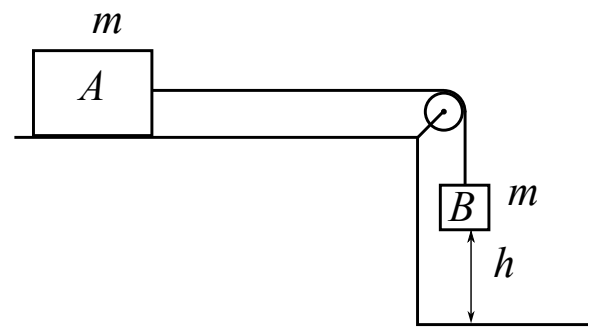


Mécanique du point et quantique

MEC-1: Frottements solides (Mathilde ALLEMAND Mines-Ponts 2025)

Les deux objets, A et B , sont de même masse m .
On lâche le système sans vitesse initiale, B étant à une hauteur h par rapport au sol.
Une fois que B a atteint le sol, A continue de glisser, sur une distance d .
 A glisse sur le plan horizontal, avec des frottements solides obéissant à la loi de Coulomb.
On néglige les frottements de l'air. La poulie est parfaite.
Exprimer le coefficient de frottement α intervenant dans la loi de Coulomb, en fonction des données.



MEC-2: Sonde Cassini et atterrisseur Huygens (Aurèle DURAND CCINP 2025)

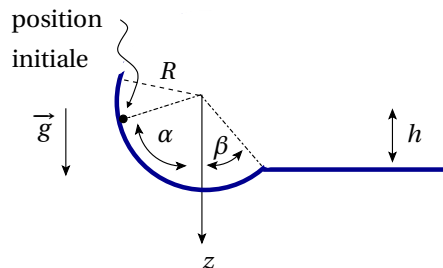
On considère un satellite en orbite autour d'une planète (Titan) de masse M supposée sphérique et de rayon R . Depuis ce satellite, situé à une distance d du centre de la planète, l'atterrisseur Huygens de masse m est lancé radialement (en direction du centre de la planète) avec une vitesse initiale de norme v_0 dans le référentiel de la planète. On néglige les frottements et l'influence de tout autre corps céleste.

La constante gravitationnelle $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
La masse de la planète $M = 1.34 \times 10^{23} \text{ kg}$
Le rayon de la planète $R = 2.6 \times 10^3 \text{ km}$
La distance initiale entre Cassini et la surface de Titan $d = 6 \times 10^4 \text{ km}$
La vitesse initiale de Huygens $v_0 = 100 \text{ km h}^{-1}$.

1. Déterminer la vitesse de la sonde juste avant qu'elle n'atteigne la surface de la planète .
2. Etablir l'équation différentielle permettant de déterminer la durée mise par Huygens pour atteindre la surface de la planète depuis sa position initiale. On ne demande pas de la résoudre.

MEC-3: Bille et gouttière (Alhassane BAH CCINP 2024, Pb Ouvert)

On lâche la bille sphérique de masse m sur un tremplin circulaire de rayon R selon la position initiale représentée sur la figure, sans vitesse initiale. On note A le point de départ.



1. Déterminer la hauteur maximale atteinte par la bille.
2. Application numérique. On donne $R = 1.0 \text{ m}$, $\alpha = \pi/2 \text{ rad}$, $\beta = \pi/3 \text{ rad}$.
3. La bille peut-elle franchir un mur de hauteur h situé à une distance horizontale a de l'extrémité du tremplin? On donne $a = 50 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$.

MEC-4: Saut à l'élastique (Clément BALLAND CCINP 2024, Arthur VINCENOT CCINP 2018 Pb Ouvert)

Une personne, attachée à un élastique, est lâchée depuis un pont de hauteur $H = 150 \text{ m}$ par rapport à l'eau d'une rivière. Évaluer la raideur de l'élastique modélisé comme un ressort pour que la personne puisse toucher l'eau avec ses mains lors de la chute. L'allongement maximal du ressort est de 200%.



MEC-5: Le flipper (Emilie MOUGIN CCINP 2204, Alexandre HENRIOT CCP 2016), Pb ouvert

Un « flipper » ou « billard électronique » est un jeu dans lequel on doit faire évoluer une boule d'acier au moyen de deux actionneurs, situés dans la partie basse du plateau. Ce dernier est incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. Au début du jeu, il faut éjecter la boule en direction du plateau au moyen d'un « lanceur ». Celui-ci, placé à droite, dans la partie basse du plateau de jeu, est constitué d'un ressort et d'une tirette. La masse volumique de l'acier est $\rho = 8.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. La boule a un rayon de 1.3 cm.

La force maximale que l'on peut exercer sur la tirette du lanceur (et qui l'amène en butée) est $F_{max} = 5.0 \text{ N}$. Elle correspond à l'image en haut à droite : "armé" (donc ici ressort armé au maximum). On fera l'approximation que la boule est en contact avec le ressort pendant toute la phase du lancer. On souhaite que la boule arrive en haut du plateau avec une vitesse minimale $v_{min} = 1.0 \text{ m s}^{-1}$. Calculer la force à exercer sur le lanceur pour atteindre cet objectif.

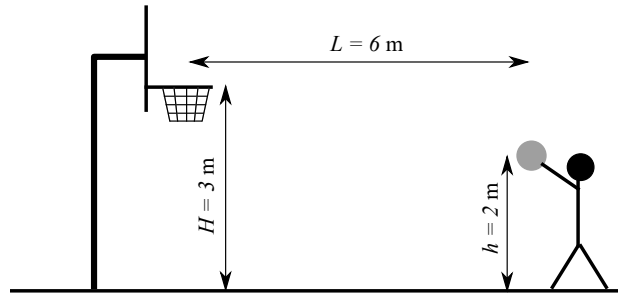
non armé

armé



MEC-6: Panier de basket à 3 points Simon JEHLE CCINP 2023)

Le joueur est immobile et cherche à marquer un panier à 3 points. Les distances sont indiquées sur le schéma ci-contre. Chercher l'orientation du tir permettant au ballon de rentrer dans le panier avec la vitesse la plus petite possible en norme.

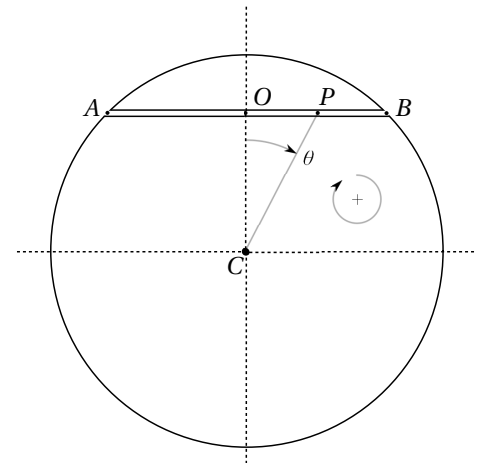


MEC-7: Oscillations dans un tunnel creusé dans un astre (Solenn VIEILLE et Yannis PALMERO CCINP 2022, Sébastien MISSEY CCP 2018, Yvan FUCHS CCP 2017)

On considère un astre de centre C , de masse M uniformément répartie et de rayon R . Un tunnel de rayon très petit devant R est percé, d'un point A à un point B , tous deux sur la surface de l'astre.

Données : Masse et rayon de l'astre : $M = 6.0 \times 10^{24}$ kg ; $R = 6.4 \times 10^3$ km ; constante gravitationnelle : $G = 6.7 \times 10^{-11}$ N m² kg⁻².

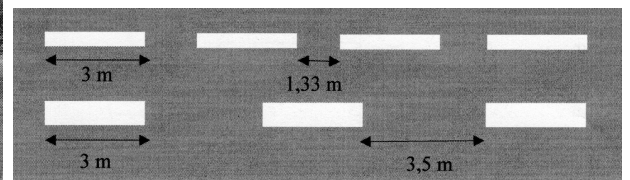
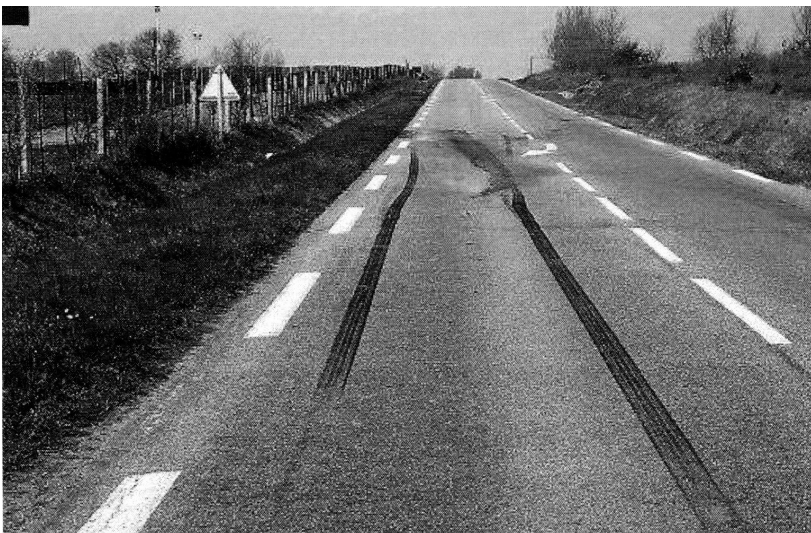
1. Donner les analogies entre gravitation et électrostatique.
2. On suppose que le champ gravitationnel est quasiment le même avec ou sans tunnel (R grand) ; trouver en tout point de l'astre le champ de gravitation.
3. On considère une masse ponctuelle m , située au point P , qui se déplace sans frottement à travers le tunnel en partant du point A avec une vitesse nulle. Trouver l'équation différentielle régissant ce mouvement et en déduire l'équation horaire du mouvement.
4. Déterminer la période T de parcours de la masse m dans le tunnel. Application numérique.
5. Soit un satellite en orbite circulaire à une altitude h négligeable devant R . Existe-t-il une période telle que le satellite et la masse ponctuelle coïncident chaque fois au point A ? Si oui la déterminer.



