert	42
1.5.3 - Temps de décorrélation - Echantillons indépendants	44
1.5.4 - Distribution de probabilité du signal moyen - Estimation de l'intensité	47
1.5.5 - Intégration et détection des signaux faibles dans le bruit	50
1.5.6 - Echantillonnage et calcul de la moyenne	51
CHAPITRE 2 - Propagation dans les nuages et les précipitations - Mesures hydrologiques	54
2.1 - <i>Introduction</i>	54

2.2 - Nuages et précipitation	55
2.2.1 - Processus physiques de formation	55
2.2.2 - Répartition granulométrique des particules nuageuses	56
2.2.3 - Intensité des précipitations	58
2.2.4 - Répartition granulométrique des précipitations Pluie - Neige - Grêle	59
2.2.5 - Vitesse limite de chute de précipitations	62
2.2.6 - Les quantités M et R	66
2.3 - Sections efficaces de diffusion et d'atténuation par les particules	66
2.3.1 - Particules sphériques et homogènes Formules de Mie - Approximation de Rayleigh - Influence des propriétés diélectriques - Table des valeurs de sections efficaces Rétrodiffusion - Atténuation - Domaine de validité de l'approximation de Rayleigh.	66
2.3.2 - Particules sphériques non homogènes Particules sèches de petite taille - Petites particules fondantes Sphères fondantes de grand diamètre.	74
2.3.3 - Particules non sphériques - Dépolarisation	77
2.4 - Atténuation atmosphérique	80
2.4.1 - Atténuation par les gaz	81
2.4.2 - Atténuation par les nuages	82
2.4.3 - Atténuation par les précipitations Pluie - Neige - Grêle.	83
2.5 - Rétrodiffusion par les nuages et les précipitations	87
2.5.1 - Facteur de réflectivité radar Définitions - Relations entre le facteur de réflectivité radar et la microstructure du milieu diffusant - Domaine de validité de l'approximation de Rayleigh pour les milieux naturels.	87
2.5.2 - Relations Z-R et Z-M Relations Z-R et Z-M pour les précipitations - Relations applicables aux nuages.	90
2.5.3 - Détection des précipitations de grêle Etude de la réflectivité à une seule longueur d'onde - Réflectivité à plusieurs longueurs d'onde - Polarisation.	95
2.5.4 - Détection des éclairs Sfériques : détection passive de l'éclair - Détection active - Aligement des précipitations.	101
2.5.5 - Formes météorologiques particulières de l'équation du radar Expression de la puissance reçue - Forme logarithmique - Propagation en milieu atténuant - Correction de l'affaiblissement en fonction de la distance.	106
2.6 - Mesures hydrologiques par radar	109
2.6.1 - Mesures de précipitation par atténuation	110

2.6.2 - Mesures de précipitation par rétrodiffusion	111
Principe - Qualité des mesures du radar - Choix d'une relation Z-R - Mesure des précipitation à l'aide des seules données du radar - Mesure des précipitations à l'aide d'un réseau de pluviomètres - Mesure par radar et pluviomètre - Techniques d'ajustement des mesures de précipitation par radar.	
CHAPITRE 3 - Propagation en milieu turbulent et en air clair	120
3.1 - Introduction	120
3.2 - Diffusion des ondes électromagnétiques par les milieux turbulents	122
3.2.1 - Relations générales	122
3.2.2 - Cas d'une turbulence isotrope : domaine inertiel	124
3.2.3 - Relations avec le champ moyen	126
3.2.4 - Résultats expérimentaux	128
3.3 - Le sondage de l'atmosphère claire	130
3.3.1 - Les équipements	131
3.3.2 - Les mesures	132
Mouvements de l'air - Stabilité atmosphérique	
3.3.3 - Applications	135
3.3.4 - Sondages radio-acoustiques de la température de l'air	137
3.4 - Les oiseaux et les insectes	139
3.4.1 - Conditions de détection	139
3.4.2 - Rôle de traceur et utilité pratique	141
3.5 - Les traceurs artificiels	143
3.5.1 - Propriétés générales	143
3.5.2 - Applications à l'observation atmosphérique	144
CHAPITRE 4 - Le champ de vitesse	149
4.1 - Le spectre Doppler	150
4.1.1 - Les grandeurs spectrales caractéristiques	150
4.1.2 - Détermination du spectre	153
4.1.3 - Les estimateurs des moments spectraux	156
Puissance moyenne - Vitesse moyenne - Variance.	
4.1.4 - Facteurs influençant la largeur du spectre	167
Contribution des divers termes - autres causes.	
4.1.5 - Mesure du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	172
4.1.6 - Elimination des échos fixes et présentation des données Doppler	173
4.2 - La visée verticale	177
4.2.1 - Mesure des propriétés microphysiques des précipitations	177
4.2.2 - Mesure des vitesses verticales de l'air	178
4.3 - Mesure des champs de vitesse avec un radar Doppler	181
4.3.1 - Analyse du champ moyen par balayage conique (VAD)	181
4.3.2 - Le champ de turbulence	186

