

PLAN DU COURS

Plan général

L'ensemble des documents distribués en cours peut être téléchargé sur le site internet : physiquecarnotsupiv.blog.free.fr

OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LA PHYSIQUE ET GÉNÉRALITÉS (1)

FORMULAIRE SUR LES PÉRIMÈTRES, SURFACES ET VOLUMES DE RÉFÉRENCE.

EQUATIONS DIMENSIONNELLES

DÉRIVÉES D'UNE FONCTION

MESURES ET INCERTITUDES

Premier semestre

- **Thème 1 : ondes et signaux (1)**
 - Formation des images
 - Signaux électriques dans l'ARQS
 - Circuit linéaire du premier ordre
 - Oscillateurs libres et forcés
 - Filtrage linéaire
 - Propagation d'un signal

- **Thème 2 : mouvements et interactions (1)**
 - Description et paramétrage du mouvement d'un point
 - Lois de Newton
 - Approche énergétique du mouvement d'un point matériel
 - Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétostatique, uniformes et stationnaires

Deuxième semestre

- **Thème 2 : mouvements et interactions (2)**
 - Moment cinétique
 - Mouvements dans un champ de force centrale conservatif
 - Mouvement d'un solide

- **Thème 3 : l'énergie : conversions et transferts**
 - Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre
 - Énergie échangée par un système au cours d'une transformation
 - Premier principe. Bilans d'énergie
 - Deuxième principe. Bilans d'entropie
 - Machines thermiques
 - Statique des fluides dans un référentiel galiléen

- **Thème 1 : ondes et signaux (2)**
 - Induction et forces de Laplace
 - Champ magnétique
 - Actions d'un champ magnétique
 - Lois de l'induction
 - Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps
 - Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

 - Introduction à la physique quantique

PLAN DU COURS

Plan détaillé

OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LA PHYSIQUE ET GÉNÉRALITÉS

FORMULAIRE SUR LES PÉRIMÈTRES, SURFACES ET VOLUMES DE RÉFÉRENCE.

Périmètre d'un rectangle, d'un cercle.

Surface d'un rectangle, d'un triangle, d'un parallélogramme, d'un trapèze, d'un disque, d'une sphère.

Volume d'un cube, d'un prisme droit, d'un cylindre de révolution, d'une sphère.

EQUATIONS DIMENSIONNELLES

1. Dimension et unité d'une grandeur physique :
Grandeurs fondamentales et dérivées. Dimension, étalon de mesure, unité. Equation aux dimensions.
2. Applications :
Vérification de l'homogénéité dimensionnelle d'une expression.
Etablissement d'une relation par analyse dimensionnelle.

DERIVÉES D'UNE FONCTION

1. Taux d'accroissement, passage à la limite.
2. Fonction dérivée première.
3. Dérivées successives.
4. Notations : de Lagrange, de Leibniz.
5. Extrémum d'une fonction.
6. Courbe dérivée, courbe intégrale.
7. Dérivation composée.

OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LA PHYSIQUE ET GÉNÉRALITÉS

Dérivée partielle d'une fonction à plusieurs variables.

1. Fonctions à plusieurs variables : quelques exemples.
2. Dérivées partielles.
3. Application au calcul d'incertitude : cas d'une somme ou d'une différence de grandeurs, cas d'un produit ou d'un rapport ou d'une expression en puissance.

Intégration : primitives et intégrales définies (Polycopié de rappels).

1. Primitives : notation, famille de primitive, primitive particulière répondant à une condition limite.
2. Intégrales définies : notation, interprétation graphique. Calcul par variation de primitive ou calcul par intégration numérique (évoqué).

Différentielle d'une fonction.

1. Différentielle d'une fonction à une variable.
2. Utilisation pour le calcul approché de variations. Principe, exemples d'application : variation de la puissance dissipée dans un résistor. Variation de la position de l'image dans un montage de projection.
3. Différentielle d'une fonction à plusieurs variables.
4. Différentielle logarithmique et variation relative.
- 5.

N.B. : Seules les dérivées partielles du premier ordre ont été définies ; l'intégration aux dérivées partielles n'est pas envisageable à ce niveau.

OUTILS MATHÉMATIQUES

1. Repérage de l'espace, systèmes de coordonnées (rappel): coordonnées cartésiennes, cylindriques (ou cylindro-polaires), sphériques.
2. Éléments dans les différents systèmes de coordonnées : Déplacements, surfaces et volumes élémentaires.

3. Calcul d'intégrales multiples à variables séparables : Rappels sur l'intégration : primitives et intégrales définies. Principe de l'intégration multiple, cas des intégrales multiples à variables séparables.
4. Application au calcul d'intégrales multiples : surface d'un disque, d'une sphère, volume d'une sphère. Intégration d'une grandeur scalaire distribuée en surface ou en volume ; exemple : masse d'une sphère non homogène (masse d'une étoile à partir d'un modèle de densité non uniforme).

Formulaire de géométrie : les expressions des aires et volumes relatifs aux solides usuels (parallélépipède, sphère, cylindre) doivent être parfaitement mémorisées, et doivent pouvoir être ré-établies par intégration d'un élément de surface ou de volume judicieusement choisi.

5. Gradient d'un champ scalaire.
 - 5.1 Champ scalaire, champ de vecteur.
 - 5.2 Définition du vecteur gradient et signification.
 - 5.3 Expression : expression en coordonnées cartésienne, détermination de l'expression à partir de la relation de définition.
 - 5.4 Propriétés du vecteur gradient.
 - 5.5 Application : cas des forces conservatives

MESURES ET INCERTITUDES

Le chapitre sur les incertitudes sera abordé par le biais d'un polycopié de référence auquel on se reportera à l'occasion de son exploitation en travaux pratiques.

L'objectif est assimilation progressive des notions et méthodes présentées par la pratique s'étendant sur l'ensemble de l'année.

Introduction

- 1 Variabilité et incertitude-type**
 - 1.1 La variabilité en science expérimentale
 - 1.2 L'incertitude-type
 - 1.3 Interprétation de l'incertitude-type
 - 1.4 Comparaison de deux mesures
- 2 Estimation du résultat d'une mesure et de l'incertitude-type**
 - 2.1 Expériences sans variabilité observée (incertitudes de type B)
 - 2.2 Expériences avec variabilité observée (incertitudes de type A)
- 3 Les incertitudes-type composées**
 - 3.1 Incertitude-type composées de type somme
 - 3.2 Incertitudes-type composées de type produit
 - 3.3 Incertitudes-type composées quelconques
- 4 La régression linéaire**
 - 4.1 Principe
 - 4.2 Quand utiliser une régression linéaire ?
 - 4.3 Application par méthode Monte-Carlo
- 5 Annexe 0 : écart-type pour une loi de probabilité uniforme.**
- 6 Annexe 1 : Méthode Monte-Carlo pour estimer des incertitudes-types**
 - 6.1 Incertitude-type composée
 - 6.2 Régression linéaire

THEME 1 : ONDES ET SIGNAUX

OPTIQUE GEOMETRIQUE

Introduction : nature de la lumière.