MEC-8: Freinage d'urgence d'une voiture (Thomas ZABE CCINP 2025, Hippolyte MONTAGNE CCINP 2021, Jeanne GUYOT et Caroline JANNIN CCP 2018 et écrit 2019 Pb Ouvert)

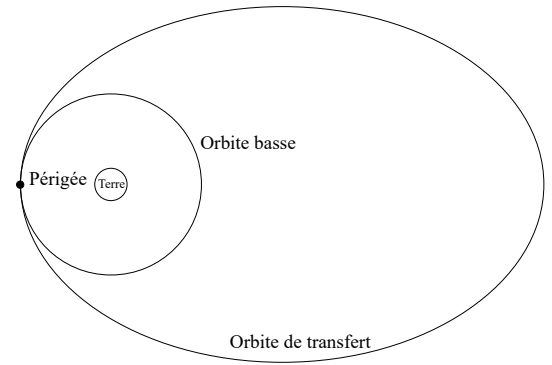
Les causes d'accidents de la route sont nombreuses et variées. Afin d'incriminer ou non un éventuel excès de vitesse lors de la sortie de route liée à un dépassement incontrôlé et décrite sur la photographie, on vous demande de déterminer l'expression littérale puis la valeur numérique de la vitesse du véhicule en début de phase de freinage. Toutes données pertinentes et nécessaires à la résolution de cette question pourront être introduite par le candidat. Les éléments légaux de marquage au sol sont représentés sur le dessin.

On rappelle qu'en cas de glissement, la réaction du sol sur un pneumatique est décrite par la loi de Coulomb, à savoir $\vec{R} = \vec{T} + \vec{N}$ avec $\|\vec{T}\| = f \|\vec{N}\|$. \vec{T} et \vec{N} sont respectivement les composantes tangentielle et normale de la force \vec{R} exercée par le support ; f est le coefficient de frottement solide entre les pneumatiques et le revêtement de la chaussée. Par temps sec, on a $f = 0,8$. Par temps humide, $f = 0,2$.



MEC-9: Orbite de transfert satellite à réaction (LSL CCP 2018)

Un satellite S a une trajectoire initiale (orbite basse) circulaire de rayon R_0 autour de la Terre. Sa masse initiale est $m_0 = 2100$ kg. Pour l'éloigner de la Terre, on le fait passer sur une orbite de transfert. Le passage de l'orbite basse vers l'orbite de transfert se fait en éjectant du gaz pendant une durée très brève, en un point P qui constituera le périégée de l'orbite elliptique de transfert. L'éjection de gaz se fait avec une vitesse de norme $u = 3,5$ km/s par rapport au satellite, supposée constante pendant toute l'éjection. Le débit massique, D_m , est également constant pendant toute l'éjection. Cette éjection de gaz permet à la norme de la vitesse du satellite, de passer de $v_0 = 7,8$ km/s à $v_1 = v_0 + \Delta v$, avec $\Delta v = 1,0$ km/s. L'opération (assimilable à un choc) étant de durée très petite devant celle de parcours de la trajectoire, on peut négliger la force gravitationnelle, et supposer qu'au cours de cette opération, la vitesse du satellite ne change pas de direction.



- Établir l'expression de la première vitesse cosmique (vitesse minimale de satellisation). Donner sa valeur numérique. On rappelle que le rayon moyen de la Terre est $R_T = 6,4 \cdot 10^3$ km.
- La valeur de v_0 est-elle compatible avec celle de la première vitesse cosmique?
- Au moyen d'un bilan de quantité de mouvement, établir une équation différentielle liant, au périégée, la masse à la vitesse du satellite.
- Déterminer la variation de masse du satellite lui permettant de passer de l'orbite basse à celle de transfert.

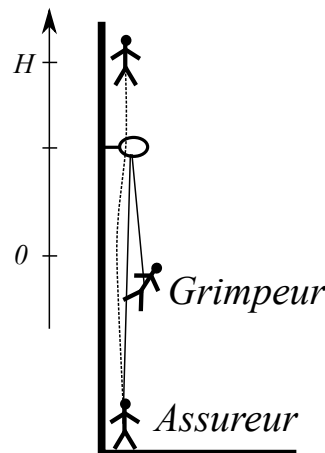
MEC-10: Chute d'un grimpeur (Mathieu ROBERT Centrale 2023)

Un grimpeur est relié à son "assureur" par une corde extensible, de masse linéique μ , et de longueur à vide L_0 . Cette corde passe dans un crochet.

Le grimpeur tombe depuis une altitude H . La corde se tend quand il arrive à l'altitude 0.

On donne la loi de Hooke pour une corde extensible de longueur L : lorsqu'elle s'allonge de ΔL , elle est le siège d'une force de tension de norme $\|\vec{F}\| = \frac{Y S}{L} \Delta L$, Y étant le module d'Young de la corde.

Déterminer $\|\vec{F}\|_{max}$.

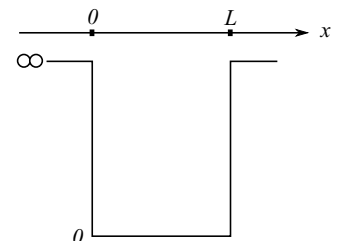


MEC-11: Puits infini de potentiel quantique (Johan THIEBAUT CCINP 2021, Arthur PERRIN CCP 2017)

On considère un puits quantique rectangulaire infini, s'étendant de $x = 0$ à $x = L$, dans lequel se trouve une particule de masse m .

On donne la fonction d'onde de la particule dans ce puits : $\psi(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) e^{i\omega t}$. On rappelle que la probabilité que la particule se trouve entre x et $x + dx$ est $dP = |\psi(x, t)|^2 dx$. La constante de Planck est $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js.

- Donner la probabilité de présence de la particule en $x = 0$ et en $x = L$.
- En déduire l'expression de la longueur d'onde λ en introduisant un entier n .
- Pour chaque n , exprimer l'énergie E_n de la particule en fonction de h , n , m et L .
- Quels sont les différents niveaux d'énergie que la particule peut avoir et à quoi correspondent-ils?
- Quelle est la plus petite fréquence de photon que la particule peut émettre ou absorber?
- Déterminer A , puis représenter l'amplitude de la probabilité de présence en fonction de x , pour $n = 1$ puis pour $n = 2$.



MEC-12: Couleur de la tomate, méca Q (Mélissa HENRIET CCP 2018)

On explique la couleur d'une substance organique par la présence de "conjugaisons" au sein de la molécule. Cela se produit lorsque deux liaisons doubles sont séparées par une liaison simple. Les électrons de la liaison double sont alors "délocalisés" sur l'ensemble des trois liaisons. Et s'il y a alternance de liaisons simples et de liaisons doubles, les électrons sont délocalisés sur l'ensemble.

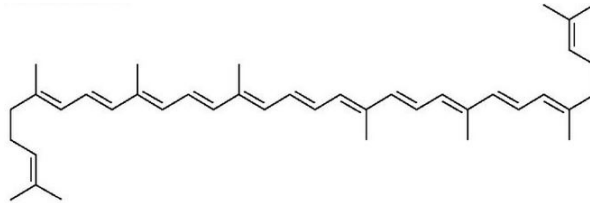
- La molécule ci-dessous est le lycopène, responsable de la couleur de la tomate. Entourer la partie de la molécule sur laquelle il y a délocalisation des électrons.

On modélise un électron délocalisé, de masse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, comme une particule se déplaçant librement sur un segment entre les abscisses $x = 0$ et $x = L$. Son énergie potentielle E_p est nulle sur ce segment et infinie en dehors. Sa fonction d'onde est

$$\psi(x, t) = A(x) e^{i\omega t}. \text{ Elle est liée à son énergie } E \text{ par l'équation } \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m_e} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + E\psi = 0.$$

- Résoudre cette équation et déterminer la forme générale de $A(x)$.
- Quelles sont les conditions aux limites imposées pour $A(x)$ compte tenu du puits infini de potentiel?
- En déduire que l'énergie des électrons délocalisés est quantifiée et en donner l'expression. Quelle est l'énergie minimale?
- Retrouver cela par une analogie avec une corde fixée à ses deux extrémités.
- On donne $L = 1,85$ nm et on rappelle que $\hbar = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s.

La couleur de la tomate est liée à l'absorption d'un photon faisant passer un électron du niveau d'énergie E_{11} au niveau E_{12} . Montrer que ce modèle est cohérent.



MEC-13: Télési (Alexandra PIOCH CCINP 2021, Guillaume VERRIER CCP 2017, Saad CHOUKRY CCP 2015), Pb ouvert

On considère un télési installé sur une pente enneigée. La piste du télési mesure 200 m de long. Le dénivelé entre le point de départ et le point d'arrivée est de 60 m. Les perches, auxquelles sont accrochés les skieurs sont régulièrement réparties le long du câble tracteur, tous les 5 m. La vitesse du câble est constante et vaut 10 km h^{-1} . On admet que les frottements des skis sur la neige obéissent aux lois de Coulomb : $R_t = f R_n$ avec $f = 0,1$.

Évaluer la puissance que doit fournir le moteur électrique qui assure le déplacement du câble tracteur, et la puissance électrique consommée.

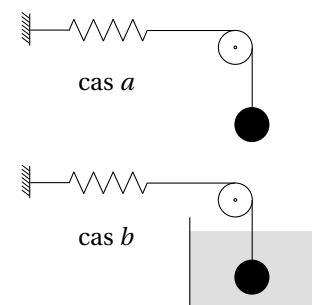
MEC-14: Masse ressort avec ou sans frottements visqueux (Victor Guyot CCP 2017)

On considère une bille de rayon R et de masse $m = 2,0000$ g, accrochée à un ressort par une corde inextensible passant sur une poulie. Une autre corde inextensible relie le ressort à un mur.

