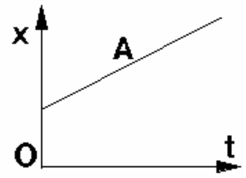
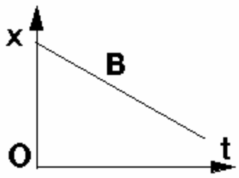
Corrigé des exercices MÉCANIQUE

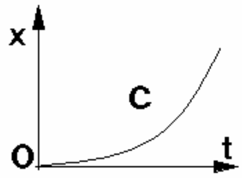
1.1 Cinématique

1.1.3 Exercices position

1) Décrire les mouvements A, B et C représentés dans les trois diagrammes x(t) (parler de la vitesse).



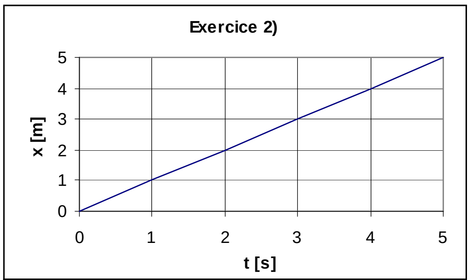




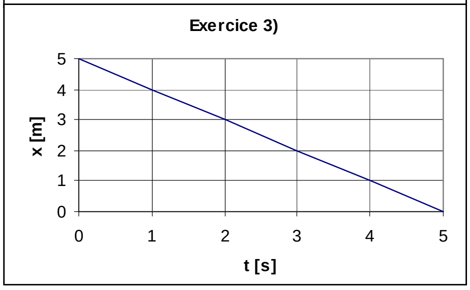
A : Le mobile part au temps t = 0 d'une position x_o positive dans un référentiel Ox ; il avance avec une vitesse constante.

B : Le mobile part au temps t = 0 d'une position x_o positive dans un référentiel Ox ; il recule avec une vitesse constante.

C : Le mobile part au temps t = 0 de l'origine O du référentiel Ox ; il avance avec une vitesse qui croit.



2) Graphique x(t) d'un mobile qui part du point O au temps t = 0 puis s'en éloigne à la vitesse de 1 m/s pendant 5 s : x(t) = t



3) Graphique x(t) d'un mobile qui se rapproche du point O à la vitesse de 1 m/s pendant 5 s en partant d'une position située à 5 m du point O : x(t) = 5 - t

1.1.4 Exercices vitesse et MRU

1) Deux athlètes A et B courent sur une piste circulaire longue de 400 m. Ils partent ensemble et se déplacent à des vitesses respectivement égales à v_A = 10 m/s et v_B = 9 m/s. En faisant abstraction du rayon de la trajectoire qui est grand, on peut considérer que les deux coureurs sont en MRU avec des horaires :

$\boxed{x_A(t) = 10t} = v_1\ t$ et $\boxed{x_B(t) = 9t} = v_2\ t$

a) Les 2 athlètes A et B ont un tour (= 400 m) d'écart lorsque $x_A(t) - x_B(t) = 400 = d = v_1\ t - v_2\ t \Rightarrow x_A(t) - x_B(t) = 10t - 9t = t = 400 \Rightarrow$ t = 400 s. ($t = d / (v_1 - v_2)$)

b) Distances parcourues par les deux coureurs en t = 400 s : $d_1 = x_A(400) = v_1\ t = 10*400 =$ 4000 m. $x_B(400) = d_2 = v_2\ t = 9 * 400 =$ 3600 m.

2) Un lièvre s'éloigne d'un chasseur selon une ligne droite, sa vitesse est de 36 km/h = 10 m/s. Le chasseur tire lorsque la distance qui le sépare de sa future victime est de 98 m. Si la vitesse de la balle est de 500 m/s, quelle distance pourra encore parcourir le lièvre avant d'être touché ?

Posons un référentiel Ox où O est à l'extrémité du fusil du chasseur avec un temps t = 0 au coup de feu. Horaires dans ce référentiel : balle : $x_1(t) = 500\ t$.
lièvre : $x_2(t) = 98 + 10\ t$
"rencontre" pour $x_1(t) = x_2(t) \Rightarrow 500\ t = 98 + 10\ t \Rightarrow 490\ t = 98 \Rightarrow t = 98/490 =$
$\Rightarrow t = 0{,}2$ s $\Rightarrow$ position du lièvre x_2 = 100 m du chasseur.
Preuve : position de la balle : $x_1(0.2) = 500*0.2 = 100$ m
Preuve : position du lièvre : $x_2(0.2) = 98 + 10*0.2 = 98 + 2 = 100$ m …..CQFD.

4) Sur une portion de route rectiligne, un camion passe au point A (centre O du référentiel dirigé vers B) à midi et se dirige vers le point B, distant de 5 km = 5000 m, avec une vitesse constante v_A = 54 km/h = 15 m/s. A midi et deux minutes t = 120 s si t = 0 à midi, une voiture quitte B pour se diriger vers A, à la vitesse constante v_B = -72 km/h = -20 m/s (on a mis un signe – car la voiture va de B à A) A quelle distance de A les deux véhicules vont-ils se croiser ?

Horaire du camion: $\boxed{x_A = 15t}$

Si la voiture était partie au temps t = 0, elle aurait parcouru une distance de 20 * 120 = 2400 m. à la vitesse de 20 m/s pendant une temps de 120 s. Tout se passe comme si la voiture était partie à midi (t = 0) à la position 5000 + 2400 = 7400 m => Horaire de la voiture : $\boxed{x_B = 7400 - 20 * t}$

"rencontre" pour $x_A = x_B$ => 15 t = 7400 - 20 t => 35 t = 7400 => t = 7400/35 = 211,4 s.

Distance de A = x_A(211.4) = 15 t = 15*211.4 = <u>3171 m</u>.

Preuve : x_B(211.4) = 7400 - 20 * t = 7400 – (20*211.4) = 7400 – 4229 = <u>3171 m</u>

1.1.5 Exercices MCU

1) Une machine à laver essore la lessive avec une fréquence de 1000 tours par minute = 1000/60 = 16.67 t/s et le diamètre intérieur de son tambour est de d = 2r = 40 cm = 0.4 m => r = 0.2 m. déterminer la vitesse angulaire ω et la vitesse v d'un point du tambour. Vitesse angulaire (un tour d'angle 2π en une période T) $\boxed{\omega = 2\pi/T}$ = 2πf = 2π 1000/60 = <u>104.72 rad/s</u> ; vitesse $\boxed{v = 2\pi r/T}$ = ωr = 104.72*0.2 = <u>20.94 m/s</u>.

2) Calculer la vitesse moyenne d'un point de l'équateur terrestre lors de son mouvement de rotation autour de l'axe de la Terre. (rayon R = 6400 km) : La période de rotation de la Terre sur elle-même est de 24 heures de 3600 secondes (T = 86'400 s). Vitesse = distance /temps $\boxed{v = 2\pi R/T}$ = 2π*6'400'000/(24*3600) = <u>465.4 m/s</u>. (v = 0.4654/(1/3600) = 1675.4 km/h)

3) Si l'on admet que le système solaire fait un tour d'orbite circulaire de rayon de 30'000 années-lumière en 250 millions d'années, quelle est alors la vitesse du centre du système solaire dans la galaxie en km/s ? 1 année-lumière = 1 AL = 300'000'000 m/s * 365,25 j/an * 24 h/j * 3600 s/h = $\boxed{9.467 \cdot 10^{15} \text{ m pour 1 AL}}$. Rayon R de la trajectoire du système solaire : R = 30'000 AL = 30'000*9.467*10^{15} = 2.8402*10^{20} m.

Période T = 250'000'000*365.25*24*3600 = $\boxed{7.8894 \cdot 10^{15} \text{ s}}$ pour une année.

Vitesse v = 2πR/T = 2π*2.8402*10^{20}/7.8894*10^{15} = <u>226'195 m/s = 226 km/s</u>.

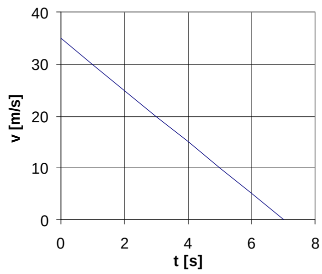
1.1.6 Exercices MRUA .(calculés avec g = 10 m/s^2)

1) Une voiture roule sur une route rectiligne. Son accélération est constante et vaut 2 m/s². Il faut d'abord répondre à la question b) Quelle est sa vitesse au bout de ces 10 secondes ? : l'accélération correspond à une augmentation de la vitesse de 2 m/s chaque seconde. Au temps t = 0, sa vitesse est de 10 m/s ; au temps t = 10 s, sa vitesse sera v(10 s) = 10 + 2*10 = <u>30 m/s</u> $\boxed{v(t) = v_o + at}$

a) Quelle distance parcourt-elle pendant les 10 secondes suivantes ? La distance parcourue est le produit de la vitesse moyenne et du temps : $\boxed{d = v_{moy}\, t}$ = ½(10+30)*10 = <u>200 m</u>.

2) Une pierre tombe du pont Bessières sur une hauteur de 23,5 m. Déterminer la durée de la chute. La vitesse augmente de 0 à 10t (g*t) car l'accélération de la pesanteur est de g = 10 m/s². La hauteur h est le produit de la vitesse moyenne v_{moy} et du temps t : h = v_{moy} t = ½(0 + gt) * t => $\boxed{h = \frac{1}{2} g t^2}$ => 23.5 = 5 t² donc le temps : t = (23.5/5)^{½} = <u>2.2 s</u> (t = (2h/g)^{½}).

3) Une voiture lancée à v = 126 km/h = 126'000 m / 3600 s = 35 m/s ; elle s'arrête en t = 7 s. En admettant un MRUA, calculer la distance du freinage. La vitesse diminue régulièrement de 35 à 0 m/s en 7 s ; l'accélération est donc de a = 35/7 = 5 m/s/s. La distance parcourue est le produit de la vitesse moyenne et du temps : d = v_{moy} t = ½(35+0)*7 = <u>122,5 m</u>.



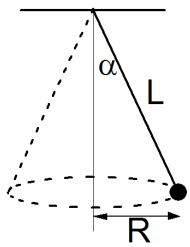
Quelle est la vitesse 3 s après le début du freinage ? Chaque seconde, la vitesse diminue de 5 m/s. Au bout de 3 seconde, la vitesse a diminué de 3*5 = 15 m/s. Elle est donc de 35-15 = <u>20 m/s = 72 km/h</u>. (v(3s) = 35 - 3*5 = 20 m/s)

4) Pour la chute libre d'une pierre dans le champ de la pesanteur (sans vitesse initiale), déterminer la distance parcourue pendant la première, la deuxième et la troisième seconde.

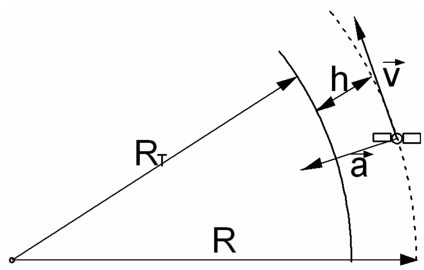
- Durant la 1ère seconde, la vitesse augmente de 0 à 10 m/s. la vitesse moyenne : v_{1moy} = ½(0+10) = 5 /s ; la distance parcourue $\Delta x_1 = v_{moy}$ t = 5*1 = <u>5 m</u>.
- Durant la 2ème seconde la vitesse augmente de 10 à 20 m/s. la vitesse moyenne : v_{2moy} = ½(10+20) = 15 m/s ; la distance parcourue $\Delta x_2 = v_{moy}$ t = 15*1 = <u>15 m</u>.
- Durant la 3ème seconde la vitesse augmente de 20 à 30 m/s. la vitesse moyenne : v_{3moy} = ½(20+30) = 25 m/s ; la distance parcourue $\Delta x_3 = v_{moy}$ t = 25*1 = <u>25 m</u>.

1.1.8 Exercices accélération MCU

1) Un petit objet est attaché à un point fixe par une ficelle de longueur L = 1,2 m. Il décrit un cercle dans un plan horizontal, la ficelle formant un angle α = 25° avec la verticale. Une révolution dure une période T = 2,09 s . Calculer l'accélération de l'objet. Considérons le triangle rectangle d'hypoténuse L et de cathète opposé R. Trigonométrie : R/L = sinα => R = L sinα L'accélération pour cette trajectoire circulaire de rayon R = L sinα = 0.507 m est dirigée vers le centre de la trajectoire (centripète) : $\boxed{a = v^2/R}$. La vitesse $\boxed{v = 2\pi R/T}$ = 2π*0.507/2.09 = 1.525 m/s². Accélération a = 1.525²/0.507 = <u>4,583 m/s²</u> ($a = 4\pi^2 L\sin\alpha/T^2$).



2) Calculer l'accélération d'un satellite artificiel parcourant une orbite circulaire à 100 km de la surface de la Terre. Le rayon de la Terre vaut R_T = 6370 km et la période de révolution du satellite est T = 1 h 27 min = 60+27 min = 87*60 = 5220 s. Le rayon de la trajectoire est donc R = 6370+100 km = 6'470'000 m. La vitesse est donc v = 2πR/T = 2π∗6'470'000/5220 = 7788 m/s. L'accélération dans le MCU : $\boxed{a = v^2/R}$ = 7788²/6'470'000 = <u>9,374 m/s²</u>. ($a = 4\pi^2 R/T^2$) Elle est légèrement inférieure à 9.8 m/s² accélération moyenne à la surface de la Terre car le satellite est à 100 km de la surface de la Terre.



3) Une essoreuse à linge tourne à raison de 5 tours par seconde autour d'un axe vertical. Sa cage, cylindrique, a un rayon R = 20 cm = 0.2 m. La fréquence de rotation f = 5 t/s. La période de rotation est l'inverse de la fréquence T = 1/f et f = 1/T : T = 1/5 = 0.2 s et la vitesse v = 2πR/T = 2π∗0.2/0.2 = 2π = 6.283 m/s. Accélération d'un objet plaqué contre la paroi : $\boxed{a = v^2/R}$ = 6.283²/0.2 = = <u>197.4 m/s² = 20 g</u>. ($a = 4\pi^2 Rn^2$).

1.2 Dynamique

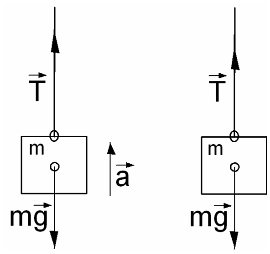
1.2.1 Exercices masse volumique

1) Quelle est la masse volumique d'un bloc parallélépipédique de polystyrène expansé (Sagex®) de 1 kg et de dimensions 0.80 m * 0.5 m * 0.13 m ? Volume V = 0.8*0.5*0.13 = 0.052 m³. Masse volumique = masse/volume : $\boxed{\rho = m/V}$ = 1/0.052 = <u>19,23 kg/m³</u>.

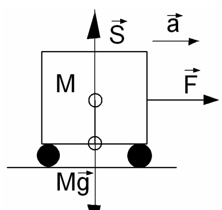
2) Un fil de cuivre de 1 mm de diamètre pèse 1 kg. Déterminer sa longueur. La masse volumique du cuivre : ρ_{Cu} = 8920 kg/m³ et la masse m = 1 kg. Volume de cuivre = masse/masse volumique : $\boxed{V = m/\rho}$ = 1/8920 = 1.12 * 10^{-4} m³ ; Surface ou section du fil de cuivre (rayon r = ½ mm = 5*10^{-4} m) : S = πr^2 = π*25*10^{-8} = 7.85 * 10^{-7} m² ; Longueur = volume/section : $\boxed{L = V/S}$ = 1.12 * 10^{-4}/7.85 * 10^{-7} = <u>142.74 m</u>.

3) Quelle est la variation de niveau de l'eau dans un verre cylindrique de 2r = 0.07 m de diamètre (rayon r = 0.035 m) lorsque l'eau gèle (supposer que la variation de volume se fasse vers le haut) ? La hauteur initiale est de h = 0.12 m. Masse volumique de la glace : ρ_{gl} = 917 kg/m³ et de l'eau : ρ_{eau} = 998 kg/m³. Volume d'eau : $\boxed{V = \pi r^2 h}$ = π*0.035²*0.12 = 4.62 * 10^{-4} m³ ; masse d'eau = masse volumique * volume : $\boxed{m = \rho_{eau} V}$ = 998 * 4.62 * 10^{-4} = 0.461 kg. Volume de glace : V' = m/ρ_{gl} = 0.461/917 = 5.03 * 10^{-4} m³. Nouvelle hauteur d'eau : h' = V'/(πr^2) = 5.03 * 10^{-4}/ π*0.035² = 13.06 cm. Variation : h'-h = 0.1306-0.12 = <u>0.0106 m = 1.06 cm</u>.