1. Généralités.
 - 1.1 Sources lumineuses. Spectre continu, spectre discret. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.
 - 1.2 Indice optique. Définition, variation de la longueur d'onde avec le milieu.
 - 1.3 Phénomène de dispersion
 - 1.4 L'approximation de l'optique géométrique, notion de rayon lumineux : Aspect ondulatoire ; Propagation rectiligne de la lumière, notion de rayon lumineux. Principe de propagation rectiligne, principe de retour inverse de la lumière, principe de l'indépendance des rayons lumineux.
2. Diffraction :

Diffraction par une fente, largeur angulaire du pic principal. Diffraction par une pupille circulaire.
3. Réfraction et réflexion, lois de Snell-Descartes.
 - 3.1 Lois pour la réflexion.
 - 3.2 Lois pour la réfraction.
 - 3.3 Réfraction limite et réflexion totale.
 - 3.4 Application : la fibre optique à saut d'indice.
4. Image réelle, image virtuelle, objet réel, objet virtuel.
 - 4.1 Miroir plan : Construction de l'image, image virtuelle.
 - 4.2 Position et grandissement de l'image par un miroir plan
 - 4.3 Champs d'un miroir
 - 4.4 Images données par des lentilles minces (évoqué).
 - 4.5 Espace objet, espace image.
5. Conditions de Gauss
 - 5.1 Stigmatisme et aplanétisme, stigmatisme et aplanétisme approchés.
 - 5.2 Énoncé des conditions de Gauss.
6. Lentilles minces dans les conditions de Gauss.
 - 6.1 Définitions et caractéristiques. Conditions de minceur, centre optique. Caractère focal, foyers, distance focale, vergence.
 - 6.2 Construction géométrique des images dans l'approximation de Gauss.
 - 6.3 Relation de conjugaison et grandissement transversal.

Relation conjugaison et de grandissement selon Newton (origine aux foyers)
Relation conjugaison et de grandissement selon Descartes (origine au centre optique)
 - 6.4 Image d'un objet très éloigné. Diamètre angulaire apparent.
 - 6.5 Condition de projection d'un objet réel en une image réelle : $D \geq 4.f$.
7. L'oeil.
 - 7.1 Modélisation.
 - 7.2 Accommodation.
 - 7.3 Résolution angulaire ou pouvoir séparateur.
8. L'appareil photographique.
 - 8.1 focale de l'objectif, taille de l'image.
 - 8.2 Diaphragme : ouverture, durée d'exposition.
 - 8.3 Profondeur de champ.
9. Systèmes de lentilles.
 - 9.1 Méthode générale.
 - 9.2 Foyers d'un système.
 - 9.3 Cas des systèmes afocaux. Exemple : la lunette de Galilée.
 - 9.4 Exemple : étude d'un microscope.
10. Annexe : construction géométrique des rayons traversant une lentille mince.

SIGNAUX ELECTRIQUES DANS L'ARQS

1. Lois générales dans le cadre de l'approximation stationnaire :

Ce premier chapitre est notamment l'occasion de définir physiquement les grandeurs électriques.

Courant électrique. Intensité d'un courant électrique. Orientation d'un conducteur, définition algébrique de l'intensité. Intensité conservative en régime stationnaire. Approximation des régimes quasi-stationnaires. Loi des nœuds. Potentiel, référence de potentiel, tension ou d.d.p. : sens physique (évoqué) ; caractère algébrique des tensions ; loi des mailles.

2. Dipôles ; conventions d'orientation, définitions, associations : Conventions d'orientation pour un dipôle. Puissance reçue par un dipôle. Exemples d'application.
Qualification des dipôles : caractéristique courant-tension, dipôle actif, passif, symétrique. Dipôles de base : résistor et loi d'Ohm, générateur idéal de tension, générateur idéal de courant. Point de fonctionnement : détermination graphique, calcul.
3. Modélisations linéaires de dipôles actifs : Modèle de Thévenin ou modèle générateur de tension. Modèle de Norton ou modèle générateur de courant (évoqué). Equivalence Thévenin-Norton (évoqué). *Le modèle de Norton, les théorèmes de Thévenin et Norton ne figurent pas au programme de Sup PCSI.*
Exemples : alimentation d'un moteur par un générateur en courant continu ; modélisation linéaire d'une diode en régime passant.
4. Association de résistors, en série ou en dérivation.
Association de dipôles de Thévenin en série.
5. Diviseur de tension. Diviseur de courant.
6. Résistance de sortie, résistance d'entrée. Problématique générale.

Exercices d'application.

Les exercices d'électricité seront très simples et les circuits ne comporteront qu'un très petit nombre de mailles. Il s'agit ici de se familiariser avec la représentation de Thévenin (celle de Norton n'étant qu'évoquée), et avec les lois des mailles et des nœuds.

On bannira les exercices employant un va et vient entre les représentations de Thévenin et Norton, qui ne relèvent que de la simple technicité.

Les notions de résistance d'entrée et de résistance de sortie ont été introduites, mais on ne peut attendre des élèves une maîtrise conceptuelle de ces notions qui ne pourra s'acquérir qu'après une certaine pratique (notamment à travers des situations expérimentales).

REGIMES TRANSITOIRES DU PREMIER ORDRE.

1. Propriétés des dipôles R, L ou C : Observations : effet capacitif, effet inductif sur le cas d'un circuit R-C (resp. R-L) soumis à une tension crête. Relations courant-tension, ordres de grandeurs pour R, L et C : Résistor (rappels), Condensateur : relation fondamentale, capacité, relation courant tension. Bobine : relation tension courant, inductance. Continuité des grandeurs i ou u dans ces dipôles. Comportement en régime permanent continu. Associations de dipôles L ou C.
2. Circuits du premier ordre : Régime libre d'un circuit RC. Constante de temps, durées caractéristiques. Réponse indicielle d'un circuit RC (charge d'un condensateur à travers une résistance). Circuit RL en régime libre. Etablissement du courant dans un circuit inductif.
Conjointement à la résolution analytique, on insiste sur les conditions de continuité et les conditions limites qui permettent la détermination sans calcul des allures des solutions.
3. Puissances et énergies dans R, L et C. Bilan énergétique. Méthode générale, illustration sur l'exemple de la charge d'un condensateur.

OSCILLATEURS ELECTRIQUES ET MECANIQUES LIBRES

A. OSCILLATEUR HARMONIQUE NON AMORTI.

Introduction : observation expérimentale

1. Modèle de l'oscillateur harmonique non amorti :
 - 1.1 Equation de l'oscillateur harmonique : cas d'un oscillateur mécanique. Forme canonique, pulsation propre.
 - 1.2 Le circuit L-C. Pulsation propre.
2. Résolution de l'équation :
 - 2.1 Solution générale.
 - 2.2 Interprétation.
 - 2.3 Vitesse et accélération.
 - 2.4 Prise en compte des conditions initiales.
3. Etude énergétique de l'oscillateur harmonique :
 - 3.1 Système conservatif.
 - 3.2 Puits de potentiel.
 - 3.3 Bilan énergétique des oscillations.

- 3.4 Obtention de l'équation du mouvement.
- 3.5 Bilan énergétique pour le circuit LC.
- 4. Retour sur l'observation :
 - 4.1 Pendule élastique vertical : mise sous forme canonique de l'équation du mouvement.
 - 4.2 Présence de frottements.
- 5. Reconnaître l'équation de l'oscillateur harmonique.
Reconnaissance formelle, expression de la pulsation propre. Exemple : pendule simple.

B. OSCILLATEURS AMORTIS

1. Introduction : Observation expérimentale d'un oscillateur mécanique amorti ; observation expérimentale des différents régimes transitoires d'un circuit RLC série,
2. Equation de l'oscillateur mécanique amorti : Mise en équation, mise sous forme canonique, pulsation propre, facteur de qualité.
3. Mise en équation du circuit RLC série. Forme canonique de l'équation, pulsation propre, facteur de qualité.
4. Analogie électrocinétique circuit RLC – oscillateur amorti par frottement fluide linéaire : analogie formelle des équations, commentaire sur le sens physique des grandeurs.
5. Bilans en puissances. Analogies sur les grandeurs énergétiques.
6. Etude analytique du cas du RLC série en régime libre : régimes aperiodiques, critiques et pseudopériodiques. Pseudo période, facteur de qualité. Durée caractéristique d'amortissement. Décrément logarithmique : expression théorique et détermination expérimentale, sa définition étant fournie.

