

Introduction générale

Chapitre I

L'étude du cycle de l'eau, et en particulier des précipitations, a depuis toujours suscité un grand intérêt car les enjeux sont aussi importants que variés. L'aspect économique est aujourd'hui de plus en plus important. La compréhension des phénomènes de sécheresses ou d'inondations est devenue indispensable au choix et à la répartition des cultures agricoles. Nos connaissances sur les cyclones et les orages violents, bien que souvent insuffisantes, permettent aujourd'hui de faire des prévisions à court terme et de limiter les dégâts humains et matériels.

Les études liées au cycle de l'eau interviennent également dans des secteurs de haute technologie. Le développement et la mise en place de réseaux de télécommunications nécessitent une bonne connaissance des interactions qui existent entre les ondes électromagnétiques et les particules d'eau présentes dans l'atmosphère. En effet, la pluie constitue la principale source de perturbation de la propagation des ondes hyperfréquences.

La forte variabilité à la fois spatiale et temporelle des précipitations les rend extrêmement difficiles à déterminer. Le premier instrument, encore utilisé actuellement pour mesurer la pluie, est le pluviomètre. Il est constitué d'un récipient permettant de mesurer le contenu d'eau liquide tombée en un temps donné. Ce n'est qu'après guerre que des radars installés au sol en réseaux ont fourni pour la première fois une description tridimensionnelle des systèmes orageux dans leur globalité, ainsi que des estimations de précipitations sur des zones étendues de l'ordre d'une centaine de kilomètres (Wexler, 1947). Le développement de tels réseaux sur des régions continentales sensibles est toujours d'actualité. Néanmoins, de tels outils ne permettent aucune estimation systématique des précipitations au-dessus

des océans, qui représentent plus de 70 % de la surface du globe. L'objectif de la présente introduction est de présenter le contexte scientifique concernant la télédétection hyperfréquence spatiale, permettant de préciser les raisons de la démarche mise en œuvre pour cette étude.

I.1 Télédétection de l'atmosphère dans le domaine des hyperfréquences

Lancé le 20 juin 1987, le premier radiomètre imageur SSM/I apporta la preuve de l'efficacité des techniques de télédétection hyperfréquence spatiale pour l'étude des précipitations. Dix ans plus tard, un nouveau satellite de télédétection TRMM a été lancé. Actuellement, nous nous trouvons dans une phase d'intensification des programmes par capteurs hyperfréquence spatiaux avec notamment le lancement du premier radiomètre « franco-indien » MADRAS sur MEGHA-TROPIQUES en 2005, et du radiomètre japonais AMSR sur ADEOS-2 en 2001. La futur mission nippon-américaine GPM (constellation de 9 satellites) devrait voir le jour en 2007.

I.1.1 Mesures multi-canaux

Les radiomètres cités précédemment sont des instruments qui mesurent le rayonnement émis par les constituants de l'atmosphère et par la surface. La mesure radiométrique est appelée température de brillance. Les fréquences d'observations se situent dans la gamme 1 GHz à 100 GHz correspondant à des longueurs d'onde de 30 cm à 3 mm. La grande dépendance de la mesure radiométrique aux différents constituants de l'atmosphère rend la restitution des précipitations délicate. Aujourd'hui, on résout ce problème par l'utilisation systématique de radiomètres multi-canaux permettant d'isoler les différents signaux atmosphériques : la glace aux hautes fréquences, la vapeur d'eau à 22 GHz et l'eau liquide aux basses fréquences (Ulaby, 1981).

L'estimation de la quantité d'eau dans l'atmosphère ou de la quantité de précipitations à la surface est donc basée sur la modification du rayonnement, émis par les constituants atmosphériques, et mesuré par les radiomètres (Figure I-1).