On suppose que la bille oscille librement lorsqu'elle est dans l'air (cas *a*) et qu'elle est soumise à la force de frottements $\vec{f} = -6\pi\eta R\vec{v}$ de la loi de Stokes lorsqu'elle oscille dans l'eau (cas *b*).

Dans le cas *a*, la bille oscille à la période $T = 1,0000$ s. Dans le cas *b*, elle oscille avec une pseudo-période $T' = 1,00015$ s.

Déterminer le rayon R de la bille.

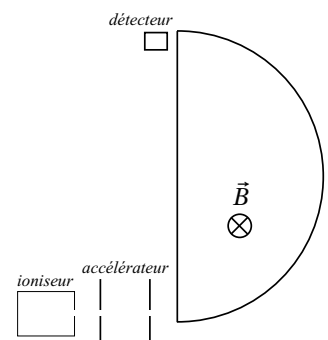


MEC-15: Spectromètre pour séparation des isotopes du carbone (Matija MARINKOVIC CCP 2017)

Spectromètre pour séparer l'isotope carbone 14 de l'isotope carbone 12.

On vaporise sous forme de gaz monoatomique un échantillon contenant les deux isotopes. Le mélange traverse ensuite un ioniseur qui arrache un électron à chaque atome de carbone. Les ions sont accélérés au moyen de deux plaques entre lesquelles la différence de potentiels est de 1.0 kV. Les ions qui sortent de l'accélérateur sont alors déviés par un champ magnétique \vec{B} supposé uniforme.

Déterminer la valeur qu'il faut donner à la norme du champ magnétique pour que le spectromètre tienne sur une table et que les isotopes soient séparés.



MEC-16: Camion sur route bosselée (Jules MARTI Mines 2016)

Un camion roule sur une route avec des bosses. Le profil de la route est assimilé à une sinusoïde d'amplitude $\frac{H}{2}$ et de période L . Le camion est modélisé par un point matériel M de masse m , et une roue sans masse, qui roule (sans frottements au niveau du moyeu) sur la route; entre les deux, il y a un ressort sans masse, de raideur k . Le camion a une vitesse de composante horizontale v , constante.

- Déterminer l'évolution de $h(t)$, altitude du point de contact entre la roue et le sol.
- Déterminer l'évolution de l'altitude $y(t)$ du point M .
- On tient compte à présent de l'amortisseur. Comment les résultats sont-ils modifiés?

MEC-17: Le lance-pierre (Olivier DAVID CCP 2015), Pb ouvert

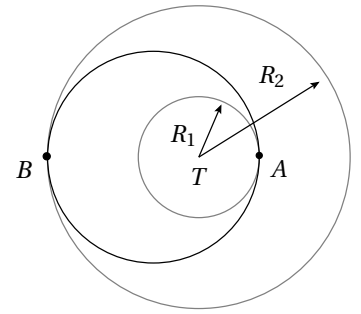
On modélise un lance-pierre par un ressort de raideur k .

Déterminer la vitesse à laquelle est éjectée une pierre de masse m lorsque l'on arme le lance-pierre avec une force de norme F .

MEC-18: Changement d'orbite

Un satellite S a une trajectoire circulaire de rayon R_1 autour de la Terre.

1. Rappeler la définition du référentiel géocentrique. C'est dans ce référentiel qu'est étudié le mouvement du satellite.
2. Donner la relation entre sa période T de révolution autour de la Terre et le rayon de sa trajectoire.
3. Donner les expressions de \mathcal{E}_c , \mathcal{E}_p et \mathcal{E}_m , respectivement énergie cinétique, potentielle et mécanique du satellite dans le référentiel géocentrique. Justifier le signe des énergies.



On désire faire passer S d'une orbite circulaire de rayon R_1 à une orbite circulaire de rayon $R_2 > R_1$ (voir la figure ci-contre), on utilise pour cela une orbite de transfert elliptique. Pour cela, on communique en A de l'énergie au satellite, sous forme d'énergie cinétique, soit $\Delta\mathcal{E}_A$ la quantité d'énergie apportée. Arrivé en B , on lui communique à nouveau une énergie $\Delta\mathcal{E}_B$.

4. On note α le rapport R_2/R_1 des rayons des orbites circulaires. Déterminer les variations **relatives** d'énergie mécanique en A et en B en fonction de α . Déterminer le rapport T_2/T_1 des périodes des mouvements circulaires en fonction de α . Enfin, déterminer la durée du transfert entre A et B .

MEC-19: Satellite et frottements (André PEDROSA Centrale 2015), sans préparation

Pour mettre un satellite en orbite géostationnaire, on le met d'abord sur une orbite d'attente à une altitude de 200 km. Puis, avec une trajectoire elliptique, on le place sur l'orbite géostationnaire.

1. Établir l'expression de l'altitude d'une orbite géostationnaire. Application numérique.
2. Lorsque le satellite est sur son orbite d'attente, on suppose qu'il subit une force de frottements due à la faible mais non nulle densité de particules qui y règne. Quel modèle choisir pour cette force de frottements visqueux : une force en v ou en v^2 ? Justifier.
3. Montrer que lors de cette phase d'attente, la norme du moment cinétique du satellite diminue et donner l'expression puis la valeur numérique du temps caractéristique de cette diminution. Commenter.

Données

- Constante gravitationnelle : $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- masse du satellite : $m = 1.0 \times 10^3 \text{ kg}$;
- rayon de la Terre : $R_T = 6.4 \times 10^3 \text{ km}$;
- coefficient de frottements visqueux : $\alpha = 2.0 \times 10^{-4} \text{ S.I.}$;

MEC-20: Satellite freiné (Lancelot PREGNIARD Mines-Ponts 2016), Pb ouvert

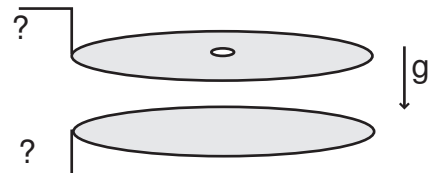
On considère un satellite de la Terre, de masse m , qui subit des frottements de la part de l'atmosphère; son altitude décroît avec une loi : $\frac{dr}{dt} = -u$, u étant une constante vérifiant $u \ll v$. La force de frottements est de norme Av^α . Déterminer les constantes A et α .

MEC-21: Expérience de Millikan (Centrale)

Millikan

L'expérience de Millikan est l'expérience historique qui a permis la détermination de la charge de l'électron.

Un condensateur plan est constitué de deux disques métalliques de diamètre $D = 0,20 \text{ m}$ distants de $d = 20 \times 10^{-3} \text{ m}$. L'ensemble est enfermé dans une enceinte isolante et opaque comportant des regards destinés à l'éclairage et à l'observation. Des gouttelettes d'huile pénètrent par une petite ouverture ménagée au centre du disque supérieur. Les gouttelettes sont supposées sphériques.



1. En l'absence de champ électrique appliqué, déterminer, en fonction du temps t , la vitesse \vec{v} de chute d'une gouttelette de rayon r et de masse m supposée initialement au repos.

On rappelle que la force de viscosité de l'air induit une force de freinage de norme $f_r = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$, où η , coefficient de viscosité de l'air vaut : $\eta = 1,831 \times 10^{-5} \text{ Pl}$, et v est la norme de la vitesse.

On donne :

masse volumique de l'huile	$\rho = 9,143 \times 10^2 \text{ kg.m}^{-3}$
masse volumique de l'air	$\rho' = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$
intensité de la pesanteur	$g = 9,806 \text{ m.s}^{-2}$
masse de l'électron	$m_0 = 9,0 \times 10^{-31} \text{ kg}$
charge de l'électron	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

- Préciser la dimension du coefficient de viscosité η en fonction des unités de base du système international (S.I.).
- On suppose $r = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m}$. Au bout de combien de temps peut-on considérer que la gouttelette atteint la vitesse limite v_l ? Que pouvez vous en déduire sur le plan expérimental?
- Calculer v_l pour $r = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m}$.
- En l'absence de champ électrique, la vitesse atteinte est telle que la gouttelette parcourt 7,06 mm en une minute. En déduire le rayon r_1 de la gouttelette.
- Dans quel sens faut-il charger le condensateur pour que le champ résultant entre les armatures ralentisse les gouttelettes chargées négativement? On notera U la tension appliquée entre les armatures, et on précisera l'expression et la direction du champ électrique \vec{E} entre les armatures.
- Calculer la valeur du potentiel électrique U_0 qui permet d'arrêter le mouvement d'une goutte de rayon r_1 qui porte un électron.
- Pour réaliser son expérience, Millikan a pulvérisé des micro-gouttes d'huile ionisées négativement (cela peu être obtenu par frottement contre le gicleur par exemple, ou par rayonnement X) entre les armatures d'un condensateur. Puis il a observé à l'aide d'un viseur muni d'un micromètre la distance parcourue par une gouttelette donnée, pendant une durée qu'il a mesurée au chronomètre, les armatures du condensateur étant polarisées sous une tension de quelques kilovolts. Expliquer comment Millikan a pu déduire de cette expérience la valeur de la charge de l'électron.

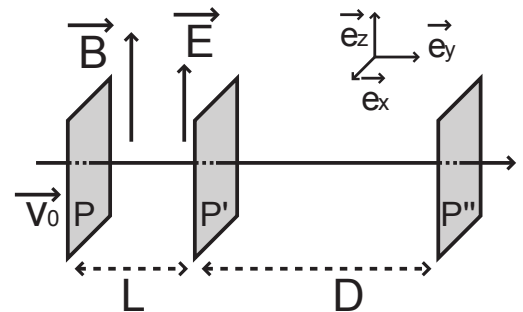
MEC-22: Particules dans des champs électrique et magnétique parallèles (Centrale)

Particule dans un champ électrique et un champ magnétique parallèles entre eux.