L'étude mathématique des solutions pour l'oscillateur mécanique est formellement identique à celle conduite sur le cas d'un circuit RLC série en régime libre.

Un polycopié d'auto-évaluation a été distribué, pour guider l'apprentissage de cette partie assez technique.

7. RLC série en réponse indicielle : expression générale et allures de la solution selon les différents régimes.
8. Activités diverses :
Rôle du facteur de qualité : tracé pour différentes valeurs typiques au moyen de la calculatrice graphique.

RLC série en réponse indicielle, bilan énergétique. Etude graphique de la solution à la calculatrice (traité en exercice)

Exemples méthodologiques : Mise en équation pour un circuit du deuxième ordre à deux mailles. Recherche des conditions initiales, détermination du régime permanent sans calcul différentiel.

Une connaissance parfaite du cours doit être exigée. La résolution des équations différentielles linéaires du second ordre à coefficients constants a fait l'objet d'un chapitre du cours de mathématiques. Elle a, à nouveau, été détaillée lors de l'étude des différents régimes libres du circuit RLC série. C'est un outil usuel pour le physicien. Elle doit donc être traitée sans hésitations.

REGIME SINUSOÏDAL FORCE ET RESONANCE

OSCILLATIONS FORCÉES

1. Introduction : Observations expérimentales d'un oscillateur mécanique et d'un circuit RLC série ; examen de la simulation d'un circuit RLC soumis à un générateur de tension sinusoïdal en régime transitoire. Interprétation, Régime Sinusoïdal Forcé. Sur le cas du RLC série, mise en équation et discussion des solutions.
2. Grandeurs de description d'un signal sinusoïdal : paramètres du signal (amplitude, pulsation, fréquence et période...). Valeur moyenne ou composante continue. Valeur efficace ou moyenne quadratique ou valeur RMS, signification physique.
3. Représentation d'une grandeur sinusoïdale. Vecteur de Fresnel et notation complexe. Introduction, lois de Kirchoff en notation complexe, visualisation dans le plan complexe.
4. Dipôles en RSF : impédances électriques complexes. Cas des dipôles R, L et C, comportements limites en BF et HF.
5. Association de dipôles en série.
6. Association de dipôles en dérivation. Admittance complexe.
7. Exercices sur l'emploi de la notation complexe en électricité.

RESONANCES

Le chapitre est présenté en confrontant observation expérimentale et théorie. La résonance d'intensité a été abordée expérimentalement une première fois en TP.

1. Résonance d'intensité pour le circuit RLC série : mise en équation, étude de la réponse fréquentielle, visualisation dans le plan complexe.

2. Rôle du facteur de qualité dans la résonance. Acuité de résonance. Bande passante.
Exemple : calcul de la bande passante à mi puissance pour un circuit RLC série en sortie sur R.
3. Résonance d'élongation pour un oscillateur mécanique. Observation. Mise en équation, forme canonique. Examen des courbes de résonance. Valeurs caractéristiques. Exploitation d'un relevé expérimental : cas d'un système à fort amortissement.
4. Résonance de tension aux bornes du condensateur pour le circuit RLC série : mise en équation, analogie électrique - mécanique. Etude fréquentielle. Exploitation d'un relevé expérimental : cas d'un système à facteur de qualité élevé (et donc à faible amortissement).

Dans tous les cas, l'usage de schémas HF et BF a été présenté pour déterminer les comportements aux limites des circuits.

FILTRAGE LINEAIRE

1. Introduction, mise en situation.
 - 1.1 Mise en situation sur le cas d'un filtrage passe bas.
Filtrage d'un signal à deux composantes.
 - 1.2 Interprétation : quadripôle linéaire, fonction de transfert complexe. Réponse fréquentielle ; Bande passante et fréquences de coupures. Superposition des termes fréquentsiels. Diagrammes en fréquence.
2. Généralité du R.S.F., décomposition harmonique ou D.S.F. :
 - 2.1 Développement en Série de Fourier, synthèse de Fourier.
Présentation de cet outil mathématique. Aucune exigence n'est posée sur le calcul des coefficients de décomposition. Il s'agit seulement de comprendre le concept général et de savoir interpréter les résultats fournis.
 - 2.2 Décomposition harmonique et linéarité.
 - 2.3 Valeurs efficaces pour un signal périodique. (Additivité des puissances moyennes).
3. Différents types de filtres.
 - 3.1 Bande passante et fréquences de coupures.
 - 3.2 Détermination par les modèles BF et HF
 - 3.3 Exemples : filtre passe-bas, passe-haut, passe-bande et réjecteur de bande.
4. Diagramme de Bode.
 - 4.1 Coordonnées en diagramme de Bode : gain en module, gain en décibel, intérêt d'une échelle logarithmique.
 - 4.2 Principe de construction sur le cas du passe-bas ordre 1.
 - 4.3 Exploitation graphique : relevé des fréquences de coupure et de la bande passante, réponse du filtre à un signal ayant plusieurs harmoniques, justification de la pente des parties rectilignes de la courbe de gain, sur divers exemples.
5. Comportements temporels d'un filtre :
 - 5.1 Filtre du premier ordre : exemple d'un filtre passe-bas. Comportement à basse ou à haute fréquence.
 - 5.2 Filtre intégrateur.
 - 5.3 Réalisation d'un moyennneur.
 - 5.4 Filtre dérivateur.
6. Exemples de filtres actifs.
7. Mise en cascade de filtres.
 - 7.1 Influence d'une impédance de charge sur un transfert.
 - 7.2 Choix des impédances de sortie et impédances d'entrée.
8. Filtrage mécanique : évocation de cas étudiés en cours (pendule élastique en régime forcé), en exercice (sismographe ; accéléromètre). Mise en équation de l'accéléromètre : un filtrage mécanique passe-bas ou d'un sismomètre : filtrage mécanique passe-haut.

PROPAGATION D'UN SIGNAL

1. Exemples de signaux :
 - 1.1 Différents types de signaux.
 - 1.2 Signal sinusoïdal. Représentation.

- 1.3 Analyse spectrale : introduction qualitative, exemples de spectres (sons produits par quelques instruments de musique).
2. Phénomène de battements.
Observation. Justification théorique à partir de la représentation de Fresnel.
3. Ondes progressives :
 - 2.1 Introduction expérimentale. Simulations. Limites du modèle : propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et sans absorption.
 - 2.2 Forme générale de la fonction d'onde : onde progressive à x croissant, onde progressive à x décroissant. Activité et exercice sur les ondes progressives.
4. Onde progressive sinusoïdale.
 - 4.1 Présentation. Double périodicité, vitesse de phase.
 - 4.2 Pulsation, fréquence et période.
 - 4.3 Longueur d'onde, vecteur d'onde.
 - 4.4 Déphasage entre deux signaux et propagation.
 - 4.5 Milieux dispersifs ou non dispersifs.
5. Interférences entre deux ondes de même fréquence.
 - 5.1 Expérience sur le cas de deux ondes acoustiques (ultrasons).
 - 5.2 Méthode graphique : représentation de Fresnel. Conditions d'interférences constructives ou d'interférences destructives.
 - 5.3 Calcul d'interférence : par la méthode de Fresnel ; par la méthode trigonométrique.
 - 5.4 Interférences lumineuses ; exemple du dispositif des trous de Young.
 - 5.5 Différence de chemin optique, conditions d'interférences, Formule de Fresnel.
 - 4.4 Expression des conditions d'interférence : différence de phase, différence de marche, ordre d'interférence.
6. Ondes stationnaires mécaniques
 - 6.1 Expérience introductive, corde de Melde.
 - 6.2 Réalisation d'une onde stationnaire : Lois de réflexion d'une onde sur une corde. Expression analytique d'une onde stationnaire
 - 6.3 Ondes stationnaires sur une corde fixée en une de ses extrémités : ventres et noeuds.
 - 6.4 Corde fixée en ses deux extrémités : modes de vibration. Commentaire sur l'expérience de la corde de Melde.
 - 6.5 Application aux instruments de musique.
7. Complément (en ouverture, utilisation non exigible) : niveau sonore, décibels acoustiques. Spectre acoustique des instruments de musique. Echelle des fréquences pour la gamme musicale.

