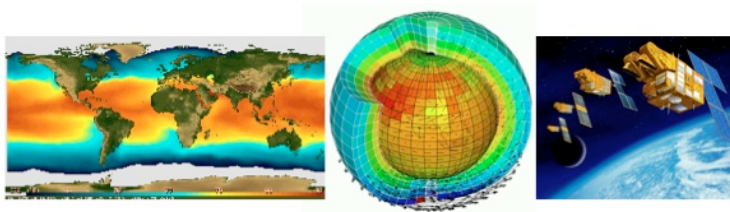


MASTER 2^{ème} année (M2) Océan, Atmosphère, Climat et Observations Spatiales

Université Pierre et Marie Curie
Ecole Normale Supérieure
Ecole Polytechnique
Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées
Ecole des Ponts ParisTech



Cours E11 – Transfert radiatif et télédétection

3 ECTS

Responsables :

Cyril Crevoisier (cyril.crevoisier@lmd.polytechnique.fr)

Stéphane Jacquemoud (jacquemoud@ipgp.fr)

Première partie – C. Crevoisier

Ce cours a pour but d'introduire les notions de transfert radiatif direct et inverse qui sont à la base de l'exploitation des observations spatiales du système Terre-Atmosphère. Après avoir replacé l'observation satellitaire dans le contexte de l'étude du climat, les grandeurs et lois fondamentales sont rappelées, ce qui conduit à l'établissement de l'équation de transfert radiatif qui donne le rayonnement émis par l'atmosphère et reçu au sommet de celle-ci. Cette équation fait intervenir diverses informations thermodynamiques, spectroscopiques et instrumentales qui sont définies et les principaux modèles radiatifs directs sont décrits. Enfin, le problème inverse qui consiste à passer des mesures aux variables atmosphériques est abordé et illustré par de nombreux exemples tirés de l'exploitation de missions spatiales actuelles.

Chapitre 1. Introduction au transfert radiatif

- 1.1. Complexité du système Terre-Atmosphère
- 1.2. Les grands cycles climatiques
- 1.3. Bilan radiatif terrestre
- 1.4. Intérêt de l'observation spatiale

Chapitre 2. Champs de rayonnement

- 2.1. Grandeurs énergétiques de base et unités
- 2.2. Caractéristiques des surfaces
- 2.3. Rayonnement du corps noir

Chapitre 3. Equation de transfert radiatif

- 3.1. Transmission atmosphérique
- 3.2. Etablissement de l'équation de transfert radiatif
- 3.3. Application au rayonnement montant

Chapitre 4. Equilibre thermodynamique local

- 4.1. Equilibre thermodynamique
- 4.2. Niveaux d'énergie
- 4.3. Fonction source d'émission
- 4.4. ETL et atmosphère terrestre

- Chapitre 5. Spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre
 - 5.1. Transitions électroniques, vibrationnelles et rotationnelles
 - 5.2. Résolution spectrale
 - 5.3. Banques de données spectroscopiques
- Chapitre 6. Transmission atmosphérique
 - 6.1. Coefficient d'absorption et facteur de transmission
 - 6.2. Formes de raie
 - 6.3. Chemin géométrique
 - 6.4. Largeur équivalente
 - 6.5. Modèles raie-par-raie
 - 6.6. Modèles de bande
- Chapitre 7. Compléments sur l'équation de transfert radiatif
- Chapitre 8. Inversion de l'équation de transfert radiatif
 - 8.1. Problèmes directs et inverses
 - 8.2. Fonction de poids
 - 8.3. Inversion de l'ETR
- Chapitre 9. Sondage vertical par satellites
 - 9.1. Généralités
 - 9.2. Les types de plateformes
 - 9.3. Les satellites polaires de la NOAA
 - 9.4. AIRS : Atmospheric Infrared Sounder
 - 9.5. IASI : Infrared Atmospheric Sounding Interferometer

Cyril Crevoisier est Chargé de Recherche au CNRS au Laboratoire de Météorologie Dynamique (Palaiseau) dans l'équipe Atmosphère-Biosphère-Climat (télédétection) – Analyse du Rayonnement Atmosphérique. Ses recherches portent sur l'étude de la variabilité et de l'évolution du climat à partir de l'observation spatiale, avec un intérêt particulier pour l'observation depuis l'espace des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄) et des signaux associés (feux de biomasse, ...).