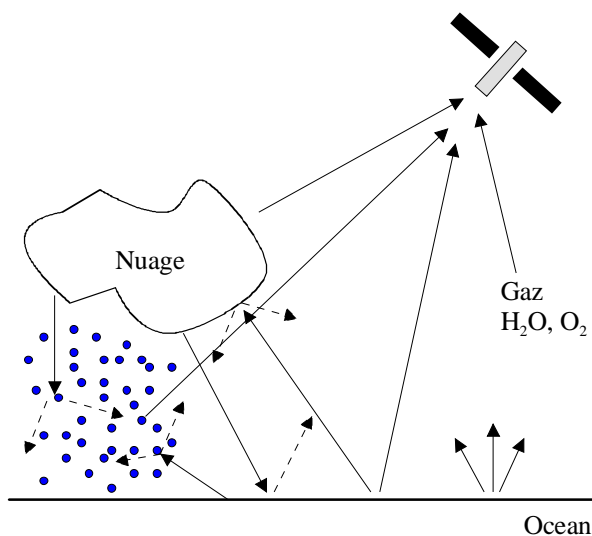


Figure I-1. Schéma conceptuel de la mesure radiométrique au-dessus de l'océan.

I.1.2 Échantillonnage spatio-temporel de l'océan

Les radiomètres hyperfréquences fournissent aujourd'hui de manière quasi continue de grandes quantités de mesures à l'échelle globale, avec lesquelles il est possible d'estimer les paramètres atmosphériques tels que le taux de précipitation. Ils permettent ainsi de pallier l'inhomogénéité des couvertures spatiales et temporelles des mesures conventionnelles in situ obtenues par navires océanographiques et par bateaux marchands. La Figure I-2 illustre la couverture des mesures TMI d'une journée.

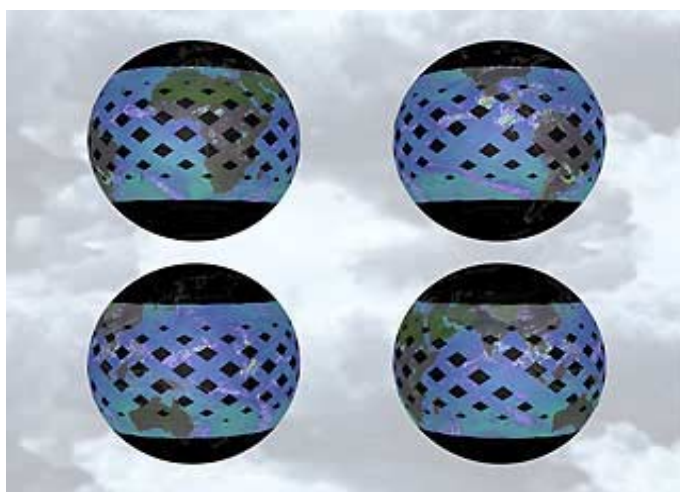


Figure I-2. Couverture globale des données TMI d'une journée. Globe terrestre sous 4 angles de vues.

(source : NASA)

I.2 Motivation et approche

Une meilleure connaissance du climat global passe aujourd'hui par une meilleure compréhension des mécanismes atmosphériques au-dessus des océans et en particulier dans les zones tropicales. En effet, les précipitations dans les régions tropicales (-30N, +30N) représentent les deux tiers des précipitations globales. Les tropiques étant couverts à 75% par les océans, seule une étude des précipitations depuis l'espace peut permettre une estimation globale dans le but d'améliorer les modèles de climat.

Cette surveillance de l'océan mondial doit permettre une meilleure compréhension de notre climat. En effet, la connaissance des taux de précipitation à la surface océanique de façon quasi instantanée doit permettre d'améliorer considérablement les modèles de circulation générale et les modèles de prévision du temps, par l'assimilation de ces données dans les modèles. Par exemple, des études sont aujourd'hui en cours sur l'assimilation de données de précipitations issues du radiomètre TMI dans le modèle météorologique de l'European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

A long terme, ces mesures sont un outil exceptionnel pour les études climatologiques. C'est en effet sous forme de chaleur latente lors de la condensation des nuages et de la formation et dissipation des précipitations, que les trois quarts de l'absorption de l'énergie par l'atmosphère se produisent.

