

Sismologie

F. Chambat – 30 h

Plan du cours

I. Séismes et sismomètres

1. Répartitions spatiale et temporelle des séismes, tectonique des plaques.
2. Failles et mécanisme au foyer, diagramme de radiation, contraintes, cycle sismique.
3. Sismicité. Aléa et risque sismique. Magnitude et intensité.
4. Sismomètres, principe, réseaux. Sismogrammes, composantes, identification des arrivées.
5. Localisation des séismes.

II. Oscillateurs

1. Physique de l'oscillateur : contrainte, déformation, amortissement.
2. Oscillations libre et forcée non amorties ; pulsation, amplitude, phase, fréquence propre, résonnance, modulation.
3. Oscillation libre et forcée amorties ; sinusoïde amortie, fonction de transfert, régimes inertiel et élastique. Le sismomètre.
4. Oscillation à plusieurs degrés de liberté; modes propres.

III. Onde élastique sonore à 1D

1. Physique de l'onde sonore dans un tuyau. Compressibilité, adiabaticité, équation des ondes.
2. Solution générale (progressive). Illustration : sismogramme, ondes P et S.
3. Solutions harmoniques, solutions stationnaires. Vitesse, longueur d'onde, nombre d'onde.
4. Milieux bornés et modes propres, rappels sur les séries et la transformée de Fourier. Illustration : spectre de modes.
5. Réflexion, transmission. Illustration : sismogramme, ondes PP, PKP etc.
6. Impédance, énergie, puissance, intensité, atténuation géométrique et physique. Illustration : atténuation physique sur un sismogramme.

IV. Élasticité - ondes P et S en milieu isotrope et homogène

1. Contraintes et déformation.
2. Principe de l'élasticité linéaire. Elasticité linéaire isotrope. Equation de Navier.
3. Ondes P et S en milieu homogène. Existence des deux types d'ondes à partir de l'équation de Navier.
4. Ondes planes, polarisation, fronts, rais, ondes sphériques.

V. Ondes P et S en milieu inhomogène ou anisotrope

1. Notions de thermo-élasticité. Variation des vitesses avec P, T et avec la chimie.
2. Ondes P et S en milieu inhomogène : théorie des rais.
3. Rais et temps de parcours dans une Terre sphérique.
4. Construction et interprétation d'hodochrones.
5. Construction numérique d'un modèle moyen de V_p .
6. Introduction à l'anisotropie sismique.
7. Introduction au principe de la tomographie de temps de parcours.

VI. Ondes de surface

1. Ondes de Rayleigh. Solution de l'équation d'onde. Mouvement associé.
2. Ondes de Love. Interférences dans un guide d'ondes.
3. Dispersion. Vitesses de groupe et de phase. Sismogrammes.
4. Mode fondamental et harmoniques. Profondeur de pénétration. Interprétation de cartes de vitesse.

VII. Modes propres

1. Sismogrammes longue période. Spectre en fréquence. Fréquences propres.
2. Modes radiaux d'une sphère fluide homogène. Comparaison avec les données.
3. Modes de la Terre sphérique auto-gravitante.
4. Construction d'un modèle sphérique de densité de la Terre.

Conclusion : Principe de la construction d'un modèle sphérique et d'un modèle 3D de Terre.

Quelques applications numériques pourront être traitées sur ordinateur par les étudiants ; p. ex. la construction d'un modèle de vitesse 2D (tomographie). Une partie du cours, notamment la théorie des ondes surfaces et des modes propres, sera probablement faite dans le cours de 2e semestre PTP2.

Attendus : les étudiants devraient, comprendre le lien entre séismes, propagation d'ondes sismique et les sismogrammes, savoir relier les lois de propagation avec les hodochrones, connaître les traits caractéristiques des ondes guidées et des ondes stationnaires, comprendre les principes de construction des modèles de Terre.

Bibliographie (tous ces livres sont à la bibliothèque de l'ENS)

- *Montagner, Sismologie*
- et aussi, en sismologie :
- Shearer, Introduction to seismology
- Lay & Wallace, Modern global seismology
- et plus généralement en géophysique :
- Larroque & Virieux, Physique de la Terre solide
- Nataf & Sommeria, La Physique et la Terre
- Lowrie, Fundamentals of geophysics
- Dubois & Diament, Géophysique
- Brahic & col., Sciences de la Terre
- www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/

Exercices

1. Analyse de la répartition des séismes en magnitude et en temps.
2. Exercice sur le sismomètre vertical simplifié : avec mouvement du sol et sans amortissement.
3. Polarisation des ondes P, S, L, R. Enregistrement par des sismomètres sur les 3 composantes. Analyse de sismogrammes. Phases, ondes converties, ondes de surface, modes.
4. Exercice : démontrer l'équation d'onde dans un tuyau sonore.
5. Solutions de l'équation d'onde.
6. Equation de Navier. Ondes P et S.
7. Analyse de fronts, rais et temps de parcours dans une Terre sphérique.
8. Détermination simplifiée du rayon du noyau.
9. Ondes de Rayleigh. Solution de l'équation d'onde.
10. Modes radiaux d'une sphère fluide homogène.
11. Tomographie - Les plaques plongeantes
12. Construction numérique d'un modèle de vitesse à partir de données.