1.2.7 Exercices MRUA et force



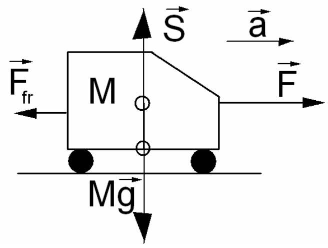
1) Une grue soulève un bloc de pierre de masse m = 500 kg posé sur le sol. Le long du premier mètre de son ascension, le bloc subit une accélération a = 1 m/s². Ensuite il a une vitesse constante. Calculer la force exercée par le câble sur le bloc dans le premier mètre, puis par la suite. Lors du premier mètre, il y a une accélération a vers le haut. L'équation fondamentale de Newton nous indique un déséquilibre des forces vers le haut T > mg et $\boxed{T - mg = ma}$ => T - 5000 = 500 = <u>5500 N</u> ; Par la suite, l'accélération est nulle donc il y a équilibre des forces : T = mg = <u>5000 N</u> (T = m(g+a) puis T = mg)



2) Un wagon a une masse M = 20 tonnes. Quelle force F faut-il exercer pour lui communiquer une vitesse de 54 km/h en une minute ? Cinématique : vitesse v = 54'000 m / 3600 s = 15 m/s et temps t = 60 s. Accélération a = v/t = 15/60 = 0,25 m/s/s ; $\boxed{F = ma}$ = 20'000 * 0.25 = <u>5000 N.</u> Les deux forces verticales S et Mg sont égales et opposées et s'annulent dans l'équation fondamentale.

3) Trouver la force F_{fr} permettant à une voiture roulant à une vitesse v = 108 km/h de s'arrêter en freinant sur 75 m. La masse de la voiture vaut M = 600 kg. Cinématique : la vitesse initiale est de v = 108'000/3'600 = 30 m/s. La vitesse moyenne est donc de (30+0)/2 = 15 m/s. La distance parcourue (75 m) est le produit de la vitesse moyenne et du temps ; le temps t = d/V_{moy} = 75/15 = 5 s. L'accélération est le quotient de la vitesse et du temps a = V_{max}/t = 30/5 = <u>6 m/s/s</u>. Dynamique : Comme dans l'exercice 2, les forces verticales s'annulent et la force de frottement $\boxed{F_{fr} = Ma}$ = 600*6 = <u>3600 N</u>. Le schéma est le même avec F et a en sens opposé.

4) Un camion est à disposition pour remorquer une voiture en panne. Comme corde de remorquage, on ne dispose que d'une grosse ficelle pouvant supporter au maximum une force F = 1000 N. La masse de la voiture est de une tonne M = 1000 kg et le frottement qu'elle subit vaut F_{fr} = 400 N. Quelle est l'accélération maximale que peut se permettre le camion ? Considérons la voiture remorquée de masse M : Les forces verticales s'annulent. En appliquant l'équation fondamentale de Newton horizontalement, on trouve : $\boxed{F - F_{fr} = Ma}$
=> a = (F - F_{fr})/M = (1000 – 400)/1000 = <u>0,6 m/s/s</u>.

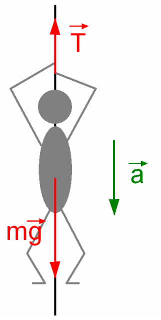


5) Une fusée dont la masse M = 8000 kg subit une poussée F = 2,5 * 10^5 N pendant une minute (t = 60 s). Quelle est alors son altitude, si l'on néglige les frottements et si l'on admet que sa masse reste constante ? Deux forces verticales s'appliquent sur la fusée de masse m : La poussée F et la pesanteur Mg. En appliquant l'équation fondamentale de Newton, on trouve $\boxed{F - Mg = Ma}$ => a = (F-Mg)/M = (250'000 – 80'000)/8000 = <u>21,25 m/s/s</u>. Cinématique H = v_{moy}*t = ½(0+at)*t => $\boxed{H = ½at^2}$ = ½*21.25*60² = <u>38'250 m</u>

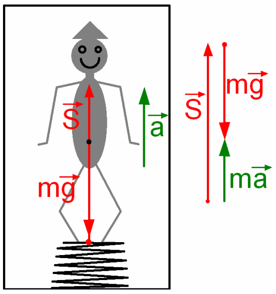
6) Un prisonnier veut s'échapper d'une cellule au sommet du donjon. Il dispose d'une corde pouvant soutenir une force maximum de 740 N. Il a pour ami un certain Newton en qui il a toute confiance. Sachant que sa masse est m = 80 kg, comment va-t-il procéder :

a) Décrire la manière dont il doit descendre pour ne pas casser la corde. Il doit accélérer avec une accélération a vers le bas de telle manière à ce que : $\boxed{mg - T = ma}$ 800 – 740 = 80*a => a = 60/80 = ¾ = <u>0.75 m/s/s</u>

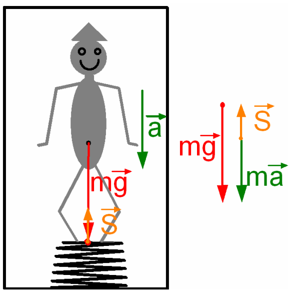
b) Peut-il se laisser glisser tout en accélérant ? Oui, il faut que son accélération soit supérieure ou égale à 0.75 m/s/s.



7) L'occupant d'un ascenseur est monté sur une balance.



a) L'ascenseur monte avec une accélération a = 2 m/s². Que vaut la masse du passager si la balance indique m' = 100 kg ? La balance à ressort mesure une force de soutien S = m'g = 1000 N. S > mg Appliquons l'équation fondamentale : $\boxed{S - mg = ma}$ ou m'g – mg = ma => 1000 – 10 m = 2 m => 1000 = 12 m =>
m = 1000/12 = <u>83,3 kg</u> (m = m'g/(g+a))

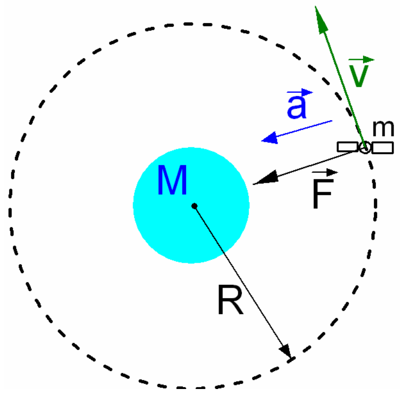


b) Dans quelles conditions la balance indiquerait-elle m¨ = 50 kg ? L'ascenseur doit accélérer vers le bas (fin de montée ou début de descente) car S < mg => mg – S = ma ou mg – m¨g = ma => 833.3 – 500 = 83.3 * a
=> a = 333.3/83.3 => <u>a = 4 m/s/s</u>.

c) Qu'indiquerait la balance si le câble de l'ascenseur cassait ? L'accélération de l'ascenseur vaudra g => Newton : mg = mg et <u>S = 0 N</u>. La balance indique une masse nulle en chute libre (force nulle).

1.2.9 Exercices MCU et force

Modèle de résolution pour les problèmes de satellites :



La force de gravitation F maintient un satellite sur son orbite de rayon R : $F = GMm/R^2$ (1)
L'accélération du mouvement circulaire uniforme : $a = v^2/R$ (2)
L'équation fondamentale de Newton appliquée au satellite avec une force de gravitation F et une accélération a : $F = ma$ (3)
En remplaçant (1) et (2) dans (3) : $GMm/R^2 = mv^2/R$
=> $\boxed{v^2 = GM/R}$ (4)
La vitesse du satellite en MCU sur un cercle de rayon R avec une période T est de $v = 2\pi R/T$ (5)
En remplaçant (5) dans (4), on obtient : $v^2 = 4\pi^2R^2/T^2 = GM/R$ => $4\pi^2R^3 = GMT^2$
Troisième loi de Kepler : $\boxed{(GM/4p^2)\ T^2 = R^3}$

1) On imagine le petit Prince de masse m = 30 kg sur sa planète de rayon R = 100 m et de même masse volumique moyenne que la Terre, soit 5,5 kg/litre.

a) Quelle est la force de gravitation exercée par la planète sur le petit Prince ?
Volume de la planète du petit Prince : $\boxed{V = 4/3\ \pi\ R^3} = 4/3\ \pi\ 100^3 = 4188790\ m^3$
La masse volumique de la planète est de 5.5 kg/0.001 m^3 = 5500 kg/m^3 (1 l = 1 $dm^3 = (0.1m)^3 = 0.001\ m^3$)
Masse de la planète du petit Prince : $M = \rho V = 5500*4188790 = 2.304*10^{10}$ kg
Force de gravitation : $F = GMm/R^2 = 6.67*10^{-11}*2.304*10^{10}*30/100^2 = \underline{0,00461\ N}$
$(F = 4\pi GmR\rho/3)$

b) Quel temps met un objet pour tomber d'une hauteur de 5 m ? Equation fondamentale de Newton appliquée au petit prince en chute libre : F = ma
=> $\boxed{a = F/m} = 0.00461/30 = \underline{0,0001537\ m/s/s}$. Cinématique : $\boxed{h = ½at^2}$ => 5 = ½*0.0001537*t^2 => t^2 =65'076 s^2 => t = 255 s = 4 min. 15 s. $(t = (2h/a)^{½})$

2) Un satellite tourne autour de la Terre suivant une orbite circulaire. Calculer sa vitesse v et sa période de rotation T s'il se trouve à :
a) h = 100 km = 10^5 m de la surface de la Terre. La masse de la Terre est $M = 5.98*10^{24}$ kg et le rayon de la Terre R = 6371 km = $6.371 * 10^6$ m. $R_{100} = R + h = 6.471 * 10^6$ m. $\boxed{V_{100} = (GM/R_{100})^{½}} = (6.67*10^{-11}* 5.98*10^{24}/ 6.471 * 10^6)^{½}$
$\underline{V_{100} = 7853\ m/s}$ et $\boxed{T_{100} = 2\pi R_{100}/V_{100}} = 2\pi*6.471*10^6/7853 = \underline{5178\ s = 1\ h\ 26'\ 18''}.$
b) h' = 1000 km de la surface de la Terre. $R_{1000} = R + h' = 7.371 * 10^6$ m.
$V_{1000} = (6.67*10^{-11}* 5.98*10^{24}*/ 7.371 * 10^6)^{½} = \underline{V_{1000} = 7358\ m/s}$
et $T_{1000} = 2\pi R_{1000}/V_{1000} = 2\pi*7.371*10^6/7358 = \underline{6294\ s = 1\ h\ 45'\ 54''}$.

3) A quel endroit et à quelle altitude faut-il lancer un satellite de la Terre pour qu'il reste constamment au zénith du même lieu ? Si cette condition est remplie, on parle de satellite géostationnaire. Il faut que l'orbite soit dans le plan équatorial : le centre de masse de la Terre doit être dans le plan et il vise toujours le même point.
La période de rotation T = 24 h = 24 * 3600 = 86'400 s. En appliquant la 3^{me} loi de Kepler : $\boxed{R^3 = GMT^2/4\ \pi^2} = 6.67*10^{-11}*5.98*10^{24}*86'400^2/4\ \pi^2 = 7.54507*10^{22}\ m^3$
=> R = 42'255'942 m; h = R - R_T = 42'255'942 - $6.371 * 10^6$ = $\underline{35'884'912\ m}$

4) Calculer le temps de révolution et la vitesse d'un satellite décrivant une trajectoire circulaire à une altitude h = 100 km = 10^5 m au dessus de la surface de la Lune. Masse de la Lune $M_L = 7.35*10^{22}$ kg et rayon de la Lune : $R_L = 1.738*10^6$ m. Le rayon de la trajectoire sera donc de $R = R_L + H = 1.738*10^6 + 10^5 = 1.838*10^6$ m. Calcul de la vitesse (raisonnement en haut de la page précédente)
$\boxed{v = (GM_L/R)^{½}} = (6.67*10^{-11}*7.35*10^{22}/1.838*10^6)^{½} = \underline{1633.5\text{ m/s}}$;
Période de rotation $T = 2\pi R/V = 2\pi*1.838*10^6/1633.5 = \underline{7070\text{ s} = 1\text{h } 58'\ 50''.}$

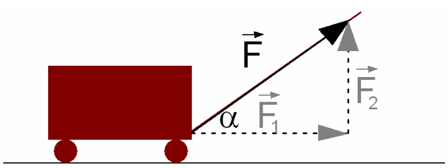
5) Dans l'un des albums de Tintin, le capitaine Haddock, dont la masse vaut m = 90 kg, se satellise autour de l'astéroïde Adonis. Assimilons cet astéroïde à une sphère de diamètre D = 30 m (rayon r = 15 m) et de masse volumique $\rho = 7000$ kg/m^3. Supposons que l'orbite soit un cercle de rayon R = 100 m. Quelle sera la période révolution T du capitaine ?
Volume de l'astéroïde Adonis : $\boxed{V = 4/3\ \pi\ r^3} = 4/3\ \pi\ 15^3 = 14137$ m^3
Masse de l'astéroïde Adonis : $M = \rho V = 7000*14137 = \underline{9.896*10^7\text{ kg}}$
Période de rotation (raisonnement en haut de la page précédente) $4\pi^2R^3 = GMT^2$
=> $\boxed{T = 2\pi\ (R^3/GM)^{½}} = 2\pi\ (100^3/(6.67*10^{-11}*9.896*10^7))^{½}$
=> $\underline{T = 77'322\text{ s} = 21\text{ h } 29\text{ min } 42\text{ s}}$ $(T = (3\pi/\rho G)((R/r)^3)^{½})$

6) Comment la vitesse d'un satellite artificiel dépend-t-elle se son altitude ? Montrer que lorsque le satellite est "freiné" par l'atmosphère très peu dense à très haute altitude, en fait sa vitesse augmente ! Selon le raisonnement du haut de la page précédente : $v = (GM/R)^{½}$ La vitesse est donc inversement proportionnelle à la racine du rayon à car $v = (GM)^{½} * (1/R)^{½}$ Si le satellite se rapproche de la Terre, le rayon R diminue et sa vitesse augmente…

7) Quelle devrait être la période de révolution de la Terre autour de son axe N-S, pour que la force de soutien exercée par le sol sur un objet quelconque à l'équateur soit nulle. Cet objet se trouverait alors en état d'impesanteur, satellisé autour de la Terre. C'est le même problème que pour l'exercice 2 avec une altitude h = 0 m. Vitesse : $\boxed{V_0 = (GM/R)^{½}}$ =
$V_o = (6.67*10^{-11}*5.98*10^{24}/6.371*10^6)^{½} = v_o = \underline{7914\text{ m/s}}$
Période : $\boxed{T_0 = 2\pi R/v} = 2\pi*6.371*10^6/7914 = \underline{5058\text{ s} = 1\text{ h } 24'\ 18''.}$
$(T = 2\pi((R^3/(GM))^{½})$.

1.3 Énergie

1.3.5 Exercices sur l'énergie



1) Un enfant tire un. jouet au moyen d'une ficelle. La force de traction F qu'il exerce forme un angle de 35° avec le déplacement du jouet et son intensité est égale à 2,5 N. Quel est le travail effectué par l'enfant pour un déplacement d = 300 m du jouet ? Il faut décomposer la force F en une force F_1 parallèle au déplacement qui travaille et en une force F_2 perpendiculaire au déplacement qui ne travaille pas. Par trigonométrie : $F_1 = F\cos\alpha$ et $F_2 = F\sin\alpha$. Le travail de la force F est identique au travail de F_1 : $\boxed{W = F_1\ d = F\ d\ \cos\alpha} = 2.5*300*\cos 35 = \underline{614{,}4\text{ J}}$.

