

UNIVERSITE PARIS 7 – DENIS DIDEROT
UFR DE PHYSIQUE

THESE

pour l'obtention du Diplôme de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 7
SPECIALITE : Méthodes Physiques en Télédétection

présentée et soutenue publiquement

par

Emmanuel MOREAU

Titre :

**Restitution de paramètres atmosphériques par
radiométrie hyperfréquence spatiale .
Utilisation de méthodes neuronales**

JURY :

M. Claude Klapisz

Mme. Cécile Mallet

M. Peter Bauer

M. Younès Bennani

M. Franck Roux

Mme. Sylvie Thiria

Directeur de thèse

Co-directrice de thèse

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu à mes directeurs de thèse, Claude Klapisz et Cecile Mallet, pour leur aide précieuse dans le déroulement de cette thèse. Je remercie également Mme Katia Laval pour m'avoir ouvert les portes de la recherche scientifique en m'accueillant en DEA.

Je suis reconnaissant à Peter Bauer et Younes Bennani d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse. Je suis très sensible à l'intérêt que Peter Bauer a témoigné pour ce travail. Je remercie également Franck Roux d'avoir bien voulu examiné mon travail.

J'apprécie particulièrement l'aide que m'a apporté Sylvie Thiria dans le domaine des réseaux de neurones et ses encouragements constant durant ce travail de thèse. Je remercie également Bruno Mabboux pour son logiciel Multi-Expert.

Mes remerciements vont aussi à Virginie Marécal et Jean Francois Mahfouf qui m'ont fourni les données du modèle du Centre Européen et qui à tout instant ont répondu à mes demandes.

Merci à Nicolas Viltard pour son aide sur les données TRMM et pour tous les échanges fructueux que nous avons pu avoir au cours de ces années.

Je ne saurais finir sans remercier tous les membres et les ex-membres du CETP qui m'ont aidé ou soutenu durant les trois années passées au laboratoire. Enfin merci à Sophie, à mes amis et à ma famille toujours présents.

Abstract

The purpose of the thesis is to develop algorithms to retrieve the liquid water content of the atmosphere (cloud water content and rain rate) using radiometric measurements from the space borne radiometer SSM/I and TMI. We have chosen to study the effectiveness of neural networks and in particular a multi-expert method.

In order to perform such a study, we have developed a simulated database as training and testing data for the neural networks. This development involved producing a high performance radiative transfer model to study and simulate the direct physical problem. This model allowed us to build a database of simulated spectral measurements and the associated atmospheric input parameters.

After testing several neural network architectures using the above database, we chose a multi-expert neural network.

To validate our approach concerning cloud liquid water content, we compared our algorithm to several classic algorithms using spectral measurements from the SSM/I radiometer. Our method increases the range of validity of the inverted measurements with respect to the classic methods.

For the surface rain rate, we validate the values retrieved from the TMI radiometer by our neural network algorithm against rain rate estimated by the precipitation radar (PR) on the same satellite TRMM. Here again, we show an improvement compared to the standard algorithm of TMI with better global performances.

Résumé

L'objectif de ce travail de thèse est la mise au point d'une méthode de restitution des contenus en eau liquide atmosphérique (eau liquide nuageuse et précipitations en phase liquide) en utilisant des mesures radiométriques provenant des capteurs spatiaux, SSM/I et TMI.

Il s'agit d'un problème d'inversion dont la résolution est abordée à partir d'algorithmes neuronaux développés sur une base de données simulées. Pour la réalisation de cette base, l'étude et la modélisation du problème physique direct est fondamentale, elle a nécessité le développement d'un modèle de transfert radiatif performant de manière à créer une base de données contenant les grandeurs atmosphériques que l'on souhaite restituer et les mesures spectrales associées. La méthode d'inversion mise en oeuvre est une méthode neuronale basée sur l'utilisation d'une architecture multi-expert.

La validation est ensuite effectuée en appliquant les algorithmes obtenus à des données mesurées. Concernant l'eau liquide nuageuse, restituée à partir du radiomètre SSM/I, une inter-comparaison avec différents algorithmes valide l'approche. L'amélioration porte pour l'essentiel sur l'élargissement du domaine de validité de l'inversion réalisée. Les taux de pluie restitués à partir du radiomètre TMI par l'algorithme neuronal sont validés à partir des données fournies par le radar également embarqué sur le satellite TRMM. Une nette amélioration est apportée par rapport à l'algorithme standard avec des performances globales meilleures.

Table des matières

CHAPITRE I.....	15
I.1 TELEDETECTION DE L'ATMOSPHERE DANS LE DOMAINE DES HYPERFREQUENCES	16
I.1.1 Mesures multi-canaux.....	16
I.1.2 Échantillonnage spatio-temporel de l'océan.....	17
I.2 MOTIVATION ET APPROCHE.....	18
I.2.1 Influence de la paramétrisation microphysique dans un modèle de transfert radiatif.....	20
I.2.2 Domaine de validité.....	22
I.2.3 Validation et apport des modèles neuronaux.....	22
I.3 ORGANISATION DE LA THESE.....	23
CHAPITRE II.....	27
II.1 PREAMBULE.....	28
II.2 LE PERCEPTRON MULTICOUCHE (PMC).....	29
II.2.1 Description d'un neurone formel.....	29
II.2.2 Architecture des PMC.....	31
II.2.3 Approximation de fonction.....	32
II.2.4 Apprentissage.....	33
II.2.5 Approche statistique de l'apprentissage	34
II.2.6 Principe de la rétropropagation du gradient.....	35
II.2.7 Des approximateurs universels.....	36
II.2.8 La base d'apprentissage	37
II.2.9 La base de test.....	37
II.3 MODELE NEURONAL MODULAIRE.....	38
II.3.1 Préambule.....	38
II.3.2 Principe général.....	38
II.3.3 Architecture	41
II.3.4 Fonction de coût	44
II.4 RESUME ET LIMITATIONS.....	44
CHAPITRE III.....	49
III.1 INTRODUCTION.....	49
III.2 LE DOMAINE DES HYPERFREQUENCES	50
III.3 THEORIE DU TRANSFERT RADIATIF	52
III.3.1 Généralités.....	52
III.3.2 Les paramètres de Stokes modifiés	52
III.3.3 L'équation du transfert radiatif (ETR) en milieu absorbant et diffusant.....	55

