Fénelon Sainte-Marie
La Plaine Monceau
GROUPE SCOLAIRE

Physique

BANQUE D'ORAUX

PC/PC*

2024-2025

Table des matières

MODALITES DES EPREUVES ORALES 2

ELECTRICITE 3

CCINP 3
MINES-TELECOM 4
MINES-PONTS 4

MECANIQUE DU POINT 5

CCINP 5
CENTRALE-SUPELEC 6
ST CYR 6
MINES-TELECOM 6
MINES-PONTS 7
ENS 7

MECANIQUE DU SOLIDE 8

CCINP 8
CENTRALE-SUPELEC 8
NAVALE 8
MINES-TELECOM 8

OPTIQUE GEOMETRIQUE 9

CCINP 9
CENTRALE-SUPELEC 9
MINES-TELECOM 10

OPTIQUE ONDULATOIRE 11

CCINP 11
CENTRALE-SUPELEC 12
MINES-TELECOM 14
MINES-PONTS 14

STATIQUE DES FLUIDES 15

MINES-PONTS 15

DYNAMIQUE DES FLUIDES 16

CCINP 16
ENSEA 17
MINES-TELECOM 18
MINES-PONTS 18

THERMODYNAMIQUE 1 : TRANSFORMATIONS, MACHINES 19

CCINP 19
MINES-TELECOM 20
MINES-PONTS 20

THERMODYNAMIQUE 2 : PHENOMENES DE TRANSPORT 21

CCINP 21
ST CYR 21
CENTRALE-SUPELEC 22
NAVALE 23
MINES-TELECOM 24
MINES-PONTS 25

ELECTROMAGNETISME **26**
CCINP 26
St Cyr 27
Navale 27
Mines-Telecom 28
Mines-Ponts 28
X 29
PHYSIQUE DES ONDES **30**
CCINP 30
Navale 30
Mines-Telecom 31
Mines-Ponts 31

Modalités des épreuves orales

CCINP

- Préparation 30 min avec une calculatrice prêtée par le concours
- Présentation 30 min avec sa propre calculatrice
- 1 exercice peu guidé ou résolution de problème (6 pts)
- 1 exercice classique (14 pts)

Centrale-Supélec

- **Physique 1** : 30 min sans préparation
- **Physique 2** : 30 min de préparation – 30 min de présentation

  Mise à disposition éventuelle d'outils informatiques (script Python, logiciels à prise en main immédiate)

Navale

- **Physique 1** : 30 min sans préparation : exercice proche du cours.
- **Physique 2** : 30 min sans préparation : exercice ouvert (type résolution de problème)

Mines-telecom

- 30 min sans préparation : 2 exercices portant sur des domaines différents.

Mines-Ponts

- 1h15 comprenant 15 min de préparation
- 2 exercices : 1 exercice avec préparation, 1 exercice sans préparation.

ENS

- 1h de préparation d'une synthèse sur un thème (ouvrages à disposition)
- 15 min de présentation + 10 min d'échanges
- 35 min de présentation d'un exercice sans préparation

X-ESPCI

- 50 min : exercice sans préparation (éventuellement un 2ème si le premier est bien mené).

CCINP

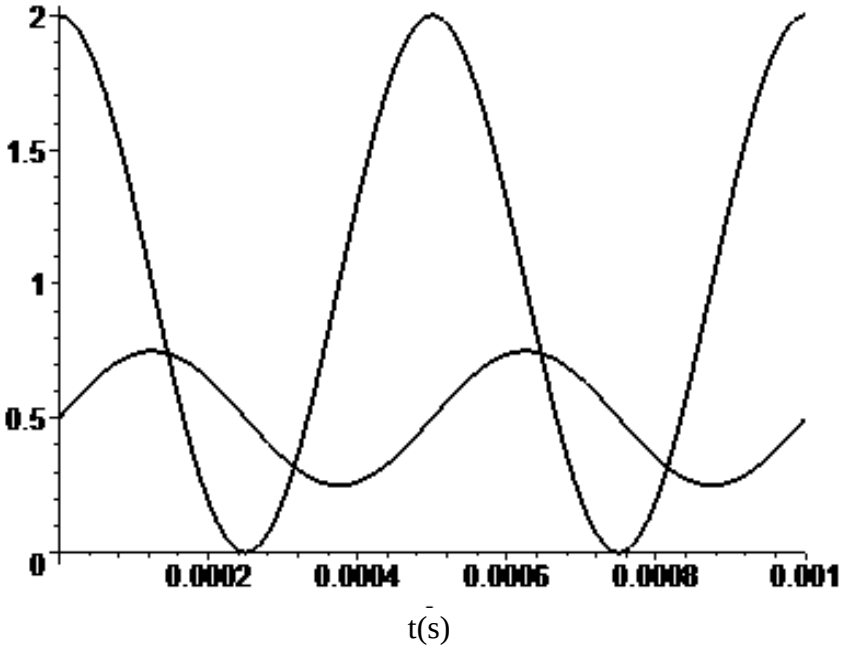
OREL36 – Etude d'un filtre (CCINP – 2022 – Julie DHALLUIN)

On considère la fonction de transfert suivante : $\underline{H}(\omega) = \frac{H_0}{1+j.\xi.\frac{\omega}{\omega_0}-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$

1 – Déterminer la nature du filtre.

2 – Tracer les diagrammes de Bode du gain et de la phase.

3 – On injecte en entrée du circuit correspondant à cette fonction de transfert une tension sinusoïdale de caractéristiques : $\langle v_e \rangle = 1\ V$, d'amplitude crête à crête *2 V*, de pulsation ω_0. On obtient en sortie l'oscillogramme suivant.



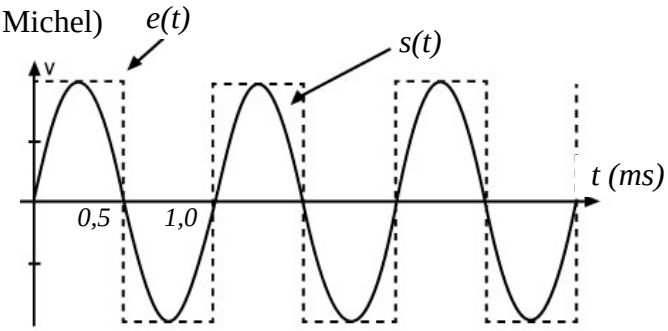
En déduire les valeurs de ω_0 , ξ , H_0 et du déphasage de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée.

OREL312 – Filtre passe bande (CCP-2019 Quentin Michel)

On donne la fonction de transfert d'un filtre passe bande :

$$\underline{H} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{H_0}{1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)}$$

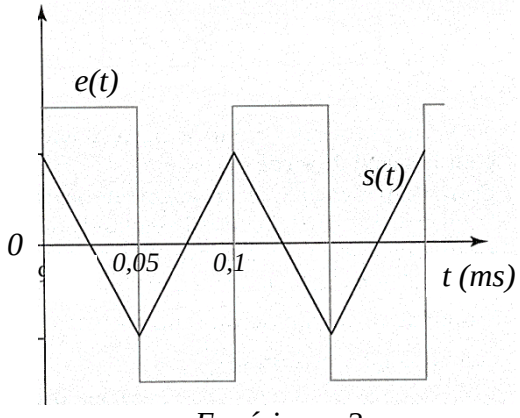
où $x = \frac{f}{f_0}$



Expérience 1

On réalise deux expériences donnant les oscillogrammes ci-contre.

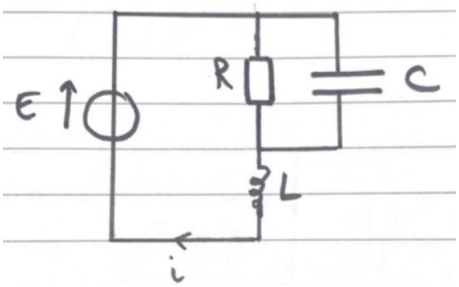
Dans les deux cas interpréter la forme de la tension de sortie et déterminer f_0 ainsi qu'une estimation de la valeur minimale du facteur de qualité *Q*.



Expérience 2

Mines-Telecom

OREL200 – Circuit R//C+L (Mines Telecom 2024 – Diane FAUVEAU)
On considère le schéma électrique suivant où le générateur passe de *0* à *E* à *t = 0*.



1 – Déterminer l'équation différentielle vérifiée par *i*.
2 – Déterminer l'expression du facteur de qualité *Q* et de la pulsation propre ω_0.
3 – Déterminer l'expression de *i* une fois le régime permanent atteint.

OREL38 – Le chant des baleines (Mines-Télécom 2016 – Alexandra Cherabieh) **(sans préparation)**
De nouvelles baleines ont été découvertes. Elles chantent à des fréquences de l'ordre de *60 Hz* et les plus petites *27 Hz* en dessous. Par comparaison, les dauphins chantent entre *800 Hz* et *10 kHz*.
Déterminer un dispositif permettant d'entendre le chant de ces nouvelles baleines.

OREL314 – Etude d'une fonction de transfert *(Mines-Télécom 2021 – Baptiste David)*
On donne la fonction de transfert d'un filtre : $\underline{H} = \frac{1}{1+2x^2-2j\sigma x}$ où $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ est la pulsation réduite.
1 – Quelle est la nature du filtre.
Effectuer l'étude asymptotique du gain en décibels et du déphasage puis tracer l'allure du diagramme de Bode.
Calculer la pulsation de coupure réduite x_c.
2 – On applique en entrée du filtre une tension triangulaire d'amplitude *1,0 V* dont la décomposition en série de Fourier est de la forme (en V) :

$$u_e(t) = \frac{8}{\pi^2}\sum_{p=0}^{\infty}\frac{1}{(2p+1)^2}\cos\big((2p+1)\Omega t\big)$$

Justifier que la tension de sortie puisse être sinusoïdale. Quelle est alors sa pulsation et son amplitude.

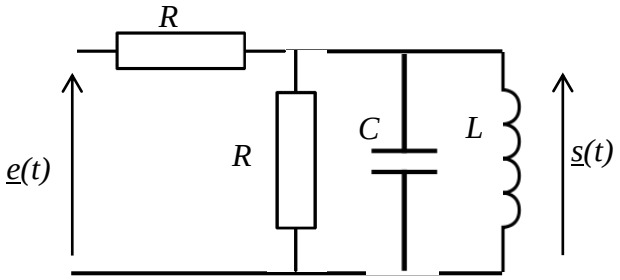
Mines-Ponts

OREL310 – Filtre RLC parallèle (Mines-Ponts 2018 – Xavier MORAND) **(sans préparation)**
On donne : *R = 1,0 MΩ ; L = 100 mH ; C = 1,0 µF*

Montrer que la fonction de transfert s'écrit :

$$\underline{H} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{H_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

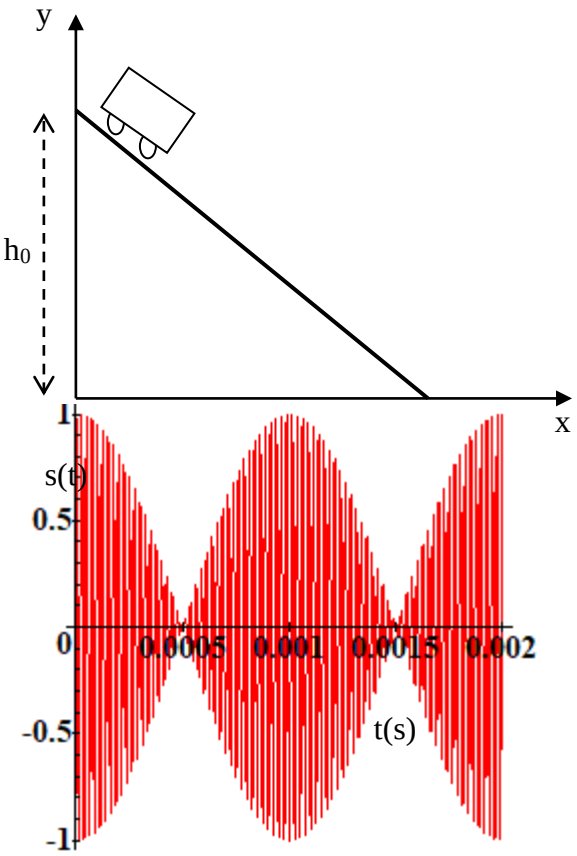
Déterminer les expressions de H_0 , Q et ω_0.
Commenter.



CCINP

ORME110 – Vélocimètre Doppler (CCP – 2015 – Godefroy Chancelier)

1 – Chariot de masse $M = 200\ g$, porté par quatre roues de rayon r et de masse $m = 20\ g$ est lâché au sommet d'une piste inclinée. Il roule sans frottement. Déterminer la vitesse du chariot en bas de la piste.
$h_0 = 1{,}00\ m$, $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$.
Moment cinétique d'une roue : $J = \frac{1}{2}mr^2$



2 – Soit un émetteur fixe envoyant un signal ultrasonore de fréquence $f_0 = 40\ kHz$. Soit un mobile se déplaçant à la vitesse v vers l'émetteur. Déterminer la fréquence du signal reçu par le mobile.

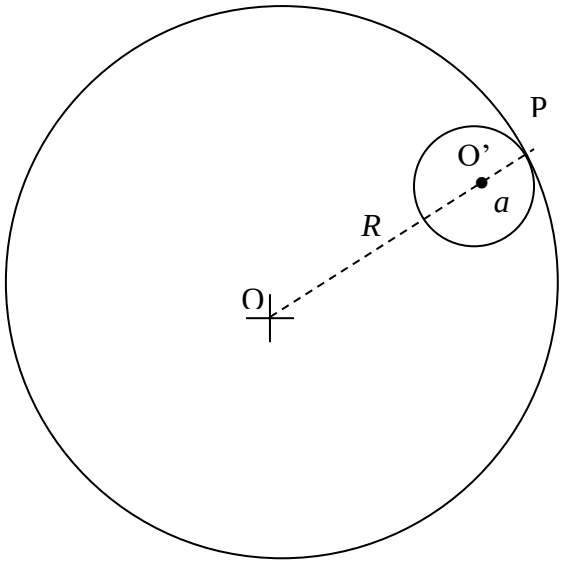
3 - Soit un émetteur et un récepteur séparés par une distance d. L'émetteur et le récepteur sont fixes et reliés à un oscilloscope.
Pour une distance $d = 0{,}80\ cm$, les oscillogrammes ne présentent pas de déphasage.
En déduire la célérité des ondes ultrasonores dans l'air.

4 – L'émetteur et le récepteur dirigés vers le chariot sont fixés en bas de la pente.
On donne la loi de Doppler :

$$f_1 = f_0 . \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}$$

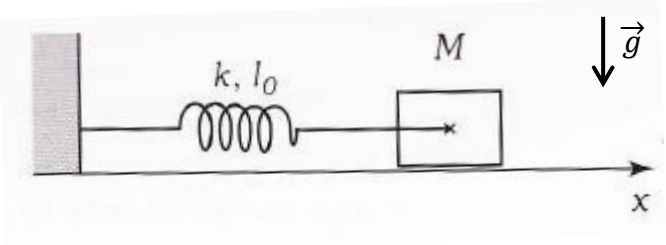
fréquence reçue par le récepteur après réflexion des ondes sur le mobile.
Simplifier l'expression de f_1 Sur la graphe ci-dessus, $s(t)$ est le produit du signal émis et du signal reçu par l'émetteur après réflexion sur le mobile. En déduire la vitesse v du mobile à l'instant de la mesure.

