

M1. Cinématique du point.

1. Propos de la cinématique.
2. Cadre spatio-temporel de la cinématique newtonienne.
 - 2.1. Notion d'événement.
 - 2.2. Repère de temps.
 - 2.3. Repères d'espace.
 - 2.4. Notion de référentiel.
 - i) Définition.
 - ii) Référentiels usuels.
 - iii) Mouvement.
 - iv) Trajectoire d'un point mobile.
 - v) Relativité du mouvement.
 - 2.5. Hypothèses implicites de la mécanique newtonienne.
3. **Systèmes usuels de coordonnées.**
 - 3.1. Coordonnées cartésiennes.
 - 3.2. Coordonnées cylindro-polaires.
 - i) Repérage d'un point.
 - ii) Base locale.
 - iii) Relations entre les coordonnées cylindro-polaires et cartésiennes.
 - 3.3. Coordonnées sphériques.
 - i) Repérage d'un point.
 - ii) Base locale.
4. **Dérivation d'une fonction vectorielle.**
 - 4.1. Définition.
 - 4.2. Propriétés.
 - 4.3. Expression de la dérivée en coordonnées cartésiennes.
 - 4.4. Dérivée des vecteurs de la base locale des coordonnées cylindro-polaires.
5. **Vitesse d'un point.**
 - 5.1. Vecteur vitesse.
 - 5.2. Expression en coordonnées cartésiennes.
 - 5.3. Expression en coordonnées cylindro-polaires.
6. **Accélération d'un point.**
 - 6.1. Vecteur accélération.
 - 6.2. Expression en coordonnées cartésiennes.
 - 6.3. Expression en coordonnées cylindro-polaires.
7. **Exemples de mouvements.**
 - 7.1. Mouvement de vecteur accélération constant.
 - 7.2. Mouvement rectiligne sinusoïdal.
 - 7.3. Cas du mouvement circulaire.
8. **Hodographe.**
 - 8.1. Espace des vitesses.
 - 8.2. Définition de l'hodographe.

M2. Dynamique du point dans un référentiel galiléen.

1. Masse et quantité de mouvement d'un point matériel.

- 1.1. Masse.
- 1.2. Quantité de mouvement.

2. Forces exercées sur un point matériel.

- 2.1. Définition.
- 2.2. Additivité des forces.
- 2.3. Classification des forces.
- 2.4. Forces usuelles en mécanique.
 - i) Force gravitationnelle. Force électrique.
 - ii) Tension d'un ressort.
 - iii) Contact entre deux solides.
 - iv) Forces de frottement fluide. Résistance de l'air.

3. Lois de Newton.

- 3.1. Première loi de Newton : Principe de l'inertie.
 - i) Enoncé.
 - ii) Référentiel galiléen.
- 3.2. Deuxième loi de Newton : Principe fondamental de la dynamique.
 - i) Enoncé.
 - ii) Relativité galiléenne.
- 3.3. Troisième loi de Newton : Principe des actions réciproques.
 - i) Enoncé.
 - ii) Conservation de la quantité de mouvement.

4. Applications.

- 4.1. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.
 - i) Sans résistance de l'air. Mouvement parabolique
 - ii) Cas d'une force de frottement proportionnelle à la vitesse.
- Mouvement d'une masse accrochée à un ressort dont l'autre extrémité est fixe.

M3. Puissance et énergie.

1. Puissance d'une force.

- 1.1. Définition.
- 1.2. Exemples de forces de puissance nulle.
- 1.3. Additivité.

2. Travail d'une force.

- 2.1. Travail élémentaire.
 - i. Définition.
 - ii. Expression.
- 2.2. Travail au cours d'un déplacement fini.
- 2.3. Forces conservatives.
 - i. Définition.
 - ii. Exemples.
 - a) Particule dans le champ de pesanteur.
 - b) Particule chargée dans le champ électrostatique créé par une charge ponctuelle.
 - c) Particule soumise à l'action d'un ressort.