2) Une automobile et ses occupants ont une masse M = 1,2 tonnes = 1200 kg. Le conducteur de cette automobile freine brusquement alors qu'il roule à une vitesse v = 120 km/h = 120'000/3600 = 33.33 m/s. Les roues se bloquent et glissent sur la route. L'intensité de la force de frottement est égale à 55% de celle de la pesanteur de la voiture. $F_{fr} = 0.55*Mg$ =

0.55*12000 = 6600 N. Cette dernière s'arrête après d = 100 mètres. Quelle quantité de chaleur Q est produite lors de ce freinage ? Il y a 2 manières de calculer l'énergie W :

a) Energie cinétique $\boxed{W_{cin} = ½\ m\ v^2}$ = ½ 1200 * 33.33² = <u>666'666 J</u>

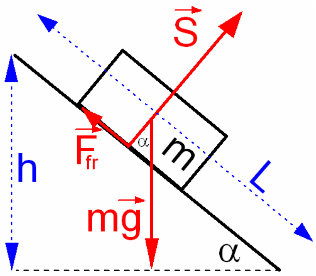
b) Chaleur perdue lors du freinage $\boxed{Q = F_{fr}*d}$ = 6600 * 100 = <u>0,66 MJ</u>.

Les deux résultats sont à peu près égaux à cause du <u>environ 120 km/h</u>…

3) Un satellite se déplace sur une orbite circulaire. Quel est le travail, durant une révolution, de la force d'attraction de l'astre principal ? La force de gravitation est selon un rayon de la trajectoire et le déplacement selon la vitesse qui est perpendiculaire au rayon. La force est donc toujours perpendiculaire au déplacement et <u>le travail est nul</u> : W = 0.

4) Le travail nécessaire à soulever une pierre de 2 kg d'une hauteur de 1 mètre est-il le même sur la Terre et sur la Lune (g/6) ? Sur la Lune, la gravitation est 6 fois plus faible que sur la Terre. La force de gravitation sur la Lune pour une pierre de 2 kg est donc 6 fois plus faible que sur la Terre. Le travail de la pesanteur est mgh : Sur la Terre W_T = 2*10*1 = 20 J et sur la Lune W_L = 2*(10/6)*1 = 3.33 J => $W_T = 6W_L = m\ g_T\ h = 6\ m\ g_L\ h$. Le travail sur la Terre est donc 6 fois plus important que sur la Lune pour soulever le même objet de la même hauteur.

5) Une pierre de masse m = 500 g glisse à vitesse constante le long d'une planche de longueur L = 1 m formant un angle α = 40° avec l'horizontale.

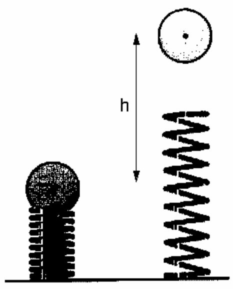


a) Si la vitesse est constante, alors il y a équilibre des forces. La force de soutien ne travaille pas car elle est perpendiculaire au déplacement. La composante de la force de pesanteur parallèle au déplacement L vaut mg sinα et son travail : W_p = mgLsinα = 0.5*10*1*sin40° = 3.214 J = Le travail de la force de frottement est égal et opposé au travail de la force de pesanteur : $W_F = Q = F_{fr}*L = -W_p$.

La variation d'énergie potentielle de la pierre $\boxed{W = mgh = mgL\sin\alpha}$ = <u>3.214 J</u> car h = Lsinα et elle se transforme en chaleur $Q = F_{fr}*L$ = <u>3.214 J</u>.

b) La force de frottement s'exerçant sur cette pierre F_{fr} = Q/L = W/L = F_{fr} = 3,214 N.

6) Une masse m = 100 grammes = 0.1 kg tombe d'une hauteur h = 1 m sur un ressort de constante k = 2 * 10^4 N/m. Calculer la longueur x de compression du ressort (pour les calculs, supposer que x << h et négliger les frottements).



Au départ l'énergie de la masse m est une énergie potentielle de la pesanteur $\boxed{E_{pp} = mgh}$ = 0.1*10*1 = 1 J. Après l'enfoncement total du ressort, elle se transforme en énergie potentielle du ressort : $\boxed{E_{pr} = ½kx^2}$ = 1 J = mgh par conservation de l'énergie (frottements négligés) => ½kx² = 1 = 10^4 x ²> x² = 10^{-4}

=> <u>$x = 10^{-2}$ m = 1 cm</u> (x^2 = 2mgh/k).

7) Un objet tombe d'un hélicoptère dont l'altitude est de h = 200 m. Que vaut sa vitesse lorsqu'il atteint le sol. On négligera la résistance de l'air et étudiera les deux situations suivantes :

a) l'hélicoptère est immobile, b) l'hélicoptère se déplace horizontalement à la vitesse de 180 km/h.

La hauteur h de l'hélicoptère permet de calculer l'énergie potentielle de la pesanteur E_{pp} = mgh. Pour simplifier les calculs, on prend un objet de masse m = 1 kg.

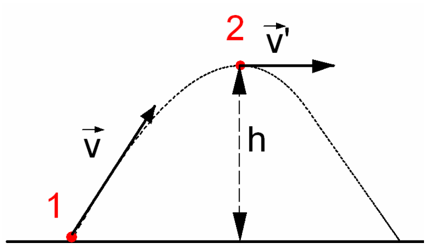
La vitesse v de l'hélicoptère permet de calculer l'énergie cinétique E_{cin} = ½mv².

L'énergie totale = $E_{cin} + E_{pp}$ est conservée car on suppose qu'il n'y a pas de frottement. Elle vaut 2000 J pour le cas a) et 3250 J pour le cas b) avec un objet de masse m = 1 kg. On compare la situation 1 (départ à h = 200 m du sol) et 2 arrivée juste avant de toucher le sol. Dans la situation 2, l'énergie est entièrement cinétique : $E_{tot} = E_{cin2} = ½mv'^2$ ce qui permet de calculer la vitesse $v' = 2(E_{tot}/m)^{½} = (2*2000)^{½}$ et $(2*3250)^{½}$. Les valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Situation 1					Situation 2			
hauteur [m]	vitesse [m/s]	Energie pot. [J]	Energie cin. [J]	Energie tot. [J]	Energie cin. [J]	Energie pot. [J]	hauteur [m]	vitesse [m/s]
200	0	2000	0	2000	2000	0	0	63.25
200	50	2000	1250	3250	3250	0	0	80.62

(a) $v = (2gh)^{½} = 63{,}2$ m/s ; b) $v' = (v_o^2+2gh)^{½} = 80{,}62$ m/s)

8) Un projectile est lancé obliquement depuis la surface de la Terre, avec une vitesse de v = 10 m/s. Au sommet de sa trajectoire sa vitesse v' = 5 m/s. Calculer l'altitude h de ce point.

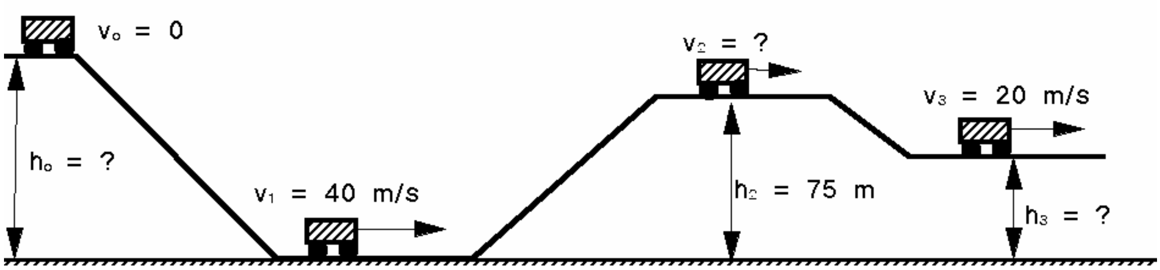


C'est le même type d'exercice que le 7 : L'énergie est conservée entre les situations 1 et 2. $\boxed{E_1 = E_{cin} = ½mv^2}$ = $½*2*10^2 = 100$ J en admettant une masse m = 2 kg.
$\boxed{E_2 = ½mv'^2 + mgh}$ = $½*2*5^2 + 2*10*h = 25 + 20h = 100$ => 20h = 75 et h = <u>3,75 m</u> $(h = (v_o^2-v_s^2)/2g)$.

9) Lors d'une rencontre internationale d'athlétisme, le 100 m plat est généralement parcouru en 10 s. Admettons que l'on ne connaisse pas ou que l'on ait oublié la hauteur généralement atteinte par les sauteurs à la perche. Peut-on l'estimer en première approximation grâce à un calcul d'énergie ? Si une personne peut courir 100 m en 10 s, elle atteint une vitesse v = 100 m / 10s = 10 m/s. Grâce à la perche, l'énergie cinétique de la personne se transforme en énergie élastique de la perche ($½kx^2$) puis en énergie potentielle de la pesanteur. Il faut admettre que la perche est un ressort parfait… Par conservation de l'énergie, on a $\boxed{½ mv^2 = mgh}$ => $½*60*10^2 = 3000$ J = 60*10*h = 600 h => h = 3000/600 = <u>5 m</u>. $(h = v^2/(2g))$. Comme la personne est debout au départ son centre de gravité est à environ 1 m du sol et si elle passe la perche couchée, elle pourra sauter environ 6 m.

10) Un marteau-pilon de 500 kg est soulevé à 3 m au-dessus du sol. En tombant, il enfonce un pieu de d = 5 cm = 0.05 m dans le sol. Quelle est la force, supposée constante, résistant à la pénétration du pieu dans le sol ? L'énergie du départ est l'énergie potentielle du marteau pilon de 500 kg à h = 3 m du sol : mgh = 500*10*3 = 15'000 J. Cette énergie est intégralement transformée en chaleur Q = F*d = F*0.05 = 15000 J par conservation de l'énergie. => F = 15'000/0.05 = 300'000 N. (mgh = Fd)

11) Un wagonnet est lâché, avec une vitesse initiale nulle, depuis le premier sommet



d'une succession de collines (voir figure). On néglige les frottements. Trouver les indications manquantes dans la figure. Admettons une masse de chariot de m = 100 kg. On peut calculer l'énergie totale $E = E_{cin2} = ½mv_1^2 = ½*100*40^2 = 80'000$ J. Par conservation de l'énergie, on pourra ensuite calculer $h_o = 80'999/(100*10) =$ 80 m ; $½mv^2 = 80'000 – 75'000 = 5000$ J ; $mgh_3 = 80'000-20'000 = 6000$ J.

	Situation 0				Énergie totale = **énergie potentielle** = 80'000 J		
0	hauteur [m]	vitesse [m/s]	Énergie pot. [J]	Énergie cin. [J]	mgh [J] =	80000	
	?	0	?	0	hauteur [m] =	80	
	Situation 1				La hauteur et la vitesse sont connues, on peut donc calculer les énergies cinétique, potentielle et totale		
1	hauteur [m]	vitesse [m/s]	Énergie pot. [J]	Énergie cin. [J]			
	0	40	0	80000			
	Situation 2				**Énergie cinétique** = énergie totale - énergie potentielle =		
2	hauteur [m]	vitesse [m/s]	Énergie pot. [J]	Énergie cin. [J]	½mv² [J] =	5000	= 80'000 -75000 J
	75	?	75000	?	vitesse [m/s] =	10	
	Situation 3				**Énergie potentielle** = énergie totale - énergie cinétique		
3	hauteur [m]	vitesse [m/s]	Énergie pot. [J]	Énergie cin. [J]	mgh [J] =	60000	= 80'000 -20000 J
	?	20	?	20000	hauteur [m] =	60	

L'énergie totale est toujours de 80'000 J

$(h_o = v_1^2/(2g) = 80$ m ; $v^2 = (v_1^2-2gh^2)^{\frac{1}{2}} = 10$ m/s ; $h_3 = (v_1^2-v_3^2)/(2g) = 60$ m)

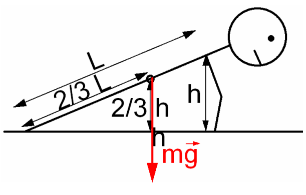
1.3.6 EXERCICES SUR LA PUISSANCE

1) Un homme de 60 kg monte des escaliers. Il met 20 s pour s'élever de 14 m. Calculer la puissance qu'il développe.
L'énergie que la personne a dû fournir est de E_{pp} = mgh = 60*10*14 = 8400 J.
La puissance est le débit d'énergie : P = E/t = mgh/t = 8400/20 = 420 W si l'on néglige les frottements, ce qui correspondrait à un rendement de 100% de la personne !

2) Un téléski, long de L = 2 km = 2000 m, installé sur une pente α = 30°, transporte 500 skieurs par heure. Quelle est la puissance fournie par le moteur si la masse des skieurs est en moyenne de 70 kg et si le fartage des skis est excellent ? on peut donc négliger la force de frottement donc la seule énergie à prendre en compte est l'énergie potentielle de la pesanteur.
Considérons 500 personnes de 70 kg qui sont remontées par le téléski sur une hauteur h = Lsinα = 2000*sin30° = h = 1000 m pendant t = 1 heure = 3600 s.
L'énergie que le téléski a dû fournir est de E_{pp} = 500mgh = 500*70*10*1000 = 350'000'000 J = 350 MJ.
La puissance est le débit d'énergie : $\boxed{P = E/t}$ = 500mgh/t = 350 M / 3600
P = 97'222 W = 97,222 kW (P = 500 m g L sin 30° / t si F_{fr} = 0.)

3) Une lampe de 40 W reste allumée pendant 10 h. Quel est le coût de l'énergie consommée si le kWh revient 20 centimes ?
Pour simplifier la résolution de cet exercice, il est judicieux de transformer la puissance en kW : P = 40 W = 40/1000 kW = 0.4 kW.
L'énergie est le produit de la puissance et du temps : $\boxed{E = P\ t}$ = 0,04 kW 10 h = 0,4 kWh ; prix = 0.4*20 = 8 cts.

4) Un sportif de masse m = 75 kg exécute 20 appuis faciaux en t = 1 minute = 60 s. Calculer la puissance moyenne de ses muscles en admettant que le centre de gravité G de cette personne est situé aux 2/3 de la distance séparant les pieds des épaules et qu'à chaque exercice, les épaules se déplacent verticalement de h = 30 cm = 0.3 m.



Energie fournie par le sportif en 1 minute : E_{pp} = 20mg(2/3)h = 20*75*10*(2/3)*0.3 = 3000 J.
Puissance = énergie/temps : $\boxed{P = E/t}$ = 3000/60 = 50 W (P = N (2/3) mgh / t)

5) Un élève de masse m = 50 kg grimpe à la perche. Il monte d'une hauteur h = 3 m en un temps t = 5 secondes. Quelle est sa puissance moyenne lors de cet exercice ?

Energie potentielle fournie par l'élève : E_{pp} = mgh = 50*10*3 = 1500 J.
Puissance = énergie/temps : $\boxed{P = mgh/t}$ = 1500/5 = 300 W.

6) Quand on compare divers sports, on oppose souvent l'endurance à la puissance. Parmi les sports suivants, lesquels exigent plutôt une grande endurance et lesquels demandent plutôt une grande puissance ? * course de 100 mètres * saut en hauteur * marathon * natation * lancer du poids * tir * cyclisme * ski de fond.

Les sports de puissance sont : course 100 m, saut et lancer du poids car le sportif doit fournir beaucoup d'énergie en peu de temps.

7) Une automotrice de montagne parcourt un chemin montant dont la longueur est L = 15 km = 15'000 m et la pente moyenne de 5%. La masse de l'automotrice est de M = 20 tonnes = 20'000 kg. Si le kWh revient 12 centimes, quel est le prix de revient d'une montée ? Le rendement global est de 6%.

Calculons d'abord la hauteur : la pente de 5% = tanα => α = arctan(0.05) = 2,86°.
La hauteur h = Lsinα = 15000*sin(2.86) = 749 m.
Energie potentielle de la pesanteur (nette) E_{pp} = mgh = 20000*10*749 = 149.8 MJ
Energie brute en tenant compte d'un rendement de 6% : E = E_{pp}/η = 149.8/0.06 = 2'497 MJ. (avec 3,6 MJ/kWh) : E = 2497/3.6 = 694 kWh.
Prix à 12 centimes le kWh : 694*0.12 = 83,2 Frs.

1.4 STATIQUE DE FLUIDES (PRESSION)

1.4.3 Exercices pression hydrostatique

1) La surface de l'eau contenue dans une baignoire est située à 30 cm au-dessus de son bouchon de vidange. La masse de ce dernier est de 50 g = 0.05 kg et son diamètre mesure 40 mm. Quelle est l'intensité de la force qu'il faut exercer pour retirer le bouchon ? On suppose que le frottement du bouchon est négligeable.