4.4 - <i>Mesure des champs de vitesse avec plusieurs radars Doppler</i>	188
CHAPITRE 5 - Introduction à l'étude de quelques structures météorologiques par radar	192
5.1 - <i>Introduction</i>	192
5.1.1 - Diversité des structures météorologiques	192
5.1.2 - Les mouvements de l'atmosphère	192
5.1.3 - Le champ d'application du radar	197
5.2 - <i>Convection dans la couche limite planétaire en air clair</i>	198
5.2.1 - La couche limite convective	198
5.2.2 - L'observation du champ convectif	199
5.2.3 - Les traceurs artificiels et les insectes	202
5.3 - <i>La convection développée et les orages</i>	205
5.3.1 - Les cellules convectives	205
5.3.2 - Structure des orages	209
Echelle moyenne - Echelle fine - La grêle - L'activité électrique des orages.	
5.4 - <i>Les tornades et les tourbillons cycloniques</i>	218
5.4.1 - Caractères généraux	218
5.4.2 - Identification des vortex par radar	219
Signature du vortex dans le champ de réflectivité - Signature du vortex dans le champ des vitesses	
5.4.3 - Application aux systèmes d'alerte	224
5.5 - <i>Perturbations cycloniques extratropicales et nuages stratiformes</i>	226
5.5.1 - Structure des perturbations cycloniques extratropicales	226
Mouvements de l'air - Structure horizontale des précipitations	
5.5.2 - Précipitations stratiformes	234
Cellules génératrices et traînées de précipitation - La bande brillante.	
5.6 - <i>Les cyclones tropicaux</i>	239
5.7 - <i>Stratifications turbulentes et instabilité de cisaillement</i>	243
5.8 - <i>Modification expérimentale des nuages</i>	247
ANNEXE 1 - Unités et symboles	251
ANNEXE 2 - Définitions et valeurs numériques diverses	258
ANNEXE 3 - Particularités cinématiques des précipitations	263
RÉFÉRENCES	267
INDEX ALPHABÉTIQUE	293

La Collection Technique et Scientifique des Télécommunications est publiée sous les auspices du Centre National d'Études des Télécommunications et de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications.

Elle a pour vocation d'éditer des ouvrages provenant d'auteurs appartenant à l'ensemble du secteur traitant des domaines techniques et scientifiques des télécommunications et des disciplines connexes.

P. LAPOSTOLLE

Ingénieur Général des Télécommunications
Directeur de la Collection

L'observation et la mesure par radar connaissent depuis une vingtaine d'années des développements remarquables en recherche atmosphérique ; la mesure des champs tridimensionnels de précipitation et de vitesse de l'air ou la détection d'échos en atmosphère claire en sont des exemples éminents. Ces résultats suscitent une extension rapide et parfois inattendue du domaine d'intervention du radar en météorologie tant expérimentale qu'opérationnelle, dans les études de dynamique de l'atmosphère ou dans celles de propagation hertziennes. Dans ce contexte, il était particulièrement utile de disposer d'un ouvrage de base en français sur le sujet : « Radarmétéorologie » répond à ce besoin.

L'ouvrage rassemble ce que l'on doit connaître pour aborder l'observation de l'étude de l'atmosphère météorologique à l'aide du radar. Les aspects techniques particuliers du radar météorologique, ainsi que les concepts physiques et théoriques permettant de comprendre les applications quantitatives, y sont exposés et analysés de façon claire et détaillée. Divers résultats d'observation et leur interprétation y sont décrits et discutés. Enfin les nombreuses références incluses font de ce livre une source d'informations bibliographiques pour l'enseignant et le chercheur.

L'ouvrage s'adresse, en premier lieu, aux ingénieurs, chercheurs, enseignants et étudiants dans les domaines de la météorologie et de l'hydrologie, aux ingénieurs des télécommunications et de l'électronique concernés par les effets de l'atmosphère sur les propagations hertziennes. Il sera également utile aux contrôleurs de la navigation, aux pilotes, aux marins et à nombre de spécialistes dont les activités dépendent de l'état local de l'atmosphère et donc des moyens de son observation.

I. REVAH

Directeur Adjoint du Centre
de Recherches en Physique de l'Environnement
Terrestre et Planétaire (CNET-CNRS)

CNT

