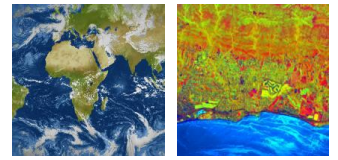


<http://teledetection.ipgp.fr/ssng>

Université Paris Diderot
Institut de Physique du Globe de Paris
Ecole Nationale des Sciences Géographiques
Ecole Normale Supérieure



Master 2 *Systèmes spatiaux de navigation et géolocalisation*

Dernière mise à jour : mercredi 14 septembre 2016

Module « Mécanique spatiale et orbitographie »

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

Autres enseignants : Florent Deleflie

Crédits : 3 ECTS

Cours « Mécanique spatiale »

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

Résumé : nous présentons les grandes lois de la mécanique spatiale qui régissent le mouvement des corps autour de la Terre. La présentation est illustrée d'exemples pratiques, en analysant les écarts au mouvement képlérien et les conditions d'observation depuis le sol. Nous donnons aussi les caractéristiques des grandes familles d'orbites, en insistant sur les orbites de la classe des GNSS.

Organisation : 4x3h de cours/TD.

Ouvrages

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.

Plan

- 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 est astronome à l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides ([IMCCE](http://imcce.fr)), et travaille sur un projet de Pôle d'Etude sur l'Environnement Terrestre à l'Observatoire de Paris. Il est également membre du Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale ([GRSG](http://grsg.fr)). Ses travaux portent sur l'analyse de trajectoire sur le court et le moyen terme, le calcul d'orbites précises de satellites géodésiques ainsi que la stabilité du mouvement sur le très long terme. Il est l'auteur de plusieurs logiciels développés en partenariat avec le CNES, en particulier le logiciel STELA utilisé pour vérifier l'adéquation d'une orbite parking avec les spécifications de la Loi sur les Opérations Spatiales.

Cours « Orbitographie »

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

Résumé : ce cours s'appuie sur les bases acquises en mécanique spatiale pour appliquer plus spécifiquement ces notions à l'orbite des satellites. En étudiant les mouvements relatifs entre l'orbite, la Terre et le Soleil, on s'intéresse particulièrement aux satellites d'observation de la Terre (et le cas très important des héliosynchrones). On étudie aussi la trace des satellites (et les répétitivité de traces), l'évolution de leur altitude, ainsi que les conditions géométriques de prise de vue (fauchée des instruments, échantillonnage spatio-temporel). On termine par une brève étude des satellites autour de Mars ou d'autres corps célestes.

Organisation : 4x3.5h de cours, dont 3 heures effectuées avec matériel informatique pour l'utilisation du logiciel **IXION** (orbitographie et échantillonnage).

Ouvrages

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.

Plan

- 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 est maître de conférences à l'université Pierre et Marie Curie ([UPMC](http://www.upmc.fr)) et chercheur au Laboratoire de Météorologie Dynamique ([LMD](http://www.lmd.polytechnique.fr)). Ses travaux de recherche portent sur le bilan radiatif de la Terre, sur la mécanique spatiale et la stratégie orbitale.