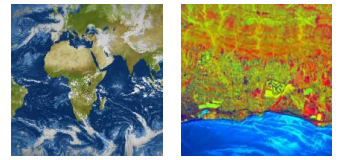


<http://teledetection.ipgp.fr/mpt>

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 « Satellite Orbits »

Head: Florent Deleflie (florent.deleflie@imcce.fr)

Other teachers: Michel Capderou, Armel Kerrest

Credits: 3 ECTS

Celestial Mechanics

Teacher: Florent Deleflie (florent.deleflie@imcce.fr)

Summary: this lecture presents the fundamental laws of space mechanics that govern the movement of bodies around the Earth. It is illustrated with examples, analyzing differences in Keplerian movement and the conditions of observation from the ground. It also provides the characteristics of the main orbits of Earth observation satellites, with emphasis on the orbits of the GNSS satellites.

Organization: 4x3h lectures.

Books

Capderou M. (2005), *Satellites – Orbits and missions*, Springer, 564 pp.

Kaula W.M. (2000), *Theory of satellite geodesy : Applications of satellites to geodesy*, Dover Publications, 140 pp.

Murray C.D., Dermott S.F. (2000), *Solar System dynamics*, Cambridge University Press, 608 pp.

Outline

- Introduction : définition de l'orbitographie, position du problème ; le mouvement vu comme un senseur de forces (restitution d'orbite) ; différents types d'orbites
- Généralités sur l'environnement spatial : environnements gravitationnel et non gravitationnel ; caractérisation des environnements planétaires ; le cas spécifique du système Terre ; analyse de mission et physique fondamentale
- Problème des deux corps
- Propagation numérique d'une orbite perturbée : principes généraux (repère de travail, bilan des forces) ; écriture des équations du mouvement ; principes de l'intégration numérique ; algorithmes classiques d'intégration numérique ; applications et aspects qualitatifs en dynamique orbitale
- Les équations du mouvement perturbé : principes de l'approche ; équations planétaires de Lagrange ; équations de Gauss
- Développement en harmoniques sphériques : loi de la gravitation et potentiel ; écriture du développement ; interprétation des premiers termes
- Bilan des forces intervenant en dynamique orbitale : forces d'origine gravitationnelle (potentiel interne, potentiel externe, autres forces gravitationnelles) ; forces d'origines non gravitationnelles
- Mise en évidence des perturbations orbitales : terme principal en J2 (illustration numérique, interprétation analytique) ; autres termes du champ de gravité ; autres perturbations
- Principes de la restitution d'orbite : équations variationnelles ; approches itératives pour le calcul d'orbite ; stratégies de calcul d'orbites
- Conclusions, discussions, exercices...

Florent Deleflie is an astronomer at the "Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides" ([IMCCCE](http://imcce.fr)). He is also a member of the "Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale" (GRSG). His research focuses on short- and medium-term trajectory analysis, the calculation of precise geodetic satellite orbits as well as the stability of the movement in the very long term. He is the author of several softwares developed in partnership with CNES, in particular the STELA software used to verify the adequacy of a parking orbit in agreement with the "Loi sur les Opérations Spatiales" (LOS).

Satellite Orbits

Teacher: Michel Capderou (capderou@lmd.polytechnique.fr)

Summary: this lecture is based on the concepts acquired in the "Celestial Mechanics" class to apply them more specifically to the orbit of satellites. By studying the relative movements between the orbit, the Earth

and the Sun, it is focused on Earth observation satellites (and the very important case of sun-synchronous satellites). It also studies the trace of satellites, their repetitiveness, the evolution of their altitude, as well as the geometric conditions of shooting (swath, spatial and temporal sampling). It ends with a brief study of satellites around Mars or other celestial bodies.

Organization: 3x3h lectures + 3h dedicated to the [IXION](#) software.

Books

Capderou M. (2003), *Satellites – Orbites et missions*, Springer (Berlin, Paris), 504 pages.