APPROCHE PHENOMENOLOGIQUE DE LA PROPAGATION DES ONDES :

Basée sur l'observation d'une cuve à ondes (ondes gravito-capillaires).

1. Propagation, longueur d'onde et célérité.
2. Réflexion.
3. Réfraction.
4. Diffraction. Largeur angulaire de diffraction. Cas d'une fente rectiligne, cas d'une pupille circulaire
5. Absorption.
6. Dispersion.

Aucun formalisme n'est exposé, hormis la relation exprimant la largeur angulaire du pic principal de diffraction (à mémoriser), qui est affirmée. Il s'agit de poser le vocabulaire et de savoir distinguer ces différentes notions.

Ou :

PHENOMENES ONDULATOIRES : DEFINITIONS.

1. Propagation, longueur d'onde et célérité.
2. Réflexion.
3. Réfraction.
4. Diffraction. Largeur angulaire de diffraction. Cas d'une fente rectiligne, cas d'une pupille circulaire
5. Absorption.
6. Dispersion.

Aucun formalisme n'est exposé, hormis la relation exprimant la largeur angulaire du pic principal de diffraction (à mémoriser), qui est affirmée. Il s'agit de poser le vocabulaire et de savoir distinguer ces différentes notions.

OUTILS MATHEMATIQUES POUR LA PHYSIQUE ET GENERALITES

CALCUL VECTORIEL

Produit scalaire de deux vecteurs.

Définition, expression à partir des coordonnées, propriétés, interprétation géométrique : projection d'un vecteur sur une base orthonormée.

Produit vectoriel de deux vecteurs.

Définition à partir des coordonnées, interprétation géométrique, propriétés. Formule du double produit vectoriel

Produit mixte.

MECANIQUE 1

MECANIQUE DU POINT ET INTRODUCTION A LA CINEMATIQUE D'UN SOLIDE.

A. CINEMATIQUE.

1. Généralités : espace et temps classiques.
 - 1.1 Notion de point matériel.
 - 1.2 Référentiel.
 - 1.3 Limite relativiste.
2. Repérage dans l'espace et le plan :
 - 2.1 Coordonnées cartésiennes.
 - 2.2 Coordonnées cylindriques.
 - 2.3 Coordonnées sphériques
 - 2.4 Coordonnées polaires.
3. Mouvement d'un point matériel :
 - 3.1 Référentiel de définition, base d'expression.
 - 3.2 Vecteurs position et vecteur vitesse. Définition générale, détermination expérimentale.
 - 3.3 Vecteur accélération. Définition générale, détermination expérimentale.
 - 3.4 Mouvement accéléré, décéléré ou uniforme.
 - 3.5 Caractère local des bases cylindriques et sphériques.
 - 3.6 Dérivation d'un vecteur par rapport à une variable angulaire.
4. Coordonnées cartésiennes.
 - 4.1 Expression générale des vecteurs position, vitesse et accélération.
 - 4.2 Mouvement à accélération constante. Etude en coordonnées cartésiennes.
Exemple du tir d'un projectile en situation de frottement fluide négligeable.
5. Coordonnées cylindriques, base polaire.
 - 5.1 Expression des vecteurs position, vitesse et accélération.
 - 5.2 Mouvement circulaire, uniforme ou non. Etude en coordonnées polaires.
6. Coordonnées sphériques.
Expression des vecteurs position et vitesse, ce dernier à partir du vecteur déplacement élémentaire construit géométriquement.
7. Vitesse et accélération sur la base de Frenet.
Accélération tangentielle et accélération normale.

B. LOIS DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT.

introduction : vers une description causale du mouvement

1. Quantité de mouvement d'un point, d'un système de points.
 - 1.1 Centre d'inertie,
 - 1.2 Quantité de mouvement totale.
 - 1.3 Modèle du point matériel.
2. Les trois lois de Newton.
 - 2.1 Principe d'inertie.
 - 2.2 Relation fondamentale de la dynamique.

- 2.3 Principe des actions réciproques.
3. Référentiel galiléen.
 - 3.1 Définition théorique.
 - 3.2 Définition pratique.
 - 3.3 Quelques référentiels usuels. Discussion sommaire du caractère galiléen ou non des référentiels terrestre, géocentrique et héliocentrique.
4. Les forces d'interactions à distance.
Interactions électromagnétiques, interactions nucléaires (évoquées), Interactions de gravitation, modèle de la pesanteur uniforme.
5. Forces de contact.
 - 5.1 Tension d'un fil ou d'une barre.
 - 5.2 Force de rappel élastique.
 - 5.3 Réaction d'un support sur un solide : lois de Coulomb.
Réaction normale et réaction tangentielle. Lois de Coulomb pour le frottement de glissement en translation. Application : mesure du coefficient de frottement au moyen d'un plan inclinable.
 - 5.4 Action d'un fluide sur un solide.
Poussée d'Archimède. Force de traînée.
6. Equilibre d'un point matériel.
Condition d'équilibre, exemple. Discussion de la stabilité, exemple.
7. Chute libre verticale dans le champ de pesanteur uniforme.
 - 7.1 En l'absence de frottement.
 - 7.2 Influence de la résistance de l'air. Cas des modèles linéaire et quadratique.
8. Tir d'un projectile.
Choix du modèle avec frottement ou non. Le cas quadratique est développé, avec discussion selon la vitesse initiale et la durée d'observation.
9. Mouvement du pendule simple.

OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LA PHYSIQUE

Gradient d'un champ scalaire.

1. Champ scalaire, champ de vecteur.
2. Définition du vecteur gradient et signification.
3. Expression : expression en coordonnées cartésienne, détermination de l'expression à partir de la relation de définition.
4. Propriétés du vecteur gradient.
5. Application : cas des forces conservatives

c. APPROCHE ÉNERGÉTIQUE

1. Puissance et travail d'une force. Travail moteur et travail résistant.
2. Théorème de l'énergie cinétique en référentiel galiléen.
 - 2.1 Forme intégrale du théorème de l'énergie cinétique.
Énoncé, démonstration, application à un bilan énergétique.
 - 2.1 Forme différentielle du TEC : théorème de la puissance cinétique, application.
3. Forces conservatives : énergie potentielle, une énergie de position.
 - 3.1 Définition et propriétés. Lien entre champ de force conservative et énergie potentielle
 - 3.2 Exemples de forces conservatives, expression des énergies potentielles.
Énergie potentielle de pesanteur (pour un champ de pesanteur uniforme)
Énergie potentielle élastique.
Énergie potentielle de gravitation créée par un corps à symétrie sphérique.
4. Énergie mécanique.
 - 4.1 Introduction.
 - 4.2 Cas particulier d'un système conservatif.
 - 4.3 Équation du mouvement pour un système à un seul degré de liberté.
5. Mouvements conservatifs ou non.
Divers exemples d'application : tir dans le vide, pendule simple avec frottement ou non...