Pression hydrostatique due à h = 30 cm = 0.3 m d'eau : p = ρgh = 1000*10*0.3 = 3000 Pa = 3 kPa.
La force de traction qui agit sur le bouchon s'oppose à la force de pesanteur mg du bouchon et la force de pression due à la profondeur de 30 cm d'eau.
Force totale : F_T = pS + mg = 3000*π*0.02² + 0.05*10 = 4.27 N.

2) On réalise une perfusion sanguine dans le bras d'un malade. La pression du sang dans la veine surpasse de Δp = 15 kPa la pression atmosphérique. Quelle doit être la dénivellation minimale entre le bras et le flacon pour que le sang s'écoule du flacon dans la veine ? (la masse volumique du sang est égale à 1060 kg m^{-3}.)

Pression hydrostatique : Δp = ρgh => 15'000 = 1060*10*h
=> h = 15'000/10600 = 1.42 m. (h = (Δp)/(ρg))

3) Une turbine hydraulique est alimentée à partir d'un bassin d'accumulation par une conduite forcée. Le niveau de l'eau dans le bassin est à une hauteur h au-dessus de la turbine. Montrer que, si l'on ne tient pas compte des frottements, la puissance P théoriquement disponible à la turbine est donnée par la relation : $\boxed{P = p\ Q_V}$ où P : puissance en [W] ; p : pression en [Pa] ; Q_V : débit volumique en [m^3/s]

Par définition, la puissance est le quotient de l'énergie et du temps : P = E / t.
L'énergie est le produit de la force (de pression) et du déplacement x : E = F*x.
La force de pression est le produit de la pression et de la surface $\boxed{F = p*S}$
En remplaçant F dans E : E = p*S*x = p*V puis E dans P : P = p*V/t = p * Q_V.

4) La pression atmosphérique à la surface d'un lac est égale à 960 mbar = 0.966 bar. A quelle profondeur sous le niveau de l'eau la pression absolue est-elle de 3,66 bars ?

Pression hydrostatique : $\boxed{\Delta p = \rho gh}$ = $(3.66-0.966)*10^5$ = 296'400 Pa

(car 1 bar = 10^5 Pa) $\Delta p = \rho gh$ => 296'400 = 998*9.81*h

=> $\boxed{h = \Delta p/(\rho g)}$ = (366000-96000)/(998*9,81) = 27.58 m.

5) Une des parois verticales d'un aquarium rempli d'eau mesure h = 40 cm = 0.4 m de hauteur sur une longueur L = 90 cm = 0.9 m. Quelle est l'intensité de la force résultante exercée par l'eau sur cette paroi ?

La pression hydrostatique augmente régulièrement de 0 à ρgh de la surface au fond du liquide. La pression moyenne sur la paroi : $p = ½(0+\rho gh) = \rho gh/2$ = 998*9.81*0.4 = 1958 Pa ~ 2000 Pa

La force est le produit de la pression moyenne et de la surface : $F = p_{moy} S$ = 1958*(0.9*0.4) = 705 N (720 N avec g = 10N/kg et ρ = 1000 kg/m³).

6) Le barrage de la Grande Dixence (300 m) retient 400 millions de tonnes d'eau. Celui de l'Hongrin (100 m) en retient huit fois moins. Peut-on en déduire que la poussée exercée par l'eau sur le barrage de la Grande Dixence est huit fois supérieure à celle que subit le barrage de l'Hongrin ?

Non, la pression hydrostatique ne dépend que de la hauteur d'eau $\Delta p = \rho gh$ (3 fois plus élevée sur le barrage de la Grande Dixence qu'à l'Hongrin).

La force ou poussée de l'eau sur le barrage est de $F = p_{moy} S$.

7) Le château d'eau d'un réseau de distribution d'eau potable se trouve à une altitude de 500 m, et les robinets A à 450 m, B à 475 m et C à 460 m se trouvent dans un immeuble. Quelles sont les pressions, dues à l'eau uniquement, en A, B et C quand tous les robinets sont fermés ?

Il s'agit de la pression hydrostatique $p = \rho gh$ que l'on calcule avec les différentes hauteurs :

h_A = 500-450 = 50 m => $p_A = \rho g h_A$ = 1000*10*50 = 500'000 Pa ~ 5 atm

h_B = 500-475 = 25 m => $p_B = \rho g h_B$ = 1000*10*25 = 250'000 Pa ~ 2.5 atm

h_C = 500-460 = 40 m => $p_C = \rho g h_C$ = 1000*10*40 = 400'000 Pa ~ 4 atm.

On a simplifié les calculs avec g = 10 N/kg et ρ = 1000 kg/m³

1.4.4 Exercices Archimède

1) Un glaçon flotte à la surface de l'eau contenue dans un verre complètement rempli. Le glaçon fond. Que se passe-t-il ?

La masse ne change pas donc la force de pesanteur mg du glaçon ou de l'eau ne change pas. La force d'Archimède ne change donc pas et le volume immergé reste le même. L'eau ne déborde donc pas. Le volume immergé de la glace est égal au volume de l'eau lorsqu'il a fondu.

2) La masse d'un cargo est égale à 5780 tonnes. Quel est le volume de sa partie immergée :

a) dans de l'eau de mer de masse volumique égale à 1030 kg m^{-3} ?

b) dans de l'eau douce de masse volumique égale à 1000 kg m^{-3} ?

Equilibre entre la force d'Archimède et la force de pesanteur : $\boxed{F_A = Mg}$

La force de pesanteur Mg = 5780*1000*10 = $5.78*10^7$ N ne change pas donc la force d'Archimède vaut toujours = $5.78*10^7$ N

a) $Mg = \rho_s g V_a$ => $5.78*10^7 = 1030*10*V_a$ => $V_a = 5.78*10^7 / (1030*10)$ = 5612 m^3.

b) $Mg = \rho gV$ => $5.78*10^7 = 1000*10*V_a$ => $V_a = 5.78*10^7 / (1000*10)$ = 5780 m^3

($V = M/\rho$)

3) Expliquer pourquoi un gilet de sauvetage supportant une charge de 8 kg suffit à maintenir un naufragé avec la tête hors de l'eau. La personne flotte presque sans gilet car sa masse volumique est presque égale à celle de l'eau.

Le corps humain a une masse volumique très proche de l'eau (~1000 kg/m³). Si le corps humain est suffisamment immergé, il flotte presque et le gilet est suffisant pour lui maintenir la tête hors de l'eau.

4) Les icebergs sont des glaces flottantes provenant des glaciers dont les vallées débouchent sur la mer. Quel est le rapport du volume de la partie immergée d'un iceberg à son volume total : $r = V_{im}/V$ si l'on admet que la masse volumique de l'eau de mer est égale à 1020 kg m^{-3} et celle de la glace à 917 kg m^{-3}.

Appliquons l'équilibre des forces : $\boxed{F_A = Mg}$ => $1020 \cdot V_{im} \cdot g = 917 \cdot V \cdot g$ => $1020 \cdot V_{im} = 917 \cdot V$ => $r = V_{im}/V = 917/1020 = 0.899 \sim 90\%$.

5) Le dirigeable Graf Zeppelin était un dirigeable gonflé à l'hydrogène. Sa longueur mesurait 237 m et son diamètre 30,5 m. Son volume total de 105'000 m^3 se répartissait entre 75'000 m^3 d'hydrogène ($\rho_H = 0.09$ kg/m^3) et 30'000 m^3 de blaugaz servant de carburant à ses moteurs. La masse totale de sa carcasse, de ses nacelles et de ses moteurs était égale à 55 tonnes. Il était équipé de cinq moteurs de 390 kW qui le propulsaient à la vitesse maximale de 130 km/h.
Quelle était la charge en tonnes que ce dirigeable pouvait emporter dans de l'air aux conditions normales ($\rho_{air} = 1{,}293$ kg/m^3) ? les données utiles sont soulignées.

Equilibre des forces : la force d'Archimède $F_A = \rho g V$, verticale et dirigée vers le haut, s'oppose aux forces de pesanteur de l'hydrogène $M_H g = \rho_H g V$, de la carcasse, des nacelles, des moteurs Mg et de la charge emportée mg.

$\boxed{F_A = M_H g + Mg + mg}$ => 75'000*10*1.293 = 75000*10*0.09 + 55000*10 + m*10
=> 75'000*1.293 = 75000*0.09 + 55000+ m => m = 75000*(1.293-0.09)-55000 =>
m = 35'225 kg = 35,2 t

6) Un ballon est gonflé avec de l'hydrogène. Son volume est de 850 m^3. L'intensité de la pesanteur totale de l'enveloppe, de la nacelle, du lest et des passagers est égale à 9010 N. La masse volumique de l'hydrogène qu'il contient est égale à 0,096 kg m^{-3} et celle de l'air dans lequel il s'élève à 1,15 kg m^{-3}.
Quelle est la masse minimale de lest qu'il faut jeter pour que ce ballon décolle ?

Equilibre des forces : la force d'Archimède $F_A = \rho g V$, verticale et dirigée vers le haut, s'oppose aux forces de pesanteur de l'hydrogène $M_H g = \rho_H g V$, et à la masse totale m moins le lest m_l.

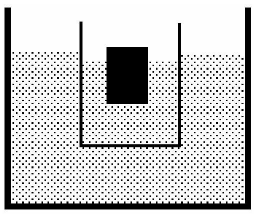
$\boxed{F_A = M_H g + mg - m_l g}$ => $\rho_{air} V g = \rho_H V g + mg - m_l g$ => $\rho_{air} V = \rho_H V + m - m_l$ =>
$1.15 \cdot 850 = 0.096 \cdot 850 + 9010/10 - m_l$
=> $m_l = -850 \cdot (1.15-0.096)+901$ = 5.1 kg (avec g = 10 N/kg)
et $m_l = -(1{,}15-0{,}096)850 + 9010/9{,}81$ = 22.6 kg (avec g = 9.81 N/kg).

$m_l = -(\rho_{air}-\rho_H)V+m$

7) Peut-on imaginer que des aérostiers pratiquent leur sport sur la Lune ?

Non, car il n'y a pas d'atmosphère donc la force d'Archimède est nulle.

8) Un petit récipient dans lequel est déposé un morceau de bois flotte à la surface de l'eau contenue dans un vase. On retire le morceau de bois du récipient puis on le laisse flotter à la surface de l'eau.
Le niveau de l'eau dans le vase est-il monté, descendu ou resté le même ?



La masse reste la même : $mg + Mg = F_A$ La force d'Archimède reste donc la même et le volume immergé ne change donc pas. Le niveau ne change pas comme dans l'exercice 1 du glaçon.

Exercices sur la température

1) a) Expliquer pourquoi l'échelle Römer est depuis longtemps abandonnée.
   b) Expliquer à quoi correspondent les 0° fahrenheit et kelvin et pourquoi ?
   c) Expliquer à quoi correspondent les 100° fahrenheit et kelvin et pourquoi ?

2) Convertir les différentes températures en arrondissant à l'unité.

a)

θ [°C]	q *[°F]*	T [K]
20	*68*	293
-12	*10*	261
27	*81*	300
50	*122*	323
49	*120*	322

b)

θ [°C]	q *[°F]*	T [K]
-183	*-297*	90
500	*932*	773
-73.5	*-100*	199.5
727	*1341*	1000
-260	*-436*	13

Exercices sur la dilatation (CH 5)

1) Des verres empilés sont parfois difficiles à séparer. Expliquer ce phénomène et pourquoi l'on peut y remédier en faisant la vaisselle.
La température de l'eau va permettre aux verres de se dilater et d'augmenter leurs volumes.

2) Quelle est la dilatation de la Tour Eiffel (hauteur = 300 m) lorsque la température passe de -20°C à 40°C ? Dilatation linéique : $\Delta L = \alpha L \Delta\theta$
La Tour Eiffel est en acier $\alpha = 11 * 10^{-6}$ °C^{-1} =>$\Delta L = \alpha L \Delta\theta = 11 * 10^{-6} * 300$ ***** $60 =$ <u>0.2 m</u>
Si on admet du fer $\alpha = 12 * 10^{-6}$ °C^{-1} => $\Delta L = \alpha L \Delta\theta = 12 * 10^{-6} * 300$ ***** $60 = 0.216$ m.

3) Le diamètre d'une sphère de cuivre est de 10 cm à 0°C. De combien augmente son volume lors qu'on la chauffe à 100°C ? Cuivre : $\alpha = 16.6 * 10^{-6}$ °C^{-1} Volume d'une sphère $V = 4/3\ \pi\ r^3 = 4/3\ \pi\ 0.05^3 = 5.24*10^{-4}$ m³
$\Delta V = 3\alpha\ V\ \Delta\theta = 4\alpha\pi r^3 \Delta\theta = 4*16.6 * 10^{-6}\ \pi * 0.05^3 *100 = \underline{2.61 * 10^{-6}\ m^3}$

4) Calculer la variation de la capacité d'une casserole cylindrique pour une différence de température est de 20 à 100°C. La casserole est de hauteur intérieure h = 15 cm et de diamètre intérieur d = 20 cm (r = 0.1 m). Faire les calculs pour a) de l'aluminium ; b) du fer.
Cas d'une dilatation volumique $\Delta V = 3\alpha\ V\ \Delta\theta$. et $V = \pi\ r^2 h = \pi\ d^2/4\ h = 4.71*10^{-3}\ m^3$
Dilatation : $\Delta V = 3\alpha\ V\ \Delta\theta = 3\alpha\ (\pi\ r^2\ h)\ \Delta\theta = (3/4)\alpha\ h\ \pi\ d^2\ \Delta\theta$
Fer $\alpha = 12 * 10^{-6}$ °C^{-1} $\Delta V = 3 * 12 * 10^{-6} * 4.71*10^{-3} * 80 = \underline{1.36 * 10^{-5}\ m^3}$;
Aluminium $\alpha = 23.1 * 10^{-6}$ °C^{-1} $\Delta V = \underline{2.61 * 10^{-5}\ m^3}$.

5) A quelle température faut-il porter un objet en aluminium pris à 0°C pour que son augmentation relative de volume soit de 0,001 ? (V' = 1,001 V => $\Delta V/V = 0.001$).
Dilatation volumique : $\Delta V = 3\alpha\ V\ \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 0.001/3\alpha = 0.001/3/23.1*10^{-6} =$ <u>14.43°C</u>

6) La glace d'une vitrine est un rectangle de 2,4 * 4 m^2. Quelle est l'augmentation de sa surface lorsque sa température s'élève de 15°C à 35°C ? ($\Delta\theta$ = 20°C)
Dilatation de surface coefficient de dilatation du verre : $\alpha = 7*10^{-6}$ °C^{-1} : $\Delta S = 2\ \alpha\ S\ \Delta\theta =$
$= 2 * 7 * 10^{-6} * 2.4 * 4 * 20 = \underline{2.69 * 10^{-3}\ m^2}$

Exercices sur la pression atmosphérique *(CH 7)*

1) *On mesure 4 atmosphères pour la pression d'un pneu de VTT. Convertir cette pression en bar, pascals et mm Hg (1 atm = 760 Torr ou mm Hg = 101'322 Pa)*
4 atm = 4.053 bar = 405'288 Pa = 3040 mm Hg

2) *En montagne, on mesure une pression de 550 mm Hg. Convertir cette pression en bar, pascals et atmosphères.* ($p = \rho gh$ => *1 mm Hg ou 1 Torr = 133,32 Pa*)
550 mm Hg = 73'325 Pa = 0.733 bar = 0.724 atm (*1 bar = 100'000 Pa = 0,987 atm = 750 mm Hg*)

3) *Une feuille de papier dont la masse est de 80 g pour une surface de 1 m² est posée sur une table. Quelle est la pression qu'elle exerce sur la table ?*
p = mg/S = 0.785 Pa

Exercices sur les gaz parfaits

1) On dispose d'un grand réservoir d'hydrogène stocké à la pression de 1 bar. Quel volume de ce gaz peut-on mettre dans une bouteille de 100 litres à la pression de 200 bars ? La température est supposée constante.
Loi de Mariotte : pV = constante : La pression initiale est multipliée par 200 donc le volume initial est divisé par 200 : $p_1V_1 = p_2V_2$ => V_1 = 20'000 l = 20 m^3

2) Une masse invariante de gaz parfait est comprimée à température constante de 1 à 30 bars. Quel est le volume final si le volume initial est de 100 litres ?
Loi de Mariotte : pV = constante : La pression initiale est multipliée par 30 donc le volume initial sera divisé par 30 $p_1V_1 = p_2V_2$ => V_2 = 3.33 l.