Ainsi, l'estimation des précipitations et de la quantité d'eau liquide nuageuse dans l'atmosphère au-dessus des océans est d'un enjeu considérable. La grande difficulté de ces approches de télédétection hyperfréquence réside dans la description des divers mécanismes d'interactions des ondes électromagnétiques avec les composants atmosphériques.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés aux mesures des instruments radiométriques TMI de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) et SSM/I de la Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Ces instruments se distinguent par leur couverture spatiale des océans liée à la géométrie de mesure et par leurs fréquences qui sont 19, 22, 37, et 85 GHz pour SSM/I et 10, 19, 21, 37 et 85 GHz pour TMI.

D'autres capteurs fournissent des mesures de précipitation, tel que le radar spatial (PR) à bord de la plate-forme TRMM ; mais seuls les radiomètres permettent un échantillonnage quasi global. Les principes de détermination des quantités atmosphériques à partir des mesures de ces capteurs spatiaux sont basés sur des techniques statistiques liant les paramètres mesurés aux quantités atmosphériques recherchées.

Les différentes méthodes de restitution de constituants atmosphériques tels que les précipitations à partir de données radiométriques hyperfréquence peuvent être classées en deux grandes catégories : les algorithmes statistiques et les algorithmes itératifs. Les algorithmes statistiques consistent (1) à exprimer le taux de pluie comme une fonction de plusieurs températures de brillance (Bauer *et al.*, 1993 ; Adler *et al.*, 1993 ; Petty, 1990 ; Spencer *et al.*, 1989) ou (2) à rechercher par décision bayésienne le taux de pluie le plus probable à partir d'un ensemble d'exemples (Kummerow *et al.*, 1996). Les algorithmes itératifs sont basés sur l'utilisation d'un modèle de transfert radiatif et consistent à ajuster de manière itérative les températures de brillance simulées et mesurées en modifiant le modèle de nuage ou de précipitation (Obligis, 1996 ; Kummerow *et al.*, 1994 ; Kummerow *et al.*, 1989).

Les algorithmes de la deuxième catégorie ont l'avantage d'être transposables à une autre configuration d'observation (autres polarisation, fréquence et incidence) mais présentent deux contraintes majeures. Ils nécessitent des simplifications importantes de la structure et de la composition de l'atmosphère et sont beaucoup plus gourmands en temps de calcul que les autres algorithmes.

Les algorithmes de la première catégorie sont aujourd'hui les plus courants. Cependant, ces méthodes statistiques classiques présentent plusieurs inconvénients. En premier lieu, un modèle n'est pas transposable à une autre configuration d'observation. Par ailleurs, il est lié à une forme choisie explicitant la relation recherchée entre les températures de brillance et, par exemple, le taux précipitant. Or, dans le cas où cette forme ne rendrait pas compte de toute la complexité de cette relation, cette approche ne donnera pas de très bons résultats aussi bien en terme de prédiction, qu'en terme d'étude de processus.

Le premier inconvénient est inhérent aux méthodes statistiques et ne peut être surmonté. Par contre, il est possible de « capturer » des dépendances relationnelles complexes entre les

variables présentes dans les données sans qu'aucune réelle connaissance sur la représentation mathématique sous-jacente ne soit nécessaire, c'est à dire de déterminer une fonction $g : R^n \rightarrow R^m$ paramétrée par $W \in R^p$ telle que :

$$\bar{x} \rightarrow \bar{y} = g(W, \bar{x})$$

où \bar{x} représente les températures de brillance aux différentes fréquences et \bar{y} le paramètre atmosphérique que l'on souhaite estimer.

Les valeurs de W sont fixées par régression sur un échantillon de N couples $\{\bar{x}^i, \bar{y}^i\}_{i=1,N}$. C'est notamment le principe développé dans les méthodes statistiques de type réseaux de neurones et plus particulièrement dans le cas des perceptrons multicouches (PMC) et des réseaux multi-experts (ME) (Chapitre II).