3. Théorème de l'énergie cinétique. Cas d'un référentiel galiléen.

- 3.1. Théorème de la puissance cinétique.
- 3.2. Théorème de l'énergie cinétique.
- 3.3. Théorème de l'énergie cinétique et équation du mouvement. Exemple.

4. Energie potentielle dans les problèmes à un degré de liberté.

- 4.1. Définition.
- 4.2. Energies potentielles de quelques champ de forces.
 - i. Energie potentielle newtonienne.
 - ii. Energie potentielle de pesanteur.
 - iii. Energie potentielle élastique.
- 4.3. Expression du champ de force à partir de l'énergie potentielle dont il dérive.
- 4.4. Equilibre d'un point matériel dans un champ de forces.
 - i. Problème à un degré de liberté.
 - ii. Condition d'équilibre.
 - iii. Stabilité de l'équilibre.

5. Energie mécanique d'un point matériel.

- 5.1. Définition.
- 5.2. Théorème de l'énergie mécanique. Cas d'un référentiel galiléen.
- 5.3. Conservation de l'énergie mécanique. Intégrale première de l'énergie.
- 5.4. Discussion qualitative d'un mouvement à un degré de liberté en évolution conservative.

M4. Oscillateur harmonique. Oscillateur amorti.

1. Oscillateur harmonique.

- 1.1. Définition.
- 1.2. Propriétés.
- 1.3. Evolution de $x(t)$.
- 1.4. Etude énergétique.
 - i) Invariant de l'énergie mécanique.
 - ii) Equipartition de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle.
- 1.5. Exemple du pendule élastique vertical.

2. Portrait de phase.

- 2.1. Définition.
- 2.2. Propriétés des trajectoires de phase.
- 2.3. Portrait de phase d'un oscillateur harmonique.
 - i) Equation des trajectoires de phase.
 - ii) Portrait de phase dans le plan $(x, y = \frac{\dot{x}}{\omega_0})$.
 - iii) Aspect énergétique.
- 2.4. Portrait de phase d'un pendule simple en évolution conservative.

3. Oscillateur harmonique amorti par frottement visqueux.

- 3.1. Equation différentielle du mouvement.
- 3.2. Nature du mouvement.
- 3.3. Etude énergétique.
 - i) Puissance des forces de frottement.
 - ii) Cas du régime pseudo-périodique.
- 3.4. Portrait de phase.
 - i) Point attracteur.
 - ii) Aspect énergétique. Irréversibilité.

M5. Oscillations forcées. Résonances.

1. Modèle de l'oscillateur étudié.

- 1.1. Description : Oscillations forcées par déplacement de l'oscillateur.
- 1.2. Equation différentielle du mouvement. Solution générale de la réponse en élongation.

2. Réponse forcée à une excitation sinusoïdale.

- 2.1. Importance de ce cas.
- 2.2. Réponse harmonique en élongation.
 - i) Solution de la réponse en élongation. Méthode de la représentation complexe.
 - ii) Etude de $X_m(u)$.
 - iii) Etude du déphasage de la réponse en élongation.
- 2.3. Réponse harmonique en vitesse.
 - i) Expression de l'amplitude complexe de la vitesse.
 - ii) Etude de $V_m(u)$.
 - iii) Etude du déphasage de la réponse en vitesse.
- 2.4. Impédance mécanique.
- 2.5. Etude énergétique.

3. Analogies électromécaniques.

M6. Théorème du moment cinétique.

1. Moment d'une force.

- 1.1. Outil mathématique : produit vectoriel.
- 1.2. Moment d'une force par rapport à un point.
- 1.3. Moment d'une force par rapport à un axe orienté.

2. Moment cinétique d'un point matériel dans un référentiel R .

- 2.1. Moment cinétique par rapport à un point.
- 2.2. Moment cinétique par rapport à un axe orienté.

3. Théorème du moment cinétique dans un référentiel galiléen R .

- 3.1. Théorème du moment cinétique par rapport à un point fixe d'un référentiel galiléen.
- 3.2. Théorème du moment cinétique par rapport à un axe fixe d'un référentiel galiléen.
- 3.3. Conservation du moment cinétique : Mouvement à force centrale.
 - i) Définition.
 - ii) Conservation du moment cinétique.
 - iii) Mouvement plan. Loi des aires.
 - iv) Formules de Binet.