3) On considère un gaz parfait qui occupe un volume de 10 litres à la température de -100°C. Quelle sera sa température lorsqu'il occupera un volume double à la même pression ? Loi de Gay-Lussac : Le volume est proportionnel à la température si la pression est constante : Si le volume double, la température double aussi (en kelvin !!!)
$V_1/T_1 = V_2/T_2$ => $T_2 = 2T_1$ = 2 * 173 = 346 K = 73 °C

4) Quelle est l'augmentation relative (en %) du volume d'un gaz qui entre dans une cheminée à la température de 10°C pour en ressortir à la température de 60°C à la pression constante de 1 atm ?
Loi de Gay-Lussac : de 10°C à 60°C soit de 283 K à 333 K, il y a donc 333/283 = 1.18 donc 18% d'augmentation $V_1/T_1 = V_2/T_2$ => $V_2/V_1 = T_2/T_1$ = 1.18

5) Un pneu de voiture est gonflé à 2 bars à la température de 20°C. Lorsqu'il est au soleil, il s'échauffe et la température de l'air qu'il contient atteint 50°C. Son volume augmente de 3%. Quelle est alors la pression dans le pneu ?
Loi des gaz parfaits : $p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$ => $p_2 = p_1V_1T_2/T_1V_2$ = 2*V*323/293/1.03V =>
p_2 =2,14 bars Il est possible de garder la pression en bar comme dans la réponse.

6) Loi de Charles : à volume constant, la pression est proportionnelle à la température.
   a) Calculer la pression p_2 lorsque l'on élève la température jusqu'à T_2 = 373 K (100°C). La température passe de T_1 = 291 K (18°C) à T_2 = 373 K (100°C) le rapport des températures est de 1,28.

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \Rightarrow p_2 = p_1T_2/T_1 = \underline{1.28 \text{ atm}}.$$

   b) On ouvre ensuite le robinet en maintenant la température T_3 = 373 K (100°C) jusqu'à ce que la pression se soit équilibrée avec l'extérieur p_3 = 1 atm. On referme le robinet et on laisse refroidir le récipient à sa température initiale T_4 = 291 K (18°C). Calculer la nouvelle pression p_4. Le rapport des températures est l'inverse de 1,28 soit 0.78
($T_4 = T_1$ = 291 K (18°C) et $T_3 = T_2$ = 373 K)

$$p_3/T_3 = p_4/T_4 \Rightarrow p_4 = p_3T_4/T_3 = \underline{0.78 \text{ atm}}.$$

7) Un plongeur se trouve à 50 m sous la surface de la mer (pression atmosphérique normale à la surface) à une température de 10°C (283 K). Il fait des bulles d'air de diamètre d = 2 mm (rayon r = 1mm et volume $V = 4/3\ \pi\ r^3 = 4/3\ \pi\ 10^{-9} = 4.19 * 10^{-9}\ m^3$).
Quel est le nouveau diamètre d_a des bulles lorsqu'elles traversent une nappe d'eau à 18°C et à 10 m sous la surface de l'eau ? Pression à 50 m sous l'eau : $p = p_o + \rho gh$ = 101'300 + (1000*9,81*50) = 591,8 kPa ~6 atm
Volume initial de la bulle : $V_o = 4/3\pi r^3 = 4{,}19*10^{-9}\ m^3$; Température initiale : T_o = 283 K
Pression à 10 m sous la surface : p_a = 101'300 + (1000 * 9,81 * 10) = 199,4 kPa ~2 atm.
Température à 10 m sous la surface : T_a = 291 K
Loi des gaz parfaits : $p_oV_o/T_o = p_aV_a/T_a \Rightarrow V_a = p_oV_oT_a/(p_aT_o)$
$V_a = (591'800 * 291 * V_o)/(199'400 * 283) \Rightarrow \underline{V_a = 3{,}05\ V_o}$
Nouveau rayon : $r_a = (V_a/V_0)^{1/3} = 3{,}05^{1/3} * r_o = 1{,}45\ r_o$ = 1,45 mm ;
Nouveau diamètre = $\underline{d_a = 2{,}9\ mm}$

Exercices sur la calorimétrie *(CH 12 et 13)*

1) Tout système de freinage s'échauffe lorsqu'il est utilisé.
a) Expliquer : Travail des forces de frottement (Q = Ffr * d) = énergie = chaleur
b) Comment limite-t-on cet échauffement ? Grâce à une ventilation adéquate ou à une circulation d'eau, on évacue la chaleur grâce à des échanges avec l'extérieur.

2) On considère trois béchers contenant respectivement 300 g, 600 g et 800 g d'eau à la température de 20°C. Un thermoplongeur de 400 W est immergé dans chaque becher.
On enclenche simultanément les trois thermoplongeurs. Quelques minutes plus tard, on les déclenche. La température de l'eau dans le bécher contenant 600 g d'eau est alors de 32°C. En négligeant les pertes d'énergie, est-il possible de calculer les températures de l'eau dans les deux autres bechers ? Si oui, quelles sont-elles ? Sinon, expliquer pourquoi. Comme les 3 thermoplongeurs ont la même puissance et que l'on chauffe pendant le même temps, on y introduit les mêmes énergies :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 4180 * 0.6 * 12 = 30.96\ kJ.$$

Dans le premier bécher, il y a deux fois moins d'eau, il y aura donc deux fois plus de $\Delta\theta_1$
$(m_1/m_2)\Delta\theta_2 = 2\ \Delta\theta_2 = 24°C \Rightarrow \underline{\theta_1 = 44°C}$.
Dans le troisième bécher, il y a 800/600 = 4/3 fois plus d'eau, il y aura donc $\Delta\theta_3$ = $(m_3/m_2)\Delta\theta_2 = 4/3\ \Delta\theta_2 = 9°C \Rightarrow \underline{\theta_3 = 29°C}$

3) On fait monter, au moyen d'un téléphérique, une masse d'eau de 1 t d'une altitude de 850 m à une altitude de 1350 m. Si l'énergie nécessaire à cette ascension était employée à chauffer l'eau, quelle élévation de température obtiendrait-on ?
L'énergie potentielle de la pesanteur mgh = 1000 * 10 * 500 = 5 MJ.
si 5MJ = $Q = m\ c\ \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = Q/mc_{eau}$ = 5'000'000/1000/4180 = <u>1,2°C</u>

4) a) Calculer l'énergie pour chauffer 200 litres d'eau d'un bain de 15°C à 37°C :
$Q = m\ c_{eau}\ \Delta\theta$ = 200*4180*22 = 18,4 MJ = 18.4/3.6 = <u>5.11 kWh</u>
b) Combien de temps une ampoule de 60 W (0.06 kW) peut-t-elle briller avec cette énergie ? t = Q/P = 5.11 kWh / 0.06 kW = <u>85,15 h</u>
c) Mieux vaut ne pas abuser des bons bains et prendre de courtes douches !

5) On chauffe une masse m = 100 g de cuivre de 15°C à 37°C. Quelle masse m' d'eau aurait-on pu chauffer de 15°C à 37°C avec la même énergie ?
Energie pour faire chauffer le cuivre : Q = 0,1*390*22 = 858 J
Q = m'*4180*22 => m' = 858/4180/22 = 0.00933 kg = <u>9,33 g</u>.

6) Un calorimètre absorbe 42 J/°C. Quelle est la masse d'eau qui a la même capacité thermique ? (Cette masse représente la valeur en eau du calorimètre.) $Q/\Delta\theta = mc\Delta\theta/\Delta\theta$
=> 42 = mc = 4180 m => $m = c_c / c_{eau}$ = 42/4180 = 0,01 kg = <u>10 g</u>

7) Un récipient contient 100 g d'eau à 80°C. On y ajoute 200 g d'eau à 20°C. A l'équilibre thermique, la température du tout est-elle supérieure, inférieure ou égale à 50°C ?
$Q_{tot} = m_1\, c\, \theta_1 + m_2\, c\, \theta_2 = (m_1+m_2)\, c\, \theta_f \Rightarrow \theta_f = (m_1\, \theta_1 + m_2\, \theta_2)/(m_1+m_2)$ C'est la moyenne des températures pondérée par les masses $\theta_f = (0.1*80 + 0.2*20)/(0.1 + 0.2) =$ $\underline{\theta_f = 40°C}$.

8) Une casserole contient 400 g d'eau à 80°C. On y ajoute 400 g d'eau à 20°C. Peut-on calculer la température d'équilibre si l'on admet que les masses d'eau n'échangent de l'énergie qu'entre elles ? Oui s'il n'y a pas de pertes : $\theta_f = (m_1\, \theta_1 + m_2\, \theta_2)/(m_1+m_2) = (0.4*80 + 0.4*20)/(0.4+0.4) = (80+20)/2 \Rightarrow$ $\underline{\theta_f = 50°C}$ Comme les masses sont les mêmes, c'est tout simplement la moyenne des températures.

9) Un calorimètre contient 200 g d'eau à 20°C. On y introduit un morceau de cuivre de 200 g porté à la température de 80°C. A l'équilibre thermique, la température est-elle de 50°C ? Non, car les chaleurs massiques ne sont pas les mêmes : $c_{eau} = 4180$ J/(kgK) et $c_{CU} = 390$ J/(kgK) $\Rightarrow c_{eau} / c_{CU} \sim 10$
$Q_{tot} = m_1\, c\, \theta_1 + m_2\, c_{Cu}\, \theta_2 = m_1\, c\, \theta_f + m_2\, c_{Cu}\, \theta_f$
$\Rightarrow \theta_f = (m_1\, c\, \theta_1 + m_2\, c_{Cu}\, \theta_2)/(m_1\, c + m_2\, c_{Cu})$
Ici les masses sont les mêmes donc : $\theta_f = (c\, \theta_1 + c_{Cu}\, \theta_2)/(c + c_{Cu})$
$\theta_f = (4180*20+390*80)/(4180+390) \Rightarrow$ $\underline{\theta_f = 25{,}12°C}$

10) Une baignoire contient 60 litres d'eau à 50°C. Quelle quantité d'eau à 20°C faut-il lui ajouter pour obtenir un bain à 40°C ? (On admettra que ces deux quantités d'eau n'échangent de l'énergie qu'entre elles.)
$Q_{tot} = m_1\, c\, \theta_1 + m_2\, c\, \theta_2 = (m_1+m_2)\, c\, \theta_f \Rightarrow m_1\, \theta_1 + m_2\, \theta_2 = (m_1+m_2)\, \theta_f$
$\Rightarrow m_2 = m_1\, (\theta_1 - \theta_f)/(\theta_f - \theta_2) = m(50-40)/40-20) = m/2 \Rightarrow$ $\underline{m_2 = 30\ kg}$.

Exercices - transmission de la chaleur *(CH 15 et 16)*

1) Comment l'énergie solaire parvient-elle à la Terre ? Par le rayonnement qui se transmet dans le vide.

2) Les poêles destinés au chauffage d'une pièce d'habitation sont habituellement de couleur noire. Y a-t-il une raison thermique au choix de cette couleur ? Pour favoriser le rayonnement car un corps noir rayonne beaucoup mieux. (Voir le rayonnement du corps noir)

3) L'effet de serre est un phénomène qui provoque le réchauffement indirect de l'intérieur d'une enceinte fermée transparente. Son explication peut se résumer de la façon suivante : le rayonnement solaire traverse les parties transparentes. Il est absorbé à l'intérieur de l'enceinte et rediffusé essentiellement sous la forme de rayonnement thermique (rayonnement infrarouge). Comme les parois, même transparentes, ne se laissent que peu traverser par ce rayonnement thermique, une partie de l'énergie est piégée à l'intérieur de l'enceinte et la température augmente jusqu'à un équilibre thermique. Indiquer quelques cas où se produit un effet de serre : Serre, capteur solaire plan, planète Terre.

4) Une surface de 1 m^2 reçoit une puissance de 1 kW lorsqu'elle forme un angle de 90° avec les rayons du soleil. Calculer la puissance reçue pour un angle de 60°. $P_{reçue} = P_{émise} \sin\alpha = 866$ W si α est l'angle entre les rayons du soleil et la surface.

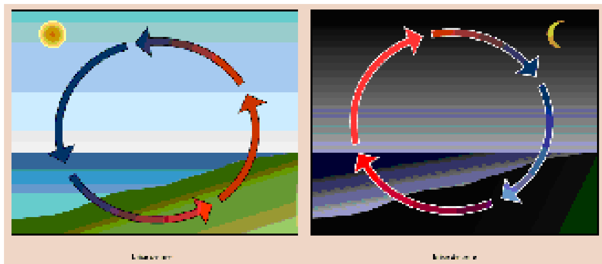
5) Aux pôles, la température est bien inférieure à celle qui règne à l'équateur. Comment expliquer cette différence ? L'angle des rayons sur le sol est différent, plus il s'approche de la verticale, plus la chaleur transmise est élevée. Aux pôles $\alpha \sim 70°$ $\Rightarrow P_{reçue} = 0{,}3\, P_{émise}$ A l'équateur $\alpha \sim 0°$ $\Rightarrow P_{reçue} = P_{émise}$

6) Une installation de chauffage à panneaux solaires, dont le rendement est η = 45%, doit fournir chaque jour une énergie de 8 kWh pour chauffer l'eau sanitaire d'une famille. Calculer la surface minimale des panneaux pour un rayonnement solaire quotidien de 900 W par m^2 pendant 4 heures.
Pendant 4 heures et sur S m^2, le Soleil rayonne 0.9 kW * S * 4 h = 3.6 S kWh
Le panneau de rendement η = 45% recueille η 3.6 S kWh = 8 kWh = 1.62 S kWh.
S = 8/1.62 = <u>4,94 m^2</u> = S = Q / (η (P/S) t)

7) Deux thermomètres placés à l'ombre indiquent la même température. On les place au soleil et l'on constate que l'un d'eux indique une température beaucoup plus élevée que l'autre.
Un des thermomètres est plus sensible au rayonnement car il est de couleur plus foncée ou noire.

8) Les nuits sont plus froides si le ciel est clair que s'il est nuageux car le rayonnement de la Terre n'est plus retenu par les nuages.

9) Le matin d'une journée ensoleillée, le vent souffle de la mer vers la terre (brise de mer) alors que dans la soirée, la direction du vent est inverse (brise de terre).



Ø Le jour (à droite), lorsqu'il fait beau, la terre se réchauffe plus vite que l'eau de mer. L'air «terrestre», plus chaud et donc plus léger, s'élève en créant une zone de basse pression à la surface du sol. L'air marin y est attiré, générant un vent qui souffle donc de la mer vers la terre : c'est la brise de mer.
Ø La nuit (à gauche), le phénomène est inversé : la terre se refroidit plus vite que l'eau. L'air terrestre, plus frais, est attiré vers la mer où l'air, plus chaud, s'élève : c'est la brise de terre.

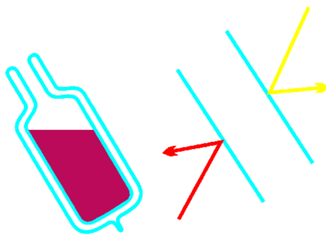
10) Un objet métallique paraît plus froid au toucher qu'un objet en plastique à la même température. Les deux objets sont à la température ambiante (20°C) et la main est à environ 36°C. La transmission de la chaleur par conduction se fait donc de la main (qui se refroidit) à l'objet. L'objet métallique conduit la chaleur et refroidit donc beaucoup plus la main que celui en plastique.

11) Les casseroles utilisées avec une cuisinière électrique doivent avoir un fond parfaitement plat car la transmission se fait par conduction. Il doit donc y avoir un contact parfait.

12) Pour mesurer la température de l'air, les météorologues placent les thermomètres dans des abris à persiennes peints en blanc pour ne pas avoir de perturbations dues au rayonnement. Les persiennes permettent de refroidir l'abri.

13) En hiver, il est recommandé d'abaisser les stores devant les surfaces vitrées pendant la nuit pour retenir le rayonnement de l'intérieur de la pièce.

14) Une bouteille thermos ou vase de Dewar :



Ø Le <u>rayonnement</u> est réfléchi par les parois argentées (et coupé par les parois plastiques).