Capderou M. (2005), *Satellites – Orbits and missions*, Springer (Berlin), 564 pages.

Capderou M. (2012), *Satellites : de Kepler au GPS*, Springer (Berlin, Paris), 866 pages.

Capderou M. (2014), *Handbook of Satellite Orbits: from Kepler to GPS*, Springer (New York), 933 pages.

Outline

- **Rappels et applications** : ellipsoïde terrestre, latitude géodésique et latitude géocentrique ; anomalies v , E et M , moyen mouvement ; paramètres orbitaux (éléments képlériens) métriques et angulaires ; potentiel terrestre
- **Satellite en orbite réelle (perturbée)** : liste des perturbations ; étude du mouvement perturbé par la méthode de Lagrange (ébauche) ; variations séculaires ; variations à longue période, à courte période ; différentes définitions de la période
- **Mouvement orbite / Terre / Soleil** : précession nodale, précession apsidale ; calcul effectif de la période et de l'altitude ; mouvements de la Terre (diurne, annuel), mouvement des pôles ; mouvement apparent du Soleil (déclinaison, équation du temps) ; satellites géosynchrones, maintien à poste ; satellites héliosynchrones, maintien en orbite
- **Trace du satellite** : trace d'orbite circulaire, d'orbite elliptique ; utilisation des éléments orbitaux NORAD
- **Orbite par rapport au Soleil (passage, heure)** : heure de passage et satellite héliosynchrone ; cycle de précession ; dérive de l'heure locale
- **Orbite par rapport à la Terre (phasage, altitude)** : contrainte de phasage ; diagramme de phasage ; grille de référence ; altitude au cours d'une révolution ; orbite gelée
- **Vue depuis le satellite** : fauchée des instruments, géométrie de visée ; échantillonnage spatial et temporel ; tableaux mensuels d'échantillonnage
- **Satellite d'autre corps céleste** : satellite de Mars ; satellite d'autre planète, de satellite naturel

Michel Capderou is an assistant professor at "[Sorbonne Université](#)" and a researcher at "Laboratoire de Météorologie Dynamique" ([LMD](#)). His research focuses on the Earth's radiative budget, space mechanics and orbital strategy.

Space Law

Teacher: Armel Kerrest

Summary:

Organization: 3x3h lectures.

Books

Achilleas P. (2009), *Droit de l'espace : télécommunication, observation, navigation, défense, exploration*, Larcier, 384 pp.

Martin A., Couston M., Ravillon L. (2009), *Galileo : chronique d'une politique spatiale européenne annoncée*, Lexis Nexis, 346 pp.

Kerrest A. et Collectif (2007), *L'adaptation du droit de l'espace à ses nouveaux défis : mélanges en l'honneur de Simone Courteix*, Editions A. Pedone, 318 pp.

Ravillon L. (1997), *Les télécommunications par satellite, aspects juridiques*, Lexis Nexis, 509 pp.

Ravillon L. (2003), *Le droit des activités spatiales : adaptation aux phénomènes de commercialisation et de privatisation*, Lexis Nexis, 678 pp.

Ravillon L. (2005), *Le droit des activités spatiales à l'aube du XXIe siècle*, Lexis Nexis, 349 pp.

Ravillon L. (2008), *Gestion et partage des risques dans les projets spatiaux : questions d'actualité*, Editions A. Pedone.

Outline

- **Les sources du droit de l'espace** : sources internationales (traités spatiaux), sources internes (lois spatiales), sources contractuelles
- **L'encadrement juridique des activités spatiales** : télécommunications par satellite, télédétection par satellite, navigation par satellite, véhicules suborbitaux habités et tourisme spatial
- **La gestion contractuelle des risques engendrés par les activités spatiales**
- **Les aspects contentieux**

Armel Kerrest is a distinguished professor of public law at [Université de Bretagne Occidentale](#). He founded the "Institut de droits des espaces internationaux et des télécommunications" and he is the president of the "Association pour le développement du droit de l'espace en France" (ADDEF).