M7. Force centrale conservative. Mouvement newtonien.

1. Force centrale conservative.

- 1.1. Définition
- 1.2. Champ de force conservatif.
- 1.3. Attraction et répulsion.
- 1.4. Interaction newtonienne.
 - i) Interaction de gravitation.
 - a) Loi de gravitation.
 - b) Champ de gravitation.
 - ii) Interaction coulombienne.
 - iii) Fonction énergie potentielle.

2. Lois de conservation.

- 2.1. Conservation du moment cinétique.
 - i) Loi des aires. Deuxième loi de Kepler.
 - ii) Formules de Binet. Rappels
- 2.2. Conservation de l'énergie mécanique.
 - i) Expression.
 - ii) Énergie potentielle effective.
 - iii) Discussion qualitative du mouvement radial
- 2.3. Loi de conservation caractéristique de l'interaction newtonienne : Conservation du vecteur de Runge-Lenz.

3. Mouvement newtonien.

- 3.1. Équation des trajectoires.
 - i) Première méthode : Conservation de l'énergie mécanique.
 - ii) Deuxième méthode : Vecteur de Runge-Lenz.
 - iii) Troisième méthode : Relation fondamentale de la dynamique.
- 3.2. Relation entre excentricité et énergie mécanique.
- 3.3. Mouvement hyperbolique ($e > 1$).
- 3.4. Mouvement parabolique ($e = 1$).
- 3.5. Mouvement elliptique ($0 < e < 1$).
 - i) Première loi de Kepler.
 - ii) Troisième loi de Kepler.
 - iii) Variation de la vitesse sur l'ellipse.
- 3.6. Cas particulier où $e = 0$.

4. Mouvement des satellites terrestres.

- 4.1. Cadre de l'étude.
- 4.2. Vitesses cosmiques.
 - i) Vitesse circulaire.
 - ii) Vitesse parabolique.

M8. Changements de référentiels. Cinématique.

- 1. Position du problème et notations.**
- 2. Translation. Rotation autour d'un axe fixe.**
 - 2.1. Translation.
 - 2.2. Rotation autour d'un axe fixe.
- 3. Dérivées d'un vecteur par rapport au temps relatives à R et R'.**
 - 3.1. R' est en rotation autour d'un axe fixe de R.
 - i) Description des référentiels.
 - ii) Dérivée dans R des vecteurs unitaires de R'.
 - iii) Dérivées d'un vecteur dans R et dans R'.
 - 3.2. R' est en translation par rapport à R.
 - 3.3. R' est en mouvement quelconque par rapport à R.
- 4. Composition des vecteurs rotation.**
- 5. Composition des vitesses.**
 - 5.1. Loi de composition.
 - 5.2. Point coïncident. Vitesse d'entraînement.
 - 5.3. Cas particuliers.
 - i) Cas d'une translation de R' par rapport à R.
 - ii) Cas où R' est en rotation par rapport à R autour d'un axe fixe.
- 6. Composition des accélérations.**
 - 6.1. Loi de composition.
 - 6.2. Accélération d'entraînement.
 - 6.3. Accélération de Coriolis.

M9. Dynamique du point dans un référentiel non galiléen. Forces d'inertie.

1. Loi de la dynamique dans un référentiel non galiléen.

- 1.1. Caractère galiléen d'un référentiel
- 1.2. Enoncé du principe fondamental dans un référentiel non galiléen.
- 1.3. Cas particuliers.
 - i) Translation.
 - a) Mouvement de translation suivant un axe horizontal.
 - b) Mouvement de translation d'une cabine d'ascenseur suivant la verticale.
 - b.1. Poids apparent.
 - b.2. Impesanteur
 - ii) Rotation uniforme autour d'un axe fixe.
- 1.4. Statique du point matériel dans un référentiel non galiléen.