OUTILS MATHÉMATIQUES POUR LA PHYSIQUE

DEVELOPPEMENTS LIMITES :

1. Introduction, interprétation graphique.
2. Formule de Taylor.
3. Formulaire : DL1 au voisinage de 0 pour $\exp(x)$, $\ln(1+x)$, $(1+x)^\alpha$; DL2 au voisinage de 0 pour $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$.

ÉTUDE DES EXTREMA D'UNE FONCTION

(polycopié). Présentation amenant à conclure sur la présence d'un extrema selon l'annulation de la dérivée première de la fonction et selon le signe de la dérivée seconde.

D. CAS DES MOUVEMENTS CONSERVATIFS A UNE DIMENSION.

1. Graphe d'énergie potentielle.
 - 1.1 Relation entre force et énergie potentielle,
 - 1.2 Lecture graphique de la force.
2. Position d'équilibre.
3. Stabilité de l'équilibre.
4. Barrière et puits de potentiel.
 - 4.1 Barrière de potentiel.
 - 4.2 Énergie de franchissement d'une barrière de potentiel.
 - 4.3 Puits de potentiel.
5. Potentiel harmonique.
 - 5.1 Parabolisation d'un puits de potentiel au voisinage d'une position d'équilibre de stable.
 - 5.2 Potentiel harmonique et force de rappel linéaire.
 - 5.3 Équation du mouvement et équation horaire pour de petites oscillations autour d'une position d'équilibre stable.

E. MOUVEMENT DE PARTICULES CHARGÉES DANS DES CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES STATIONNAIRES.

1. Interactions électromagnétiques, loi de force de Lorentz.
2. Puissance de la force de Lorentz.
3. Champ, potentiel et énergie potentielle d'interaction électrostatique.
 - 3.1 Cas du champ créé par une charge ponctuelle.
 - 3.2 Cas d'un champ électrique uniforme.
 - 3.3 Comparaison entre gravitation et interaction électrostatique.
4. Bilan énergétique pour des mouvements dans un champ électrique.
 - 4.1 Distance minimale d'approche
 - 4.2 Énergie d'une particule accélérée par un champ électrique.
5. Comparaison entre gravitation et interaction électrostatique.
6. Mouvement dans un champ électrique uniforme.
 - 6.1 Équation de la trajectoire,
 - 6.2 Application : Étude de la déflexion électrostatique d'un faisceau de particules chargées, calcul de la déviation.
7. Mouvement dans un champ magnétique uniforme.

Trajectoire et mouvement d'une particule déviée par un champ magnétique uniforme et stationnaire.

 - 7.1 Conservation de l'énergie cinétique et de la vitesse.
 - 7.2 Cas du mouvement circulaire. Étude de la déflexion magnétique d'un faisceau de particules chargées. Détermination du rayon de la trajectoire, supposée circulaire. Périodicité du mouvement.
 - 7.3 Cas général. Présentation qualitative du cas avec trajectoire hélicoïdale.

8. Applications : spectromètre de masse, cyclotron de Lawrence (évoqués).

Exercice : cyclotron de Lawrence.

MECANIQUE 2

F LOIS DU MOMENT CINETIQUE

1. Moment d'une force, notion de bras de levier.
 - 1.1 Introduction
 - 1.2 Moment d'une force en un point.
 - 1.3 Moment d'une force par rapport à un axe orienté.
2. Moment cinétique.
 - 2.1 Observation introductive.
 - 2.2 Moment cinétique d'un point matériel.
Moment cinétique par rapport à un point, moment cinétique par rapport à un axe.
Application au mouvement circulaire.
 - 2.3 Moment cinétique d'un système de points par rapport à un axe orienté.
3. Théorème du moment cinétique.
 - 3.1 TMC pour un point matériel dans un référentiel galiléen.
Enoncé, démonstration,
 - 3.2 Conservation du moment cinétique pour une force centrale.

G MOUVEMENTS DANS UN CHAMPS DE FORCE CENTRALE CONSERVATIF

1. Mouvements à forces centrales.
 - 1.1 Force centrale, centre d'interaction.
 - 1.2 Conservation du moment cinétique.
 - 1.3 Un mouvement nécessairement plan
 - 1.4 Loi des Aires
2. Cas de forces centrales conservatives.
 - 2.1 Energie potentielle, conservation de l'énergie mécanique.
 - 2.2 Energie potentielle effective.
 - 2.3 Etats liés et états de diffusion.
3. Cas des champs newtoniens.
 - 3.1 Définition. Lois de forces naturelles. Energies potentielles.
 - 3.2 Nature des trajectoires.
Equation polaire et interprétation dans le cas d'un système lié ou d'un système en état de diffusion.
 - 3.3 Lois de Kepler.
Enoncé des trois lois de Kepler et confrontation aux résultats plus formels établis en cours.
4. Mouvement d'états liés en champs newtoniens.
 - 4.1 Satellite à trajectoire circulaire.
 - 4.2 Satellite géostationnaire.
 - 4.3 Lois de Kepler sur les cas circulaires et elliptiques.
Démonstration de la troisième loi de Kepler pour le cas circulaire. Généralisation (admise) au cas d'une trajectoire elliptique.
5. Energie mécanique.
 - 5.1 Energie mécanique sur une trajectoire circulaire.
 - 5.2 Energie mécanique sur une trajectoire elliptique. Généralisation de l'expression du cas circulaire au cas d'une trajectoire elliptique. Démonstration par recherche des positions extrémales.
 - 5.3 Vitesses cosmiques.
Vitesse en orbite basse (première vitesse cosmique).
Vitesse de libération (deuxième vitesse cosmique).
 - 5.4 Processus de mise en orbite, orbite de transfert, variations d'énergie mécanique.

H MOUVEMENT DE ROTATION D'UN SOLIDE AUTOUR D'UN AXE FIXE

1. Introduction au mouvement d'un solide.
 - 1.1 Définition d'un solide.
 - 1.2 Mouvement de translation
 - 1.3 Mouvement de rotation
2. Théorème scalaire du moment cinétique
 - 2.1 Notion de moment d'inertie.
 - 2.2 Moment cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe. Moments d'inertie sur quelques exemples.
 - 2.3 Couple.
 - 2.4 Liaison pivot.
 - 2.5 TMC pour un solide en rotation autour d'un axe fixe.

I APPLICATIONS ET APPROCHE ENERGETIQUE POUR UN SOLIDE EN ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE

1. Le pendule de torsion.

Présentation expérimentale.

 - 1.1 Couple de torsion.
 - 1.2 Equation du mouvement.
 - 1.3 Intégrale première du mouvement.
2. Le pendule pesant.
 - 2.1 Equation du mouvement.
 - 2.2 Oscillations pour de faibles amplitudes.
 - 2.3 Intégrale première du mouvement.
 - 2.4 Analyse du mouvement par portrait de phase.
3. Bilans énergétiques pour un solide en rotation autour d'un axe fixe.
 - 3.1 Energie cinétique d'un solide en rotation.
 - 3.2 Puissance d'une force ou d'un couple appliqué à un solide en rotation.
 - 3.3 Loi de l'énergie cinétique pour un solide indéformable.
 - 3.4 Cas d'un système déformable.
 - 3.41 Expérience du tabouret tournant : interprétation par le TMC
 - 3.42 Bilan énergétique sur l'expérience du tabouret tournant.
 - 3.43 Loi de l'énergie cinétique pour un système avec déformation.