Ce sont des systèmes paramétrés dont les paramètres sont déterminés de manière itérative par régression non-linéaire lors d'une phase d'apprentissage. Ces méthodes ont d'ailleurs déjà été appliquées dans le cas de la détermination du vecteur de vent à la surface océanique à partir de mesures diffusiométriques (Thiria *et al.* 1993).

Le propos de cette thèse est de travailler sur la restitution des contenus en eau liquide, dans les nuages, et sous forme de précipitation, au-dessus des océans à partir de données radiométriques, en utilisant des méthodes statistiques neuronales. L'utilisation de méthodes statistiques, et plus particulièrement de méthodes neuronales, nécessite l'emploi d'une méthodologie précise et rigoureuse. Ce travail s'articule autour de deux axes : (1) influence de la paramétrisation microphysique dans un modèle de transfert radiatif, (2) validation et apport des modèles neuronaux à la restitution des précipitations et de l'eau liquide nuageuse.

I.2.1 Influence de la paramétrisation microphysique dans un modèle de transfert radiatif

La qualité et les caractéristiques de l'algorithme d'inversion dépendent en premier lieu de celles de la base de données utilisée pour le définir. A ce titre, sa création nécessite un soin particulier. La base de données doit satisfaire deux critères : (1) avoir une bonne représentativité et (2) être statistiquement non biaisée.

Le premier critère nous impose de créer une base dans laquelle « toutes les situations météorologiques » sont présentes. C'est à dire, des situations correspondant aux différentes

latitudes terrestres. Ce critère implique la création d'une base de données de type simulée. En effet, les mesures de précipitations ou d'eau liquide au-dessus des océans sont trop limitées temporellement et spatialement pour pouvoir être utilisées dans cette étude.

La méthodologie employée nécessite l'utilisation d'un modèle de transfert radiatif, à partir duquel il est possible de simuler les températures de brillance à différentes fréquences et polarisations, connaissant la composition de l'atmosphère et de la surface océanique. Ces quantités géophysiques, représentatives des différentes situations météorologiques sur le globe, sont fournies par les modèles météorologiques de grande échelle (Figure I-3).

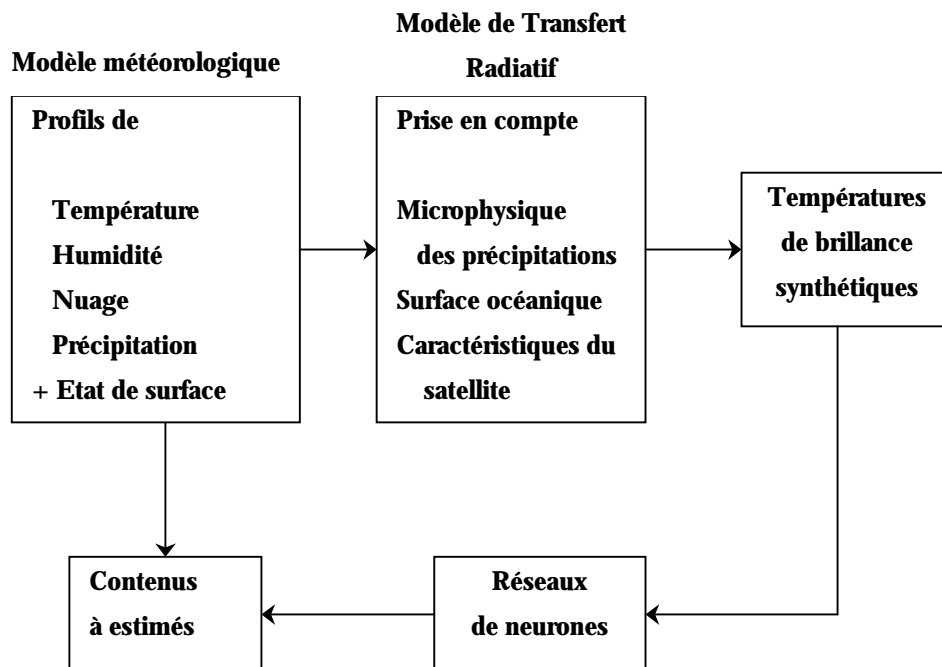


Figure I-3. Schéma de la méthodologie employée.