Des particules de charge q sont envoyées à une vitesse v_0 suivant la direction \vec{e}_y . À $t = 0$, elles sont en $O(0,0,0)$, ce point appartenant au plan P .

Entre les plans P et P' règnent les champs \vec{E} et \vec{B} parallèles, tous deux orientés selon \vec{e}_z .
Entre les plans P' et P'' les deux champs sont nuls. On néglige la pesanteur.

- Établir l'équation paramétrique cartésienne de la trajectoire de la particule entre les plans P et P' . On posera $\omega = \frac{qB}{m}$.
- On considère le cas où $L \ll \frac{v_0}{\omega}$. Donner la position atteinte par la particule sur le plan P' ainsi que les 3 composantes du vecteur vitesse associé.
- Donner la position atteinte sur la plaque P'' .
- On envoie un faisceau contenant plusieurs particules. Montrer que les impacts sur P'' des particules de même charge massique $\frac{q}{m}$ forment une parabole, d'une part, et que les particules de même vitesse initiale sont situées sur une droite. À quoi peut servir un tel dispositif?



Optique

OPG-1: Photons et appareil photo (CCINP 2022, Solenn VIEILLE, Yannis PALMERO)

L'énergie qui nous vient du Soleil peut être considérée comme la somme des quanta d'énergie transportés par les photons qui la constituent.

Nous allons ici considérer le cas de la photographie numérique, avec comme objectif la détermination du nombre de photons par pixel nécessaires à la réalisation d'une photographie de qualité.

Pour cette détermination, le candidat pourra s'appuyer sur les documents ci-dessous et introduire toute grandeur qu'il jugera utile à la résolution du problème. Certaines informations données ne sont pas directement utiles à la résolution et d'autres, qui relèvent de la culture générale, ne sont pas rappelées; le candidat devra donc faire preuve d'initiative.

Document numéro 1 :

Les données techniques relevées sur le site d'un revendeur d'appareils photos, concernant un appareils réflex moyenne gamme sont :

- Taille du capteur C.C.D. : $18 \times 13,5 \text{ mm}^2$
- Nombre de pixels : 12 millions
- Focale de l'objectif : 50 mm
- Ouverture de l'objectif : $f/3,5 - 5,6$
- Vitesse d'obturation : de 60 à $\frac{1}{4000} \text{ sec}$.

Document numéro 2 :

Photo de l'appareil photo :



FIGURE 1

Document numéro 3 :

D'après l'article "La lumière, c'est combien de photons" ; pour la science ; Octobre Décembre 2006

Texte 1 :

Compter les photons à l'unité c'est ce que réalisent les détecteurs des appareils de photo numériques : les C.C.D. (*charge coupling device*). Le détecteur C.C.D. est un damier de détecteurs élémentaires, les photosites. Chacun d'eux est composé d'une jonction de matériaux semi-conducteurs. Chaque photon incident extrait un électron de l'un des matériaux de la jonction. L'électron libéré traverse la jonction et est collecté dans un condensateur électrique associé à chaque photosite.

Texte 2 :

L'énergie solaire qui nous parvient du Soleil atteint un kilowatt par mètre carré lorsque le Soleil est au zénith. Lors d'une prise de vue de jour, les objets éclairés renvoient dans toutes les directions la lumière solaire. Le flux de photons nous parvenant de ces objets vaut un centième du flux solaire.

Texte 3 :

Les photons arrivent au hasard sur le détecteur, à la manière des gouttes de pluies sur une vitre de voiture. Le nombre de photons reçus par pixel fluctue d'une grandeur égale à la racine carrée de la moyenne de ce nombre. Si l'on photographie une page uniformément blanche de sorte que 100 photons arrive en moyenne sur un pixel, on constate que le nombre de photons reçus par pixel varie de 90 à 110. De telles variations de 10 % sont visibles sur l'image. En revanche pour 10000 photons en moyenne les fluctuations typiques sont de 100, soit de un pour cent : elles restent invisibles à l'œil.

Question :

À partir de ces documents et en introduisant toute grandeur pertinente utile à votre résolution, déterminer un ordre de grandeur du nombre de photons qui, en plein jour, parviennent sur un pixel de l'appareil photo envisagé. On explicitera la démarche et on analysera soigneusement le résultat obtenu.

Donnée : constante de Planck, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s

OPG-2: Vision humaine (Paul MOUILLEFARINE CCP 2018)

Chez un homme normal, non atteint par la myopie le punctum remotum est situé à l'infini alors que pour un être myope le cristallin est trop convergent, le punctum remotum est alors situé à une distance $D_m = 18$ cm.

1. Faire un schéma illustrant la vision d'un objet par un individu normal et un individu atteint de la myopie. Expliquer.
2. Quel type de correction est appropriée pour un individu myope? Faire un schéma illustrant la vision d'un objet par un individu myope disposant de cette correction.
3. Parmi les vergences de lentilles proposées, présenter celles adaptées pour traiter une myopie faible, une myopie moyenne et une myopie élevée. Vergences (en dioptries) : -7, -3, -0.25, +0.25, +3,+7.
4. Un opticien propose à un patient un dispositif correcteur placé à 1.0cm de son œil myope. Sachant que le punctum remotum de l'œil myope est de 18cm déterminer la distance focale du dispositif correcteur pour que l'individu voit net, sans accommoder, un objet situé à l'infini.
5. Par ce dispositif un observateur voit les yeux de l'individu myope plus petits derrière ses lunettes. Faire un schéma explicatif en utilisant les données précédemment calculées.

OPG-3: Anneaux de Saturne et lunette de Galilée (CCP 2018, Jean MEYER), problème ouvert

Document n°1 : Anneaux de Saturne

Nom	Rayon interne (km)	Rayon externe (km)
A	122170	136775
B	92000	117580
C	74658	92000
D	66900	74510
E	181000	483000

Le document 1 décrit les différents anneaux de Saturne, le document 2 décrit la lunette qui a été utilisée par Galilée pour observer Saturne et découvrir ses anneaux. Le document 3 comporte des données concernant la planète Saturne.

On rappelle que la résolution angulaire d'un œil humain est d'une minute d'angle, et que l'unité astronomique (u.a. ou a.u.) est la distance Soleil-Terre.

Quelles valeurs faut-il donner aux distances focales des deux lentilles de la lunette de Galilée, compte tenu de la taille de celle-ci, afin de pouvoir distinguer les anneaux de Saturne ?

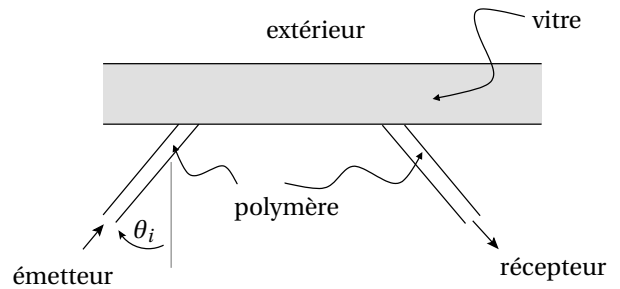
Document n°2 :

La première lunette de Galilée est un système afocal, constitué de deux lentilles. La longueur de la lunette est de 1,24 m. L'objectif est biconvexe et mesure 51 millimètres de diamètre. L'oculaire est plan-concave et mesure 26 millimètres de diamètre. Cet instrument permet d'observer des astres sans que l'image ne soit retournée.

Question en plus, posée pendant l'oral : justifier la nature (convergente ou divergente) des deux lentilles.

OPG-4: Détecteur de pluie (CCP 2016), problème ouvert

Il existe un dispositif permettant de déclencher automatiquement les essuie-glaces lorsqu'il se met à pleuvoir, l'angle θ_i vaut environ 50° . On donne ci-dessous les indices des différents matériaux : Expliquer le principe de fonctionnement du dispositif. Trouver un encadrement de θ_i pour que le dispositif fonctionne.



Milieu	air	eau	polymère	vitre
Indice de réfraction	1	1,33	1,55	1,5

OPG-5: Lunette de Képler et pouvoir de résolution (Geoffrey Hadzi CCP 2016, Hugo BOICHAT et Arthur JAN CCP 2015), problème ouvert

On considère une lunette de Képler, constituée de deux lentilles convergentes : un objectif L_1 , de distance focale image $f'_1 = +60\text{cm}$, et un oculaire L_2 , de distance focale image $f'_2 = +5.0\text{cm}$.

Le pouvoir de résolution d'un œil humain est de l'ordre de 1.5min d'arc . On donne dans le tableau ci-dessous l'angle (en min d'arc) sous lequel on peut voir différents astres depuis la Terre.

Astre	Mercure	Jupiter	Vénus	Lune
Diamètre apparent (en min et s d'arc)	0' 11"	0' 46"	0' 25"	31' 36"

1. Comment régler la lunette pour observer les étoiles sans accommoder ?
2. L'image observée est-elle retournée ? Justifier.
3. Pour les astres du tableau, dire si à l'œil nu on peut y distinguer plusieurs points distincts ; même question à travers la lunette.