ORME124 – Gravimétrie (CCINP 2019 – Pierre BOUTIN)
On modélise la terre comme une distribution de masse volumique uniforme ρ ayant la forme d'une sphère de rayon $R = 6{,}4.10^3\ km$, de centre O et de masse totale M.
On considère une cavité sphérique souterraine de rayon a, affleurant la surface terrestre en P.



1 - Déterminer le champ gravitationnel dans la cavité.
2 - Calculer le nouveau champ gravitationnel $\vec{\Gamma}(P)$ en P.
3 - Un pendule simple de longueur ℓ oscille avec une période T qui dépend du champ gravitationnel local selon la formule $T = 2\pi\sqrt{\ell/\Gamma}$. Cette formule est valable si on assimile le champ gravitationnel au champ de pesanteur.
Sachant que la mesure de la période est réalisée avec une précision relative de 10^{-3}, quelle précision relative sur le champ gravitationnel peut-on mettre en évidence?

ORME126 – Oscillateur avec frottement solide (*CCINP – 2022 – Manon Gomès*)

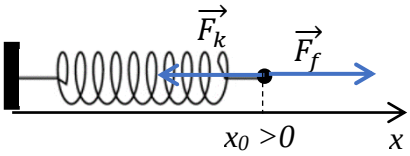


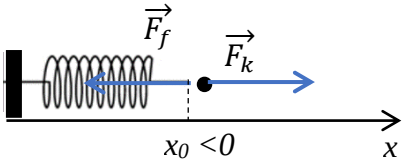
On considère le dispositif ci-contre où la masse *m* de centre de masse *M* est reliée à un ressort de raideur *k* et de longueur à vide ℓ_0. Elle est par ailleurs soumise à une force de frottement solide de coefficient de frottement *f* (on néglige la différence de valeur entre le coefficient de frottement dynamique et le coefficient statique).

On pose $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ et $\alpha = \frac{fg}{\omega_0^2}$

1 – Quelles sont les unités de ω_0 et α ?

2 – On déplace initialement la masse d'une abscisse x_0 (l'origine des abscisses de M est choisie lorsque le ressort est au repos).





Déterminer l'intervalle des abscisses x_0 dans lequel la masse reste à l'équilibre.

3 – Dans le cas où $x(0) = x_0 > 0$ et $\dot{x}(0) = 0$, déterminer l'équation du mouvement et l'instant t_1 ainsi que l'abscisse $x_1 = x(t_1)$ à laquelle la masse effectue son premier arrêt.

4 – Construire un raisonnement pour déterminer le nombre d'aller-retours avant arrêt total. On s'aidera du tracé de *x(t)* au cours de plusieurs aller-retours.

Centrale-Supélec

ORME18 – Force centrale (Centrale – 2015 - Mely)

Soient 2 corps ponctuels de masses *m* et *m'* << *m*, telles que *m* se situe en O et *m'* en M. Le système est supposé isolé. On note *r = OM*.

La masse *m'* est soumise à la force $\vec{F} = -\frac{K}{r^3}.\vec{e_r}$. (*K>0*) On a $\dot{\theta}(0) \neq 0$ et $\dot{r}(0) = 0$.

1 – Montrer que le référentiel dans lequel O est fixe est galiléen.

2 – Montrer que le moment cinétique en O de M se conserve.

3 – Montrer que la force est conservative.

4 – Donner l'expression de l'énergie mécanique et la mettre sous la forme d'une énergie cinétique effective dépendant de $\dot{r}$ et d'une énergie potentielle effective dépendant de *r*.

Donner les trajectoires possibles.

5 – Quelle vitesse v_0 faut-il donner à *m'* pour obtenir un mouvement circulaire uniforme ?

St Cyr

ORME128 – Rebonds (St Cyr 2024 – Diane Fauveau)

On étudie les rebonds d'une bille lâchée sans vitesse initiale d'une hauteur $h_0 = 1{,}50$ *m* au-dessus d'un plan horizontal. On introduit le coefficient de restitution comme étant le rapport des composantes de la vitesse normales au plan juste avant et juste après l'impact ($0 \leq e \leq 1$).

Pour $e = 0{,}80$, déterminer le nombre de rebonds jusqu'à ce que sa hauteur ne dépasse pas *1 mm*.

Mines-Telecom

ORME116 – Condition de non décollage (Mines-Télécom 2017 – Jérémy Roudin)

Une masse ponctuelle M est posée sur un plateau effectuant des oscillations verticales à la fréquence *f*.

Déterminer une condition sur la fréquence pour que M ne décolle jamais du plateau.

ORME130 - Pendule en ascenseur (Mines-Télécom 2024 – Grégoire GENUIT)

Lors d'un déménagement, on transporte une pendule dans un ascenseur du rez-de-chaussée au 5ème étage.
A l'issue du déménagement, l'horloge avance-t-elle ou déménage-t-elle ?

Mines-Ponts

ORME118 – Chute d'un satellite (Mines-Ponts – 2017 – Camille Magloire)
Au début des années 70, la NASA place la station Skylab sur une orbite circulaire d'altitude $r_0 = 440\ km$. A cette altitude, l'atmosphère résiduelle exerce sur lui une force de frottement $\vec{f} = -\alpha\vec{v}$ faible devant la force gravitationnelle.
1 – Etablir la loi de variation du rayon *r(t)* de l'orbite restant quasi-circulaire, et introduire une constante de temps τ.
Discuter alors l'hypothèse d'une « force de frottement faible devant la force de gravitation ».
2 – En considérant que l'altitude diminue de *30 km* en *7 ans* en déduire α.
Données :
Masse de la Terre : $M_T = 6{,}0.10^{24}\ kg$.
Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}4.10^3\ km$
Masse de skylab : $m = 90.10^3\ kg$

ENS

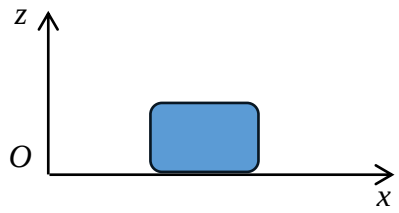
ORME112 – Freinage d'un glaçon (ENS)
On considère un glaçon à 0°C. On le lance sur une table métallique avec une vitesse v_0.
Déterminer la vitesse du glaçon en fonction du temps.
Données :

- Masses volumiques : eau : $1{,}0.10^3\ kg.m^{-3}$; glace : $0{,}92.10^3\ kg.m^{-3}$.
- Enthalpie de fusion de la glace : $\ell = 334\ kJ.kg^{-1}$
- Conductivités thermiques : glace : $2{,}1\ W.m^{-1}.K^{-1}$; métal : $10^2\ W.m^{-1}.K^{-1}$; eau : $0{,}6\ W.m^{-1}.K^{-1}$.
- Capacités thermiques massiques : eau : $4{,}18.kJ.kg^{-1}$; glace : $2{,}1.kJ.kg^{-1}$.
- C_x d'une plaque transversale : *1,1*
- Viscosités dynamiques : eau : $10^{-3}\ Pa.s$; air : $10^{-5}\ Pa.s$

CCINP

ORME212 – Freinage (CCINP 2024 – Edouard BUISSON)

Un pavé de masse M = 30 kg est en translation sur le sol horizontal avec une vitesse initiale $\vec{v}_0 = v_0\vec{e}_x$ avec $v_0 = 2{,}0\ m.s^{-1}$. On donne $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$.



1 – Rappeler la loi d'Amontons-Coulomb du frottement de glissement et calculer la norme de la réaction tangentielle $\|\vec{R}_T\|$. On donne *f = 0,2* le coefficient de frottement.

2 – Calculer la distance d'arrêt *d* du pavé.

Le pavé n'est maintenant plus en contact avec le sol. Il en est séparé par une couche de fluide d'épaisseur *e = 1,0 cm*, de viscosité dynamique $\eta = 0{,}01\ Pa.s$ et de masse volumique $\mu = 930\ kg.m^{-3}$.

La vitesse du fluide est notée $\vec{v}_f = v_f(z,t)\vec{e}_x$.

On négligera dans l'équation de Navier-Stokes l'accélération locale ainsi que tout gradient horizontal de pression. La surface de contact du pavé avec le liquide est $S = 400\ cm^2$

3 – Déterminer l'expression de $\vec{v}_f$ dans le fluide. En déduire l'expression de la force de frottements fluides sur le pavé.

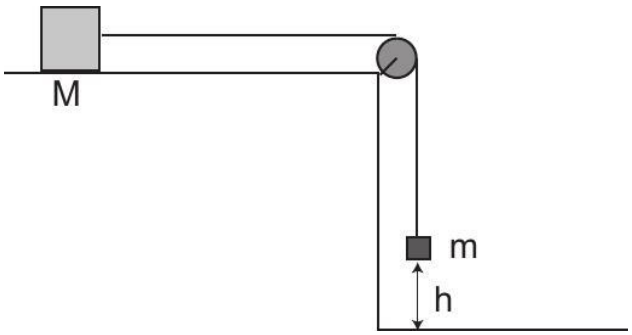
4 – Calculer la nouvelle distance d'arrêt.

5 – Calculer le nombre de Reynolds du liquide. Commenter.

Centrale-Supélec

ORME22 – Frottement solide (Centrale)

Une masse *M* est posée sur un plan horizontal en hauteur. Elle est reliée à une masse *m* par l'intermédiaire d'un fil inextensible passant sur une poulie de moment d'inertie négligeable. On lâche m à une hauteur *h* au dessus du sol. *M* parcourt une distance *d+h* avant de s'arrêter. On veut déterminer le coefficient de frottement *f* de *M* sur le plan.



1 - Décrire le mouvement de M. Quelle est la vitesse maximale atteinte par *M* ?

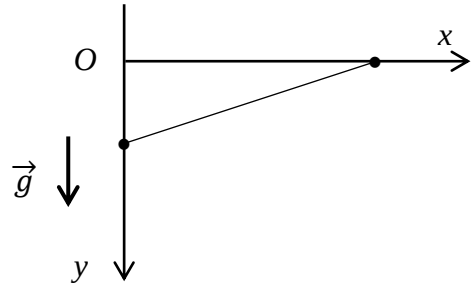
2 – Déterminer la distance *d*.

3 - Reprendre les deux questions précédentes en prenant en compte le moment d'inertie *J* de la poulie cylindrique de rayon *r*. Vérifier la cohérence avec le résultat de 1).

Navale

ORME210 – Equilibre (Navale 2023 – Victor Timsit)

Deux masses identiques sont respectivement enfilées sur une tige horizontale et une tige verticale reliées en O. Ces masses sont par ailleurs reliées entre elles par une tige sans masse. Les liaisons sont idéales.



La tige horizontale est animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de la tige verticale à la vitesse angulaire ω.

Déterminer les positions d'équilibre et leur stabilité.

Mines-Telecom

ORME28 – Evolution du soleil (Mines Télécom 2016 – Pierre-Barthélémy Vincent)

Le soleil sera plus tard semblable à un astre de rayon égal à celui de la terre R_T.

Déterminer la période de rotation du soleil alors.

Données :

Rayon terrestre : $R_T = 6{,}4.10^3\ km$

Rayon solaire actuel : $R_S = 6{,}0.10^5\ km$

Période de rotation du soleil actuel : $T_S = 27\ j$

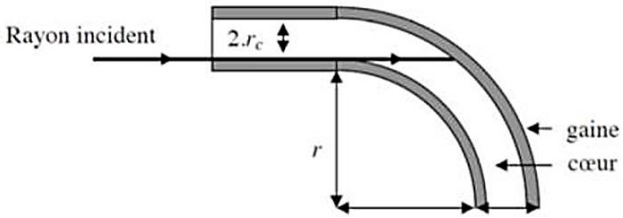
Masse du soleil : $M_S = 2{,}0.10^{30}\ kg$.

CCINP

OROP18 - Doublet de lentilles (*CCP – 2019*)
On dispose de deux lentilles L_1 et L_2 de vergences respectives $V_1 = +5\ \delta$ et $V_2 = -10\ \delta$.

1 – Quelle est la nature et la distance focale f'_1 et f'_2 de chaque lentille ?
2 – On aligne sur un banc d'optique dans cet ordre L_1 et L_2 séparées par une distance d et un écran placé à une distance D de L_2.
a – On place un objet à l'infini.
Tracer les rayons lumineux dans la configuration des lentilles permettant d'obtenir une image réelle de cet objet.
Quelle relation doit exister entre D, d, f'_1 et f'_2 pour obtenir l'image de l'objet sur l'écran ?
b – On place maintenant un objet dans le plan focal objet de L_1.
A quelle condition (si elle existe) obtient-on une image réelle. Tracer les rayons lumineux.
3 – On intervertit l'ordre de L_1 et L_2. On place un objet à *10 cm* devant L_2. A quelle condition obtient-on une image réelle ?

OROP104 – Fibre optique courbée (CCINP – 2024 – Edouard BUISSON)
On considère une fibre optique à saut d'indice dont la forme est décrite sur la figure ci-contre.



Données :
- indice du cœur : $n_c = 1{,}500$
- indice de la gaine : $n_g = 1{,}485$
- $r_c + r_g = 1{,}00\ mm$ $\qquad r_g - r_c \approx 0$

1 – Expliquer qualitativement pourquoi la courbure de la fibre optique peut conduire à une perte de signal.
2 – Donner l'expression du rayon de courbure r à partir duquel des pertes apparaîtront pour un rayon incident perpendiculaire à la section d'entrée de la fibre, à la limite du bord inférieur (voir figure)

Centrale-Supélec

OROP14 - Appareil photo jetable (Centrale – 2016 – Physique 2)

L'objectif d'un appareil photo jetable n'est constitué que d'une seule lentille mince de diamètre D, la pellicule se situant à une distance fixe derrière l'objectif. Cette distance n'est pas modifiable, de même que la distance focale f' de l'objectif : autrement dit, aucune mise au point n'est nécessaire.
1 - Quel type de lentille doit-être utilisé ? Estimer les valeurs typiques de d et D pour l'appareil photographique présenté.
2 - On tire le portrait d'une personne située à une distance $L = 3{,}0\ m$ de l'objectif de l'appareil.
Quel doit être la valeur f' pour que cette personne soit vue nette sur la photo ?
Faire un schéma. Peut-on voir la personne en entier sur la photo, en utilisant une pellicule 24×36 mm ?
On suppose désormais que l'appareil est conçu de sorte que $d = f'$.
3 - Déterminer le rayon r de la tâche lumineuse formée dans le plan de la pellicule par le faisceau de rayons lumineux issus d'un objet ponctuel situé sur l'axe optique à une distance de l'objectif. Commenter le résultat.
4 - Dans une revue photographique, on peut lire : « une pellicule 24×36 mm contient environ 2 millions de grains d'argent ».
Quelle est la position de l'objet le plus proche vu net sur la pellicule ? Est-ce satisfaisant pour les applications usuelles ?
5 - On réalise le portait d'une personne située à *5 m* de l'appareil
photo. Le portait est développé et le tirage est réalisé sur un format 10×15 cm.
Évaluer le pouvoir séparateur θ_{min} de l'œil humain. Peut-on se rendre compte que le portait est légèrement flou en l'observant à une distance de *30 cm* ? Conclusion ?