Le deuxième critère nous impose de simuler des températures de brillance qui sont statistiquement non biaisées. Ce critère implique une étude de l'influence des différents paramètres du transfert radiatif sur les températures de brillance. Typiquement, ce sont les paramètres qui décrivent la microphysique des particules de pluie et de glace ou la surface océanique (Chapitre III).

Nous essaierons de comprendre les interactions qui existent entre le signal mesuré par le radiomètre et les différents composants présents dans l'atmosphère. Pour ce faire, nous

développerons un nouveau modèle de transfert radiatif. Nous mettrons ainsi en évidence la précision et la pertinence des températures de brillance synthétiques que l'on simule.

I.2.2 Domaine de validité

Les outils employés dans cette étude nous imposent une contrainte concernant le type de situations météorologiques étudiées. En effet, les caractéristiques des températures de brillance synthétiques et à travers elles, celles des situations météorologiques, dépendent directement des caractéristiques du modèle météorologique et du modèle de transfert radiatif. Les données météorologiques utilisées proviennent pour une grande majorité du modèle ECMWF avec une résolution spatiale égale à 0.5 deg x 0.5 deg, ce qui correspond à l'équateur à 50kmx50km. Cette résolution est du même ordre de grandeur que celles des radiomètres SSM/I et TMI, respectivement aux fréquences de 19 GHz et 10 GHz.

Il est d'usage de distinguer deux types de situations précipitantes, stratiforme et convective, associées à des processus physiques de natures différentes. Il en résulte également des différences en terme de variabilité spatiale. Si les pluies stratiformes peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines de kilomètres de façon quasiment homogène, les pluies convectives sont associées à des structures beaucoup plus petites, de l'ordre de quelques kilomètres.

Le modèle de transfert radiatif développé au cours de cette étude est un modèle à 1 dimension, ce qui signifie qu'il permet de modéliser des atmosphères verticalement inhomogènes mais horizontalement homogènes (Kummerow *et al.* 1988). On le nomme : modèle « plan-parallèle ».

Les caractéristiques conjointes des données météorologiques et du modèle de transfert radiatif définissent ainsi le domaine de validité des algorithmes développés. Les problèmes liés à l'hétérogénéité horizontale de la pluie et des nuages sont volontairement négligés. On vérifiera lors de la validation les conséquences de cette simplification.

I.2.3 Validation et apport des modèles neuronaux

Nous comparerons, dans un premier temps, deux modèles neuronaux le Perceptron MultiCouches (PMC) et le Multi-Expert (ME) avec différents modèles statistiques actuellement utilisés pour la restitution de l'eau liquide nuageuse.

Nous mettrons en évidence l'apport des modèles ME par rapport aux PMC pour la restitution des précipitations. Puis nous validerons le modèle ME dans les régions tropicales, en effectuant des comparaisons avec des mesures radars spatiales.

I.3 Organisation de la thèse

Ce mémoire est organisé en 7 chapitres auxquels s'ajoutent les annexes. La présente introduction forme le chapitre I. La conclusion sera donnée au chapitre VII. Une présentation de la modélisation par réseaux de neurones de type PMC et ME constitue le chapitre II. Le chapitre III est consacré à la présentation et à la description du modèle de transfert radiatif. L'étude des influences des propriétés microphysiques des particules est également exposée dans ce chapitre. Le chapitre IV est consacré à la caractérisation et à la présentation des différentes bases de données simulées. La comparaison des modèles neuronaux avec les modèles classiques, pour la restitution de l'eau liquide nuageuse, constitue le chapitre V. Le chapitre VI est consacré à la validation du modèle neuronal pour la restitution des précipitations. Une analyse de l'influence des hétérogénéités horizontales des précipitations est également exposée dans ce chapitre.