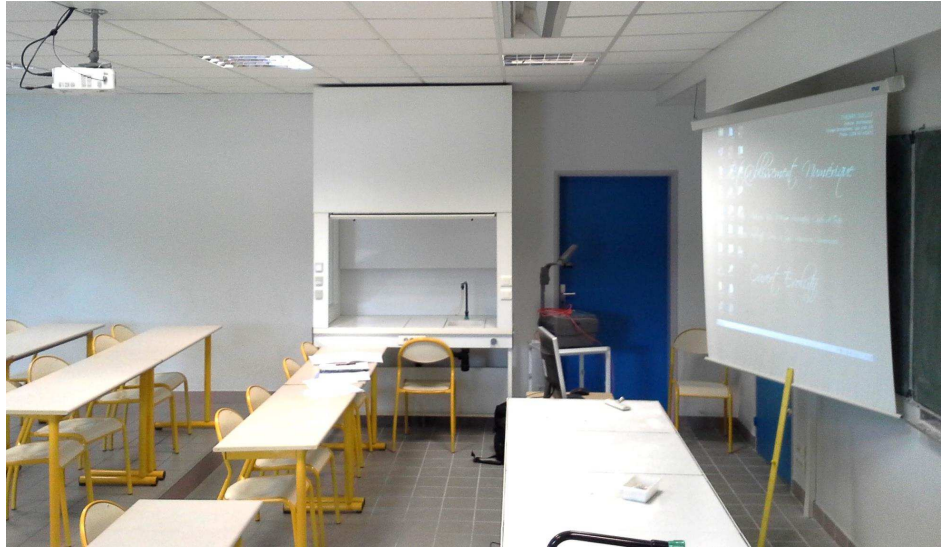
Document n°3 : Saturne



Caractéristiques orbitales		Caractéristiques physiques	
Demi-grand axe	1 426 700 000 km (9,5367 au)	Rayon équatorial	60 268 km (9,4492 Terres)
Aphélie	1 503 500 000 km (10,05 au)	Rayon polaire	54 359 km (8,5521 Terres)
Périhélie	1 349 800 000 km (9,023 au)	Rayon moyen volumétrique	58 232 km (9,014 Terres)
Circonférence orbitale	8 957 500 000 km (59,877 au)	Aplatissement	0,09796
Excentricité	0,0539	Périmètre équatorial	378 675 km
Période de révolution	10 754 d (≈ 29.44 a)	Superficie	43,466×10 ⁹ km ² (83,703 Terres)
Période synodique	378,039 d	Volume	827,13×10 ¹² km ³ (763 Terres)
Vitesse orbitale moyenne	9,6407 km/s	Masse	568,46×10 ²⁴ kg (95,152 Terres)
Vitesse orbitale maximale	10,182 km/s	Masse volumique globale	687,3 kg/m ³
Vitesse orbitale minimale	9,141 km/s	Gravité de surface	10,44 m/s ² (1,064 g)

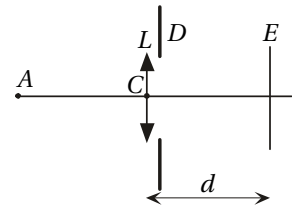
OPG-6: Vidéoprojecteur (CCP 2016), problème ouvert

Un vidéoprojecteur est modélisé par un objectif (lentille mince convergente) pour lequel l'objet mesure 24 mm de hauteur. La photo ci-jointe montre le vidéo-projecteur, ainsi qu'une règle en bois, de longueur 1,0 m. Évaluer la distance focale f' de l'objectif.



OPG-7: Appareil photo (CCP)

On assimile l'objectif d'un appareil photographique à une lentille mince convergente L de distance focale $f' = 55$ mm. Un diaphragme circulaire D est placé juste après. Un dispositif non représenté sur la figure permet de faire varier la distance d de L à un écran E où se trouve la pellicule sensible (qui pourrait aussi être une matrice CCD).

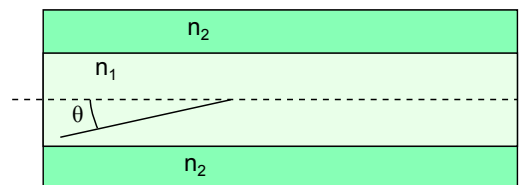


1. Dans quel domaine doit varier d pour obtenir sur l'écran E des images de points A dont la distance AC à L peut varier de 1,20 m à l'infini?
2. Dans le plan de l'écran on limite l'image à un rectangle centré sur l'axe du système, et dont les cotés valent $a = 24$ mm et $b = 36$ mm. Le faisceau entrant dans la lentille est limité par le diaphragme circulaire D . On suppose que l'appareil est mis au point pour l'infini. Calculer alors le rapport des sections droites des deux faisceaux correspondants aux deux points suivants sur E : le centre du rectangle, puis un des sommets de ce rectangle. Quelle est la signification de ce calcul?
3. On appelle ouverture relative de l'objectif le rapport $\frac{2R}{f'} = \frac{1}{n}$, où R est le rayon du diaphragme D et f' la distance focale image de l'objectif. n est le "numéro" du diaphragme. L'appareil est mis au point sur l'infini. Un point A situé à une distance finie CA sur l'axe donne alors sur E une tache. Calculer la distance minimale A_0C pour que le diamètre de cette tache reste inférieure à $g = 0.010$ mm, et ceci pour $n = 2,8$ puis pour $n = 11$. Cette valeur de g est l'ordre de grandeur du grain pour une émulsion très fine. Conclure.
4. Sans agir sur le diaphragme, quelle valeur d_H peut-on donner à d de façon à diminuer la distance A_0C , tout en ayant encore une impression de netteté pour les objets à l'infini? On calculera d_H pour $n = 2,8$ et $n = 11$, ainsi que les distances A_0C correspondantes. Conclure.

OPG-8: Fibre optique (classique)

On considère une fibre optique de longueur $L = 1.5$ km. Le cœur a pour indice $n_1 = 1,55$ et le tour (ou "gaine") $n_2 = 1,45$.

- a. Exprimer l'angle limite θ_{lim} pour qu'il y ait réflexion totale (pour que les rayons restent dans le cœur).
- b. Une diode électroluminescente émet un faisceau divergent. Quels sont les rayons de ce faisceau qui restent uniquement dans le cœur? on notera β l'angle d'inclinaison, dans l'air, entre un rayon issu de la diode et l'axe de la fibre.
- c. Quel est le rayon qui arrive le plus rapidement au bout de la fibre? le plus lentement?



2. La diode émet par impulsions rectangulaires.
 - a. Pourquoi au bout de la fibre l'impulsion est-elle déformée?
 - b. Calculer le temps de montée τ de l'impulsion en bout de fibre.
 - c. La durée du front montant doit toujours rester inférieure à $T_b/4$, où T_b est la durée d'un bit. Calculer le débit maximum dans cette fibre, en bits/s, en fonction de n_1 , n_2 , L et c (célérité de la lumière dans le vide).
3. Dispersion : on considère un prisme d'indice n et d'angle au sommet A . Il y a donc un angle A entre la face d'entrée et la face de sortie. On l'éclaire en incidence normale sur sa face d'entrée.
 - a. On appelle déviation D l'angle entre le rayon émergent et le rayon incident. Exprimer D en fonction de n et A . Quels cas limites peut-on considérer pour tester la validité du résultat obtenu?
 - b. Qu'est-ce qu'un milieu dispersif? Le prisme en est-il un? comment cela se traduit-il en pratique?

THE-1: Atmosphère de Mars (CCINP 2025 Jules CHAMEROY, Nathanaël FERRIER)

Données :

- Température moyenne de l'atmosphère de Mars : -62 °C
- Pression à la surface de Mars : $7,6\text{ mbar}$
- Masse de Mars : $6,4 \times 10^{23}\text{ kg}$
- Rayon de Mars : 3396 km
- Masse de la Terre : $6,4 \times 10^{23}\text{ kg}$
- Rayon de la Terre : 6378 km
- Composition de l'atmosphère de Mars : 96% de dioxyde de carbone
- Distance Soleil - Mars : $228\text{ millions de km}$
- Masse molaire de C : $12\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Masse molaire de O : $16\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Déterminer une expression littérale puis la valeur numérique de l'épaisseur de l'atmosphère de la planète Mars. Puis calculer la masse de cette atmosphère.

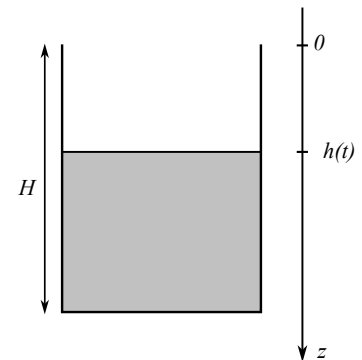
THE-2: Evaporation d'éther (CCINP 2024 Alban BURLET, Benjamin MARELILLE)

Une éprouvette contient de l'éther liquide, à la température T_0 . Elle est ouverte sur le dessus, à l'air libre. L'éther liquide s'évapore, donc, petit à petit. On suppose que la température reste constante et égale à T_0 .

La pression partielle en éther gazeux est supposée constamment nulle en $z = 0$, et en $z = h(t)$, elle est égale à la pression de vapeur saturante de l'éther à la température T_0 .

On se donne la masse volumique μ de l'éther, sa masse molaire M . On note R la constante des gaz parfaits, D la constante de diffusion de l'éther dans l'air à T_0 .

Déterminer le temps nécessaire à l'évaporation totale de l'éther contenu dans l'éprouvette.



THE-3: Ailette de refroidissement (Centrale 1, sans préparation 2024 Jonas VUILLEMIN)

On s'intéresse à une ailette de refroidissement d'un radiateur de voiture. On note λ la conductivité thermique du métal la constituant, et T_0 la température de la face $x = 0$ de l'ailette (face de gauche sur le dessin).

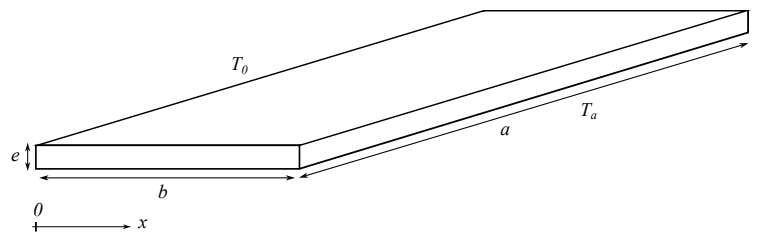
L'air qui règne autour de l'ailette est de température T_a (température ambiante).

On suppose $e \ll a$, $e \ll b$.

On rappelle la loi de Newton : $d\mathcal{P} = h(T - T_a)dS$.