Ø La <u>conduction</u> est limitée au bouchon à cause des doubles parois.

Ø La <u>convection</u> est coupée à cause du vide et limitée à cause de l'espace entre le verre et le support.

Exercices sur les changements de phase

1) Pourquoi un liquide très volatil comme l'essence ou l'alcool refroidit-il la matière qu'il mouille ? Parce qu'il s'évapore et prend ainsi beaucoup d'énergie au milieu ambiant.

2) Expliquer pourquoi la transpiration limite l'augmentation de la température du corps humain. L'évaporation de la sueur prend beaucoup d'énergie thermique au corps.

3) Les pots en terre poreuse gardent au frais les liquides qu'ils contiennent pendant les grandes chaleurs. Expliquer ce phénomène. Le liquide passe au travers des parois et s'évapore, ce qui prend beaucoup d'énergie thermique au liquide.

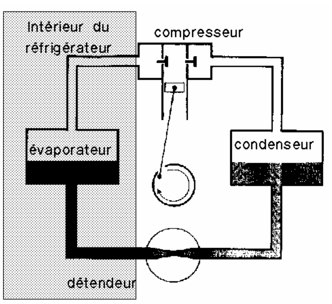
4) Un récipient contient un bloc de 400 g de glace à -18°C. Quelle est la quantité minimale d'eau à 60°C qu'il faut verser dans ce récipient pour fondre la glace ?
Chaleur pour chauffer la glace Q_g = 0.4*2060*18 = 14'832 J
Chaleur pour faire fondre la glace Q_{Fg} = 330'000*0.4 = 132'000 J
Chaleur donnée par le liquide : 14'832+132'000 = m*4180*60 => m = 0,585 kg

5) La surface du lac Léman est d'environ 580 km^2.
   a) À partir d'eau à 0°C, quelle quantité d'énergie ce lac devrait-il céder pour qu'il se forme une couche de 10 mm de glace sur toute sa surface ? Volume de glace : V = 580*10^6*0.01 = 5'800'000 m³ ; masse de glace : m = ρV = 917 * 5,8 * 10^6 = 5.3186 * 10^8 kg =>
   Q = L_f m = 5.3186*10^8*330'000 = <u>1,755*10^{15} J</u>
   b) Combien de temps faudrait-il au rayonnement solaire pour fondre cette glace si l'on suppose que celle-ci absorbe 2'106 kJ par jour et par m^2 par beau temps, soit environ 10% de l'énergie reçue du Soleil ? Chaleur donnée par le Soleil en 1 jour : Q(jour) = 580*10^6 * 2.106*10^6 = 1.22 * 10^{15} J => Temps pour faire fondre la glace : t = Q/Q(jour) = <u>1,437 jour</u>
   c) Quel serait le prix de cette énergie si elle était facturée à 25 cts le kWh ? Energie en kWh : E = 1.755*10^{15} J/(3.6*10^6J/kWh) = 4875 M kWh
   -> coût : = 4875M / 0.25 = <u>121.9 MF</u>.

6) Quelle énergie faut-il : a) pour porter à ébullition 1 litre d'éthanol (alcool pur) dont la température initiale vaut 20°C ? Attention, la masse de 1 litre est de 0.79 kg et la température d'ébullition de 78,2°C => Chaleur : Q = $mc\Delta\theta$ = 0.79*2460*58.2 = <u>113.1 kJ</u>
b) Quelle énergie faut-il pour vaporiser entièrement cet éthanol ? Chaleur de fusion uniquement Q_F = mL_F = 0.79*850'000 = <u>671.5 kJ</u>.

7) Au moyen d'un tuyau, on injecte une masse m de vapeur d'eau à 100°C dans un récipient contenant 625 g d'eau à 15°C. A la fin de cette opération, la nouvelle température d'équilibre est de 25°C. Calculer la masse m de vapeur d'eau injectée en négligeant la capacité calorifique du récipient et les pertes d'énergie. Chaleur donnée par une masse m de vapeur = Chaleur de l'eau = 0.625 * 4180 * 10 = 26'125 J = m(2'300'000 + 4180*75) => <u>m = 10 g</u>.

8) Les réfrigérateurs utilisent les phénomènes de liquéfaction et de vaporisation d'un liquide (le fréon). Le circuit du liquide caloporteur comporte quatre éléments principaux :
   a) L'évaporateur utilise l'énergie des aliments à l'intérieur du réfrigérateur pour évaporer le liquide et refroidit ainsi l'intérieur du réfrigérateur. Le compresseur comprime la vapeur et impose une circulation du fluide. Le condenseur condense le liquide et donne de l'énergie au milieu. Le détendeur diminue la haute pression du liquide (due au compresseur) pour qu'il puisse ainsi s'évaporer.
   b) L'énergie est soutirée du milieu ambiant dans l'évaporateur.
   c) L'énergie est cédée au milieu ambiant dans le condenseur.
   d) L'évaporateur est situé à l'intérieur de l'espace réfrigéré.
   e) Bilan énergétique : $\boxed{Q_{évaporateur} + E_{compresseur} = Q_{condenseur}}$.



9) Dans un chalet de montagne, la température d'ébullition de l'eau est de 93°C.
   a) La pression atmosphérique dans ce chalet est de <u>780 mbar</u>.
   b) L'altitude de ce chalet se situe <u>entre 1900 et 2000 m</u>

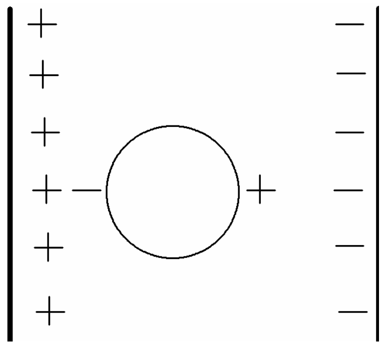
10) La soupape d'une marmite à pression est constituée par un piston de 10 mm de diamètre maintenu par un ressort. Elle laisse échapper la vapeur quand l'intensité de la force pression agissant sur le piston atteint 10 N. La pression maximale de la <u>vapeur dans la marmite. p = F/S = 10/(π 0,005^2) = 127'324 N/m^2 = 1,27 bar de surpression => 2</u>,27 bar (1 bar = 100'000 N/m^2).
La température de cuisson à 2.27 bar est de <u>θ = 124°C</u>.

Corrigé des exercices ELECTRICITE DF

3.1 Exercices - charges électriques

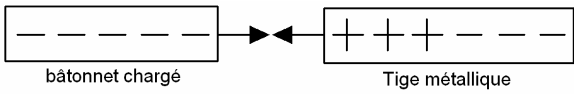
1) On est en présence d'un corps électrisé. Comment déterminer le signe de sa charge électrique ?
Il suffit de placer le corps électrisé sur un support mobile et d'approcher un autre corps chargé positivement par exemple (du verre ou du plexiglas chargé avec un chiffon en soie). S'il y a répulsion, le corps électrisé est de charge positive et s'il y a attraction, il est de charge négative.

2) Une personne tente d'électriser une tige métallique qu'elle tient dans une main en la frottant avec un chiffon.
Elle n'y parvient pas car les charges circulent dans la tige métallique (électrons libres) et vont dans la terre.



3) Une boule métallisée est suspendue entre deux plaques métalliques parallèles chargées, l'une positivement et l'autre négativement. La boule frappe alternativement les plaques et s'arrête après quelques coups, les plaques étant déchargées.
a) La boule va frapper en premier le plateau de gauche car elle est plus proche et que la force de Coulomb est inversement proportionnelle au carré de la distance.
b) Il y a séparation des charges dans la boules car elle est conductrice. A la surface de la boule, les charges positives vont du côté de la plaque négative et inversement. Dès que la boule n'est plus au milieu des deux plaques, il y a déséquilibre entre les forces de Coulomb (équilibre instable). Chaque fois que la boule touche un plateau, elle prend un peu de sa charge et elle est repoussée par le plateau…

4) Un bâtonnet de matière plastique chargé négativement est suspendu par des fils isolants. On approche une tige métallique neutre tenue par l'intermédiaire d'un manche isolant de l'une de ses extrémités. La tige et le bâtonnet s'attirent.



a) Il y a attraction par influence : dans la tige métallique : les électrons se déplacent donc les charges + de la tige vont vers le bâtonnet chargé négativement et les 2 corps s'attirent.
b) Si le bâtonnet avait été chargé positivement, on aurait observé la même chose car les charges - de la tige métallique se seraient rapprochées du bâtonnet (+).

5) Calculer la force électrique entre deux charges positives de 1 C placées à un mètre l'une de l'autre.
Force de Coulomb : $\boxed{F = kq^2/d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot (1/1)^2 = \underline{9 \cdot 10^9 \text{ N}} = 9$ GN

6) Une charge de $q = 10$ nC $= 10 \cdot 10^{-9} = 10^{-8}$ C se trouve à 50 cm d'une charge Q. Elle est attirée par une force $F = 0{,}1$ N. Force de Coulomb : $F = kqQ/d^2 \Rightarrow \boxed{Q = Fd^2/(kq)} = 0.1 \cdot 0.5^2/(9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8}) = \underline{0.000278 \text{ C}} = 0{,}278$ mC

7) Deux petites sphères sont chargées électriquement (charge q). On triple la distance d qui les sépare. Comment varie l'intensité des forces électriques qui s'exercent sur ces sphères ? $F = kq^2/d^2$ et $F' = kq^2/(3d)^2 = kq^2/(9d^2)$ La force est divisée par 9 (carré de la distance).

8) Comparer les forces gravifique et électrique dans l'atome d'hydrogène en sachant que la distance entre proton et électron est de $d = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m.
Force gravifique entre proton et électron $F = GMm/d^2$
$F_{grav} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} / (5{,}3 \cdot 10^{-11})^2 = \underline{3.62 \cdot 10^{-47} \text{ N}}$
Force électrique entre proton et électron : $F = kq^2/d^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot (1.6 \cdot 10^{-19}/5{,}3 \cdot 10^{-11})^2$
$F_{él} = 8.22 \cdot 10^{-8}$ N. Rapport entre ces deux forces : $\boxed{F_{él}/F_{grav} = 2.27 \cdot 10^{39}}$.

On le comparera ensuite au rapport diamètre de la galaxie / diamètre atome = 100'000 AL/1 Å = $10^5 * 9.467*10^{15} / 10^{-10} = 9,467 * 10^{30}$.
Le rapport des forces électrique et gravifique $\boxed{F_{él}/F_{grav} = 2.27*10^{39}}$ est proche de celui : horizon cosmologique (rayon de l'Univers) / noyau de l'atome = 13 GAL / 10^{-14} m = $13*10^9*9.467*10^{15} / 10^{-14} = 1.23*10^{26} / 10^{-14} = 1.23*10^{40}$
Le rapport des distances $\boxed{\text{Univers/noyau} = 1,23 * 10^{40}}$

9) Quelle est la force de répulsion électrique s'exerçant entre 2 protons dans un noyau de fer si l'on suppose que la distance qui les sépare est de $4 * 10^{-15}$ m ?
La force $F_{él} = kq^2/d^2 = 9*10^9*(1.6*10^{-19}/4 * 10^{-15})^2$ = 14,43 N
La cohérence du noyau grâce à la force nucléaire qui est beaucoup plus grande que la force électrique (Elle ne s'exerce qu'à très courte portée (10^{-13} à 10^{-14} m))

10) Dans le modèle de Bohr, l'électron se comporte comme un satellite qui orbite autour du noyau sous l'effet de la force électrique. Le rayon de la trajectoire est r = 1Å = 10^{-10} m. Calculer la vitesse et la période de l'électron autour du noyau.
Force électrique, Newton et MCU => $F = kq^2/r^2 = m v^2/r$ => $\boxed{v = (kq^2/(mr))^{½}}$ = 1591 km/s et la période de rotation $\boxed{T = 2\pi r/v} = 2\pi*10^{-10} / 1.591*10^6 = 3.95 * 10^{-16}$ s

3.2 CIRCUITS ELECTRIQUES

Exercices - courant électrique

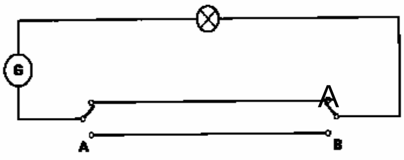
1) Une batterie débite un courant I = 1,5 A pendant t = 70 heures.
La charge Q mise en jeu pendant cette durée t : $\boxed{Q = It}$ = 70*1.5*3600 =>
Q = 378'000 C = 378 kC.

2) Une batterie d'automobile porte l'inscription : 45 Ah ce qui signifie :
a) 45 A pendant 1 h ou 1 A pendant 45 h (a)) ou 9 A pendant 5 h… (200 A est le courant maximum que la batterie peut fournir).
b) La charge électrique Q que cette batterie fait circuler pendant t = 2 s au démarrage du moteur en admettant que le courant est de I = 120 A : $\boxed{Q = I*t}$ = 120*2 = 240 C.

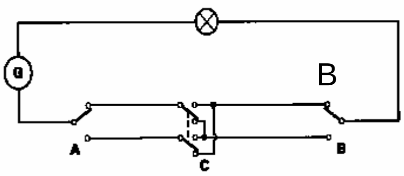
3) Un coup de foudre est un phénomène pouvant durer quelques dixièmes de seconde et au cours duquel une suite de 5 à 40 décharges électriques ont lieu entre un nuage et le sol. Chacune de ces décharges met en jeu une quantité d'électricité d'environ 1 C et dure environ 10 µs.
a) Quel courant électrique, supposé constant durant la décharge, passe dans le canal de l'éclair ? Le courant est le quotient de la charge et du temps : $\boxed{I = Q/t} = 1/(10*10^{-6}) = 1/10^{-5} = 10^5$ A = 100 kA
b) L'hypothèse du courant constant est incorrecte, mais elle permet de calculer facilement un courant moyen.

4) Une ampoule électrique est parcourue par un courant I = 0,5 A. Quelle charge électrique Q traverse cette ampoule en une minute (60 s) ?
Q = I t = 0,5 * 60 = 30 C.

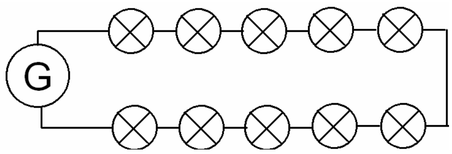
5) Si 3600 milliards d'électrons traversent un fil siège d'un courant continu en 0.001 s, que vaut l'intensité I du courant ? Chaque électron porte une charge élémentaire $q_e = -1.6 * 10^{-19}$ C. La charge totale est donc de $Q = N\, q_e = 3.6*10^3 *10^9 *1.6 * 10^{-19}$ C. $\boxed{I = N\, q_e / \Delta t}$ = 0,576 mA.



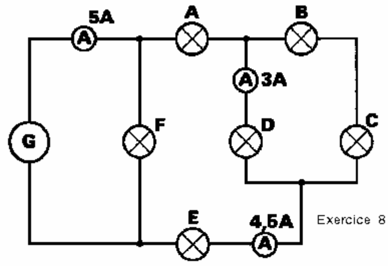
6) Les circuits A et B ci-contre permettent d'allumer et d'éteindre et allumer à n'importe quel interrupteur de la pièce.



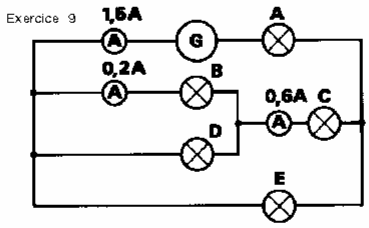
7) Une guirlande lumineuse comprenant 10 ampoules montées en série est branchée sur une source de courant (générateur G).



a) Schéma de ce circuit à
b) Si une ampoule ne fonctionne plus, toutes les ampoules s'éteignent car le circuit est interrompu.
c) Si les 10 ampoules sont montées en parallèle, seule l'ampoule défectueuse s'éteint car les 9 autres ampoules sont alimentées entre le + et le – du générateur.



8) Quelles sont les intensités des courants qui traversent les ampoules? Le courant de 5 A qui sort du générateur se sépare en <u>$I_A = I_E = 4.5$ A</u> et <u>$I_F = 0.5$ A</u>. Le courant I_A se sépare en 3 A + 1.5 A <u>($I_B = I_C = 1.5$ A)</u> <u>$I_D = 3$ A</u>.