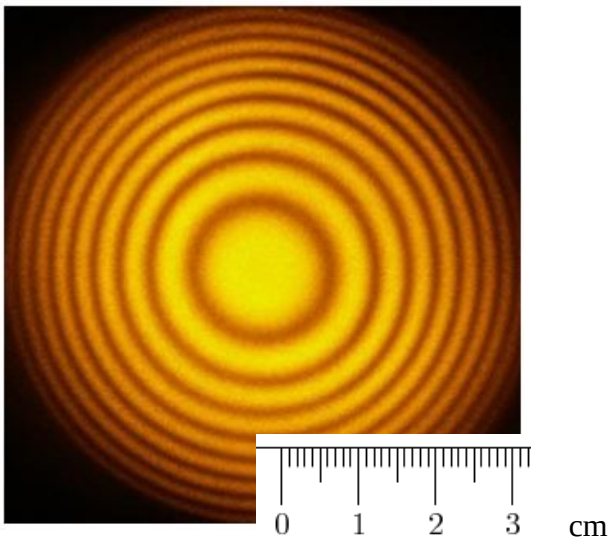
Mines-Telecom

OROP16 – Profondeur de champ et ouverture numérique (Mines-Télécom - 2018 – Charles Lefevre)
On modélise l'objectif d'un appareil photo par une lentille convergente de distance focale *f'*. On place un diaphragme de diamètre d'ouverture $2R = \frac{f'}{N}$ devant la lentille où N est le nombre d'ouverture du diaphragme. Après la lentille, est placée une barrette CCD où les pixels sont de côté a. Le dispositif est réglé à l'infini.
Déterminer la distance minimale D en fonction de f', N et a d'un point objet A à la lentille afin qu'il soit vu aussi net qu'un objet à l'infini.

OROP102 – Lunette astronomique (Mines-Télécom 2024 – Augustin AVALLE)
On observe Mars à l'aide d'une lunette astronomique constituée de deux lentilles convergentes, L_1 de distance focale f_1' et L_2 de distance focale f_2' .
Mars est vu à l'œil nu avec un diamètre apparent α.
1 – Comment disposer les lentilles afin d'assurer à l'observateur une observation sans fatigue ?
On donne $f_1' = 4.\ f_2'$
2 – Tracer deux rayons traversant la lunette et faisant un angle incident α avec l'axe optique.
3 – Exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α' est le diamètre apparent de Mars vue à travers la lunette.
4 – Où faut-il placer un capteur CCD afin de capturer une image de Mars ?

CCINP

OROP34 – Interféromètre de Michelson (CCP – 2015 – Alexis Naveau)



On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air. Les franges d'interférences sont observées grâce à une lentille convergente de distance focale *f' = 50 cm*.

1 – Représenter le dispositif, détailler le trajet des rayons lumineux interférant en un point M de l'écran dans le cas d'une source ponctuelle.

2 – Qu'en est-il de l'utilisation d'une source large ? Comment obtenir une figure d'interférence bien lumineuse et contrastée.

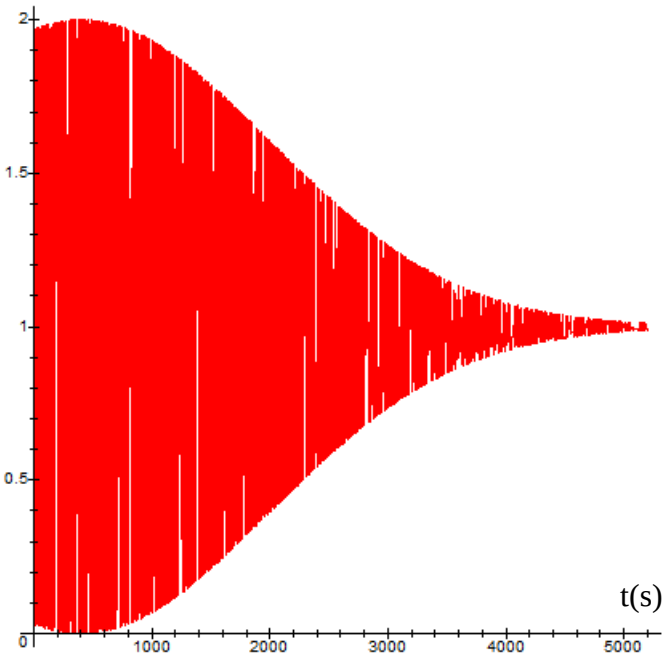
3 – Déterminer la différence de marche et en déduire le rayon des anneaux en fonction de l'ordre d'interférence.

4 – A partir de la figure, calculer l'épaisseur de la lame.

Donnée : Longueur d'onde de la source : $\lambda = 589{,}3$ nm

OROP42 – Largeur spectrale de la raie verte du mercure (*CCP – 2016 – Alexandre Gauvrit*)

Un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air est éclairé par une lampe à vapeur de mercure munie d'un filtre permettant d'isoler la radiation verte *(λ = 541 nm)* de largeur spectrale $\Delta\lambda = 0{,}04$ *nm* .On place au centre de la figure d'interférences projetée dans le plan focal d'une lentille convergente, un photorécepteur délivrant une tension *u(t)* proportionnelle à l'intensité lumineuse.



1 – Donner l'expression de *u(t)* (à une constante multiplicative près) dans le cas où la raie verte du mercure est supposée de largeur spectrale nulle.

2 - On donne ci-contre le graphe de cette tension en fonction du temps lorsque le moteur entraînant le miroir mobile est en fonctionnement et le translate à vitesse constante $v = 50\ \mu m.min^{-1}$. Déterminer l'instant où le miroir mobile passe au contact optique.

3 – Déterminer l'épaisseur e_{max} de la lame d'air à partir de laquelle on peut considérer les franges d'interférences brouillées. A quel instant est-elle atteinte ?

OROP56 – Spectromètre à réseau (*CCINP 2024 – Augustin AVALLE*)

On dispose d'un goniomètre sur lequel on a placé un réseau et d'une lampe à vapeur de mercure.

1 – Effectuer le schéma du montage comportant une lampe, une fente solidaire d'un collimateur réglé à l'infini, un réseau dont les traits sont verticaux et parallèle à la fente source, une lunette de visée réglée elle aussi à l'infini.

2 – Etablir la formule du réseau.

3 – On éclaire le réseau en incidence normale. On repère sur la platine du goniomètre l'angle $\alpha_0 = 43°25'$ de l'ordre 0. On repère ensuite sur la platine l'angle $\alpha_{2,v} = 62°33'$ de la raie verte du mercure ($\lambda = 546{,}1$ *nm*) dans l'ordre 2. En déduire le pas *a* du réseau et sa linéature *n*.

4 – Etablir l'expression du minimum de déviation D_m : $sin\left(\frac{D_{p,m}(\lambda)}{2}\right) = \frac{n.p.\lambda}{2}$

Où *p* est l'ordre de diffraction.

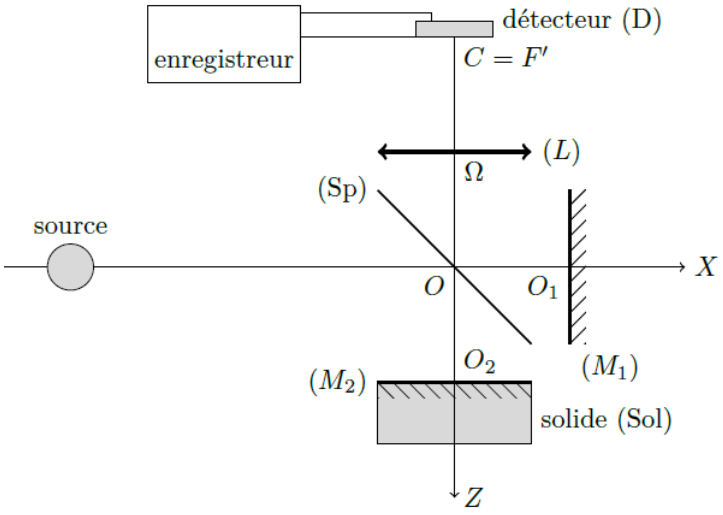
5 – On mesure au minimum de déviation pour la raie bleue du mercure l'angle $\alpha_{2,b} = 58°35'$.

En déduire la longueur d'onde de la raie bleue.

Centrale-Supélec

OROP28 – Mesure interférométrique du champ de pesanteur (Centrale)

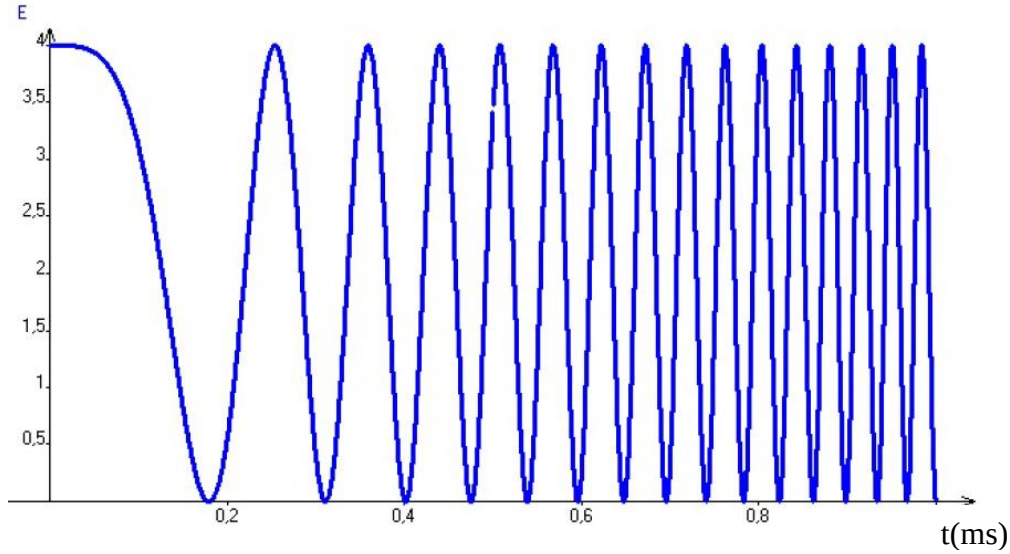
Un interféromètre de Michelson est éclairé par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 633\ nm$ étendue, centrée sur l'axe OX. On note ℓ_1 la longueur OO_1 et ℓ_2 la longueur OO_2. Cette longueur est variable, car (M_2) est relié à un solide (Sol) mobile en translation selon OZ. On note $e = \ell_2 - \ell_1$.



(L) est une lentille convergente de centre optique Ω de distance focale image $f_0 = 1{,}0\ m$ et de foyer image F'.

L'enregistreur utilisé est une photocellule qui est un petit disque de rayon R centré en F' et placé perpendiculairement à OZ. Cette photocellule délivre un signal électrique proportionnel à la puissance lumineuse totale reçue par le disque.

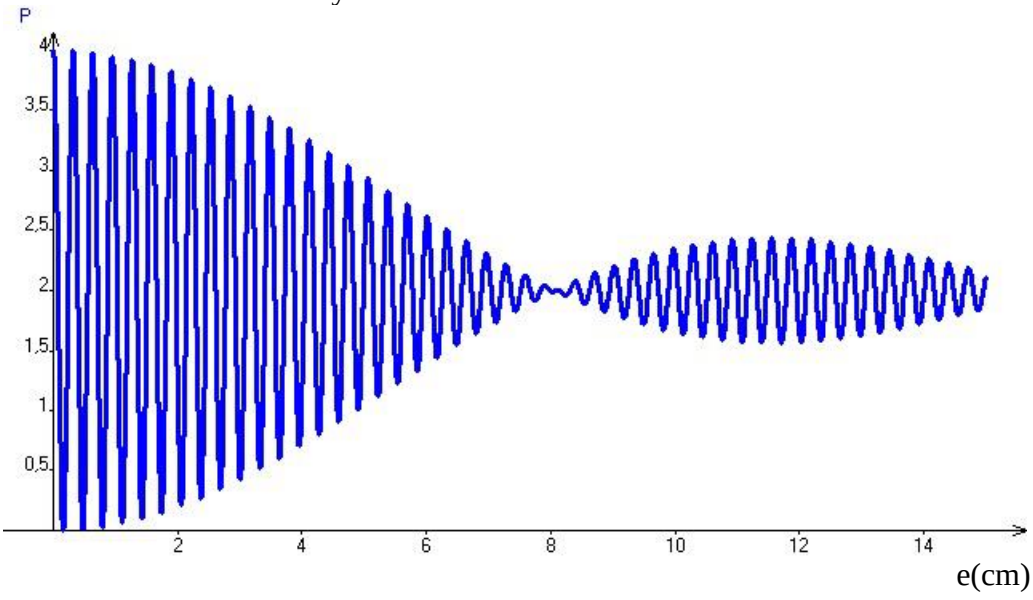
1 - Le solide (Sol) est en chute libre. Il est lâché sans vitesse à $t = 0$ et $e(t = 0) = 0$. Le graphe ci-dessous représente l'éclairement au point F' en fonction du temps. En déduire la valeur du champ de pesanteur terrestre g. On effectuera l'approximation des petits angles.



2.1 - Quelle est l'intensité lumineuse reçue à une distance r de F', dans le plan focal image de la lentille ?

2.2 - Si e est telle que l'intensité est maximale en F', quel est le rayon de la première frange sombre ?

2.3 - On représente sur le graphe ci-dessous la puissance lumineuse totale P reçue par la photocellule en fonction de e. En déduire la valeur du rayon R.



OROP32 – Mesure de l'indice de l'air (Centrale - 2015 – Florent Mely)

On règle un interféromètre de Michelson en plaçant les deux miroirs M_1 et M_2 perpendiculaires entre eux et équidistants de la séparatrice/compensatrice. On incline M_2 d'un angle α. $\lambda = 633\ nm$.

On place devant M_1 une cuve de longueur $\ell = 35\ mm$ contenant de l'air, considéré comme un gaz parfait à la pression $p_1 = 900\ hPa$.

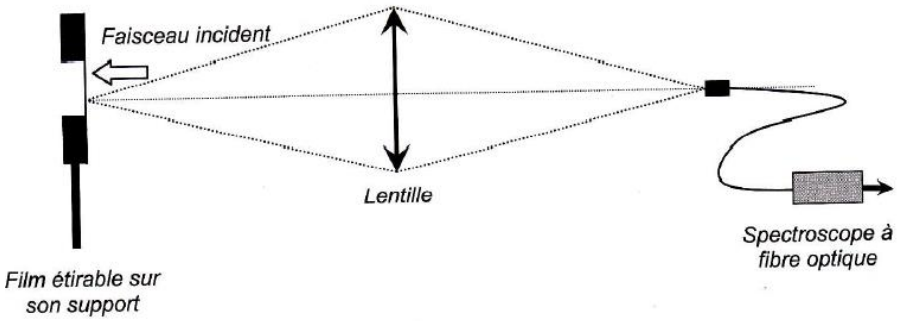
On remplit à nouveau d'air la cuve de façon isotherme pour amener la pression à $p_{atm} = 1013\ hPa$ et on voit défiler 4 franges en un point de la figure d'interférences.

La loi de variation de l'indice n de l'air en fonction de sa masse volumique ρ est donnée par $\frac{n(\rho)-1}{\rho} = Cte$

déterminer l'indice de l'air à pression atmosphérique.

OROP50 – Epaisseur d'un film étirable (Navale – 2017 – Jérémy Roudin)

Un film étirable alimentaire est éclairé en incidence normale par un faisceau de lumière blanche parallèle et on projette l'image du film sur un écran à l'aide d'une lentille convergente. On analyse alors le spectre de la lumière reçue sur l'écran à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.