THERMODYNAMIQUE

A INTRODUCTION A LA DESCRIPTION DES SYSTEMES THERMODYNAMIQUES

L'objectif de cette partie est de donner les outils permettant une définition opérationnelle d'un système. L'introduction de l'équation d'état du gaz parfait est l'occasion d'exercer ces capacités sur des exemples simples faisant intervenir des bilans de matière.

1. Définitions et généralités : système thermodynamique, systèmes isolés, fermés, ouverts. Phases : phase gazeuse, phases condensées liquide ou solide.
2. Description macroscopique d'un système.
 - 2.1 Variables d'état.
Volume, température, pression.
 - 2.2 Variables extensives, variables intensives.
3. Equilibre thermodynamique.
 - 3.1 Définition, cas d'un système isolé ou non.
 - 3.2 Condition d'équilibre :
Equilibre mécanique pour un système soumis aux seules forces de pression.
Condition d'équilibre thermique.
Exemple sur un gaz dans un cylindre fermé par un piston. Exemple pour une phase condensée indilatable et incompressible.

4. Equation d'état.
 - 4.1 Cas du gaz parfait.
 - 4.2 Cas des phases condensées (modèle du fluide incompressible et indilatable).
 - 4.3 Volumes molaires, volumes massiques. Exemple pour l'air et pour l'eau dans différentes conditions.
 - 4.4 Densité d'un fluide.
5. Mélange idéal de gaz parfaits.
 - 5.1 Idéauté du mélange.
 - 5.2 Pression partielle, loi de Dalton
 - 5.3 Masse molaire moyenne.

B DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES GAZ.

1. Le chaos moléculaire. Modèle microscopique du gaz parfait. Agitation thermique, quelques ordres de grandeur.
2. Libre parcours moyen d'une molécule dans un gaz.
3. Echelles microscopique, mésoscopique et macroscopique.
4. Distribution des vitesses des molécules dans un gaz. Hypothèses de distributions statistiques. Vitesse moyenne et vitesse quadratique.
La loi de distribution de Maxwell, l'étude statistique du gaz parfait (calcul des grandeurs moyennes...) sont explicitement hors programme.
5. Interaction thermique du gaz avec une paroi, équilibre thermique.
6. Interprétation cinétique de la pression et de la température :
 - 6.1 Rebond d'une balle contre un mur (choc élastique).
 - 6.2 Calcul de la pression cinétique. *Le calcul de la pression cinétique est mené en envisageant le modèle simple pour lequel les mouvements des molécules ont lieu selon 6 directions orientées.*
 - 6.3 Interprétation cinétique de la température pour un gaz parfait.

C ENERGIE INTERNE.

1. Définition et propriétés.
2. Capacité thermique à volume constant
3. Energie interne d'un gaz parfait monoatomique. Relation avec la température.
4. Energie interne pour un gaz parfait. Première loi de Joule.
5. Energie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée. (en la considérant comme incompressible et indilatable). Approximation du « fluide incompressible ».

D DU GAZ REEL AU GAZ PARFAIT.

Comparaison du comportement de gaz réels au gaz parfait à partir de graphes expérimentaux.

1. Réseau d'isothermes en coordonnées de Clapeyron :
 - 1.1 Diagramme de Clapeyron pour l'hexafluorure de soufre.
Observation des comportements thermoélastiques pour les états liquide, fluide diphasé et gaz.
 - 1.2 Allure des isothermes pour un gaz.
2. Isothermes en diagramme d'Amagat pour un gaz.
3. Conclusion : modèle du gaz parfait.
Equation d'état, loi d'Avogadro.
Polycopié (uniquement à titre culturel) : approche historique, loi de Boyle-Mariotte, loi d'Avogadro, un modèle de gaz réel : le gaz de Van der Waals.

E DESCRIPTION DU CORPS PUR SOUS DEUX PHASES EN EQUILIBRE.

1. Approche descriptive : l'équilibre liquide-vapeur : vapeurs sèches et vapeurs saturantes ; définitions et vocabulaire ; diagramme d'équilibre (P, T) : domaines de stabilité, courbes d'équilibres, point triple, point critique ; notion de variance ; transitions de phase d'un corps pur : paliers de transition. Titre massique et titre molaire.
2. Diagramme (P, V) pour l'équilibre liquide vapeur : isothermes d'Andrews, courbe de saturation. Théorème des moments. Application : stockage des fluides.

3. Equilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte.
Condition d'équilibre. Vaporisation, ébullition ou évaporation ? Phénomènes météorologiques et degré hygrométrique.
Polycopié : retard aux changements d'état : phénomène de surfusion ; vapeur sursaturante...

F ECHANGES D'ENERGIE.

Introduction : différentes formes de transferts énergétiques : transferts d'énergie électrique, d'énergie mécanique (travail), interaction thermique (transfert thermique).

1. Convention thermodynamique.
2. Transformation thermodynamique d'un système.
Définition, transformations et chemins particuliers : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
Notion de thermostat.
3. Interaction thermique, transfert thermique. Conduction, convection et rayonnement.
4. Transfert d'énergie sous forme électrique.
Puissance électrique, travail ou quantité d'énergie transférée.
5. Travail des forces de pression :
Définition et expression générale. Cas particuliers (transformations isochores, transformations monobares).
Travaux sur un chemin mécaniquement réversible (dit quasi-statique).
Aspect graphique en diagramme de Watt (coordonnées de Clapeyron), signe des travaux échangés sur un cycle selon le sens de parcours.
Exemples : calcul du travail reçu par un gaz parfait dans une compression monobare.
Calcul du travail reçu par un gaz parfait dans une transformation isotherme (et mécaniquement réversible).

G PREMIER PRINCIPE : BILANS D'ENERGIE

1. Premier principe pour un système fermé :
Diverses formes d'énergie dans les systèmes thermodynamiques. Enoncé général pour un système fermé (énergie totale).
Enoncé classique pour un système sans mouvement macroscopique. Interprétations : U est une fonction d'état, U est conservative, U est extensive.
Cas particuliers : transformations isochore, adiabatique, cyclique.
Ecriture différentielle du premier principe (évoqué).
2. Evaluation d'un transfert thermique.
Exemple : calcul du transfert thermique reçu dans une transformation monobare d'un gaz parfait.
3. Applications du premier principe. Chauffage d'une phase condensée, transfert thermique pour un processus isochore, échauffement d'un gaz par compression.
4. Transformation mécaniquement réversible et isotherme d'un gaz parfait. Présentation, calcul du travail reçu, bilan énergétique.
5. Transformation adiabatique et réversible d'un gaz parfait : Loi de Laplace ; conditions de validité. Expressions de la loi en variables (P,V) , (T,V) , (P,T) . Visualisation graphique en coordonnées de Clapeyron. Calcul du travail reçu par le gaz à partir du bilan énergétique.

La traditionnelle « démonstration » de la loi de Laplace, d'ailleurs assez discutable, n'est pas exposée. Elle sera faite ultérieurement à partir de la notion d'entropie.

La transformation polytropique est présentée comme un modèle intermédiaire entre un processus isotherme et un processus adiabatique.

6. Compression polytropique d'un gaz parfait.
7. Une nouvelle fonction d'état : enthalpie d'un système.
Définition, bilan enthalpique pour une transformation monobare entre deux états d'équilibre de même pression.
Capacités thermiques à volume constant, capacités thermiques à pression constante : définitions, capacités thermiques massiques, molaires, moyennes.
Enthalpie pour un gaz parfait. Première et seconde loi de Joule, relation de Mayer. Expression des capacités thermiques en fonction du rapport de capacité thermique γ .
Enthalpie pour une phase condensée.
Diagramme enthalpique $\log(P) = f(h)$. Observation des courbes isothermes, comparaison des comportements aux états liquide, gaz et diphasés.

