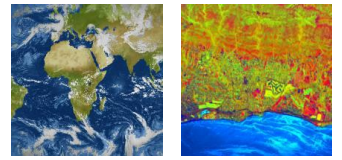


<http://teledetection.ipgp.fr/mpt>

Université de Paris, Sorbonne Université
Institut de Physique du Globe de Paris
Université Paris-Saclay
Ecole Normale Supérieure, Ecole Polytechnique
ENSTA ParisTech, École des Ponts ParisTech



M2 Fundamentals of Remote Sensing

Last update: Wednesday, March 06, 2019

Module « Radiative Transfert in the Atmosphere and the Ocean »

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

Other teachers: Sébastien Payan

Credits: 3 ECTS

Molecular spectroscopy

Teacher: Sébastien Payan (sebastien.payan@latmos.ipsl.fr)

Summary: molecular spectroscopy is a key method to determine the spectral signature of the Earth and the other planets of the Solar system, as well as the exoplanets. It aims at recording the electromagnetic radiation reflected or emitted by a target (surface or atmosphere) in very narrow wavebands. In particular it plays an essential role in the monitoring of the evolution of our atmosphere (aerosols and gas molecules). In the next decades, large telescopes will extend observation to new spectral domains and boost the search for life on exoplanets. New instruments designed to analyze the chemical composition of the Earth's lower atmosphere (greenhouse gases, pollutants, etc.) use technologies that allow measurements of spectra with very high spectral resolution and signal-to-noise ratios. The interpretation of these spectra requires mastering theoretical and experimental spectroscopic analysis techniques.

Organization: 2x3h30 lectures.

Books

J.M. Flaud (1992), *Spectroscopie des molécules d'intérêt atmosphérique*, Ecole d'été du CNRS.

J.M. Hollas (2003), *Spectroscopie*, Dunod, 400 pp.

J.M. Hollas (2004), *Modern spectroscopy*, John Wiley & Sons, Inc., 482 pp.

S. Payan (2013), *Radiative transfer and inversion*, Ecole d'été du CNRS "HiResMIR@CAES-Frejus-2013", Fréjus (France), 3-7 June 2013.

L. Régalia, H. Tran, M. Leperec (2015), *SpecAtmo summer school trainings*, Fréjus (France).

J. Vander Auwera (2013), *Principles of vibration-rotation spectroscopy*, Ecole d'été du CNRS "HiResMIR@CAES-Frejus-2013", Fréjus (France), 3-7 June 2013.

Outline

- Introduction : notions de physique de l'atmosphère (structure verticale de l'atmosphère, nomenclature, constituants majoritaires et minoritaires), interactions matière-rayonnement
- Les méthodes expérimentales : spectromètre réseau, spectroscopie par transformée de Fourier et spectroscopie par diodes laser, Lidar
- La physique moléculaire – les mouvements moléculaires et leurs énergies : énergies électroniques, énergies vibrationnelles (oscillateur harmonique, modes normaux, anharmonicité), énergies rotationnelles (modèle du rotateur rigide, conventions et classification en molécules linéaires, symétriques, asymétriques, sphériques, influence de la non rigidité), résonances entre niveaux d'énergie et perturbations des raies (notions de couplage entre bandes vibrationnelles)
- La physique moléculaire – symétrie moléculaire et applications de la théorie des groupes : notions de groupes ponctuels, symétrie des modes normaux de vibration, symétrie des états vibrationnels excités, symétrie des niveaux de rotation
- Analyse spectrale – règles de sélection et types de bandes : bandes « parallèles », « perpendiculaires », « bandes chaudes », « bandes de combinaison », « bandes harmoniques ou overtones »
- Analyse spectrale – les paramètres spectraux : positions des raies, intensités des raies (coefficients d'absorption, facteur de transmission, statistique de spins, facteur de population de Boltzmann), intensités de bandes (sections efficaces d'absorption), profil des raies (Gaussien, Lorentzien, Voigt, fonction d'appareil), les banques de données spectroscopiques pour l'atmosphère et l'astrophysique
- Exemples : spectres de rotation pure, spectres de vibration-rotation, spectres électroniques
- TD1 : calcul des niveaux d'énergie et fréquences des raies de molécules atmosphériques
- TD2 : symétrie moléculaire et règles de sélection
- TD3 : identification des raies d'absorption dans un spectre satellitaire.

Sébastien Payan is a professor at "[Sorbonne Université](#)" and a researcher at "Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales" ([LATMOS](#)). His research focuses on the analysis of atmospheric spectra for the remote measurement of the chemical composition of the atmosphere from the ground, balloons and satellites.

Introduction to Radiative Transfer

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

Summary: this lecture introduces the concepts of direct and inverse radiative transfer, which underlie the study of the Earth's atmosphere using remote sensing satellites, in the context of climate studies. The physical variables and fundamental laws are reminded, leading to the derivation of the radiative transfer equation that calculates the electromagnetic radiation transmitted or emitted by the atmosphere and measured at the top of it. This equation involves various thermodynamic, spectroscopic and instrumental information. The main radiative transfer codes are described. Finally, the inverse problem that consist in extracting atmospheric variables from radiometric measurements is discussed and illustrated by numerous examples involving present space missions.

Organization: 6x3h30 lectures.

Books

Outline

- Introduction au transfert radiatif : complexité du système Terre-atmosphère, les grands cycles climatiques, bilan radiatif terrestre, intérêt de l'observation spatiale
- Champs de rayonnement : grandeurs énergétiques de base et unités, caractéristiques des surfaces, rayonnement du corps noir
- Equation de transfert radiatif : transmission atmosphérique, établissement de l'équation de transfert radiatif, application au rayonnement montant
- Equilibre thermodynamique local : équilibre thermodynamique, niveaux d'énergie, fonction source d'émission, ETL et atmosphère terrestre
- Spectre d'absorption de l'atmosphère terrestre : transitions électroniques, vibrationnelles et rotationnelles, résolution spectrale, banques de données spectroscopiques
- Transmission atmosphérique : coefficient d'absorption et facteur de transmission, formes de raie, chemin géométrique, largeur équivalente, modèles raie-par-raie, modèles de bande
- Compléments sur l'équation de transfert radiatif : cas particuliers en ciel clair, phénomènes de diffusion, ETR dans les cas de diffusions
- Inversion de l'équation de transfert radiatif : problèmes directs et inverses, fonction de poids, inversion de l'ETR
- Sondage vertical par satellite : généralités, les types de plateformes, les satellites polaires de la NOAA, AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)

Cyril Crevoisier a CNRS researcher at "Laboratoire de Météorologie Dynamique" ([LMD](#)) in the "Atmosphère Biosphère Climat (télédétection)" ([ABCt](#)) team. His research focuses on climate variability and evolution from space observation, with a particular interest in greenhouse gases (CO₂, CH₄) and associated signals (biomass fires, ...).