Le film est assimilé à une lame d'épaisseur constante e et d'indice de réfraction n = 1,55.

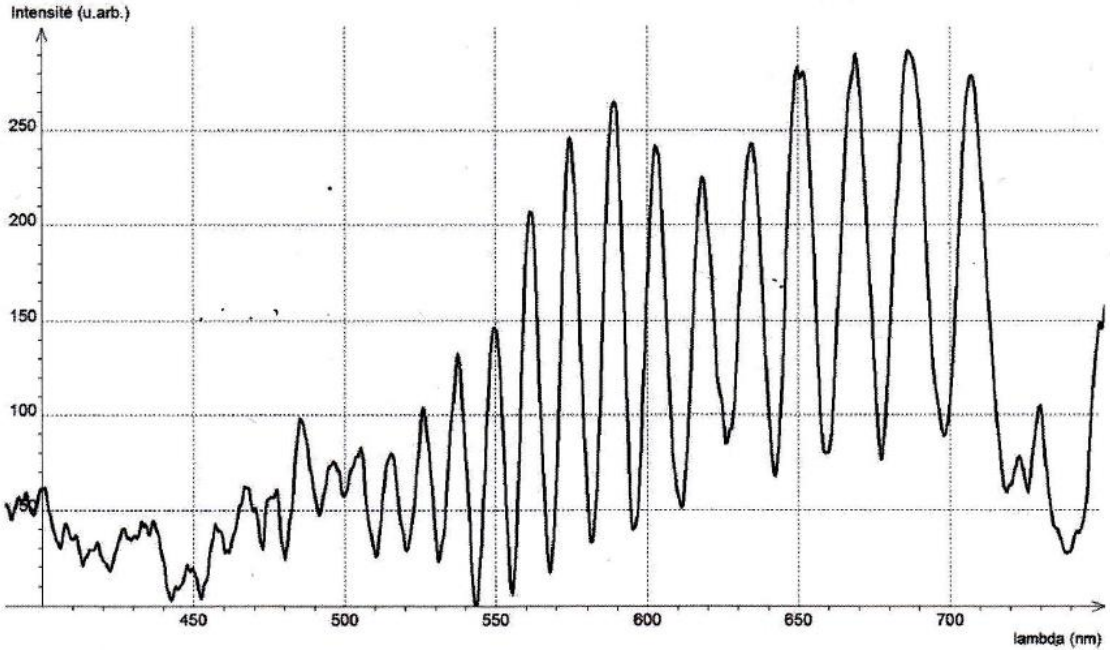
On donne les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des ondes lumineuses pour un dioptre séparant un milieu incident d'indice n_1 d'un milieu d'indice n_2.

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \qquad t = \frac{2.n_1}{n_1 + n_2}$$

1- Pourquoi préfère-t-on étudier le spectre de la lumière réfléchie plutôt que celui de la lumière transmise ?

2 - Représenter sur un schéma la marche des ondes qui interfèrent. En déduire leur différence de marche δ. On rappelle que la réflexion vitreuse entraîne un déphasage de π de l'onde réfléchie.

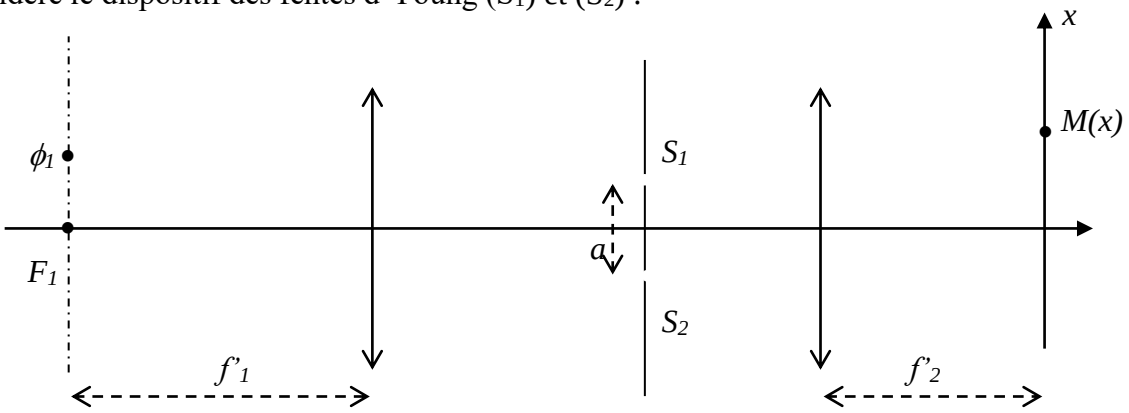
3 – Interpréter l'allure du spectre ci-dessous et en déduire l'épaisseur e du film étirable.



Mines-Telecom

OROP36 – Fentes d'Young (Mines Télécom – 2015 – Godefroy Chancelier)

On considère le dispositif des fentes d'Young (S_1) et (S_2) :



1 – Donner la différence de marche en M si le dispositif est éclairé par la source ponctuelle monochromatique placée en F_1. Qu'observe-t-on sur l'écran ?

2 – Donner la différence de marche en M si le dispositif est éclairé par la source ponctuelle en ϕ_1 de même longueur d'onde que F_1.

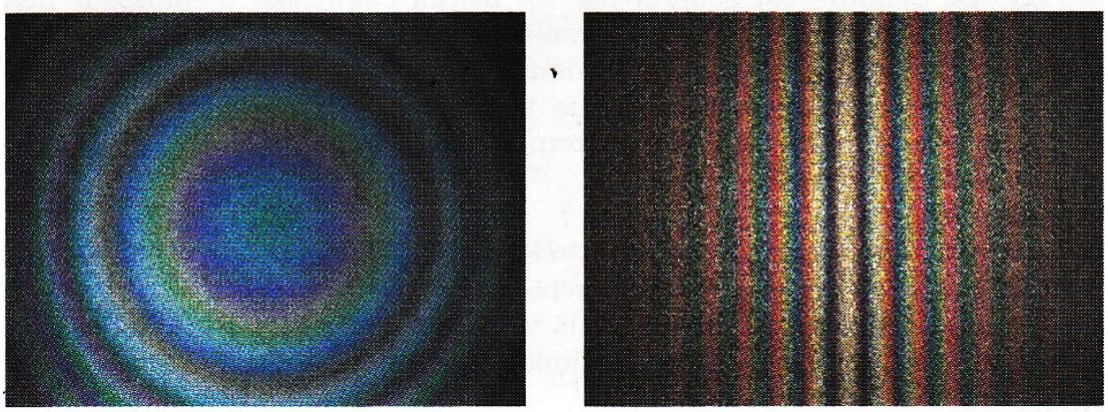
Qu'observe-t-on sur l'écran ?

3 - Qu'observe-t-on sur l'écran si le dispositif est éclairé par les deux sources mutuellement incohérentes. Donner une condition de brouillage des franges.

Mines-Ponts

OROP52 – Interféromètre de Michelson en coin d'air (Mines-Ponts 2019)

1 – Décrire le montage et reconnaître l'image relative à ce montage.



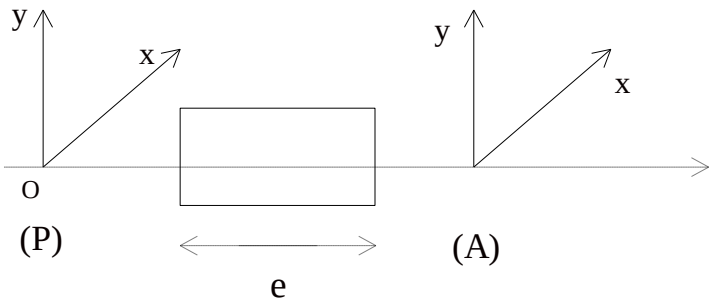
2 – Quel type de lentille choisit-on pour voir les franges sur un écran (focale *20 cm* ou *50 cm*) sachant que l'écran est à *1,25 m* du miroir ? A quelle distance la placer du miroir ?

3 – Trouver l'angle entre les deux miroirs, sachant que le miroir est large de *20 mm*, l'image sur l'écran de *8,0 cm* comporte 24 franges brillantes lorsque la source a la longueur d'onde $\lambda = 589\ nm$

OROP24 – Cellule à effet Kerr (Mines-Ponts)

Sur un banc d'optique on a placé une cuve à effet Kerr entre un polariseur (P) et un analyseur (A). Les directions de polarisation de (P) et de (A) sont colinéaires et sont portées par la première bissectrice des axes Ox et Oy.

La cellule est caractérisée par l'existence d'un champ électrique $\overrightarrow{E_K}$ uniforme et constant polarisée selon Oy.



On suppose que la cellule est équivalente au vide pour une onde plane progressive harmonique (OPPH) polarisée parallèlement à Ox et qu'elle introduit un retard de phase $\Delta\varphi = \frac{2.\pi}{\lambda_0}.B.\left|\vec{E}_K\right|^2.e$ (e : épaisseur de la cuve et B constante) pour une OPPH polarisée parallèlement à Oy.

1 – Une OPPH de lumière naturelle (longueur d'onde λ_0 , intensité I_0) arrive en incidence normale, sur le polariseur (P). Quelle intensité observe-t-on en sortie du polariseur d'une part, puis à la sortie de l'analyseur (A). Pour quelle valeur minimale et non nulle $E_{K,m}$ de E_K l'intensité à la sortie de (A) est-elle maximale ?

2 – On réalise l'expérience des fentes d'Young (distantes de a) éclairées par une onde plane de lumière naturelle monochromatique de longueur d'onde λ_0. On intercale devant l'une des fentes, la cellule à effet Kerr.
Donner l'intensité dans le plan focal de la lentille convergente de distance focale f'.

Statique des fluides

Mines-Ponts

ORME334 – Barrage hémicylindrique (Mines-Ponts)

On a un barrage hémicylindrique de rayon R avec une hauteur h d'eau retenue. La pression atmosphérique est notée P_0.

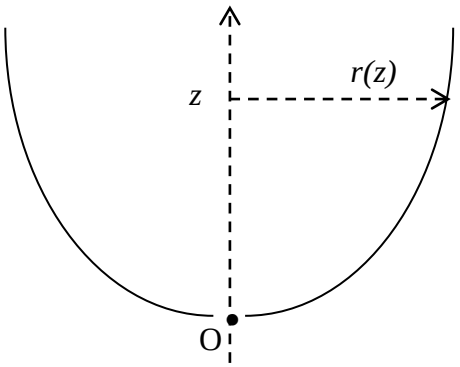
1 - Calculer la résultante des forces de pression qui s'exerce sur le barrage.

2 - Déterminer son point d'application.

CCINP

ORME38 – Clepsydre (*CCP – 2015 – Pierre Barthélémy Vincenti*)

On remplit ce récipient à symétrie de révolution d'un fluide parfait incompressible. Le fond du récipient est percé d'un trou de section $s << \pi.r^2(z)$.



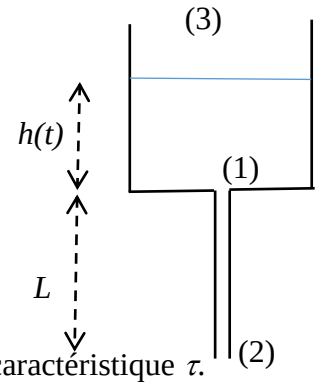
1 – Déterminer la vitesse de sortie du fluide.

2 – On note z_s la cote de la surface libre dans le récipient. On souhaite $\frac{dz_s}{dt} = -u = Cte$.

Déterminer $r(z)$.

ORME318 – Etude d'un viscosimètre (*CCP – 2017 – Antoine Lainé*)

On considère un fluide incompressible de masse volumique μ et de viscosité η s'écoulant dans un viscosimètre constitué d'un réservoir de rayon R' à la base duquel est relié un tuyau de rayon R et de longueur L. La pression ambiante est P_0. On supposera cet écoulement suffisamment lent pour utiliser la relation de la statique des fluides incompressibles.



On note $R_H = \frac{8L\eta}{\pi R^4}$ la résistance hydraulique du tuyau.

1 – Que valent P_2 et P_3 ? Exprimer $P_1 - P_3$.

2 – Exprimer le débit volumique en fonction de $\frac{dh}{dt}$ et de R'.

3 – En déduire une équation différentielle vérifiée par h(t).

La résoudre avec la condition h(0) = h_0. On fera apparaître une constante de temps caractéristique τ.

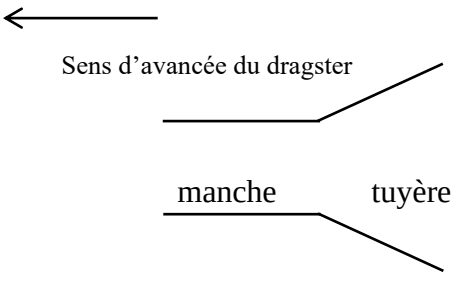
4 – En 7 minutes, la surface libre du fluide descend de *5 cm*. Calculer τ.

En déduire $\nu = \frac{\eta}{\mu}$ la viscosité cinématique du fluide.

5 – Evaluer l'ordre de grandeur du nombre de Reynolds de l'écoulement dans le tuyau. Conclure.

Données : $\pi R'^2 = 4\ cm^2$; $L = h_0 = 10\ cm$; $R = 2{,}0\ mm$.

ORME322 – Dragster (CCP – 2018 – Nicolas Rostoker)



Un dragster est composé d'une manche d'entrée d'air et d'une tuyère.

La manche d'entrée d'air reçoit l'air à vitesse négligeable et en ressort à vitesse également négligeable. L'air subit une compression adiabatique dans cette manche. On mesure à l'entrée de la tuyère $P_e = 3{,}0\ bar$ et une température $T_e = 850\ °C$. A la sortie de la tuyère, on mesure $P_s = P_0 = 1{,}0\ bar$ et $T_s = 400\ °C$. La section de sortie de la tuyère est trois fois plus grande qu'à l'entrée. L'air est assimilé à un gaz parfait. La température ambiante est $T_0 = 300K$.

L'écoulement d'air dans le dragster est supposé stationnaire avec un débit massique $D_m = 1{,}0\ kg.s^{-1}$.

On donne : $c_p = 1{,}0\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ la capacité thermique massique de l'air à pression constante.

$\mu = 1{,}3\ kg.m^{-3}$ la masse volumique de l'air ambiant.

$\eta = 1{,}0.10^{-5}\ Pa.s$ la viscosité de l'air.

La force de traînée du véhicule s'exprime sous la forme : $\vec{F} = -\frac{1}{2}\mu S C_x V^2 \overrightarrow{u_x}$ avec $C_x = 0{,}2$, $S = 1{,}0\ m^2$.

1 – En faisant un bilan macroscopique d'énergie interne, déterminer la vitesse de l'air à la sortie de la tuyère.

2 – Déterminer la force de l'air exercée sur la tuyère.

3 – Déterminer la puissance du moteur du compresseur pour effectuer la compression de l'air dans la manche.