III.3.4	<i>Loi de Planck et approximation</i>	57
III.3.5	<i>Approximations de l'ETR</i>	59
III.3.6	<i>Discrétisation et application à l'atmosphère stratifiée</i>	62
III.3.7	<i>Méthodes de résolution de l'ETR</i>	63
III.4	ABSORPTION ET DIFFUSION PAR DES PARTICULES	64
III.4.1	<i>Notations et Définitions</i>	64
III.4.2	<i>Cas général non sphérique</i>	65
III.4.3	<i>Théorie de Mie</i>	67
III.4.4	<i>Approximation de Rayleigh</i>	68
III.5	MODELISATION DES CONTRIBUTIONS DE L'ATMOSPHERE ET DE LA SURFACE	69
III.5.1	<i>Contribution de la surface océanique</i>	70
III.5.2	<i>Contribution de l'atmosphère terrestre</i>	73
III.6	SENSIBILITE DES Tb	83
III.6.1	<i>Impact de la forme des particules d'eau liquide</i>	83
III.6.2	<i>Impact de la forme des particules de glace</i>	86
III.6.3	<i>Impact de la densité des particules de glace</i>	88
III.6.4	<i>Conclusions pour la paramétrisation microphysique du modèle de TR</i>	88
III.7	UN MODELE 1D, LIMITATIONS.....	89
CHAPITRE IV		93
IV.1	LES RADIOMETRES SPATIAUX SSM/I ET TMI.....	93
IV.1.1	<i>Le radiomètre SSM/I</i>	93
IV.1.2	<i>Le radiomètre TMI</i>	95
IV.2	CONSTRUCTION DES BASES DE DONNEES	96
IV.2.1	<i>Présentation et composition</i>	96
IV.2.2	<i>Sélection des données « homogènes »</i>	97
IV.2.3	<i>Échantillonnage</i>	98
IV.2.4	<i>Caractéristiques des bases SMSP et SMASP</i>	101
IV.3	COMPARAISON AVEC DES DONNEES SSM/I ET TMI	103
IV.3.1	<i>Rappel</i>	103
IV.3.2	<i>Comparaisons</i>	104
IV.4	CONCLUSION	107
CHAPITRE V		111
V.1	INTRODUCTION.....	111
V.2	DESCRIPTION DU MODELE ME.....	111
V.2.1	<i>Architecture</i>	111
V.2.2	<i>Spécialisation des experts</i>	114
V.3	COMPARAISON AVEC D'AUTRES ALGORITHMES STATISTIQUES.....	120
V.4	VALIDATION.....	124

V.4.1	<i>Introduction</i>	124
V.4.2	<i>Description des algorithmes de la littérature</i>	125
V.4.3	<i>Comparaison avec les algorithmes de la littérature</i>	128
V.5	CONCLUSION	138
CHAPITRE VI		143
VI.1	INTRODUCTION	143
VI.2	DESCRIPTION DU MODELE ME	143
VI.2.1	<i>Architecture</i>	143
VI.2.2	<i>Spécialisation des Experts</i>	145
VI.2.3	<i>Performances</i>	148
VI.2.4	<i>Comparaison avec un réseau PMC</i>	148
VI.3	VALIDATION DE L'ALGORITHME ME	151
VI.3.1	<i>Introduction</i>	151
VI.3.2	<i>Le satellite TRMM</i>	152
VI.3.3	<i>Les cas d'études</i>	155
VI.3.4	<i>Traitement des données du PR</i>	156
VI.3.5	<i>Détection des structures de pluies</i>	161
VI.3.6	<i>Classification pluie /sans pluie</i>	166
VI.3.7	<i>Comparaison dans les situations homogènes et stratiformes</i>	167
VI.3.8	<i>Fonctions de transfert</i>	172
VI.3.9	<i>Influence des situations hétérogènes et convectives</i>	175
VI.4	CONCLUSION	178
CHAPITRE VII		183
VII.1	SENSIBILITE DES TEMPERATURES DE BRILLANCE AUX PARAMETRISATIONS MICROPHYSIQUES DES PARTICULES	184
VII.2	ATOUTS DES METHODES NEURONALES	184
VII.3	« VALIDATION » DE L'ALGORITHME D'EAU LIQUIDE POUR SSM/I	185
VII.4	« VALIDATION » DE L'ALGORITHME DE PLUIE POUR TMI	185
VII.5	PERSPECTIVES	186
REFERENCES		187
ANNEXE A: RESOLUTION DE L'ETR-METHODE DES ORDONNEES DISCRETES		197
ANNEXE B : AUGMENTATION ARTIFICIELLE DE LA RESOLUTION		207
ANNEXEC: ARTICLE		209

