# Programme de colles Physique PC* - Semaine 5

Une colle comportera :
- une question de cours à traiter en moins de 15 minutes,
- un exercice.

Une question de cours non sue entrainera une note inférieure à la moyenne.

*Les démonstrations à savoir (questions de cours - non exhaustives - typiques pouvant être posées par l'examinateur) sont marquées en rouge et introduites par le symbole ☞.*

Capacités numériques

# Capacités numériques 1, 2 et 3

Toutes les capacités numériques sur les incertitudes ont été vues (évaluations de type A et B, calculs des reports d'incertitudes par les formules et par simulation de Monte-Carlo, régression linéaire avec simulation Monte-Carlo). Simulation d'une marche aléatoire.

Ondes 1

# Ondes dans des milieux non dispersifs

## 1 Oscillateurs

Ce paragraphe a été traité dans le cadre de deux masses reliées chacune à un bâti par un ressort et couplées entre elles par un 3e ressort.

### 1.1 Rappels

### 1.2 Oscillateurs couplés

Modes propres d'oscillateurs couplés, propriétés des modes (modes symétrique et antisymétrique), cas particulier des oscillateurs identiques (le couplage écarte les pulsations propres), généralisation qualitative à N oscillateurs couplés, oscillateurs identiques et couplage faible (phénomène de battements), résonances d'un système de deux oscillateurs couplés

## 2 Onde longitudinale dans un solide élastique

☞ Loi de Hooke - Module d'Young

☞ Modèle microscopique de solide élastique unidimensionnel à l'aide de la chaîne d'atomes élastiquement liés à guider : force subie par un atome, passage à la limite continue, allongement relatif d'une chaîne d'atomes, interprétation microscopique de la loi de Hooke.

☞ Établissement de l'équation d'onde : celle-ci se fait à la limite continue à l'aide de la loi de Hooke.

## 3 Ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple

☞ Connaître les 5 hypothèses du modèle : corde sans raideur, élasticité négligée, corde homogène, poids négligé, mouvements infiniments petits

☞ Savoir démontrer l'équation de propagation pour une onde transversale sur une corde vibrante infiniment souple. Connaître par cœur l'équation de d'Alembert.

## 4 Câble coaxial

☞ Une fois la modélisation du câble coaxial redonnée par le colleur, savoir redémontrer l'équation de propagation

## 5 Équation de d'Alembert

Forme à connaître par cœur, aucune erreur ne sera tolérée.

## 6 Solution de l'équation de d'Alembert sous forme d'onde plane progressive

### 6.1 Interprétation physique de l'OPP

### 6.2 Retour sur la célérité des ondes

### 6.3 Onde plane progressive monochromatique (OPPM)

Rappels de première année, notation complexe, relation de dispersion

### 6.4 Problèmes énergétiques - Notion d'impédance

Partie traitée dans le cadre du câble coaxial.

## 7 Réflexion et transmission

Partie traitée dans le cadre du câble coaxial.

☞ Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude pour la tension et l'intensité, ainsi que les coefficients de réflexion et de transmission en puissance.

## 8 Solution de l'équation de d'Alembert sous forme d'onde stationnaire

### 8.1 Onde stationnaire solution de l'équation

☞ Forme d'une onde stationnaire. Injection d'une OS dans l'équation de d'Alembert et obtention de la forme sinusoïdale solution de l'équation.

☞ Position des ventres et des nœuds.

### 8.2 Équivalence entre OS et somme d'OPP

### 8.3 Corde fixée à ses deux extrémités

☞ Savoir retrouver les expressions des modes et des fréquences propres.

Notion de mode, fondamental et harmoniques. Applications aux instruments de musique à corde.

### 8.4 Expérience de Melde

☞ Savoir retrouver l'expression de la forme de l'onde quand elle est excitée sinusoïdalement à l'une de ses extrémités.

Nous avons traité l'exercice de la chainette et étudié l'impédance d'une corde souple ainsi que les coefficients de réflexion et de transmission lors d'un raccord entre deux cordes différentes.

Ondes 2

# Dispersion - Absorption

## 1 Dispersion et Absorption

### 1.1 Exemple de la corde souple avec frottement

### 1.2 Partie imaginaire de k : absorption

Savoir relier la partie imaginaire de $k$ à la longueur de pénétration dans le milieu.

### 1.3 Partie réelle de k : dispersion

Notion de vitesse de phase, notion de dispersion, milieux dispersifs et non dispersifs.

### 1.4 Résumé

La méthode d'étude de la propagation d'un milieu est à savoir : établir l'équation d'onde, y injecter une OPPM pour obtenir la relation de dispersion, en déduire $k'$ et $k''$ et conclure sur les caractères absorbants et dispersifs du milieu.