8. Enthalpie pour un système diphasé.

Expression, caractère extensif. Théorème des moments.

Variation d'enthalpie associée à une transition de phase. Enthalpie de fusion, de vaporisation, de sublimation.
Transformations inverses : solidification, liquéfaction, condensation.

Variations d'énergie interne pour une transition de phase.

Exemple(s) d'application.

H APPLICATIONS DU PREMIER PRINCIPE.

1. Calorimétrie : méthode électrique, méthode des mélanges, méthode dynamique. *Ces exemples ne sont pas à mémoriser mais sont présentés à titre méthodologique. Ils doivent pouvoir être traités avec aisance*
2. Etude d'un cycle : Cycle du moteur à 4 temps (Beau de Rochas).
3. Refroidissement isobare par pertes thermique.

Ces exemples ne sont pas à mémoriser, mais ils doivent être la base d'une réflexion personnelle sur les démarches effectuées, qu'il faudra savoir généraliser à d'autres situations. Ils doivent donc pouvoir être traités avec aisance.

I DEUXIEME PRINCIPE : BILANS D'ENTROPIE

1. Insuffisance du premier principe. Exemple de l'expérience de Joule, de la détente de Joule et Gay-Lussac
2. Le second principe : introduction qualitative, formule de Boltzmann. Transformations réelles irréversibles et modèle de la transformation réversible. Entropie et désordre dans un système.

Enoncé classique : $\Delta S = S_e + S_c$. *Conformément au programme, l'équivalence entre température absolue et température thermodynamique est ici simplement affirmée.*

Second principe pour des systèmes isolés, entropie de l'univers.

Création d'entropie dans un échange thermique. Variation d'entropie pour une source de chaleur monotherme.

3. Problématique du calcul de variation d'entropie. Cas des transformations réversible, cas des transformations irréversible, bilan entropique. Cas de transformations adiabatiques.
4. Entropie d'un corps pur monophasé.
 - 4.1 Cas d'une phase condensée, indilatable et incompressible.
 - 4.2 Entropie du gaz parfait.
 - 4.2 Transformations isentropiques. Retour sur la Loi de Laplace.
- 5 Exemples de bilans entropiques : *(Ces exemples n'ont évidemment pas à être mémorisés).*
 - 5.1. Contact thermique avec un thermostat.
Cas d'un solide. Chauffage monobare d'un gaz parfait.
 - 5.2. Compression monotherme et monobare d'un gaz parfait.
 - 5.3. Détente de Joule Gay-Lussac.
 - 5.4. Chauffage par effet Joule.
- 6 Variation d'entropie dans les changements d'état.
 - 6.1 Entropie de transition de phase.
 - 6.2 Entropie d'un système diphasé, théorème des moments.
 - 6.3 Application. Exploitation d'un diagramme entropique.

Approche documentaire : Entropie et désordre dans un système, formule de Boltzmann.

J MACHINES THERMIQUES

1. Introduction.
Des convertisseurs d'énergie. Les deux types de machines : machines à piston et machines à écoulement de fluide.
2. Ecriture du Premier Principe pour un fluide en écoulement stationnaire.
 - 2.1 Bilan énergétique, relation générale.
 - 2.2 Un cas particulier : la détente de Joule Thomson.
Un écoulement isenthalpique. Examen du diagramme enthalpique $\log(P) = f(h)$.
Cas d'un gaz parfait : une détente isenthalpique qui est alors isotherme.
3. Application des deux principes à une machine di-therme.
 - 3.1 Ecriture du Premier Principe sur un processus cyclique.
 - 3.2 Variation d'entropie dans les processus irréversibles : cas des transformations cycliques, inégalité de Carnot Clausius.
 - 3.3 Démonstration de l'énoncé de Kelvin à partir du second principe.
4. Moteurs thermiques di-thermes.
 - 4.1 Schéma énergétique.
 - 4.2 Rendement, théorème de Carnot.
L'étude du moteur à explosion (cycle de Beau de Rochas), traitée dans un chapitre précédent, est à nouveau à l'ordre du jour...
 - 4.3 Exemple : centrale nucléaire.
5. Machines frigorifiques : réfrigérateurs et climatiseurs.
 - 5.1 Schéma énergétique.
 - 5.2 Coefficient de performance ou efficacité.
6. Pompe à chaleur : schéma énergétique, coefficient de performance ou efficacité. Calcul de l'efficacité pour un fonctionnement réversible. Discussion.
7. Exemple(s) d'étude de machine thermique réelle à l'aide d'un diagramme (P, h) :
 - 7.1 Principe du réfrigérateur à compression. Cycle suivi par le fluide, éléments de la machine, évaluation de coefficient d'efficacité à partir du cycle étudié en diagramme enthalpique (diagramme des frigoristes).
 - 7.2 Cycle d'une machine frigorifique à changement de phase (cas d'un système de climatisation).

OUTILS MATHÉMATIQUES

1. Repérage de l'espace, systèmes de coordonnées (rappel): coordonnées cartésiennes, cylindriques (ou cylindro-polaires), sphériques.
2. Eléments dans les différents systèmes de coordonnées : Déplacements, surfaces et volumes élémentaires.
3. Calcul d'intégrales multiples à variables séparables : Rappels sur l'intégration : primitives et intégrales définies. Principe de l'intégration multiple, cas des intégrales multiples à variables séparables.
4. Application au calcul d'intégrales multiples : surface d'un disque, d'une sphère, volume d'une sphère. Intégration d'une grandeur scalaire distribuée en surface ou en volume ; exemple : masse d'une sphère non homogène (masse d'une étoile à partir d'un modèle de densité non uniforme).

Formulaire de géométrie : les expressions des aires et volumes relatifs aux solides usuels (parallélépipède, sphère, cylindre) doivent être parfaitement mémorisées, et doivent pouvoir être ré-établies par intégration d'un élément de surface ou de volume judicieusement choisi.

K STATIQUE DES FLUIDES

1. Définition de la pression.

2. Loi fondamentale de la statique des fluides.
Démonstration pour le cas du champ de pesanteur uniforme.
Equation locale de la statique des fluides. Equivalent volumique des forces de pression.
3. Cas d'un fluide homogène et incompressible dans un champ de pesanteur uniforme.
4. Théorème de Pascal.
5. Equilibre statique pour un fluide compressible.
6. Modèle de l'atmosphère isotherme.
7. Théorème d'Archimède : énoncé, démonstration. Application : aérostats, ballons à gaz légers et montgolfières.

STATIQUE DES FLUIDES (SUITE)

8. Calcul de la résultante de forces de pression.
Méthodologie. Exemple(s) d'application.

Un exercice-type "calcul des efforts appliqués à un barrage hémicylindrique" ou "hémisphères de Magdebourg" a été traité en cours...

9. Facteur de Boltzmann, retour sur le modèle de l'atmosphère isotherme :
Présentation générale sur le cas quelconque d'un système de particules indépendantes distribuées sur différents niveaux d'énergie.
Interprétation du modèle de l'atmosphère isotherme en termes statistiques.

L'ensemble est complété par une **Approche documentaire**.

La notion de facteur de Boltzmann est ensuite présentée à travers différentes applications : Conformation éclipsée et conformation étoilée sur la molécule d'éthane.

Théorie des collisions en cinétique chimique, loi d'Arrhenius ; Analyse spectrométrique de la lumière des étoiles, spectre d'absorption pour l'hydrogène ; Expérience de Jean Perrin.