9) Quelles sont les intensités des courants qui traversent les ampoules? <u>$I_A = 1,5$ A</u> car le courant qui entre dans le générateur égale celui qui en sort. <u>$I_B =: 0,2$ A</u> ; <u>$I_C = 0,6$ A</u> = $I_B + I_D$ = 0.2 + 0.4 A => <u>I_D : 0,4 A</u> ; 1.5 = 0.6 + I_E => <u>$I_E = 0,9$ A</u>.

Exercices – tension et puissance

1) Une prise de tension U = 230 V est protégée par un fusible de I_{max} = 10 A. La puissance maximale que l'on peut tirer de la prise électrique $P = UI_{max}$ = 230*10 = <u>2300 W</u>

2) Une pile de 9 V entretient dans un circuit la circulation de 6 * 10^{16} électrons par seconde. Chaque électron porte une charge élémentaire q_e = -1.6 * 10^{-19} C. La charge totale est donc de $Q = N_t\, q_e\, t$ = 6*10^{16} * q_e/s 1.6 * 10^{-19} C/ q_e * 60 s = 0.576 C. Energie $\boxed{W_{él} = QU}$ = 0.576 * 9 = <u>5.184 J</u>.

3) La puissance de la centrale hydroélectrique de Nendaz est de P = 480 MW. L'énergie est envoyée sur trois phases (courant triphasé). La puissance sur chaque phase est donc de P/3 = 480/3 = 160 MW. La tension entre chaque phase et la terre est de U = 220 kV sur le transformateur de sortie de l'usine. L'intensité I du courant dans chaque phase de la ligne à haute tension est $\boxed{I = (P/3)/U}$ = (480'000'000/3)/220'000 = <u>727,3 A</u>

4) Un grille pain consomme une puissance électrique de P = 1000 W sur le réseau de tension U = 230 V. Il faut alors un temps t de une minute pour griller deux tranches de pain. Déterminer le coût de l'opération sachant que le kWh est facturé 25 centimes. Energie consommée W = Pt = 1 kW * (1/60) h = 0.0167 kWh. Coût : 0.0167 kWh *0.25 CHF/kWh = <u>0.0042 CHF = 4,167 mFrs</u>.

5) Une guirlande lumineuse comprend 20 ampoules identiques de puissance P = 15 W montées en parallèle. Elle est branchée à une prise de tension U = 230 V.
a) Différence de potentiel aux bornes de chaque ampoule : U = <u>230 V</u> car les ampoules sont montées en parallèle.
b) L'intensité du courant qui traverse chaque ampoule : I = P/U = 15/230 = <u>0.065 A</u>
c) Si la prise est protégée par un fusible de 6 A Il ne se passe rien car 20I = <u>1.3A</u> < 6 A.

Loi d'Ohm 1

Exercices - lois d'Ohm

1) Il apparaît une tension U = 10 V entre les extrémités d'un fil lorsqu'il est parcouru par un courant I = 5 A. Loi d'Ohm : U = RI => résistance $\boxed{R = U/I}$ = 10/5 = <u>2 Ω</u>

2) Un thermoplongeur de puissance P = 400 W est branché sur une prise 230 V.
a) Loi de Joule : P = UI => Intensité du courant $\boxed{I = P/U}$ = 400/230 = <u>1,74 A</u> ; b) loi d'Ohm : résistance électrique $\boxed{R = U/I}$ = 230/1.74 = <u>132.25 Ω.</u>

3) Une ampoule de phare d'automobile a une puissance P = 60 W quand elle est branchée aux bornes d'une batterie de U = 12 V. Intensité du courant I = P/U = 60/12 = 5 A. Loi d'Ohm : résistance $\boxed{R = U/I}$ = 12/5 = <u>2,4 Ω</u>. (R= U/I et I = P/U => R = U²/P = 12²/60 = = 2,4 Ω)

4) Un thermoplongeur a une puissance P = 400 W quand il est branché sur une prise U = 230 V. Voir l'exercice 2 : R = 132.25 Ω. P' S'il est branché sur une tension U' = 115 V : Loi d'Ohm : I' = U'/R = 115/132.25 = 0.87 Ω = I/2. Loi de Joule : P' = U'I' = 115 * 0.87 = 100 W = P/4. <u>La tension et le courant sont de moitié donc la puissance est du quart</u>. (P = UI = U*U/R = U²/R)

5) Une résistance R = 24 Ω a une puissance thermique P = 600 W. Loi d'Ohm : U = RI => U = 24*I. Loi de Joule : P = UI = 24 I² => 600 = 24 I² => I = $(600/24)^{½}$ = 5 A (I = $(P/R)^{½}$ = 5 A) ; b) Energie dégagée en 1 h : $\boxed{W = P*t}$ = 0.6kW*1h = <u>0.6 kWh = 2.16 MJ</u>.

6) La tension appliquée aux bornes d'un corps de chauffe varie de 5%. Quelle variation de puissance en résulte-t-il ? Prenons des valeurs numériques pour simplifier : Tension initiale U = 100 V et tension finale U' =105 V. Supposons une résistance R = 100 Ω qui ne varie pas. Les courants sont de I = U/R = 100/100 = 1 A et I' = 105/100 = 1.05 A. Les puissances sont donc de P = UI = 100*1 = 100 W et P' = U'I' = 105*1.05 = 110.25 W. <u>La puissance a donc augmenté de 10% environ</u>. (P' = U'I' = 1.05*U*1.05*I = 1.1025 UI = <u>1.1025 P</u>)

Loi d'Ohm 2

7) Un corps de chauffe est immergé dans l'eau d'un bêcher. Il est raccordé à une source de tension fixe de 12 V. On désire augmenter la puissance de chauffage. Faut-il allonger ou raccourcir le fil du corps de chauffe ? La puissance P = UI (loi de Joule) et I = U/R (loi d'Ohm I). La puissance $\boxed{P = U^2/R}$. Pour augmenter la puissance, il faut donc <u>diminuer la résistance</u>. La résistance est proportionnelle à la longueur du conducteur (loi d'Ohm II : R = ρL/S). Il faut donc <u>raccourcir le conducteur</u>.

8) Un fil de longueur L = 90 cm = 0.9 m et de diamètre d = 0,30 mm = $3*10^{-4}$ m (rayon r = $1.5*10^{-4}$ m) a une résistance de 6 Ω. Calculer la résistivité de l'alliage qui le constitue. Loi d'Ohm II : R = ρL/S ; S = πr² = π∗$(1.5*10^{-4})^2$ = $2.25*\pi*10^{-8}$. => 6 = ρ ∗ 0.9 / ($2.25*\pi*10^{-8}$)
=> ρ = $2.25*\pi*10^{-8}$ * 6 / 0.9 = <u>$47.1 * 10^{-8}$ Ωm</u>. C'est probablement du constantan. (60% Cu et 40% Ni)

9) On branche par mégarde une ampoule « 12 V 15 W » sur une source de tension de 6 V. Le courant qui traverse cette ampoule est-il deux fois plus petit que le courant nominal (en fonctionnement normal) ? Calcul du courant nominal d'après la loi de Joule P = UI : $I_{nominal}$ = P/U = 1,25 A et $\boxed{R = U^2/P}$ = 12²/15 = 9,6 Ω (démontré à l'exercice 7) ; si la résistance R = constante alors I = U/R = 6/9.6 = <u>0,625 A</u> ; comme la résistance diminue avec la température donc avec la tension, <u>le courant I est plus petit que $I_{nominal}$/2</u>.

Loi d'Ohm 2

10) Calculer la résistance d'un cordon de connexion en <u>cuivre</u> de longueur <u>L = 1 m</u> et de section S = 2,5 mm² = <u>$2.5 * 10^{-6}$ m²</u>. Résistivité du cuivre : ρ = <u>$1.68*10^{-8}$ Ωm</u>
Loi d'Ohm II : $\boxed{R = \rho\, L/S}$ = $1.68*10^{-8}*1/2.5 * 10^{-6} = 6.72*10^{-3}$ Ω = <u>6,72 mΩ</u>.

11) Un axone (fibre nerveuse) peut être considéré comme un long cylindre de diamètre d = 10 μm = 10^{-5} m et r = $5*10^{-6}$ m et de longueur L = 30 cm = <u>0.3 m</u>. Quelle est R si sa résistivité ρ = 2 Ωm ?
Section S = πr² = <u>$25\pi*10^{-12}$ m².</u> Loi d'Ohm II résistance : R = ρ L/S = $2*0.3/(25\pi*10^{-12})$ = <u>7'639'437'268 Ω = 7.64 GΩ.</u>

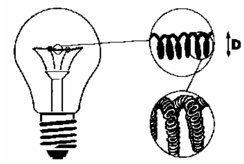
Loi d'Ohm 3

12) *Un fil de fer a une résistance de 0,5* W *à 20°C.* Dq *= 900-20 = 880°C. Coefficient de température de la résistance du fer : a = $6.5*10^{-3}$ K^{-1}*

a) *Résistance quand on le chauffe au rouge, à 900°C :*
Loi d'Ohm III : $\boxed{R_{(900°C)} = R_{(20°C)}\,(1 + \alpha\Delta\theta)}$
$R_{(900°C)} = 0.5\,(1+ (6.5*10^{-3}*880) =$ <u>3,36 Ω</u>.

b) *Pour un fil de constantan : Coefficient de température de la résistance du constantan :* a' *= 10^{-5} K^{-1}*
$R'_{(900°C)} = R_{(20°C)}\,(1 + \alpha'\Delta\theta) = 0.5\,(1+(10^{-5}*880) =$ <u>0,5044 Ω</u>.

13) *Le filament d'une ampoule est enroulé en une double spirale. Le matériau choisi est le tungstène à cause de la haute température de son point de fusion (3400°C). On peut porter donc ce fil à une température très élevée. Une ampoule marquée « 60 W et 230 V », par exemple, est munie d'un filament d'environ 0,020 mm = $2*10^{-5}$ m de diamètre (rayon r = 10^{-5} m) et de résistance à 20°C : R = 67* W. *Résistivité du tungstène :* r = $5.6*10^{-8}$ Ωm



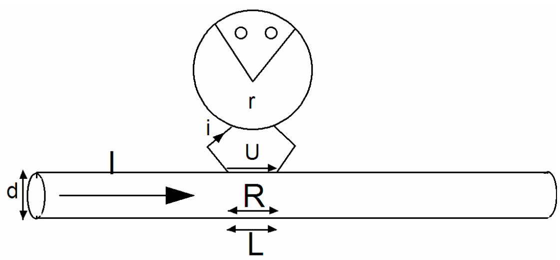
a) *Quelle est la longueur du filament de cette ampoule ?* S = πr² = $\pi*(10^{-5})^2 = \pi*10^{-10}$ *m².* Loi d'Ohm II : R = ρL/S => L = RS/ρ = Rπd²/(4ρ) = $67*\pi*10^{-10}$ / $5.6*10^{-8}$ => L = <u>0,376 m</u>

b) *Utilité de la double spirale du filament* : elle limite l'encombrement ainsi que le refroidissement par rayonnement du filament. *Pourquoi ne se consume-t-il pas ?* Car l'ampoule est remplie d'argon ou de krypton à ~0,5 bar pour que le filament ne brûle pas avec l'oxygène.

c) *Calculer la température du filament grâce à la résistance à chaud. Coefficient de température de la résistance du tungstène : Résistance du fil à chaud :* R = U²/P = 230²/60 = 882 Ω (voir ex. 7 et 9). a = *$4*10^{-3}$ K^{-1}* ΔR = R – R_{20} = 882-67 = 815 Ω ; $\boxed{\Delta R = \alpha\,\Delta\theta\,R}$ => 815 = $4*10^{-3}*\Delta\theta*67$ => Δθ = ΔR/(αR) = $815/(4*10^{-3}*67)$ = 3041 °C => <u>θ = 3061 °C</u>.

3.2.8 Exercices sur la sécurité électrique

1) Un oiseau pose une patte sur une ligne à haute tension. <u>Il ne se passe rien s'il y pose les deux pattes car la différence de potentiel entre les deux pattes est quasiment nulle</u>. En effet, la résistance du fil est très faible et la loi d'Ohm nous dit que : U = RI = ri. On peut calculer la résistance R = ρL/S avec du cuivre de diamètre d = 6 mm (r = $3*10^{-3}$ m) la section S = πr² = $9\pi*10^{-6}$ m², une longueur L = 3 cm = 0.03 m et ρ = $1.68*10^{-8}$ Ωm R = $1.68*10^{-8}*0.03/(9\pi*10^{-6})$ = $1.78*10^{-5}$ Ω => la tension U est très faible U = RI = $1.78*10^{-5}*100$ = 0.00178 V la résistance de l'oiseau étant très grande (r = 10 kΩ) donc le courant i qui traverse l'oiseau est i = U/r = 0.00178/10'000 = 0.00000018 A = 0.18 μA. Mais il faut tenir compte des effets du champ électrique qui pourraient être désagréables pour des



gros oiseaux ou pour des hautes tensions. Sur une ligne à haute tension, s'il y a des oiseaux, ils se posent sur le fil du sommet du pylône relié à la terre (parafoudre).
Que se passerait-il s'il posait l'autre patte sur un autre conducteur (éventuellement connecté à la terre) ? Électrocution avec une tension de U' = 16'000 V et r = 10'000 Ω : I' = U'/R = 1.6 A qui est un courant mortel.

2) En admettant que vous ayez une résistance de 50'000 Ω, quelle est la tension qui devient dangereuse pour vous ? Statistiquement, un courant de 16 mA est tel que l'on ne peut plus relâcher le conducteur à cause de la contraction des muscles. Loi d'Ohm I : U = RI = 50'000*0.016 = <u>800 V</u> (si R = 50 kΩ).

3) Quel est le courant que reçoit une personne qui se trouve dans son bain (R = 1500 Ω) et dont le sèche-cheveux branché sur la prise 230 V tombe dans le bain ? Loi d'Ohm I : I = U/R = 153 mA. <u>Ce courant provoque la fibrillation ventriculaire</u>, c'est à dire que le cœur bat de manière inhabituelle au rythme du courant. Si l'appareil n'est pas enclenché, le courant peut quand même passer dans l'eau du bain grâce aux sels minéraux.

4) Y a-t-il un risque de recevoir un choc électrique avec une batterie de voiture d'une tension U = 12 V ? Quels types de risques sont possibles avec ce type de batterie ?
Loi d'Ohm : I = U/R avec une résistance R du corps de 50'000 Ω (sec) et 1500 Ω (humide)
* Si le corps est sec : I = 12/50'000 = 0,24 mA - <u>on ne sent pas ce courant</u>.
* Si le corps est trempé : I = 12/1500 = 8 mA - <u>choc léger</u>.
* Le seul danger de la batterie de voiture est à cause de <u>l'acide qu'elle contient</u>.

5) Pourquoi est-il particulièrement important de mettre à la terre les appareils électriques lorsqu'on les utilise à l'extérieur ou dans la cave ? Les caves ont souvent un sol humide oui en terre battue, ce qui provoque un <u>très bon contact entre la terre et la personne</u>; la résistance de la personne (entre phase et terre) diminue et le courant d'électrocution entre phase et terre augmente s'il y a un défaut d'isolation.

6) Une personne tombe par terre électrocutée avec un fil électrique à la main. Que faire ? D'abord <u>couper le courant</u> sinon, on risque aussi de s'électrocuter en la secourant.

7) Un enfant introduit un crayon gris dans les bornes de la prise électrique. Est-ce dangereux ? <u>Oui car le graphite est un conducteur électrique.</u> Il va s'électrocuter s'il l'introduit dans la phase car il touche la terre avec les pieds.

8) Entre la phase et le robinet (relié à la terre), on mesure une tension de 230 V. Pourquoi ne puis-je pas faire fonctionner un lampe électrique en la branchant entre phase et robinet ? Le robinet est branché à la terre qui sert de protection pour le circuit électrique et non de retour du courant. Dans les installations modernes, il est impossible de la brancher entre phase et terre car un <u>disjoncteur à courant de défaut</u> déclenche la phase si le courant à travers la terre dépasse 10 mA, ce qui est le cas pour notre ampoule (si P = 60 W alors P = UI => I = P/U = 60/230 = 0.261 A.