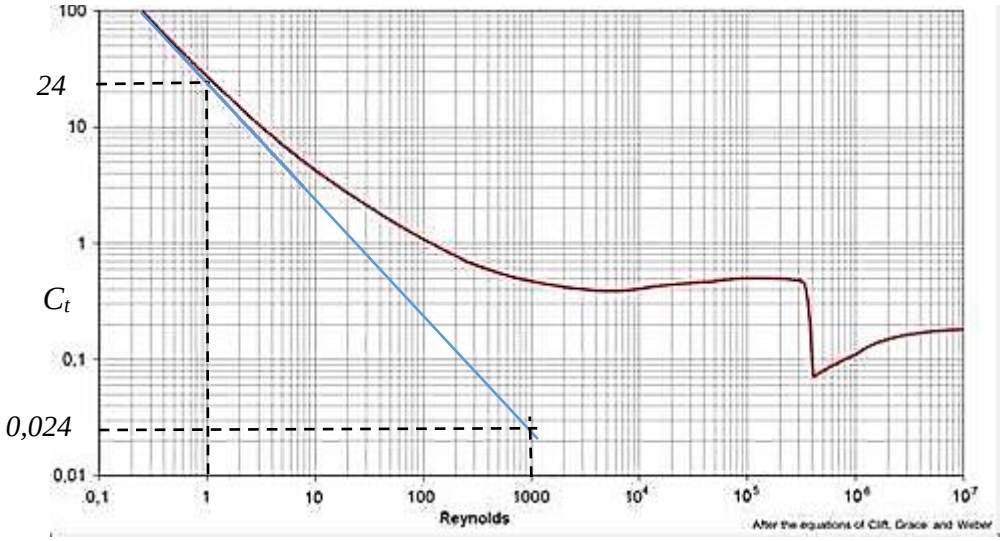
4 – En supposant cette puissance moteur constante, déterminer la vitesse maximale du dragster.

5 – Estimer le nombre de Reynolds. Conclure quant-à la forme de la force de traînée.

ORME330 – Expérience de Millikan (CCINP 2023 – Alban de Josnières)

Dans l'expérience historique de Millikan, des gouttelettes d'huile de rayon r de masse volumique ρ_h préalablement chargée q chutent dans une enceinte pleine d'air de masse volumique ρ_a, de viscosité dynamique η , où règnent le champ de pesanteur $\vec{g}$ et un champ électrique vertical $\vec{E}$ uniforme et constant. On se propose de déterminer la charge q *(a priori un multiple de e)* par la mesure de la vitesse limite atteinte par une gouttelette après avoir précisé la forme de la force de traînée subie par la gouttelette $\vec{F} = -\frac{1}{2}C_t \pi r^2 v \vec{v}$ où $\vec{v}$ est la vitesse de la gouttelette.

On donne la courbe expérimentale (en échelle log-log) du coefficient de traînée C_t en fonction du nombre de Reynolds R_e.



1 – Exprimer le nombre de Reynolds de la gouttelette en fonction de son rayon, de sa vitesse et d'autres constantes. Que peut-on en déduire selon sa valeur ?

2 – Rappeler l'unité de η.

3 – On modélise la courbe par une fonction affine pour $R_e < 1$: $\log(C_t) = a.\log(R_e) + \log(b)$

A l'aide du graphe, déterminer a et b.

4 – En déduire l'expression de $\vec{F}$ en fonction de η, r, et $\vec{v}$.

5 – Déterminer l'expression de la vitesse limite v_{lim} de la gouttelette.

En déduire la valeur numérique q sachant qu'on mesure $v_{lim} = 0{,}10\ mm.s^{-1}$.

Données : $r = 1{,}0\ \mu m$, $\rho_a = 1{,}3\ kg.m^{-3}$, $\rho_h = 886\ kg.m^{-3}$, $E = 100\ kV.m^{-1}$, $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$, $\eta = 1{,}0.10^{-5}$ USI

ENSEA

ORME312 – Expérience de Toricelli (ENSEA – 2016 – Loïc Dagneau de Richecourt)

Un tube cylindrique fermé à une extrémité est retourné vide sur une cuve à mercure. Le Tube est d'abord vertical. Sa section est $s = 1{,}0\ cm^2$, sa longueur utile (émergée) est $\ell = 1{,}0\ m$. La pression atmosphérique est $H = 76\ cm\ Hg$. La température constante $T = 20\ °C$.

On introduit $74\ mg$ d'éther.

1 – Quelle est la hauteur h de mercure dans le tube ?

2 – On incline le tube, la longueur utile est toujours $\ell = 1{,}0\ m$. Pour quel angle α apparaît la première goutte d'éther liquide ?

Données :

Masse volumique du mercure : $\rho_{Hg} = 13{,}6.10^3\ kg.m^{-3}$

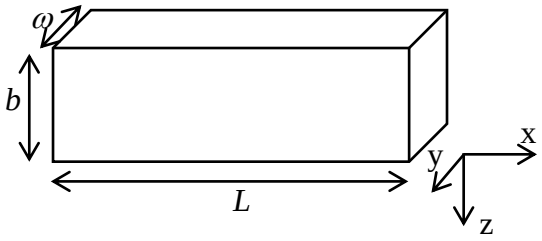
Masse molaire de l'éther : $M_{Et} = 74\ g.mol^{-1}$

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

Pression de vapeur saturante de l'éther à 20°C : $H_{sat} = 44\ cm\ Hg$

ORME324 – Ecoulement en tuyau à section rectangulaire (ENSEA 2019 – Eloi Meyrand)

On considère l'écoulement stationnaire d'un fluide incompressible dans une canalisation de longueur L et de section rectangulaire, avec $b << L$ et $b << \omega$.
On admet que la nombre de Reynolds de l'écoulement est *faible* et que la gradient horizontal de pression est uniforme : $\frac{\partial P}{\partial x} = -G$

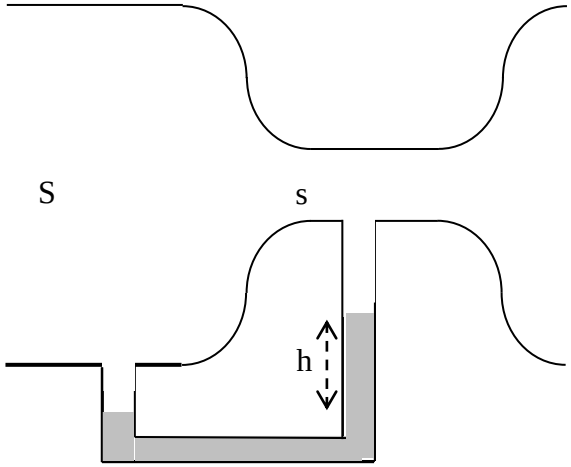


1 – Justifier que le champ de vitesse peut être considéré de la forme $\vec{v} = v_x \vec{u}_x$
2 – Déterminer l'expression de v_x.
3 – Déterminer la vitesse moyenne $\overline{v}_x$ et la résistance hydraulique de la canalisation.

Mines-Telecom

ORME310 – Tube de Pitot (Minettes – 2015 – Florent Mely)

On considère un écoulement d'eau dans cette conduite. La section de l'étranglement est $s << S$. Le tube sous la conduite contient du mercure.
Etablir la relation entre h et le débit volumique d'eau dans la conduite.



Mines-Ponts

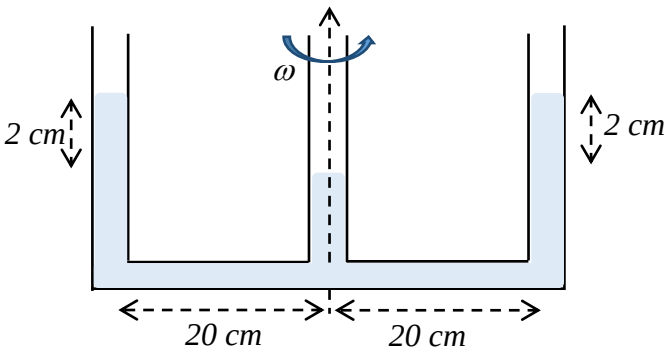
ORME320 – Injection (Mines – 2017 – Louis Fèvre)

On utilise une seringue pour injecter un médicament.
Exprimer la pression qu'il faut exercer sur la seringue pour injecter le médicament, en fonction des sections de la seringue au niveau du piston et de l'aiguille, et du débit volumique.
Pour effectuer l'application numérique, vous introduirez des valeurs qui vous semblent adaptées au problème.

ORME326 – Tube en W en rotation (Mines-Ponts)

Le rayon r des tubes est très inférieur à *20 cm*.
Le fluide est de l'eau liquide.

Déterminer la vitesse angulaire de rotation constante ω en *tr/min*.



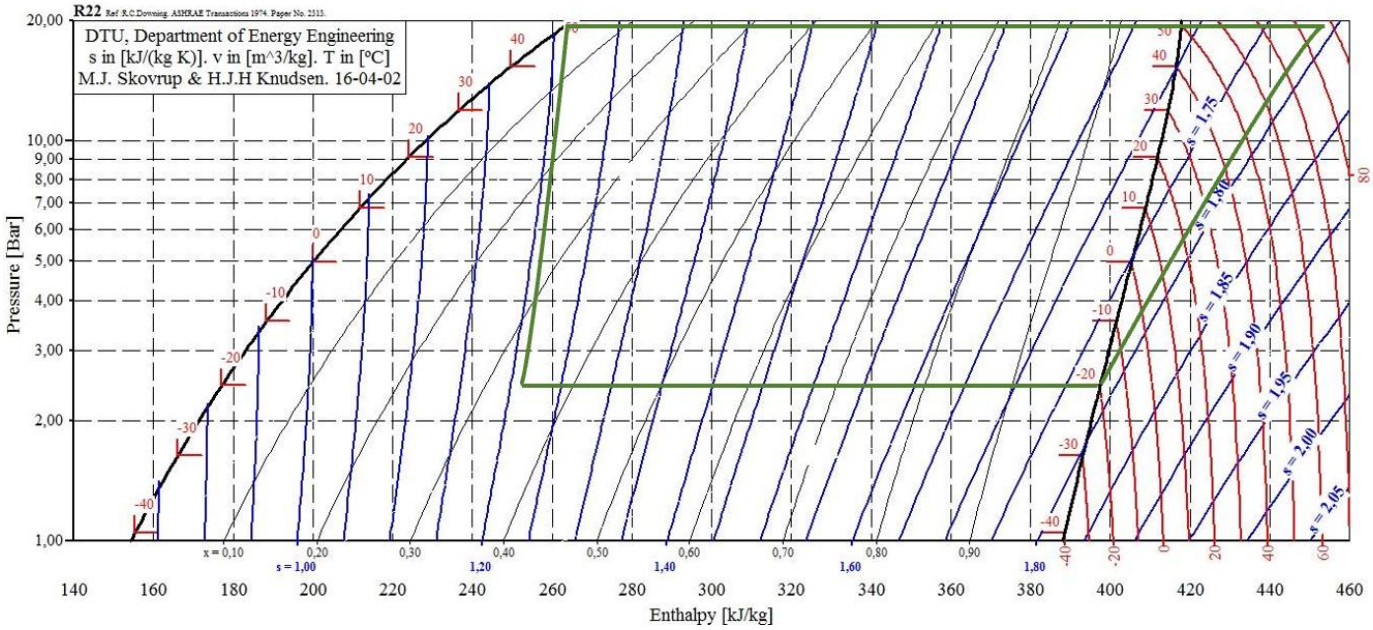
CCINP

ORTH16 – Modèle d'atmosphère (*CCP – 2015 – Constance Granger*)
On considère un modèle de l'atmosphère terrestre, considérée comme un gaz parfait, présentant un gradient de température $\frac{dT}{dz} = -C$ où $C = 6{,}00.10^{-3}\ K.m^{-1}$.
Au niveau de la mer $t_0 = 15\ °C$. $P_0 = 1013\ hPa$
1 - Calculer t à Chamonix (1000 m) et en haut du Mont Blanc (4810 m).
Ce modèle est diurne. Commenter.
2 – En écrivant l'équilibre hydrodynamique de l'atmosphère, établir l'expression de la pression en fonction de l'altitude. Poser $\chi = \frac{M.g}{R.C}$ où M est la masse molaire de l'air, R la constante des gaz parfaits, g l'accélération de la pesanteur suppose uniforme, $P(z=0) = P_0$.
Calculer la pression atmosphérique à Chamonix, au Mont Blanc.
Données : $M = 29\ g.mol^{-1}$; $R = 8{,}31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$; $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$

ORTH18 - Neige artificielle (CCP – 2016 – Cédric Xavier)
Un canon à neige pulvérise dans l'air à la température $T_e = -15°C$ des gouttelettes d'eau de rayon $R = 10\ \mu m$ et de température $T_i = 10\ °C$ supposée uniforme. La gouttelette entretient avec l'air des échanges thermiques modélisés par un flux conducto-convectif : $d\phi = h.(T(t) - T_e).dS$ où $h = 10\ W.m^{-2}.K^{-1}$, $T(t)$ est la température de la gouttelette et dS son élément de surface. La pression atmosphérique est constante $p_0 = 1\ bar$.
1 – Calculer le temps nécessaire pour qu'une gouttelette atteigne la température $T_s = -5{,}0\ °C$, dit température de surfusion puisque l'eau reste liquide.
2 - A $T = T_S$, l'état de surfusion est rompu. Calculer alors la fraction massique de glace qui se forme. On supposera la transformation suffisamment rapide pour être considérée adiabatique.
3 – Calculer le temps nécessaire à la solidification du reste de l'eau.
4 – On donne l'ordre de grandeur du coefficient de diffusion thermique de l'eau : $D \approx 10^{-6}\ m^2.s^{-1}$
Négliger les phénomènes de diffusion thermique dans les questions 1 et 3 était-il justifié ?
Données :
masse volumique de l'eau liquide : $\rho = 1{,}00.10^3\ kg.m^{-3}$
capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4{,}18\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.
chaleur latente de fusion de la glace à $0°C$: $\ell = 333\ kJ.kg^{-1}$

ORTH28 – Climatiseur de voiture (CCP – 2017 – Julie Colas)
De l'air considéré comme un gaz parfait circule dans une voiture maintenue à la température de 20°C. L'air extérieur est à 35°C.
On fournit ci-dessous le diagramme (logp,h) du fluide circulant dans le dispositif de climatisation.

1 – Indiquer sur le diagramme où figure le cycle suivi par le fluide du climatiseur, le sens de son parcours, et préciser les noms des transformations, le sens des transferts thermiques.
2 – Quelle est la particularité de la transformation dans le compresseur ? Déterminer le travail massique reçu par le fluide dans le compresseur. Commenter son signe.
3 – Déterminer le transfert thermique au niveau de l'habitacle.
4 – Calculer l'efficacité thermodynamique de la machine et la comparer à l'efficacité d'une machine idéale. Commenter.
5 – Expliquer le fait que cette machine assèche en même temps qu'il refroidit l'air de l'habitacle.



Mines-Telecom

ORTH112 – Technique de la tour de plomb *(Mines Télécom 2021 – Grégoire CHASSIN du GUERNY)*

Pour fabriquer des billes de plomb, on fait passer à travers une grille du plomb fondu qui tombe ensuite sous forme de gouttes sphériques de rayon $a = 1{,}0$ *mm*, dans une tour de hauteur H.

On cherche à déterminer la hauteur minimale de chute H pour que les billes de plomb soient solides en bas de la tour.