Tous les cas de figures ont été traités : OPPM, pseudo-OPPM, onde évanescente.

## 2 Paquet d'ondes

### 2.1 Superposition de deux OPPM de pulsations voisines

☞ Savoir retrouver la forme de la superposition de deux OPPM de pulsations voisines par le calcul, faire apparaître les deux périodicités, savoir tracer la forme de l'onde obtenue et commenter en terme de battements.

## 2.2 Généralisation à une superposition continue d'ondes

La transformée de Fourier est hors-programme mais abordée d'un point de vue qualitatif. Définition d'un paquet d'ondes. Spectre du paquet d'ondes. Relation entre extension temporelle et largeur spectrale. Vitesse de groupe et vitesse de phase

## 2.3 Propagation d'un paquet d'ondes

Propagation dans un milieu non dispersif.
Propagation dans un milieu dispersif : cas de l'équation de Klein-Gordon.
☞ Savoir faire l'étude d'un milieu gouverné par la relation de dispersion de Klein-Gordon (à redonner).
Application aux télécommunications.

☞ Les exercices suivants peuvent être considérés comme exercices de cours et faire l'objet de questions de cours.

**Exercice :**

On cherche à évaluer le profil de température dans le sol en fonction de la profondeur. Pour cela, on considère que l'atmosphère occupe le demi-espace $x < 0$ et le sol le demi-espace $x > 0$. Le transfert thermique dans le sol se fait uniquement par diffusion. On trouvera en fin d'exercice les données nécessaires pour cette étude. La température au niveau du sol est $T(x=0,t) = T_0 + a.cos(\omega t)$. On utilisera par la suite la notation complexe : $\underline{T}(x=0,t) = T_0 + a\exp(j\omega t)$ par la suite.

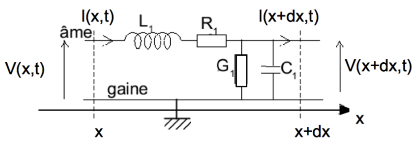
1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la température $T(x,t)$ dans le sol.
2. On cherche une solution de la forme $\underline{T}(x,t) = T_0 + f(x)\exp(j\omega t)$ où $f(x)$ est une fonction complexe. Donner l'expression de $f(x)$. On posera $\delta = \sqrt{\dfrac{2\lambda}{\mu c\omega}}$.
3. Représenter à $t$ fixe, le profil de température en fonction de $x$.
4. Calculer les variations maximales de température à une profondeur de 50 cm pour une amplitude de variation journalière de la température $T(x=0)$ de $T_v = 15°\text{C}$ autour d'une température moyenne de $T_m = 3°\text{C}$ en hiver. Que peut-on dire pour des variations annuelles de température ? Conclusion.

*Données :*

— masse volumique du sol $\mu = 3{,}0.10^3$ kg.m$^{-3}$ ;
— capacité thermique massique du sol $c = 515$ J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$ ;
— conductivité thermique massique $\lambda = 1{,}2$ W.K$^{-1}$.m$^{-1}$.

**Exercice :**

On considère un câble coaxial en tenant compte des pertes résistives. Une tranche d'épaisseur $dx$ du câble coaxial est modélisée sur la figure ci-dessous. On note $L_1$ l'inductance par unité de longueur et $C_1$ la capacité entre l'âme et la gaine par unité de longueur. L'âme présente une résistance $R_1$ par unité de longueur. De plus, l'isolation entre l'âme et la gaine n'est pas parfaite. Ceci se traduit par une conductance $G_1$ par unité de longueur, située en parallèle du condensateur.




1. Établir l'équation de propagation de la tension $V(x,t)$, dite équation des télégraphistes :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - R_1 G_1 V - (R_1 C_1 + L_1 G_1)\frac{\partial V}{\partial t} - C_1 L_1 \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0$$

2. En déduire la relation de dispersion des ondes proportionnelles à $\exp(i\omega t - ikx)$. Les ondes se propagent-elles de la même manière selon $+\vec{u}_x$ et $-\vec{u}_x$ ?
3. À quelle condition sur $R_1$, $L_1$, $G_1$ et $C_1$ cette relation peut-elle se mettre sous la forme $k = \frac{\omega}{c} + ik'$ ($c$ et $k'$ étant indépendants de la fréquence) ? Quel est l'intérêt de réaliser cette condition ?
En pratique, comme l'auto-inductance des lignes est trop faible, on l'augmente artificiellement en plaçant des bobines à grand coefficient de qualité le long de celles-ci : c'est la technique de **pupinisation** (inventée par Pupin) utilisée en téléphonie.