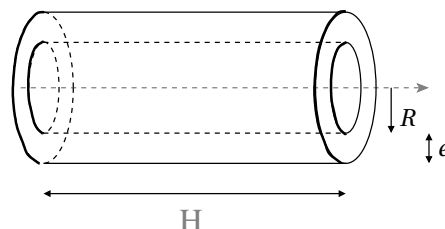
1. Déterminer la puissance thermique dissipée dans l'air par une ailette si la température de celle-ci est supposée uniforme, de valeur T_1 .

2. On suppose $b \gg \sqrt{\frac{\lambda e}{2h}}$. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la température dans l'ailette $T_2(x)$, en régime stationnaire, puis la résoudre. Donner la nouvelle expression de la puissance dissipée dans l'air par l'ailette.



THE-4: Sac de couchage (CCINP 2025 Clotilde DELPLANQUE et CCINP 2024)

On modélise un sac de couchage comme un volume entre deux cylindres de hauteur $H = 2\text{ m}$, et de rayons $R = 30\text{ cm}$ et $R + e$.



Dans le sac de couchage on envisage la présence de plumes de canard ou de matière synthétique.

On définit le pouvoir gonflant d'un matériau par sa valeur en CUIN (cubic inches), sachant que 1 CUIN revient à un volume de 16 cm^3 pour une masse de 10 g de matériau.

C'est à dire que 10 g du matériau comprimé, occupera un volume de $16 * x \text{ cm}^3$ une fois aéré, si sa valeur est de x CUIN.

On indique que le sac de couchage en plume de canard a un pouvoir gonflant de 900 CUIN et le synthétique de 400 CUIN, d'une part, et que la conductivité thermique des plumes de canard et du matériau synthétique sont respectivement $\lambda_c = 0,033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\lambda_s = 0,036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ d'autre part.

La température extérieure est de 5°C et la température intérieure doit être de 32°C .

Quel duvet sera le plus léger?

Évaluer sa masse si la puissance thermique dégagée par le campeur est de 100 W.

THE-5: Bonbonne de diazote liquide (CCINP 2024 Jonas VUILLEMIN)

On s'intéresse à une bonbonne sphérique contenant du diazote liquide en équilibre avec du diazote gazeux. La bonbonne est ouverte, donc à pression ambiante.

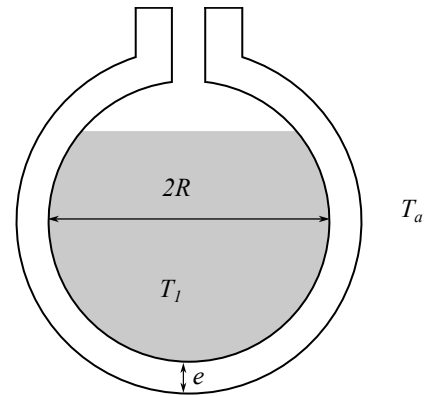
Le rayon de la paroi interne est $R = 10 \text{ cm}$.

La paroi est en polyester, d'épaisseur $e = 5,0 \text{ cm}$, et de conductivité thermique λ .

L'air qui règne autour de la bonbonne est de température T_a (température ambiante).

On note L_v la chaleur latente massique de vaporisation de diazote à la température T_1 .

Au fil du temps, le diazote liquide va se vaporiser. Exprimer le débit massique avec lequel le diazote liquide se vaporise.



THE-6: Le plumage d'une chouette (CCINP, Nicolas MICHEL, Robin BERTHOD, Coline PIRON 2024, Lou GAUDARD 2023)

Calculer la conductivité thermique du plumage d'une chouette, pour qu'elle conserve une température de corps de 40 degrés Celsius.

Données : (pas sûr des valeurs numériques, mais l'esprit de l'exo doit être à peu près ça ...)

- On modélise la chouette par une boule de rayon 20 cm, revêtue d'un plumage d'épaisseur 3 cm .
- La température extérieure est de 2,5 degrés Celsius.
- Une chouette respire une quantité d'air par unité de temps et par unité de masse corporelle de $20 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.
- Cet air permet la réaction de combustion complète du glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (liq), l'eau étant obtenue sous forme gazeuse.
- On donne les enthalpies standard de formation, en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$:

	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (liq)	CO_2 (g)	H_2O (g)
$\Delta_f H^0$	-1273	-393	-242

- La masse de la chouette est de 400 g
- La constante de gaz parfaits est $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

THE-7: Banc Kofler (CCINP Nicolas AUBRY 2023, Leandros MURENA 2022, Quentin MAILLARD-SALIN 2022, Sébastien MARTI 2028, Matthieu PETIT 2017)

Un banc Kofler est un dispositif permettant de mesurer la température de fusion d'un solide granulaire : il se présente sous la forme d'une plaque métallique horizontale le long de laquelle la température varie. On dépose la poudre à tester du côté le plus froid de la plaque puis on le déplace lentement vers les températures plus élevées, jusqu'à ce que les grains commencent à fondre.

Dans cet exercice, on s'intéresse au fonctionnement du dispositif : La plaque est de longueur L selon (Ox) , de largeur a selon (Oy) , et d'épaisseur b selon (Oz) , vertical. On précise que $b \ll a \ll L$.

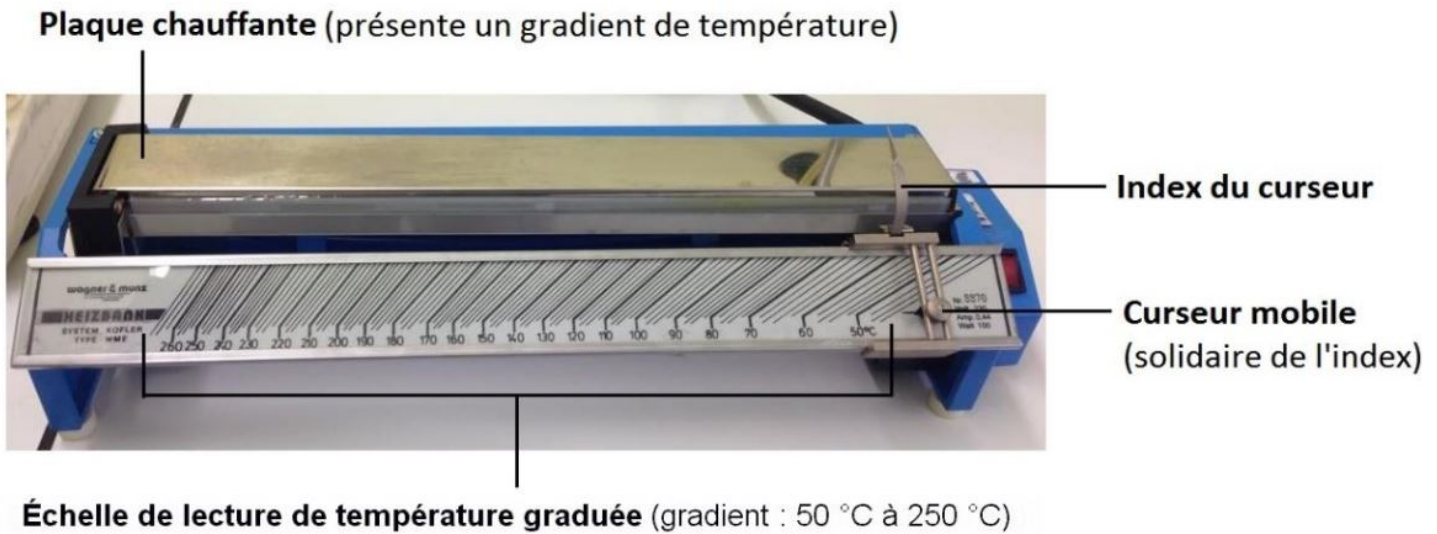
Une résistance chauffante est en contact avec la plaque, à l'extrémité chaude ($x = 0$) de celle-ci, et y impose une température T_0 , qui dépend de la tension U imposée à la résistance. On note λ la conductivité thermique du métal qui constitue la plaque, μ sa masse volumique, c sa capacité thermique massique.

1. Établir l'équation de la diffusion thermique en 1D. En déduire une durée caractéristique de la diffusion thermique sur une distance ℓ .

2. On se place dans cette question en régime stationnaire, et on prend en compte la conducto-convection entre la plaque et l'air, mais uniquement sur la face supérieure (celle du dessous étant à l'intérieur du système, donc moins sujette à la convection, et les petites faces verticales étant de taille négligeable). On rappelle la loi de Newton : le flux thermique conducto-convectif sortant à travers une surface dS du dessus de la plaque est $\delta\phi_{cc} = h(T - T_a)dS$, T_a étant la température de l'air ambiant, constante dans le temps, et T la température de la portion dS de la plaque. On admet que $L \gg \sqrt{\frac{b\lambda}{h}}$.

Établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(x)$ de la plaque. Montrer que la solution s'écrit $T(x) = A + B \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right)$, et déterminer A , B et δ .

3. On veut modifier la répartition de température sur la plaque. Pour cela, on augmente la température T_0 de l'extrémité $x = 0$ de la plaque en accroissant la tension U aux bornes de la résistance chauffante. Évaluer le temps qu'il faut attendre, après avoir fixé U , pour que la loi de température le long de la plaque retrouve une forme analogue à celle de la question précédente. Expliquer la forme des traits de graduation sur la photo ci-dessous, et la nécessité du curseur mobile.



THE-8: Hypothermie (CCINP Jeanne DORR 2024, Alexandre CAMPOS 2023, Matthieu PETIT 2018, Bilgehan TANRIVERDI 2017, Gabriel CLERGET 2016)

La capacité thermique massique d'un homme est proche de celle de l'eau : $c = 4.18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. On considère un homme de 1,8 m, de 80 kg, présentant une surface d'échange thermique $S = 2.0 \text{ m}^2$. La puissance thermique massique dégagée par son métabolisme est $\mathcal{P} = 2.0 \text{ W kg}^{-1}$. La résistance thermique de son derme est, pour une surface de 1.0 m^2 $R_{S1} = 5.0 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \text{ m}^2$. On prend en compte les échanges conducto-convectifs; ils obéissent à une loi de Newton, avec un flux thermique $\phi_{cc} = hS \Delta T$, ΔT étant l'écart de température entre la paroi solide et le cœur du fluide, et S la surface. On donne pour l'interface peau-eau : $h = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. La conductivité thermique du néoprène est $\lambda_n = 0.23 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. La température intérieure normale du corps est de 37 °C. L'hypothermie commence à 35 °C.