On donne :

- Loi de Newton du transfert conducto-convectif à la surface de la bille d'aire S : $P = hS(T - T_{air})$
- $h = 40\ W.m^{-2}.K^{-1}$.
- $T_{air} = 300\ K$
- Température de fusion du plomb : $T_f = 327\ °C$
- Enthalpie massique de fusion du plomb : $L_f = 23{,}2\ kJ.kg^{-1}$.
- Masse volumique du plomb : $\rho = 11{,}4.10^3\ kg.m^{-3}$

Mines-Ponts

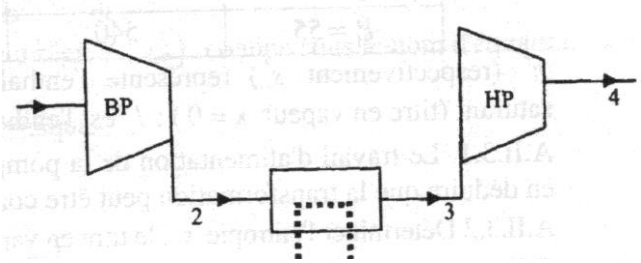
ORTH210 – Climatiseur (Mines)

Un climatiseur fait passer la température d'une pièce de capacité calorifique C de la température T_0 (température de l'air extérieur) à la température $T_1 < T_0$ en un temps τ. Le climatiseur est par ailleurs en contact avec l'air extérieur et un moteur qui lui fournit la puissance P_m.

Déterminer l'expression de la capacité calorifique maximale C de la pièce que le climatiseur peut ainsi refroidir.

ORTH212 - Compresseur à 2 étages *(Mines-Ponts – 2022 – Andéol de JOSNIERES)*

On étudie l'étage de compression d'une turbine à gaz réalisant une compression en deux étapes de l'air (considéré comme un gaz parfait) avec une réfrigération intermédiaire. Les deux compresseurs basse pression (BP) et haute pression (HP) sont considérés comme adiabatiques et les évolutions y sont stationnaires et réversibles.



La réfrigération (2-3) s'effectue à pression constante.

Données :

points	1	2	3	4
T(K)	300		300	
P(bar)	1			a

On note : $a = \frac{p_4}{p_1} = 25$ le rapport de compression totale cherché

$r = \frac{p_2}{p_1}$ le rapport intermédiaire

c_p = *1,0 kJ.K^{-1}.kg^{-1}* la capacité thermique à pression constante de l'air $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1{,}40$

1 – Calculer le travail utile massique pour comprimer de p_1 à p_4 à l'aide d'un seul compresseur isentropique.
2 – Exprimer littéralement le travail utile massique total de compression fourni par les parties mobiles des compresseurs BP et HP à l'air dans l'évolution (1-4) en fonction de c_p , T_1 , a, r et γ.
3 – Déterminer la valeur de r qui rend minimal ce travail avec $a = 25$
4 – Calculer alors les températures T_2 et T_4.
5 – La réfrigération de l'air lors de l'évolution (2-3) est assurée par une circulation d'eau liquide qui entre à la température $T_0 = 283$ *K* et dont la température finale ne doit pas dépasser, pour des raisons écologiques *293 K.*
Sachant que le réfrigérant est parfaitement calorifugé, déterminer le débit massique d'eau minimal nécessaire.
Données : Capacité thermique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}18$ *kJ.K^{-1}.kg^{-1}*
Débit massique de l'air dans l'installation : $d_m = 1{,}3$ *kg.s^{-1}*.

Thermodynamique 2 : phénomènes de transport

CCINP

ORTH414 – Survie en igloo (*CCP – 2017 – Aurélien Lebrun*)
Trois aventuriers veulent construire un igloo hémisphérique pour passer la nuit. L'épaisseur de l'igloo est noté *e.* Chacun émet une puissance thermique $P = 70$ *W.*
On se place en régime stationnaire.
On donne : * λ : conductivité thermique de la glace.
* h_{int} et h_{ext} les coefficient de transfert conducto-convectif entre l'air et la surface interne de l'igloo d'une part, et la surface externe de l'igloo d'autre part, dans le cadre de la loi de Newton donnant le flux thermique surfacique : $h.(T_{surface} - T_{air})$.
* $R_{th} = \frac{R_2 - R_1}{4\pi\lambda R_1 R_2}$ résistance thermique d'une coquille **sphérique** de rayon interne R_1 et externe R_2.
1 – Exprimer la résistance thermique de l'ensemble R_{tot}.
2 – On suppose que la glace ne fond pas. Exprimer T_{int} en fonction de T_{ext} , R_{tot} et P.
3 – Comment évolue R_{tot} avec e ?
4 – On souhaite trouver e pour que la glace ne fonde effectivement pas.
Donner l'équation vérifiée par e_{max} pour que la glace ne fonde pas et donner T_{int} dans ce cas.

St Cyr

ORTH32 – Dialyse du sang *(St Cyr – 2017 – Antoine Lainé*)
1 - Introduire et définir le vecteur $\overrightarrow{j_n}$ et énoncer la loi de Fick. En quoi cette loi traduit-elle l'irréversibilité du phénomène de diffusion de particules ?
2 – On considère une membrane plane d'épaisseur e et d'aire S. A sa gauche règne une densité volumique de particules n_1, et n_2 à sa droite. On considère le régime de diffusion des particules à travers la membrane stationnaire.

a) Montrer que $\overrightarrow{j_n}$ est uniforme dans la membrane.
b) Calculer le flux ϕ de particules à travers la membrane en fonction de n_1 , n_2 , e, S et D (coefficient de diffusion).

3 – Le réservoir à gauche de la membrane a un volume V_1 et contient $N_1(t)$ molécules d'urée à l'instant t.
Le réservoir de droite est lui décrit par les grandeurs V_2 et $N_2(t)$.
Initialement, le compartiment de gauche contient N_0 molécules d'urée, le compartiment de droite contient de l'eau pure.

a) Que dire de $N_1(t) + N_2(t)$?
b) Etablir une équation différentielle vérifiée par $N_1(t)$.
c) Calculer la durée nécessaire pour diviser par deux la concentration d'urée dans le compartiment de gauche.

Centrale-Supélec

ORTH34 – Bulles de champagne *(Centrale – 2022 – Cyrille COLLOT)*

On envisage une bulle de champagne unique, sphérique de centre B fixe et de rayon variable *a(t)* contenant $N_g(t)$ molécules de dioxyde de carbone assimilé à un gaz parfait ; on note $C_g(t)$ le nombre, supposé uniforme, de molécules de dioxyde de carbone par unité de volume dans cette bulle. On repère un point M par ses coordonnées sphériques *(r, θ, φ)* de centre B.

Le champagne liquide occupe le reste de l'espace et on y note *C(r, t)* le nombre volumique de molécules de dioxyde de carbone, supposé indépendant de θ et φ .

On néglige les phénomènes de tension superficielle et la pesanteur, de telle sorte que la pression p est uniforme dans tout le système, avec la même valeur dans la phase gazeuse et dans la phase liquide.

L'équilibre chimique entre une bulle de champagne et la solution aqueuse qui l'entoure dans une bouteille fermée où la pression initiale vaut $p = p_i$, impose la relation $C = \frac{\chi p_i}{k_B T}$ entre le nombre volumique de molécules *C* dans la phase liquide et la pression p_i dans la phase gazeuse ; χ ne dépend que de la température (c'est donc une constante) ; k_B est la constante de Boltzmann.

Lorsqu'on ouvre la bouteille de champagne, la pression chute brutalement jusqu'à la pression atmosphérique $p = p_e$ avec $p_e < p_i$. La condition d'équilibre chimique n'est plus assurée qu'à l'interface entre la bulle et la solution ; elle s'écrit $C(r = a, t) = \frac{\chi p_e}{k_B T}$. Loin de la bulle, on suppose qu'on a toujours $C(r = \infty, t) = \frac{\chi p_i}{k_B T}$.

Ainsi *C(r, t)* n'est plus uniforme et le dioxyde de carbone diffuse dans la solution : on note $\vec{j} = j(r,t).\overrightarrow{u_r}$ le vecteur densité de flux de particules ; il satisfait à la loi de Fick avec un coefficient de diffusion D .

1 - Soit une couronne sphérique de champagne liquide, comprise entre les rayons *r* et *r + dr* .
Exprimer le nombre δN_e de molécules de dioxyde de carbone qui entrent dans cette couronne entre les instants *t* et *t + dt* en fonction de $\frac{\partial(r^2 j)}{\partial r}$, *dr* et *dt* .

2 - On se place en régime stationnaire. En déduire que *C(r)* est de la forme $C(r) = \alpha + \frac{\beta}{r}$ où α et β sont deux constantes.

3 - Bien que le régime réel ne soit pas stationnaire puisque le rayon *a* dépend du temps, on utilise la forme de *C(r)* ci-dessus avec *a(t)* . Exprimer α et β en fonction de *a(t)*, χ, p_i , p_e, k_B et *T* .

4 - En déduire le taux de variation $\frac{dN_g}{dt}$ du nombre N_g de molécules de dioxyde de carbone dans la bulle de gaz en fonction de *D* , *a* , χ , p_i , p_e, k_B et *T* .

5 - Montrer que *a(t)* est solution d'une équation différentielle de la forme : $a(t).\dot{a}(t) = K$ (1)
où *K* est une constante qu'on exprimera en fonction de p_e , p_i , χ et *D* .
Vérifier l'homogénéité de l'équation (1).

6 - En déduire l'expression de *a(t)* . Lors de la croissance de la bulle à la surface du verre sur son site de naissance pour $p_e = 1\ bar$ et $p_i = 3\ bar$, le rayon des bulles croît de $a_0 \approx 10^{-6}\ m$ jusqu'à $a_1 \approx 10^{-5}\ m$.
Vérifier que dans ces conditions on a $K \approx 4.10^{-9}\ m^2.s^{-1}$ sachant que $D \approx 3.10^{-9}\ m^2.s^{-1}$ et $\chi \approx 0,7$.
Évaluer la durée τ_1 de cette phase.

7 – Pour décrire l'ascension d'une bulle dans le verre, on suppose que *a(t)* est une constante au cours de l'ascension. On modélise les actions du champagne liquide assimilé à de l'eau de masse volumique $\mu = 1,0.10^3 kg.m^{-3}$, par la poussée d'Archimède et une force de traînée de Stokes $\vec{F} = -6\pi\eta a\vec{v}$ où $\eta = 1,0.10^{-3}$ *U.S.I* est la viscosité dynamique du champagne.

7.1 - Justifier que le poids de la bulle est négligeable devant la poussée d'Archimède.

7.2 - On néglige par ailleurs la variation de quantité de mouvement de la bulle. En déduire l'expression, numérotée (2), de sa vitesse d'ascension *U* en fonction de η , μ , *g* et *a*.

7.3 - Calculer numériquement cette vitesse pour $a = 0,10\ mm$ et $g = 10\ m.s^{-2}$.

ORTH46 - Brouillard givrant (Centrale)

Une voiture avance en ligne droite à la vitesse v dans un brouillard constitué de gouttelettes surfondues à la température de l'air T_0 = 265 K dans lequel elles évoluent à une vitesse négligeable. En moyenne, le diamètre des gouttelettes est de 20 μm et on en trouve une par mm^3. Le pare-brise est rectangulaire. Il fait un angle $\alpha = 30$ ° avec l'horizontale et a pour épaisseur $e = 2$ *mm*.

À leur arrivée sur le pare-brise, les gouttelettes s'y déposent avec un arrêt de la surfusion et une évolution quasi-instantanée vers l'état le plus stable possible dans des conditions supposées adiabatiques. On suppose que l'épaisseur d'eau présente sur le pare-brise reste très faible grâce aux essuie-glaces qui l'évacuent régulièrement.

1 - Montrer qu'en l'absence de chauffage dans la voiture, de la glace tend à se former sur le pare-brise.

2 - Quelle température faut-il maintenir à l'intérieur de la voiture pour éviter tout risque de givrage ?

Application numérique. $v = 10\ m.s^{-1}$. Discuter la modélisation effectuée.

3 - Sur la base d'ordres de grandeurs raisonnables, estimer la puissance transférée au niveau du pare-brise, la cadence nécessaire de balayage des essuie-glaces et le surplus de puissance consommée pour éviter le givrage. Commenter.

Données

− Masse volumique de l'eau : $\rho = 1000\ kg.m^{-3}$.

− Capacités thermiques massiques de l'eau : $c_\ell = 4{,}18\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$ (liquide) ;
$c_g = 2{,}10\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$ (glace).

− Enthalpie massique de fusion de la glace à 0°C : L_f = 334 kJ.kg^{-1}.

− Conductivité thermique du verre $\lambda = 1{,}0\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

− Coefficient d'échange aux interfaces air/verre h = 50 W.m^{-2}.K^{-1}.

Navale

ORTH48 – Echauffement d'un condensateur (Navale – 2016 – Guillermain ***– sans préparation***)

Deux plans P_1 et P_2 d'abscisses $-a$ et $+a$.

Entre les deux plans, un matériau possède : - une conductivité thermique λ
- une conductivité électrique γ

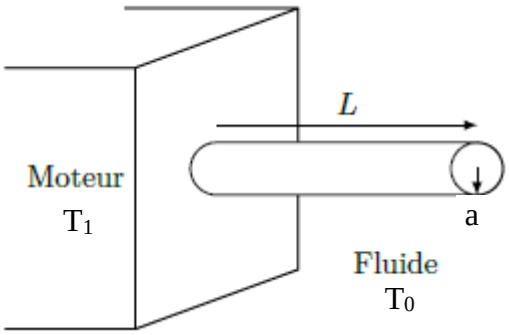
On applique entre ces plans une différence de potentiel $U = V_1 - V_2$.

1 – Donner le champ électrique régnant entre les plans.

2 – Déterminer l'expression du profil de température $T(x)$ sachant que la température du laboratoire est T_0.

ORTH412 – Ailette de refroidissement (Navale 2017 – Jérémy Roudin)

On donne une expression de la puissance surfacique dissipée par convection à la surface de l'ailette à l'abscisse x :
$P_s = \pm h.(T(x) - T_0)$ où h est une constante positive et $T(x)$ la température de l'ailette à l'abscisse x.



1 – Etablir l'équation de la diffusion thermique. Quel est le signe intervenant dans l'expression de P_s ?

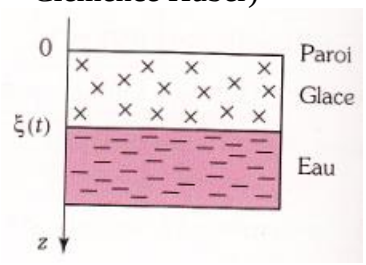
2 – Etablir l'expression du champ de température dans l'ailette en régime stationnaire en faisant l'hypothèse d'une « ailette longue ». On précisera ce terme.

3 – Déterminer la puissance totale échangée latéralement.

4 – Comparer cette puissance à celle qui serait dissipée par un disque de rayon a sur le moteur.

Mines-Telecom

ORTH424 : Evolution de l'épaisseur de glace d'un lac (Mines-Télécom 2022 – Clémence Huber)



La surface d'un lac d'eau à la température de fusion T_F est mise en contact à $t = 0$ avec une atmosphère à la température $T_A < T_F$. Une couche de glace apparaît en surface (paroi plane, maintenue en position fixe) et se développe en profondeur.

On note $\xi(t)$ la position de l'interface eau-glace.

La glace occupe l'espace $0 \leq z \leq \xi(t)$.

Soit $T_G(z,t)$ le champ de température dans la glace.

On suppose $T_G(0,t) = T_A$. La pression est constante et uniforme, valant 1 bar.

Données :

Conductivité thermique de la glace : $\lambda_G = 2{,}2\ W.K^{-1}.m^{-1}$

Masse volumique de la glace : $\rho_G = 915\ kg.m^{-3}$.

Capacité thermique massique de la glace : $c_G = 2{,}1.10^3\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.

Chaleur latente massique de fusion de la glace : $\ell = 333\ kJ.kg^{-1}$.