INDUCTION ET FORCES DE LAPLACE

CHAMPS MAGNETIQUES

1. Premières observations. Spectres magnétiques du champ créé par un aimant, par un bobinage traversé par un courant électrique.
2. Définition du champ magnétique, caractère axial.
3. Propriétés géométriques du champ magnétique.
Caractère axial et opérations de symétrie. Cas des OS positives et des OS négatives.
Recherche de la direction d'un champ magnétique par des considérations de symétrie.
Invariances vis à vis des coordonnées.
4. Flux magnétique.
Définition, caractère algébrique.
Flux conservatif.
Analogie au débit d'un fluide incompressible en écoulement.
Lecture de cartes de champ magnétique.
5. Dispositifs producteurs de champ magnétique : lien avec l'intensité et ordres de grandeurs.
Fil rectiligne « infini ».
Spire circulaire, bobine plate.
Solénoïdes ; cas d'un solénoïde très long ou « bobine infinie ».
6. Moments magnétiques.
Analogie des champs magnétiques produits par un aimant ou une spire.
Moment magnétique d'une spire, ou de N spires identiques et juxtaposées.
Expression analytique du champ créé par une spire ou un aimant. (Cette expression n'est pas à mémoriser, il s'agit de savoir exploiter son expression fournie).
Dipôle magnétique.
Moment magnétique d'un aimant.

ACTIONS D'UN CHAMP MAGNETIQUE

1. Force de Laplace.
Introduction, expérience des rails de Laplace, expression de la loi de Force. Cette loi de force est présentée comme une description phénoménologique de l'action d'un champ magnétique sur un conducteur.
Exemple : fil vertical plongé dans un champ uniforme, moment des forces de Laplace.
Puissance des forces de Laplace.
2. Couple magnétique.
Moment résultant des actions de Laplace sur une spire rectangulaire plongée dans un champ uniforme.
Puissance des actions de Laplace sur le cadre.
Généralisation. Moment magnétique d'une spire et couple magnétique sur une spire dans un champ uniforme.
3. Action d'un champ magnétique sur un aimant.
Couple magnétique, position d'équilibre.
Effet moteur d'un champ magnétique tournant. Expérience sur le cas d'un champ produit par deux bobines d'axes orthogonaux et alimentées en quadrature de phase. Interprétation.
Moteur synchrone : expression du couple des actions magnétiques, difficulté au démarrage, couple maximal, décrochage.

LOIS DE L'INDUCTION

1. Introduction expérimentale.
Expérience historique de Faraday. Expériences employant un aimant et une bobine.
Conclusion sur le phénomène d'induction, loi de Lenz.
2. Loi de Faraday.
Enoncé. Convention d'algrébrisation.

INDUCTION DE NEUMANN

Circuit fixe dans un champ magnétique variable

1. Auto-induction.
Inductance propre, définition. Calcul d'une inductance propre sur l'exemple d'un solénoïde long.
Self induction et loi de Lenz.
Mesure d'une inductance propre (par la réponse indicielle du circuit inductif).
Etude énergétique.
2. Induction mutuelle entre deux circuits.
Coefficient de mutuelle inductance (le caractère symétrique du coefficient M est admis sans démonstration). Exemple de calcul d'une inductance mutuelle : solénoïde placé à l'intérieur d'un solénoïde long.
Equations électriques pour des circuits couplés par mutuelle induction.
Etude en régime sinusoïdal forcé.
Aspect énergétique, bilan de puissance sur des circuits en induction mutuelle.
3. Transformateur de tension.
Présentation. Principe de fonctionnement. Rapport de transformation.
Orientation des courants, schéma normalisé.
Bilan de puissances, relation sur les intensités pour un transformateur idéal.
Pertes dans un transformateur réel, courants de Foucault (évoqué).

INDUCTION DE LORENTZ

Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

1. Conversion d'une puissance mécanique en puissance électrique.
1.1 Rails de Laplace employés en générateurs : principe, f.é.m. d'induction, équation électrique, force de Laplace, équation mécanique, étude du mouvement. Bilan en puissances.

1.2 Freinage par induction : analyse qualitative et observation expérimentale (chute d'un aimant dans un tube conducteur, pendule de Walter-Hoffen, freinage d'un disque conducteur en rotation dans l'entrefer d'un électro-aimant).

1.3 Alternateur : présentation, f.é.m. d'induction, équation électrique, moment des forces de Laplace et équation mécanique, étude du régime permanent (R.S.F.). Discussion : prise en compte des phénomènes d'auto-induction, bilan en puissances.

2. Conversion de puissance électrique en puissance mécanique.

2.1 Rails de Laplace en situation moteur : f.é.m. d'induction et équation électrique, force de Laplace et équation mécanique, étude du mouvement, bilan en puissances, bilan énergétique et rendement.

2.2 Haut-parleur électrodynamique : présentation et modélisation, f.é.m. induite et équation électrique, équation mécanique, étude en régime sinusoïdal forcé, impédance motionnelle, bilan en puissances.

2.3 Une machine à courant continu, le moteur à entrefer plan : principe en mode moteur et mode générateur. Etude théorique : couple des actions de Laplace, f.é.m. induite, bilan en puissances, équations mécaniques et électriques, réalisation technologique.

INTRODUCTION A LA PHYSIQUE QUANTIQUE

[Cette partie est traitée sans employer l'équation de Schrödinger, qui ne sera abordée qu'en seconde année]

1. Dualité onde-corpuscule pour la lumière : la lumière, onde ou particule ? Genèse de la notion de photon : le rayonnement thermique, l'effet photoélectrique, l'effet Compton (évoqués). Le photon : définition et ordres de grandeur.

Accélération de particules chargées. Expression de la vitesse en fonction de la d.d.p. subie dans les cas classiques et dans les cas relativistes.

Approche documentaire : effet photoélectrique, expérience de Lenard.

2. Expériences de diffraction et d'interférence : diffraction pour une onde, diffraction pour des photons uniques ; interférences par les fentes de Young, cas de photons uniques.
3. Dualité onde-particule pour la matière : longueur d'onde de de Broglie, confirmations expérimentales (expériences de Davisson et Germer, de GP Thomson), interférences d'ondes de matière (d'électrons : expérience de Tonomura, d'atomes : expérience de Shimizu). Interprétation, fonction d'onde et probabilité de détection.
4. L'inégalité de Heisenberg : indétermination quantique, introduction de l'inégalité de Heisenberg sur l'exemple de la diffraction, principe d'indétermination de Heisenberg.

N.B. : Contrairement à l'énoncé proposé dans le programme officiel de Sup PCSI, le principe d'indétermination de Heisenberg a été posé sous la forme : $\Delta p \Delta x \geq \hbar/2$ (et non \hbar), en cohérence avec son expression validée par une approche plus complète de la mécanique quantique.

Ceci ne déroge pas à l'esprit du programme, qui attend avant tout une relation en ordre de grandeur ; il s'agit en particulier de retenir que $\hbar \approx 10^{-34}$ J.s.

5. Energies pour des systèmes quantiques : énergie cinétique minimale pour une particule confinée, énergie minimale pour un oscillateur harmonique quantique.
6. Quantification de l'énergie pour une particule confinée : particule piégée dans un puits de potentiel infini unidimensionnel. Quantification de l'énergie. Transition entre deux niveaux.
[Ce dernier chapitre est traité par analogie à la corde vibrante].

Approche documentaire : interférences d'ondes de matière constituées d'atomes de néon froids (Shimizu).

Approche documentaire : interférences d'ondes de matière constituées de molécules de fullerène.