1. Donner un modèle de l'échange thermique d'un homme sans combinaison dans l'eau de mer, de température $\theta_e = 17^\circ\text{C}$. Combien de temps tiendra le baigneur avant le début de l'hypothermie?
2. Quelle épaisseur de combinaison néoprène faut-il pour rester un temps illimité dans l'eau de mer sans risquer l'hypothermie?
3. Critiquer le modèle.

THE-9: Bonbonne de butane pour cuire des pâtes (Abdel EL HAMDAOUI CCINP 2025 et Mélissa HENRIET CCP 2018)

Un cuisiner se demande si sa bonbonne de butane (C_4H_{10}) va suffire à cuire des pâtes pour 200 personnes. Présenter une stratégie pour répondre à ce problème.

Données :

masse bouteille à vide : 15 kg
 masse bouteille pleine : 28 kg
 Pour la combustion complète du butane avec obtention d'eau sous forme gazeuse, $\Delta_r H^0 = -1.9 \text{ MJ mol}^{-1}$.
 La bouteille de butane mesure 31 centimètres de diamètre par 56 centimètres de hauteur.
 Enthalpie de vaporisation de l'eau : 2 257 kJ/kg
 La capacité thermique massique du blé est de $1,3 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$,

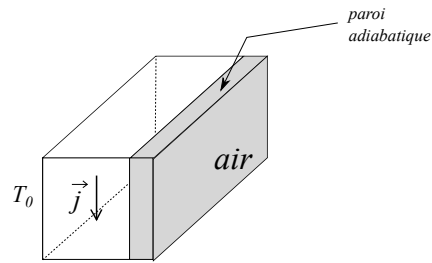


Substance	Capacité thermique massique (en J/g°C)
Eau liquide	4,19
Éthanol	2,46
Glace	2,06
Huile végétale	2,00
Bois	1,76
Air	1,01
Verre	0,84
Sable	0,80
Fer	0,45
Cuivre	0,38
Argent	0,24
Tungstène	0,13

La capacité thermique molaire à pression constante du diazote gazeux est $28,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, celle de la vapeur d'eau $30,5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, celle du dioxyde de carbone gazeux $44,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

THE-10: Fusion d'un bloc de cuivre parcouru par un courant (Léo VERNEREY CCINP 2022)

Un parallélépipède en cuivre, de largeur a (de l'ordre de quelques centimètres), et dont les deux autres dimensions sont considérées infinies, est recouvert à sa droite d'une paroi parfaitement adiabatique, qui l'isole de l'air ambiant. Sa face gauche est maintenue à la température constante T_0 . Un courant électrique continue traverse verticalement le bloc de cuivre. Sa densité surfacique est $j = 16 \text{ A mm}^{-2}$.



Déterminer si le bloc de cuivre fond en étudiant au niveau de la paroi adiabatique.

Données :

- Masse volumique : 8.96 g cm^{-3}
- Température de fusion : 1085 °C
- Capacité thermique massique : $380 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Conductivité thermique : $401 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Conductivité électrique : $6.0 \times 10^7 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

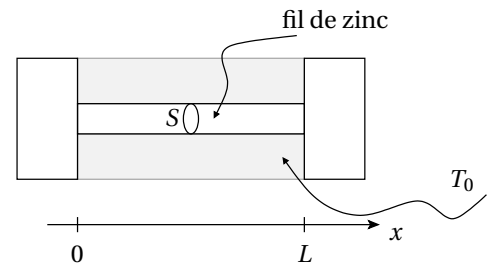
THE-11: Fusible (CCINP 2022 Nathan ARANDA, CCP 2015), Pb ouvert

Ci-contre est représentée une vue en coupe d'un fusible de longueur L et de section S . La température ambiante est $T_0 = 300 \text{ K}$. Le métal qui constitue le fil central est du zinc dont on donne :

- † la masse volumique $\rho = 7134 \text{ kg m}^{-3}$;
- † la conductivité thermique $\lambda = 116 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$;
- † la conductivité électrique $\sigma = 16.6 \times 10^6 \text{ S m}^{-1}$;
- † la température de fusion $T_{fus} = 420 \text{ °C}$;
- † la capacité thermique massique $c = 390 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

L'isolant qui entoure le fil de zinc est isolant électrique et de température T_0 .

À la périphérie du fil, il y a des transferts thermiques conducto-convectifs : la puissance thermique qui sort à travers une surface dS du fil est $\delta P_{th} = h(T_{surf} - T_0) dS$, en notant T_{surf} la température à la surface du fil. On donne $h = 1.3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. On veut que le fusible protège un appareil qui ne supporte pas une intensité efficace supérieure à $I_{max} = 16 \text{ A}$.



Déterminer la section du fil de zinc.

THE-12: Bactérie E. Coli (Hippolyte MONTAGNE CCINP 2021, Sébastien BRUTILLOT CCP 2018, Etienne JEAN et Clément LAIGNEAU CCP 2016)

On s'intéresse à une bactérie (E. Coli), de masse volumique ρ , de rayon R , qui évolue dans un milieu de concentration c_0 en dioxygène dissous. Cette concentration est exprimée en mol m^{-3} . On note D la constante de diffusion du dioxygène dans la solution.

1. Expliquer le phénomène de diffusion de particules. Rappeler la loi de Fick pour des particules dont la densité volumique est n (exprimée en m^{-3}). Dans le cas particulier où n ne dépend que de r en coordonnées sphériques, que devient la loi de Fick?
2. On note $\phi(r)$ le flux de dioxygène entrant dans une sphère de rayon $r > R$ en fonction de $j_n(r)$ et r , $j_n(r)$ étant le projeté de \vec{j}_n selon \vec{e}_r . On se place en régime stationnaire. Que peut-on en déduire pour $\phi(r)$?
3. En déduire $n(r)$. Exprimer n_1 à la surface de la bactérie en fonction de \mathcal{N}_a , c_0 , D , R et une constante K dont on donnera la signification.
4. On note A le taux de consommation molaire de dioxygène par unité de masse de la bactérie. A s'exprime donc en $\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ mol}$. Exprimer K en fonction de A , ρ , R , \mathcal{N}_a . En déduire que $n_1 = -\frac{A \mathcal{N}_a \rho R^2}{3D} + \mathcal{N}_a c_0$.
5. Trouver l'inégalité que doit vérifier A pour que la bactérie ne suffoque pas.

THE-13: Découpe laser (Martin BELLONCLE CCP 2018)

Un industriel doit découper des plaques de fer au moyen d'un laser. Il doit découper 150 plaques par heure, dans le sens de la longueur. Les plaques font 1,0 m sur 50 cm. Quelles sont les épaisseurs de plaques pour lesquelles ce sera possible : 1 mm ? 2 mm ? 5 mm ? 10 mm ?

Données

- Masse volumique du fer : $7900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Chaleur latente de fusion du fer : $247 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Capacité thermique massique du fer : $440 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Température de fusion du fer : 1538 °C
- Section droite du faisceau laser : 0.50 mm^2
- Puissance du laser : 1.0 kW
- Longueur d'onde du laser : $0.60 \text{ } \mu\text{m}$

THE-14: Fonte d'un glaçon sphérique (Mines 2018 Arthur VINCENOT)

Un glaçon d'eau sphérique de rayon initial R_0 est entièrement plongé dans un très grand volume d'eau dont la température est uniformément égale à T_e , avant introduction du glaçon. La température du glaçon est égale à $T_0 = 0 \text{ °C}$. on indique que $T_e > T_0$.

Établir l'expression littérale de la durée de fonte du glaçon.

Les données (littérales) sont : R_0 , T_e , T_0 , la masse volumique, la capacité thermique et la conductivité thermique de l'eau liquide, la masse volumique de la glace, ainsi que la chaleur latente massique de fusion de la glace.

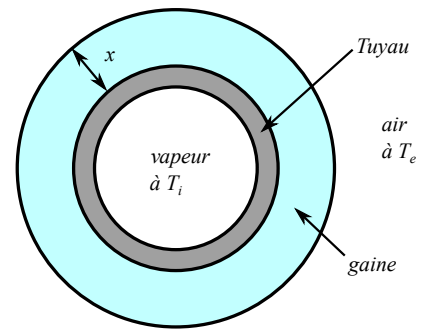
THE-15: Isolation thermique d'un tuyau contenant de la vapeur (CCP 2018 Mélissa HENRIET)

Une conduite cylindrique circulaire de rayon intérieur R_i et d'épaisseur e est parcourue par de la vapeur d'eau à une température uniforme T_i . À l'extérieur de la conduite se trouve de l'air dont la température, loin du tuyau, est T_e , constante au cours du temps. Pour éviter que la vapeur ne se refroidisse trop, on désire entourer le tuyau d'une gaine cylindrique circulaire, de rayon intérieur $R_i + e$, et d'épaisseur x . On note λ_1 la conductivité thermique du métal constituant le tuyau, et λ_2 celle de l'isolant thermique constituant la gaine.

On prend en compte la conducto-convection à l'extérieur de la gaine : en notant $\delta\varphi$ le flux thermique sortant à travers une portion dS de la surface extérieure de la gaine par conducto-convection, on a : $\delta\varphi = h(T - T_e) dS$, T étant la température de surface de la gaine. On se place en régime stationnaire, et on s'intéresse à une zone de tuyau dans laquelle la température T_i est considérée uniforme.

On cherche à optimiser l'isolation thermique procurée par la gaine.