1 – Rappeler l'équation de la chaleur. Déterminer l'expression du coefficient de diffusion D de la glace.

2 – Quelles sont les conditions au limites (conditions frontières) pour le champ de température $T_G(z,t)$? Permettent-elles de déterminer totalement $T_G(z,t)$?

3 – En raisonnant sur un cylindre vertical de section S, exprimer à l'aide de $\dot{\xi}(t)$ la masse de glace formée entre t et $t + dt$.

4 – Effectuer un bilan enthalpique de cette masse entre ces deux instants.
En déduire la relation :

$$\lambda_G.\left(\frac{\partial T_G}{\partial z}\right)(\xi(t)) = \rho_G.\ell.\dot{\xi}(t)$$

5 – On suppose que $\dot{\xi}(t)$ est suffisamment faible pour admettre que la température dans la glace est à tout instant celle de l'état stationnaire.
Que devient l'équation de la chaleur dans cette approximation ? En déduire le profil de température dans la glace.

6 – Déduire de ce qui précède une équation différentielle en $\xi(t)$.
La résoudre.
Calculer l'épaisseur de glace au bout de 1 jour. ($T_A = -30°C$)

Mines-Ponts

ORTH410 – Température d'origine géophysique *(Mines-Ponts)*

La température moyenne de $30°C$ relevée dans le tunnel de Fréjus peut être expliquée par un modèle géothermique simple de la croûte terrestre. On considère qu'au niveau des Alpes, l'épaisseur de la croûte terrestre continentale est $L_c = 45{,}0\ km$. Les roches granitiques qui constituent une partie des Alpes contiennent des éléments radioactifs comme l'uranium, le thorium et le potassium. La chaleur produite par ces éléments radioactifs est directement proportionnelle à leur concentration.

Dans les modèles couramment utilisés cette concentration décroît exponentiellement avec la profondeur, de sorte que la puissance volumique dégagée peut s'écrire :

$$P = P_0 e^{-z/H}$$

Avec $H = 10{,}0\ km$; $P_0 = 2{,}50\ \mu W.m^{-3}$.

La croûte terrestre repose sur le manteau terrestre, à la fois plus dense et plus chaud que la croûte. On admet enfin qu'au niveau de l'interface $I_{c/m}$ entre la croûte et le manteau ce dernier génère un flux surfacique constant $\overrightarrow{j_m} = -j_m.\overrightarrow{e_z}$ avec $j_m = 35{,}0\ mW.m^{-2}$.

1 – Effectuer en régime stationnaire le bilan thermique dans une tranche de croûte terrestre de surface S, comprise entre z et $z + dz$, de conductivité thermique $\kappa = 3{,}00\ SI$.

2 – En déduire la température $T(z)$ en fonction de H, L_c, P, j_m, κ et $\theta_0 = 0°C$ la température moyenne de surface en $z = 0$.

3 – Comparer les deux termes proportionnels à z et simplifier l'expression de $T(z)$. Calculer la température au centre du tunnel de Fréjus ($z = 1{,}70\ km$).

ORTH414 – Survie en igloo (*CCP – 2017 – Aurélien Lebrun*)

Trois aventuriers veulent construire un igloo hémisphérique pour passer la nuit. L'épaisseur de l'igloo est noté e. Chacun émet une puissance thermique $P = 70\ W$.

On se place en régime stationnaire.

On donne : * λ : conductivité thermique de la glace.

* h_{int} et h_{ext} les coefficient de transfert conducto-convectif entre l'air et la surface interne de l'igloo d'une part, et la surface externe de l'igloo d'autre part, dans le cadre de la loi de Newton donnant le flux thermique surfacique : $h.(T_{surface} - T_{air})$.

* $R_{th} = \frac{R_2 - R_1}{4\pi\lambda R_1 R_2}$ résistance thermique d'une coquille **sphérique** de rayon interne R_1 et externe R_2.

1 – Exprimer la résistance thermique de l'ensemble R_{tot}.

2 – On suppose que la glace ne fond pas. Exprimer T_{int} en fonction de T_{ext} , R_{tot} et P.

3 – Comment évolue R_{tot} avec e ?

4 – On souhaite trouver e pour que la glace ne fonde effectivement pas.

Donner l'équation vérifiée par e_{max} pour que la glace ne fonde pas et donner T_{int} dans ce cas.

ORTH426 – Contact thermique *(Mines-Ponts – 2017 – Lohan Le Berigaud)*

On met en contact thermique deux barreaux en les accolant pas leur section à l'abscisse $x = 0$. Ces deux barreaux ① et ② sont décrits thermodynamiquement par leurs température initiales T_1 et T_2, leur masse volumiques $\mu_{1,2}$, leurs capacités thermiques massiques $c_{1,2}$ et leurs conductivités thermiques $\lambda_{1,2}$.

Ces deux barreaux son calorifugés.

1 – En utilisant la conservation de l'énergie et une autre propriétés, exprimer la température de contact T_c en fonction de T_1, T_2 et les effusivités thermiques des matériaux définies par $\varepsilon = \sqrt{\mu c \lambda}$.

2 – On donne les effusivités de différents matériaux. En déduire la sensation au touché du bois ou de l'inox portés à 100°C

	cuivre	inox	Corps humain	Bois
$\varepsilon . 10^3$ (S.I.)	36,5	8	1,6	0,343

CCINP

OREM22 – Eclair (CCP – 2016 – Louis Darré)

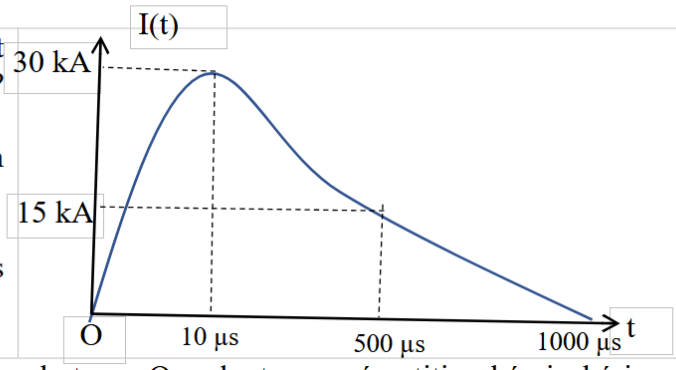
On s'intéresse à l'éclair, assimilé à un fil conducteur à l'intérieur duquel circule un courant $I(t)$. Lorsque l'éclair frappe la terre, le sol est chargé négativement.

1 - Dans quel sens circule le courant dans l'éclair ? Déterminer l'expression du champ magnétique $\vec{B}$ généré.

2 – A quelle force (nom, sens et expression) sont soumises les particules chargées dans l'éclair ? Quelle conséquence entraîne-t-elle ?

3 – On donne ci-contre la loi graphique d'évolution de $I(t)$:

- Estimer la valeur moyenne de $I(t)$.
- Estimer la charge totale ayant circulé dans l'éclair.

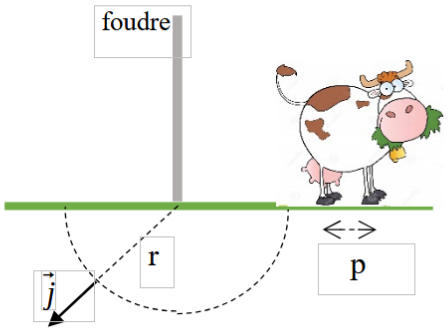


4 – On s'intéresse à l'écoulement de ce courant dans la terre. On adopte une répartition hémisphérique : $\vec{j} = j(r).\vec{e}_r$.

- Exprimer $\vec{j}$ en fonction de $I(t)$.
- En appelant γ la conductivité électrique du sol, déterminer le champ électrique $\vec{E}(r)$ qui y règne puis le potentiel électrique $V(r)$.

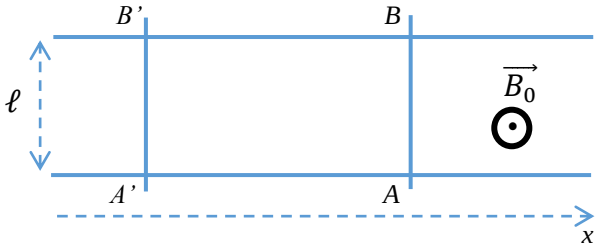
5 – Une vache se trouvant dans le pré touché par la foudre est soumise à une différence de potentiel U_P entre ses pattes avant et ses pattes arrière.

- Exprimer U_P.
- La vache ressent les effets du courant si son intensité dépasse $25\ mA$. On donne sa résistance électrique $R = 2{,}5\ k\Omega$. A quelle distance minimale doit-elle se trouver du point d'impact de la foudre pour ne pas être électrocutée ? On donne $\gamma = 1{,}0\ S.m^{-1}$.



OREM320 – Poursuite de tiges sur rails de Laplace *(CCINP – 2021 – Louis Calliès)*

Deux rails de Laplace de résistances nulles distants de la distance ℓ portent deux tiges mobiles de même masse m et de même résistance r. Le tout est plongé dans le champ magnétique $\overrightarrow{B_0}$ orthogonal au plan des rails.



L'origine des abscisses coïncide avec la position initiale de la tige $A'B'$.

La tige AB a initialement la position $x = a_0$.

On note $x'(t)$ l'abscisse de $A'B'$ et $x(t)$ celle de AB.

A $t = 0$, on donne à la tige AB une vitesse v_0 qui restera constante.

1 – Déterminer qualitativement le sens de déplacement de la tige $A'B'$ et son mouvement « aux temps longs ».

2 – Exprimer le flux de $\overrightarrow{B_0}$ à travers le circuit.

3 – Etablir l'équation différentielle vérifiée par $x'(t)$. Définir un temps caractéristique τ. Qu'entend-on par « temps longs ». Confronter cette solution à la réponse à la question 1.

OREM322 – Tore ampèremétrique (*CCINP – 2022 – Maxence VUKOVIC*)

On considère un fil rectiligne infini aligné le long de l'axe (Oz) d'un repère cylindrique, parcouru par un courant d'intensité $I(t) = I_m.\cos(\omega t)$

1 – On se place dans l'ARQS. Quelle est sa signification physique ? Quelle est sa traduction mathématique ?

2 – Calculer le champ magnétique $\vec{B}$ généré par ce fil.

Ce fil constitue également l'axe de révolution d'un tore de section carrée de côté *a*, de rayon intérieur *b*, constitué de *N* tours jointifs de fil conducteur galvanisé. Les extrémités de ce fil sont reliées à un ampèremètre de résistance interne *R*.

3 – Justifier qualitativement que l'ampèremètre mesure un courant.

4 – Exprimer littéralement l'intensité mesurée par l'ampèremètre en fonction des données du problème.

St Cyr

OREM100 - Dipôle cylindrique (Saint-Cyr- 2016 – Pierre-Louis Rohé)

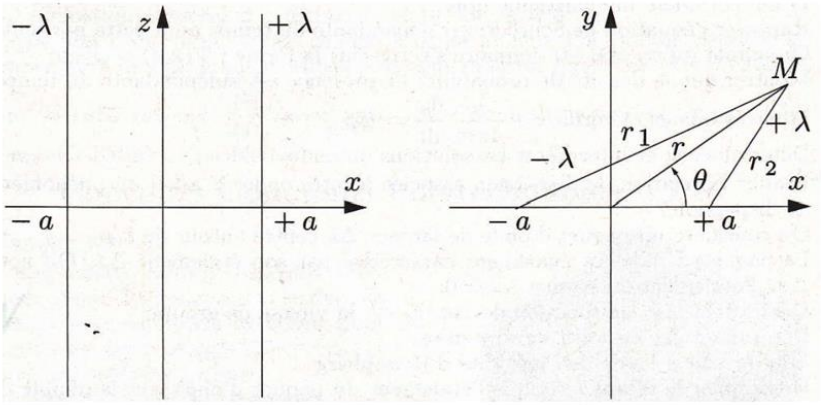
Deux fils identiques 1 et 2, parallèles à (Oz) cylindriques, de rayon négligeable, infiniment long, sont disposés dans le vide parallèlement l'un à l'autre, distants de *2a*. Ils percent le plan (xOy) en M_1 et M_2.

Le fil 1 porte la charge $-\lambda$ $(\lambda > 0)$ par unité de longueur, et le fil 2 la charge λ par unité de longueur.

On se propose de calculer le potentiel en un point M de coordonnées polaires *r* et θ dans le plan (xOy) perpendiculaire aux deux fils.

1 - Calculer le potentiel électrostatique $V(r_1, r_2)$ en M, en prenant par convention $V = 0$ sur (Oy).

2 - Si l'on fait tendre *a* vers *0*, mais en gardant le produit λa constant et égal à *p*, on obtient un« dipôle cylindrique » de moment $\vec{p}$ par unité de longueur.



Calculer le potentiel $V(r, \theta)$ en *M* situé à grande distance de O.

En déduire les composantes E_r et E_θ du champ électrostatique $\vec{E}$ en *M*.

OREM24 – Câble creux (St Cyr – 2017 – Antoine Lainé)

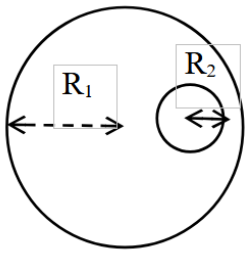
On considère un cylindre supposé infini et rayon R_1 modélisant un câble parcouru par un courant de densité volumique $\vec{j} = j\vec{u}_z$

1 – Montrer le théorème d'Ampère.

2 – Déterminer le champ magnétique $\vec{B}$ généré par ce câble dans tout l'espace.

3 – Au cours de la fabrication de ce câble s'est en fait glissé un défaut qui laisse une cavité cylindrique de rayon R_2.

Montrer que le champ magnétique est uniforme dans cette cavité.



Navale

OREM102 – Proton soumis à un champ électrostatique (Navale – 2018 – Nicolas Rostoker)

Soit un cylindre de rayon *a* et de grande longueur de charge volumique $\rho(r) = \rho_0\left(1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right)$

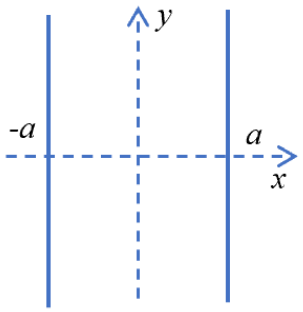
1 – Que signifie « de grande longueur » ?

2 – Déterminer le champ électrique en un point $M(r, \theta, z)$.

3 – On suppose $\rho_0 > 0$. Que se passe-t-il si on approche un proton du cylindre ?

OREM104 - Particule chargée dans un champ électrostatique *(Navale – 2022 – Marine du Plessis)*

On considère l'espace d'abscisses $|x| < a$ et illimité selon *y et* z. Cette espace est uniformément chargé en volume avec la densité de charge ρ.



1 – Déterminer le champ électrostatique $\vec{E}$ en tout point de l'espace et tracer l'allure de *E(x)*.

2 – On injecte une charge ponctuelle q sans vitesse initiale à l'abscisse $x = \frac{a}{2}$. Quelle est son équation du mouvement. On distinguera différents cas.

OREM310 – Implosion d'une canette

(Navale 2016 – Guillermain)

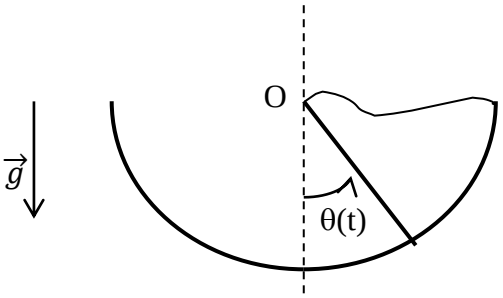
https://www.youtube.com/watch?v=4RWONM2wwak

Sur cette vidéo les impulsions de courant électrique génèrent l'implosion de la canette. Estimer l'intensité du courant nécessaire pour obtenir cet effet.