2. Théorème du moment cinétique dans un référentiel non galiléen.

3. Energie cinétique et puissance en référentiel non galiléen

- 3.1. Théorème de l'énergie cinétique.
- 3.2. Forces d'inertie non conservatives.
 - i) Cas général.
 - ii) Cas d'un référentiel R' non galiléen en rotation autour d'un axe fixe d'un référentiel R galiléen.
- 3.3. Energie mécanique d'un pont matériel dans un référentiel non galiléen.

M10. Caractère galiléen approché du référentiel géocentrique ou d'un référentiel terrestre.

1. Les référentiels d'étude. Hypothèses et notations.

2. Dynamique dans le référentiel géocentrique.

- 2.1. Relation fondamentale de la dynamique dans le référentiel géocentrique.
- 2.2. Terme différentiel ou terme de marée.
- 2.3. Caractère quasi-galiléen du référentiel géocentrique en domaine terrestre.
- 2.4. Effets du terme différentiel.
 - i) Effet d'accélération différentiel.
 - ii) Théorie statique des marées océaniques.

3. Dynamique dans le référentiel terrestre.

- 3.1. Expression de la loi fondamentale de la dynamique dans le référentiel terrestre.
- 3.2. Définition expérimentale du poids d'un corps.
- 3.3. Relation fondamentale de la dynamique simplifiée.
- 3.4. Importance des termes axifuge et de Coriolis.
- 3.5. Mise en évidence de la force de Coriolis terrestre.
 - i) Mouvement dans le plan horizontal : déviation d'une particule mobile dans l'hémisphère nord.
 - ii) Mouvement vertical : déviation vers l'est lors d'une chute libre.

M11. Système de 2 points matériels.

1. Eléments cinétiques.

- 1.1. Barycentre.
- 1.2. Résultante cinétique.
 - i) Définition.
 - ii) Vitesse du barycentre.
- 1.3. Moment cinétique.
 - i) Définition.
 - ii) Moment cinétique par rapport à un axe.
- 1.4. Energie cinétique.
- 1.5. Référentiel barycentrique.
 - i) Définition.
 - ii) Résultante cinétique dans R^* .
 - iii) Moment cinétique barycentrique.
- 1.6. Théorèmes de Kœnig.
 - i) Théorème de Kœnig relatif à l'énergie cinétique.
 - ii) Théorème de Kœnig relatif au moment cinétique.

2. Etude dynamique.

- 2.1. Forces extérieures et forces intérieures à un système.
- 2.2. Théorème de la quantité de mouvement.
- 2.3. Théorème du moment cinétique.
 - i) Expression dans un référentiel galiléen.
 - ii) Théorème du moment cinétique barycentrique.
 - iii) Théorème scalaire du moment cinétique.
- 2.4. Cas d'un référentiel non galiléen.
- 2.5. Lois de conservation.

3. Etude énergétique.

- 3.1. Puissance des forces intérieures.
- 3.2. Théorème de l'énergie cinétique.
 - i) Théorème de la puissance cinétique.
 - ii) Théorème de l'énergie cinétique.
- 3.3. Energie potentielle.
 - i) Cas des forces intérieures.
 - ii) Energie potentielle totale.
- 3.4. Energie mécanique.
 - i) Définition.
 - ii) Théorème de l'énergie mécanique.

4. Système isolé de deux points matériels. Réduction canonique.

- 4.1. Réduction canonique d'un problème à deux corps.
 - i) Notation. Hypothèses. Objet du problème.
 - ii) Mouvement d'ensemble des particules. Caractère galiléen du référentiel barycentrique.
 - iii) Mouvement relatif des particules.
 - iv) Mouvement des particules dans R .
 - v) Mouvement barycentrique des particules. Réduction canonique.
- 4.2. Lois de conservation.
 - i) Conservation de la quantité de mouvement.
 - ii) Conservation du moment cinétique.
 - iii) Energie cinétique.
 - iv) Conservation de l'énergie mécanique.
 - v) Energie potentielle effective.