Sismologie

F. Chambat – 30 h

Référentiel

I. Séismes et sismomètres

1. connaître la répartition des séismes à l'échelle mondiale
2. savoir relier cette répartition à la tectonique des plaques
3. connaître la signification de la magnitude et de l'intensité
4. connaître la distribution temporelle des séismes en fonction de la magnitude
5. connaître les étapes d'un cycle sismique
6. savoir donner la définition d'un mécanisme au foyer
7. savoir tracer le diagramme de radiation d'une faille en décrochement
8. savoir expliquer ce qu'est une sphère focale
9. savoir donner le principe de fonctionnement d'un sismomètre
10. savoir reconnaître les 3 composantes d'un sismogramme
11. savoir identifier les arrivées des phases principales sur un sismogramme
12. savoir localiser un séisme avec 3 sismogrammes ou un sismogramme à 3 composantes

II. Oscillateurs

1. pouvoir donner des exemples d'oscillateur
2. savoir identifier les types de forces en jeu dans un oscillateur amorti
3. savoir donner l'équation différentielle régissant l'oscillateur amorti
4. savoir donner sa solution ; connaître les notions de pulsation, d'amplitude, de phase, de fréquence, de fréquence propre, de résonance, d'amortissement, de solution propre et de solution forcée

III. Onde élastique sonore à 1D

1. savoir écrire le p.f.d. et la compressibilité dans un fluide en 1D
2. savoir en déduire l'équation des ondes
3. savoir montrer que $f(x-ct)+g(x+ct)$ est la solution générale (progressive)
4. savoir discuter les solutions harmoniques (en $e^{i\omega t}$)
5. connaître les notions de vitesse, de longueur d'onde, de nombre d'onde
6. savoir appliquer des conditions aux limites pour un milieu borné
7. connaître le principe du développement en série de Fourier
8. connaître le principe de détermination des coefficients de réflexion et de transmission

IV. Élasticité - ondes P et S en milieu isotrope et homogène

1. savoir définir les tenseurs des contraintes et des déformations
2. connaître l'équation de la dynamique vérifiée par le tenseur des contraintes
3. connaître la loi de Hooke
4. savoir en déduire l'équation de Navier de l'élasticité linéaire isotrope
5. savoir démontrer l'existence de solutions en ondes P et S
6. connaître les notions de polarisation, fronts, rais, d'ondes planes, d'ondes sphériques

V. Ondes P et S en milieu inhomogène ou anisotrope

1. savoir identifier dans les modèles de Terre des variations des paramètres élastiques et des vitesses avec la profondeur, la pression, la température et la chimie
2. connaître le principe d'établissement de la théorie des rais
3. connaître le principe de la propagation d'un rai connaissant la vitesse dans le milieu
4. savoir exprimer le temps de parcours et la distance épacentrale d'un rai dans une Terre sphérique
5. savoir relier hodochrones, rais et modèle de vitesse dans une Terre sphérique
6. connaître le principe de construction d'un modèle moyen de vitesse dans la Terre et d'un modèle 3D (tomographie) à partir des temps de parcours
7. savoir décrire qualitativement ce qu'est l'anisotropie sismique

VI. Ondes de surface

1. savoir donner la forme générale et les conditions d'existence d'une onde de surface
2. savoir calculer la forme d'une onde de Rayleigh en milieu homogène plan
3. connaître la forme d'une onde de Love
4. savoir ce que sont la dispersion, les vitesses de groupe et de phase, une profondeur de pénétration
5. connaître le principe de l'obtention de données sur les ondes de surface

VII. Modes propres

1. connaître la définition d'un mode propre
2. connaître le principe de l'obtention de données de fréquences propres terrestres
3. connaître la forme générale et les propriétés essentielles des modes sphéroïdaux et toroïdaux
4. savoir calculer les modes radiaux d'une sphère fluide homogène sans gravité
5. savoir expliquer le principe de construction d'un modèle sphérique de densité de la Terre

Conclusion : savoir expliquer le principe de construction d'un modèle sismique moyen de Terre et d'un modèle 3D.

Sismologie

M1 – Sciences de la Terre et des Planètes

ENS Lyon – UCB Lyon

Responsable du cours : F. Chambat,

cours écrits rédigés par les étudiants :

I. Séismes et sismomètres [Elodie Brothelande]

II. Oscillateurs [Julie Cosmidis]

III. Onde élastique sonore à 1D [Nicolas Puchol et Samuel Jeanne]

IV. Élasticité - ondes P et S en milieu isotrope et homogène [Stéphanie Dumont]

V. Ondes P et S en milieu inhomogène ou anisotrope [Maia Kuga & Benoit Vanniere]

VI. Ondes de surface [Anne-Sophie Drouet & Maylis Landeau]

VII. Modes propres [Marc Geiller]