Mines-Telecom

OREM36 – Pendule électromagnétique (Mines Télécom – 2015 - El-Hassani)

Dans le circuit ci-contre plongé dans un champ magnétique uniforme et constant orthogonal au plan de figure, la résistance *R* du circuit fermé est supposée due exclusivement à la tige homogène mobile autour d'une liaison pivot parfaite en O.



On donne le moment d'inertie de cette tige par rapport à O : $J_0 = \frac{1}{3}.m.\ell^2$, où *m* et ℓ sont la masse et la longueur de la tige.

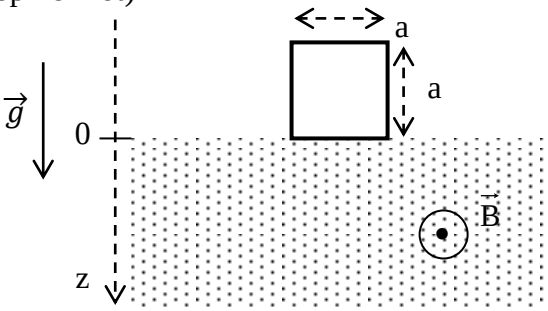
La tige fait initialement un angle θ_0 avec la verticale.

Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $\theta(t)$. A quelle condition a-t-on de petites oscillations amorties ?

OREM38 – Freinage magnétique (Mines-Télécom – 2015 –Sophie Piot)

Une spire de masse *m*, de résistance *R* est lâchée dans le vide, de pesanteur g. Dans le demi-espace $z > 0$ règne le champ $\vec{B}$ constant et uniforme.

A t = 0, $\vec{v_0} = v_0.\vec{u_z}$.

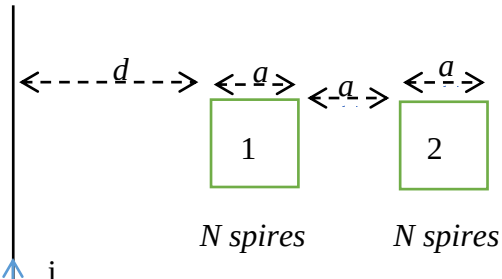


Donner la vitesse de chute de la spire en fonction du temps.

Mines-Ponts

OREM314 – Ampèremètre (Mines-Ponts – 2018 – Gaspard LEMERLE)

Un fils de courant est parcouru par un courant d'intensité sinusoïdale de fréquence *f = 50 Hz*. Deux bobines carrées de côté *a =2,0 cm* , et distantes de *a* sont situées à une distance *d = 86 cm* du fils. Elles sont composées de *N = 100 spires*, et possèdent chacune une résistance interne *R = 1,0 Ω*.

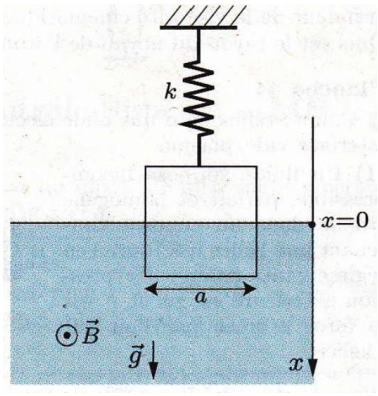


1 - Justifier l'existence de courant dans les bobines 1 et 2.

2 - On mesure $i_{1,eff}$ *=1,92 mA* et $i_{2,eff}$ *=1,83 mA*. Déterminer l'intensité du courant dans le fil i_{eff} . On supposera *d >> a*

3 - Discuter des caractéristiques choisies et du choix de cette méthode pour mesurer i_{eff}, contrairement à une méthode directe sur le fil.

OREM316 – Cadre magnétique rappelé (Mines-Ponts – 2019)

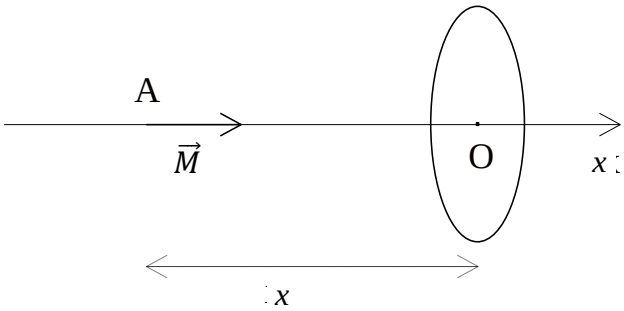


On considère un cadre vertical carré de côté a, de masse m et de résistance R, suspendu à un ressort de coefficient k. Le demi-plan $x \geq 0$ est plongé dans un champ magnétique uniforme normal au plan du cadre.
Quand le centre du cadre est à l'abscisse nulle, le cadre est à l'équilibre.
Initialement, le cadre est lâché sans vitesse initiale depuis une position telle que son centre a l'abscisse $-\frac{a}{2}$.

Déterminer la loi horaire des oscillations du cadre.

X

OREM318 – Interaction aimant-spire (X)



Soit une spire de rayon R, de centre O, d'axe (Ox), de résistance ρ et un dipôle magnétique $\vec{M}$ en A à la distance x, sur l'axe (Ox).
On néglige les courants dans M et l'inductance propre de la spire.
On déplace l'aimant avec une vitesse constante v selon Ox.
Calculer et donner l'allure de la force subie par l'aimant.

CCINP

ORME44 – Ondes stationnaires (CCP – 2015 - El Hassani)

On donne l'expression de la pression acoustique régnant dans une cavité rectiligne le long de (*Ox*) de longueur *L* ouverte à ses extrémités.

$p(x,t) = p_0.sin\left(\omega.\frac{x}{c}\right).sin(\omega.t)$ où *c* est la célérité du son dans l'air.

1 – Déterminer ω_n et λ_n , pulsation et longueur d'onde des modes propres de la cavité, à l'aide des conditions limites.

2 – Dans le cas *n = 2*, déterminer les nœuds et les ventres de pression acoustique.

3 – La fréquence du son est *f = 440 Hz,* déterminer *L* en utilisant une valeur raisonnable pour *c*.

ORME414 – Onde sonore dans différents milieux *(CCINP 2021 – Guillaume Leteurtre)*

On considère une onde acoustique plane se propageant selon l'axe *(Ox)*. On nomme *p(x,t)* et *v(x,t)* la pression et la vitesse acoustique. On définit le coefficient de compressibilité isentropique $\chi_S = \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial \mu}{\partial P}\right)_S$

Où $\mu(x,t)$ est la masse volumique du fluide support de la propagation.

1 – Rappeler l'équation de propagation vérifiée par *p(x,t)* dans un milieu non dissipatif et non dispersif supposé illimité.

2 – Par analyse dimensionnelle, déterminer la relation entre la célérité *c*, μ_0 masse volumique du fluide au repos et χ_S.

On donne pour l'eau liquide : $\mu_0 = 1{,}0.10^3\ kg.m^{-3}$; $\chi_S = 4{,}6.10^{-10}\ Pa^{-1}$. Calculer *c*.

On donne pour l'air assimilé à un gaz parfait : $M = 29\ g.mol^{-1}$; $\gamma = 1{,}4$; $T = 300\ K$; $R = 8{,}31\ J.mol^{-1}$. Déterminer l'expression de *c* et calculer sa valeur.

3 – On définit l'impédance acoustique complexe : $\underline{Z} = \frac{\underline{p}}{\underline{v}}$ dans le cas d'une onde plane harmonique.

$$\underline{p}(x,t) = p_0 e^{i(\omega t - \underline{k}x)}$$

$$\underline{v}(x,t) = \underline{v}_0 e^{i(\omega t - \underline{k}x)}$$

Déterminer l'expression de $\underline{Z}$ en fonction de μ_0 et de *c*. On rappelle l'expression de l'équation d'Euler linéarisée : $\mu_0 \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x}$.

Déduire que l'intensité acoustique peut se mettre sous la forme : $I = \frac{p_0^2}{2\mu_0 c}$

Où p_0 est l'amplitude réelle de la pression acoustique.

4 – On rappelle l'expression de l'équation de propagation vérifiée par la pression acoustique où l'on a tenu compte de la viscosité du fluide :

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t}$$

On suppose faible l'effet de la viscosité sur la propagation : $\alpha\omega \ll c^2$ où ω est la pulsation de l'onde plane.

On pose $\underline{k} = k' - ik''$ le vecteur d'onde en notation complexe, où *k'* et *k''* sont réels.

Etablir la relation de dispersion $\underline{k}^2 = f(\omega)$ et en déduire les expressions approchées de *k'* et de *k''*.

5 – Montrer que l'intensité acoustique s'écrit maintenant $I(x) = I(0)e^{-2k''x}$

6 – Déterminer la distance de propagation *L* pour laquelle $I(L) = \frac{9}{10}I(0)$

Navale

ORME46 – Action d'une membrane (NAVALE – 2015 – Aymeric Favard)

On considère deux milieux semi-infinis d'impédances acoustiques Z_1 et Z_2 séparés par une membrane plane en *z = 0*, de masse surfacique uniforme σ. On envisage la propagation d'une onde sonore incidente de direction de propagation (Oz).

1 – Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission de la pression acoustique.

2 – Déterminer la nature du filtrage opéré par la membrane.

3 – Pour quelle fréquence peut-on considérer la membrane comme infiniment fine ?

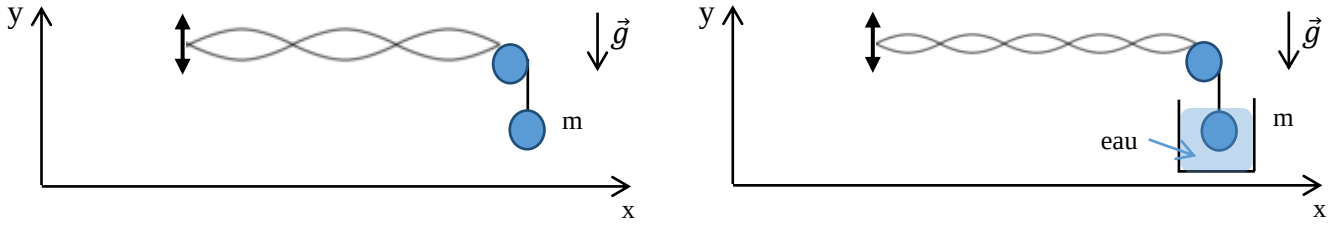
ORME410 – Onde sonore dans un fluide visqueux (Navale – 2018 – Albertine CORNE)
On considère une onde sonore dans un fluide. Elle est supposée plane et harmonique se propageant dans le sens des x croissants. En l'absence d'onde, le fluide est caractérisé par sa masse volumique ρ_0 et la pression P_0. Le terme de viscosité dans ce fluide est $\eta\,\Delta\overrightarrow{v_1} + \frac{\eta}{3}\overrightarrow{grad}(div\overrightarrow{v_1})$.
Les hypothèses de l'approximation acoustique sont vérifiées.
1 – Montrer que le principe fondamental de la dynamique appliqué à une particule de fluide donne ne projection selon (Ox) :

$$\rho_0 \frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{4}{3}\eta \frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2}$$

2 – Etablir l'équation vérifiée par la surpression p_1.
3 – Donner la relation de dispersion. Y a-t-il atténuation ? Justifier.

Mines-Telecom

ORME416 – Mesure indirect de rayon (Mines Telecom 2024 – Elies BEN YOUSSEF)
On dispose d'une corde de longueur L fixée à un vibreur sinusoïdal de fréquence constante f à l'extrémité gauche. L'autre extrémité est reliée, via un poulie, à une masse $m = 8{,}0\ kg$.



OREM52 – Onde guidée dans le vide *(Mines-Télécom – 2021 – Théo NICOLAU)*
Une onde électromagnétique se propage dans le vide entre deux plans conducteurs d'abscisses $z = 0$ et $z = a$.
Le champ électrique de l'onde s'écrit : $\vec{E} = E_0 \sin\left(\pi \frac{z}{a}\right) \cos(\omega t - kx)\,\overrightarrow{e_y}$
1 – Déterminer l'expression du champ magnétique de l'onde.
2 – Déterminer la relation de dispersion. Commenter.
3 – Déterminer les vitesses de phase et de groupe de l'onde. Commenter.
OREM54 – Communication avec un sous-marin (Mines-Télécom 2024 – Augustin AVALLE)
On assimile l'eau à un milieu conducteur de conductivité $\sigma = 4\ S.m^{-1}$ et de permittivité $\varepsilon = 5\varepsilon_0$.
Montrer qu'il est impossible de communiquer par ondes radio entre un sous-marin et une antenne terrestre.
$\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\ F.m^{-1}$
$\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}\ H.m^{-1}$

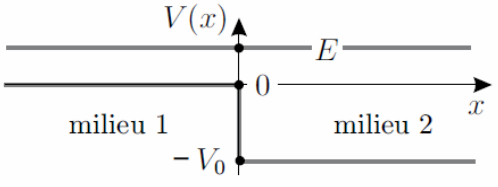
Mines-Ponts

ORME42 – Réflexion d'une onde sur un défaut d'une corde vibrante (Mines-Ponts)
On considère une corde horizontale de longueur infinie, de masse linéique μ et de tension T. En $x = 0$, on fixe sur la corde une petite masse m. Une onde incidente qui se propage sur la demi-corde $x < 0$ et suivant les x croissants, est envoyée sur la masse m. Elle donne naissance à une onde réfléchie et à une onde transmise. On note c la célérité de l'onde. On négligera le poids de m devant la tension T.
1 – Calculer les coefficients complexes de réflexion et de transmission du déplacement transversal.
On posera $\alpha = \frac{2.T}{m.\omega.c}$
2 – Etudier les cas limites $m = 0$ et $m \rightarrow \infty$

ORME54 – Falaise de potentiel (Mines)

On étudie l'évolution d'un quanton de masse m qui aborde, avec une énergie $E > 0$, une falaise de potentiel de hauteur V_0 constante située en $x = 0$, voir le schéma ci-contre. L'étude est unidimensionnelle conduite sur un axe Ox.

On s'intéresse à des états stationnaires du quanton.



Falaise de potentiel et énergie du quanton

1 — À partir de l'équation de SCHRÖDINGER,

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial^2 x} + V(x)\psi(x,t)$$

établir l'équation différentielle vérifiée par la fonction d'onde spatiale $\varphi(x)$ associée au quanton.

2 — Dans le cas où le quanton arrive depuis $x \to -\infty$, établir les expressions de la fonction d'onde $\varphi_1(x)$ dans le milieu 1 et $\varphi_2(x)$ dans le milieu 2. Il n'est pas nécessaire de déterminer les constantes d'intégration.

3 — Établir l'expression du coefficient r rapport de l'amplitude de la fonction d'onde spatiale correspondant à l'onde réfléchie et de l'amplitude de l'onde incidente. De la même façon, établir l'expression du coefficient t rapport de l'amplitude de la fonction d'onde spatiale correspondant à l'onde transmise et de l'amplitude de l'onde incidente.

4 — En déduire les coefficients R et T de réflexion et de transmission de la densité de courant de probabilité. Faire l'application numérique lorsque $8E = V_0$.