1. Qualitativement (sans longs calculs), montrer que l'augmentation de l'épaisseur x de la gaine a deux effets antagonistes, et qu'il existe donc *a priori* une épaisseur optimale.
2. Déterminer cette épaisseur x optimale.



THE-16: Climatiseur (CCP 2018 Thomas THEVENOT)

Refroidissement d'un local.

Un climatiseur fonctionne de manière réversible entre deux sources thermiques : l'extérieur à la température $T_{ext} = 32^\circ\text{C}$, assimilé à une source thermique parfaite, et le local, initialement à la même température que l'extérieur. On suppose que les parois du local sont parfaitement calorifugées, et on note C la capacité thermique totale du local (y compris son contenu). La puissance électrique consommée par le compresseur de la pompe à chaleur est notée P_{comp} . Le rendement de ce compresseur électrique est noté η .

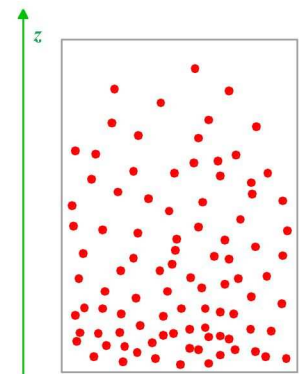
Calculer la durée nécessaire à l'abaissement de la température du local de 32°C à 28°C .

Données : $C = 1.0 \times 10^6 \text{ J K}^{-1}$; $P_{comp} = 700 \text{ W}$; $\eta = 0,72$.

THE-17: Expérience de Jean PERRIN (William BONGUET CCP 2017)

On s'intéresse à l'expérience réalisée par Jean PERRIN pour mesurer le nombre d'Avogadro \mathcal{N}_a . Comme Jean PERRIN, on réalise une suspension de sphérules (toutes petites sphères de gomme-gutte, caoutchouc végétal) dans une cuve contenant de l'eau. La hauteur de la cuve, H , est de l'ordre du centième de mm.

Lorsque l'on agite la suspension, la répartition des grains est à peu près uniforme. Mais en laissant reposer, on obtient un état stationnaire, dans lequel les couches inférieures sont plus riches en sphérules que les couches supérieures. Au moyen d'un microscope (en choisissant bien le grossissement pour avoir une très faible profondeur de champ), on ne voit nette qu'une couche horizontale d'épaisseur de l'ordre du micron. On peut alors déterminer la concentration de sphérules dans cette couche. En déplaçant verticalement le microscope, on peut accéder à la concentration dans une autre couche.



1. Que peut-on dire de la focale, du temps d'exposition, du grossissement et du diaphragme?
2. On donne la concentration en sphérules (nombre de sphérules par unité de volume) selon l'altitude : $n(z) = n(0) \exp\left(-\frac{mgz}{k_B T}\right)$, m étant une grandeur physique à déterminer plus loin, et k_B la constante de Boltzmann. Quelles sont les deux entités physiques en compétition dans cette expression?
3. À l'aide de l'action de la gravité et de la poussée d'Archimède, déterminer une masse apparente de sphérule. Application numérique.
4. Qu'est-ce que le phénomène de diffusion de particules? Donner un exemple.
5. Montrer que l'expression de $n(z)$ fait intervenir une "hauteur d'échelle" H . Expliciter ce terme de vocabulaire, puis donner l'expression de H , en faisant apparaître le nombre d'Avogadro.
6. Quelle(s) grandeur(s) peut-on modifier pour avoir une "inversion de pesanteur", c'est-à-dire avoir une accumulation de sphérules en haut de la colonne d'eau plutôt qu'en bas?
7. Donner un protocole pour déterminer le nombre d'Avogadro.
8. En z_1 , Jean PERRIN compte 100 sphérules dans la tranche. En $z_2 = z_1 + h$, il en compte 17, avec $h = 90 \mu\text{m}$. En déduire une estimation du nombre d'Avogadro.

Données, à $T = 293 \text{ K}$: rayon d'une sphérule : $r = 0.212 \mu\text{m}$; masse volumique des grains de gomme-gutte : $\mu = 1.194 \text{ g cm}^{-3}$; masse volumique de l'eau : $\mu_e = 1.003 \text{ g cm}^{-3}$; constante des gaz parfaits : $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

THE-18: Pression au Mont-Blanc (Jérémy ROBERT CCP 2017, Pb ouvert)

Le gradient de température à la surface de la Terre est de -6Kkm^{-1} .
Déterminer la pression au sommet du Mont-Blanc (4809m).

THE-19: Moteur thermique (Nicolas ARBEZ CCP 2016)

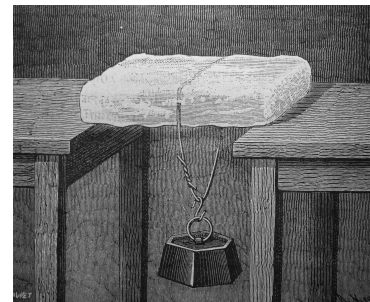
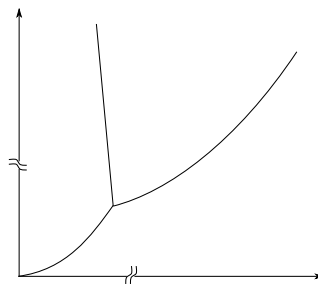
On considère un moteur thermique, qui délivre une puissance mécanique $P_m = 100\text{MW}$. Sa source chaude est supposée idéale, et de température $T_C = 500^\circ\text{C}$, invariante. Sa source froide est supposée idéale sauf dans la dernière question. On note P_C et P_F les puissances thermiques reçues par le fluide interne de la machine de la part, respectivement, de la source chaude et de la source froide.

1. Faire un schéma synoptique du système.
2. Exprimer le rendement η du moteur en fonction des grandeurs thermiques échangées P_C et P_F .
3. La source froide est idéale, de température $T_F = 20^\circ\text{C}$; quelle est l'expression du rendement maximal η_{max} en fonction des températures des sources? App. Num.
4. En réalité, la machine n'est pas réversible, mais admet un rendement réel $\eta = \beta\eta_{max}$, avec $\beta = 0,60$. Calculer P_C et P_F .
5. La source froide n'est pas idéale : c'est l'eau d'un fleuve qui circule dans un échangeur thermique avec un débit volumique $D_v = 100\text{m}^3\text{s}^{-1}$. La capacité calorifique massique de l'eau est $c_p = 4.18 \times 10^3\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Quelle est la différence de température du fleuve entre l'entrée et la sortie de l'échangeur, si le rendement est celui de la question précédente?

THE-20: Expérience de Tyndall (CCINP 2025 Noé CLERGET, 2021 Dorian FENOY, CCP 2017 Max POULHES)

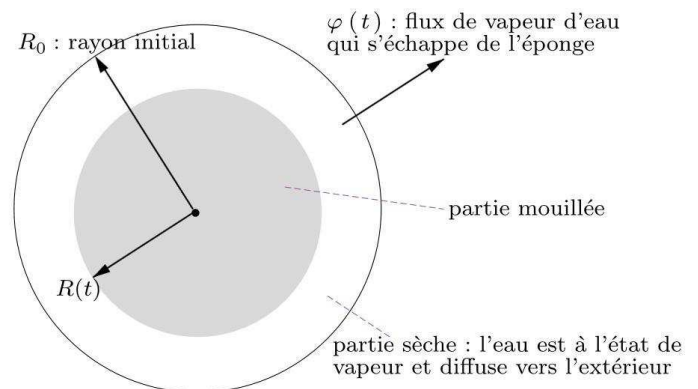
On donne ci-contre un diagramme de phase de l'eau.

1. Placer les différentes phases de l'eau, et indiquer quelles sont les variables sur les deux axes.
2. Donner les noms des courbes délimitant les domaines, en fonction des changements de phase.
3. Placer le point critique et le point triple, et indiquer leurs propriétés.
4. Quelle est la particularité du diagramme de l'eau par rapport aux autres corps purs?
5. Expérience de Tyndall : on place sur un bloc de glace un fil fin, lesté aux deux extrémités (voir seconde figure). Au fil du temps, le fil s'enfonce dans la glace, mais la glace se reforme après le passage du fil. Expliquer.



THE-21: Éponge sphérique qui sèche (ODLT et Base Orlaux 2015), Pb ouvert

On étudie le séchage d'une éponge sphérique. Celle-ci est de rayon extérieur R_0 . Initialement, elle est totalement imbibée d'eau. Puis elle sèche progressivement. À l'instant t , le liquide eau se limite à la sphère de rayon $R(t)$. Cette éponge est disposée dans un local de très grande taille, dans lequel la pression partielle en vapeur d'eau peut être considérée comme uniforme et constante dans le temps : P_{ext} . Le local est à température T uniforme et constante. On note P_{sat} la pression de vapeur saturante de l'eau à la température du local. Le nombre de molécules d'eau par unité de volume dans la partie liquide est noté n_{liq} . Dans la partie "sèche" de l'éponge, la diffusion de vapeur d'eau est considérée quasi-stationnaire.



Pour $r \in [R(t), R_0]$, on note $n(r, t)$ le nombre de molécules de vapeur d'eau par unité de volume. La vapeur d'eau diffuse dans la partie sèche de l'éponge avec un coefficient de diffusion D . Pour éviter toute confusion, on notera \mathcal{R} la constante des gaz parfaits. On note $\varphi(t)$ le flux de molécules d'eau sous forme vapeur sortant de l'éponge à l'instant t .

1. Quelle inégalité existe-t-il entre P_{ext} et P_{sat} ?
2. Déterminer les conditions aux limites pour n en $R(t)$ et en R_0 .
3. Montrer que $\frac{\partial n}{\partial r} = -\frac{\varphi(t)}{4\pi r^2 D}$.
4. Dédire des questions précédentes $n(r, t)$.
5. À l'aide d'un bilan de matière, relier dR à φ , puis en déduire une équation différentielle en $R(t)$.
6. La résoudre par séparation des variables.