Page web : <http://www.lmd.polytechnique.fr/~crevoisi/>

Seconde partie – S. Jacquemoud

Ce cours de 9 heures est une synthèse qui reprend et développe un certain nombre de notions introduites par ailleurs. Sont abordées les interactions entre le rayonnement électromagnétique et l'atmosphère, la quantification des termes du bilan énergétique du système Terre-atmosphère, et les méthodes de télédétection permettant de l'étudier. Ce cours ne demande pas de pré-requis particuliers mais la connaissance des cours RE2 (obstacles et cibles), TR (introduction au transfert radiatif) et de certains cours des modules optionnels est un plus.

Plan détaillé du cours :

- I. Propriétés physico-chimiques de l'atmosphère
 - I.1. Les gaz atmosphériques
 - I.2. Les aérosols
 - I.3. Les nuages
- II. Le rayonnement électromagnétique
 - II.1. Quelques rappels
 - II.2. Les sources de rayonnement
 - II.3. La constante solaire
 - II.4. Calcul de l'angle zénithal solaire
- III. Interactions entre le rayonnement électromagnétique et l'atmosphère
 - III.1. Absorption par les gaz
 - III.2. La diffusion simple

- III.3. Conséquence : la loi de Langley-Bouguer
- III.4. La diffusion multiple : équation de transfert radiatif
- IV. Bilan radiatif à la surface de la Terre
 - IV.1. Le rayonnement solaire global
 - IV.2. Le rayonnement de l'atmosphère
 - IV.3. Le rayonnement terrestre
 - IV.4. Le rayonnement net
 - IV.5. Bilan d'énergie
 - IV.5. Bilans radiatif et d'énergie annuels et globaux
- V. Caractérisation de l'atmosphère par télédétection
 - V.1. Dans le domaine optique
 - V.2. Dans l'infrarouge thermique
 - V.3. Dans les micro-ondes
 - V.4. Capteurs de télédétection dédiés à la recherche
- VI. Références
 - VI.1. Ouvrages et articles
 - VI.2. CD-ROM
 - VI.3. Adresses Internet
- VII. Annexes
 - A. Loi de déplacement de Wien
 - B. Loi de Stefan-Boltzmann

Liste des concepts clefs, des notions essentielles du cours :

atmosphère, rayonnement, propagation dans les milieux absorbants et diffusants, impact sur le climat, méthodes de mesure des paramètres par satellite.

Organisation du cours :

Cours uniquement. Quelques semaines avant l'examen, distribution d'un article scientifique en anglais que les étudiants doivent lire et sur lequel ils seront interrogés. Distribution d'un polycopié rédigé d'une quarantaine de pages et mise en ligne des transparents du cours.

Stéphane Jacquemoud est professeur à l'université Paris Diderot et chercheur à l'Institut de Physique du Globe de Paris dans l'équipe de Géophysique spatiale et planétaire. Ses recherches portent sur la télédétection des surfaces naturelles dans le domaine optique. Elles recouvrent aussi bien la compréhension de la physique des signaux radiométriques (spectroradiométrie, problèmes de calibration, corrections atmosphériques) que le développement d'outils mathématiques d'analyse des données (modèles de transfert radiatif, analyse multispectrale, inversion de modèles mathématiques). Actuellement, trois axes de recherche sont particulièrement développés : i) mesure précise de la topographie par altimétrie LiDAR ; ii) cartographie de la composition minéralogique et biochimique des surfaces naturelles ; iii) recherche de signes de vie sur les exoplanètes.

<http://www.ipgp.fr/~jacquemoud>