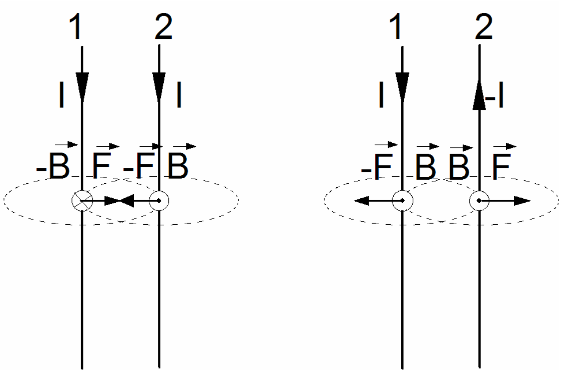
9) On a alimenté un lave-linge avec un cordon à 2 fils. Pouvez-vous prévoir les risques d'accidents ? <u>S'il y a un défaut</u> - la phase touche le boîtier métallique - une personne peut toucher le boîtier et <u>elle va s'électrocuter</u>. Si le fil de terre était branché, est-ce que le risque d'électrocution serait éliminé ? Le boîtier métallique doit impérativement être mis à la terre pour que le courant de défaut passe par la terre.

10) Lors d'un violent orage, un câble haute tension est tombé sur un autocar. Quelle solution proposer pour les secours ? Les passagers et le conducteur <u>doivent impérativement rester à l'intérieur du car</u>. A cause de l'isolation des pneus, il est possible que la carcasse métallique soit à un haut potentiel (220'000 V ou 380'000 V) sans que les disjoncteurs (fusibles réamorçables) n'aient déclenché. En sortant du car, il y aurait électrocution entre la jambe à terre et celle dans le car. Il faut déclencher la ligne HT avant de laisser descendre les passagers.

3.3 ELECTROMAGNETISME

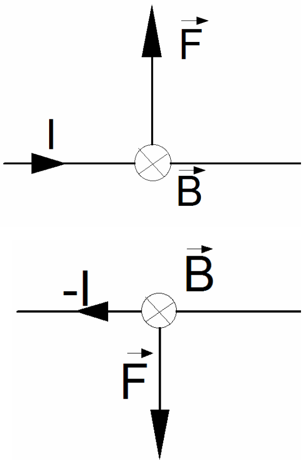
Exercices sur la force de Laplace

1) Un segment de fil de 0,5 mètres de long, parcouru par un courant de 20 A subit une force de 5 N quand il est perpendiculaire à un champ d'induction magnétique $\vec{B}$. Quelle est la valeur de ce champ ? Force de Laplace : $\boxed{F = ILB}$ lorsque I est perpendiculaire à B => 5 = 20*0.5*B => B = 5/20/0.5 = <u>0.5 T</u>



2) Dessiner les forces et champs $\vec{B}$ qui s'exercent sur deux fils parallèles parcourus par le même courant I :

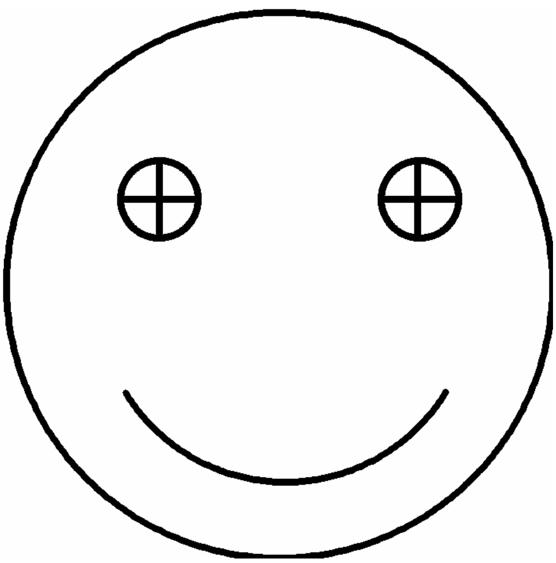
a) de même sens : forces attractives et champs B de sens opposés.
b) de sens contraire : forces répulsives et champs B de mêmes sens.

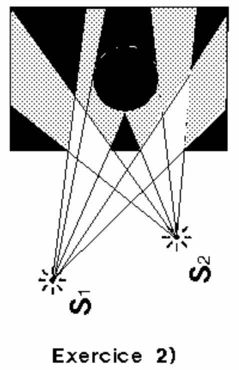


3) Un fil horizontal subit une force de 10 N dirigée vers le haut lorsqu'il est parcouru par un courant de 5 A vers la droite.

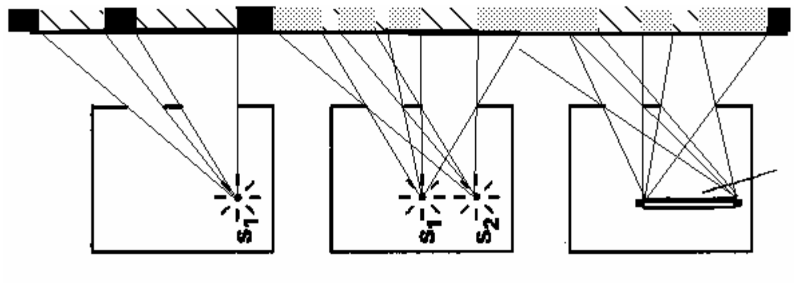
a) Le champ $\vec{B}$ est de direction horizontale et perpendiculaire à la feuille. Sens : il s'enfonce dans la feuille. Force de Laplace : $\boxed{F = ILB}$ lorsque I est perpendiculaire à B => 10 = 5*1*B => B = 10/5 = 2 T
b) Que vaut la force lorsque le courant est inversé et doublé ?
Force de Laplace : F = 2ILB inversée aussi ! F = 20 N verticale vers le bas

Bonne chance !

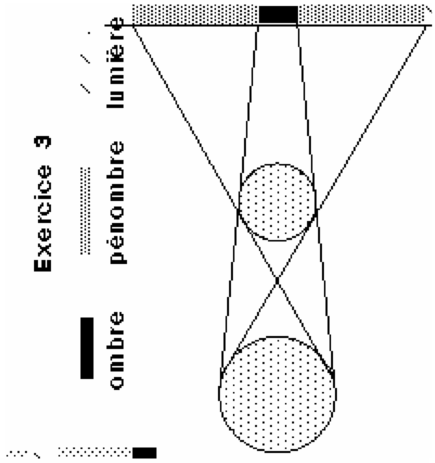




1. Exercices - propagation rectiligne de la lumière

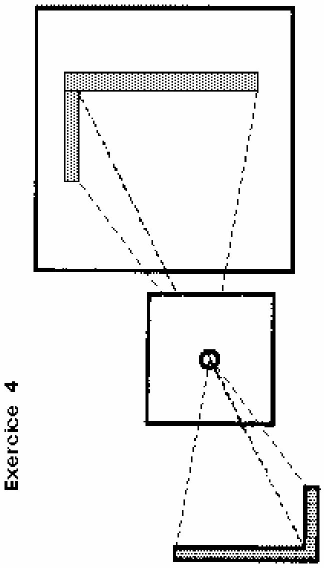


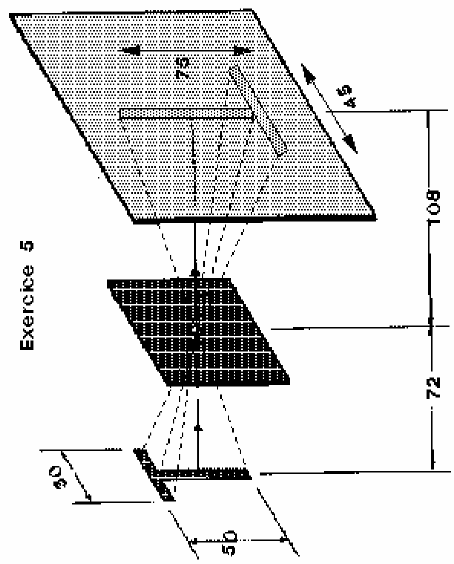
1 et 2) Zones de lumière, d'ombre et de pénombre sur l'écran situé devant les boîtes lumineuses :



3) Une sphère lumineuse de diamètre 2R = 15 cm éclaire un écran situé à une distance D = 1.8 m du centre de la sphère. On place une sphère opaque de diamètre 2r = 10 cm à une distance d = 1 m de l'écran.
   a) Dessin de gauche.
   b) En réalité, il est difficile de distinguer les limites de l'ombre et de la pénombre car il y a un dégradé.

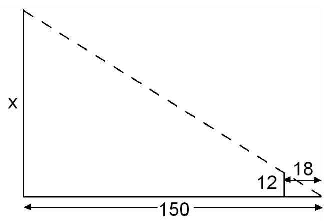
4) Pour dessiner cette image sur l'écran, on part du point indiqué et on trace une horizontale et une verticale qui correspondent aux 2 branches du L. On trace finalement les rayons qui partent des 2 bouts du L.





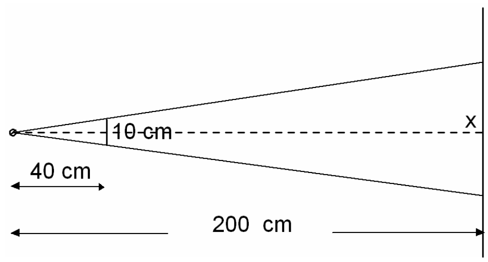
5) a) Dessin de droite, même principe que l'exercice 4.
   b) On peut dessiner des triangles semblables qui sont dans un rapport 108/72 = 3/2 = 1.5.

   Les dimensions du T sur l'écran sont donc multipliées par 3/2 soit 45 et 75 mm.



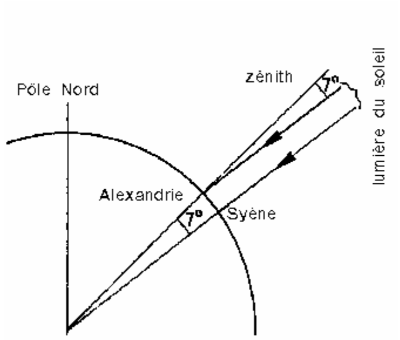
6) Sur le schéma ci-contre, on distingue 2 triangles semblables (théorème de Thalès). X / 150 = 12 / 18 = 2 / 3
   La hauteur de la tour => x = 150 * 12/18 = 150 * 2 / 3 = 100 m

7) Sur le schéma ci-contre, on distingue 2 triangles semblables (théorème de Thalès). X / 200 = 10 / 40 = 1/4
   L'ombre portée sur l'écran est un cercle opaque
   => x = 200 * ¼ = 50 cm = 0.5 m.



8) Même raisonnement que pour l'exercice précédent. Attention : le côté de l'ombre est 6 fois plus grand. Il y a un rapport de 6* pour le théorème de Thalès => x = 72/6 = 12 cm.

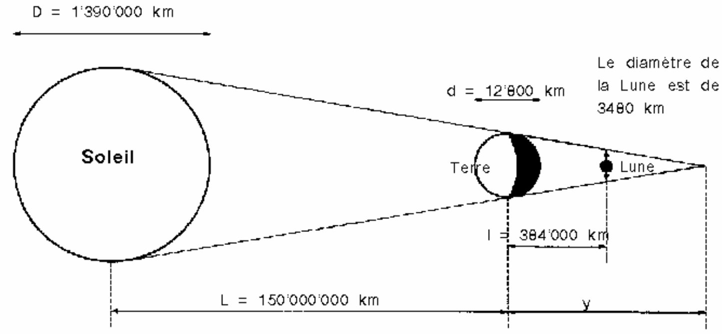
9) **Mesure du rayon de la Terre** : On connaissait la distance d = 5000 stades (1 stade = 157,5 m) entre ces deux villes situées à peu près sur le même méridien et l'angle α = 7° avec le gnomon à Alexandrie. La circonférence de la Terre = 2πR correspond à un angle de 360° et la distance de 5000 stades donc 5000 * 157.5 m correspond à un angle de 7°. => 360/7 = 2π * 6371 / (5000 * 157.5) => R = 5000 * 157.5 * (360/7) / 2π => R = 6445.77 km Différence avec 6371 km = ((6445.8/6371)-1)*100 = 1,2%.



10) On considère l'éclipse de Lune schématisée ci-contre

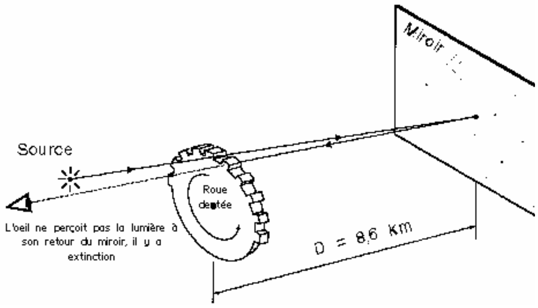
a) Triangles semblables : (L + y)/y = 1'390'000/12'800 = 108.6 => L + y = D/d = 108.6 y => L = 107.6 y et y = L/107.6 = 150'000'000/107.6 => $\boxed{y = Ld/(D-d)}$ = 1'394'133 km.

b) En considérant les 2 petits triangles semblables du bout du chapeau, on peut écrire : (y-l)/y = x/d => x = d(y-l)/y = 12800*(1'394'133-384'000)/1'394'133 = 9274 km



11) Voir la feuille annexée.

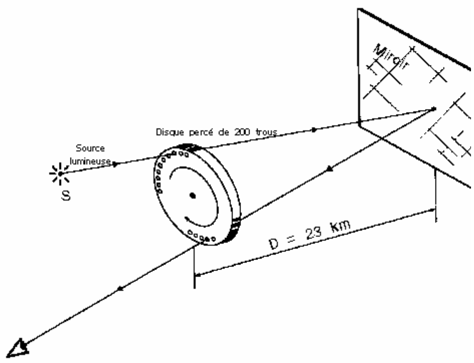
12) **Mesure de la vitesse de la lumière par Fizeau en 1849** : Un pinceau lumineux est projeté sur une roue dentée en rotation. Lorsqu'il passe dans un creux entre deux dents, il n'est pas interrompu. Ensuite, il est réfléchi par un miroir situé à une distance D de la roue. Trajet de la lumière : 2D = 17.2 km



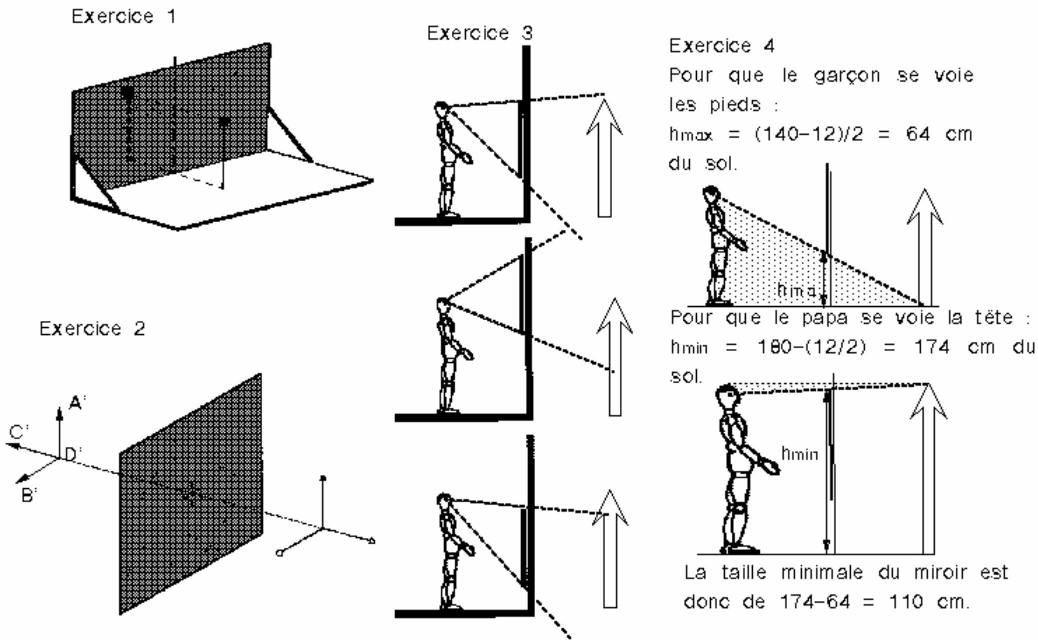
Temps de parcours t = 2D/c = 2*8.6/313300 = 54,9 μs pour le passage d'une dent soit 1/720ème de tour. Période = temps pour faire un tour = 54.9 * 720 = 25.3 t/s

13) **Mesure de la vitesse de la lumière par Cornu en 1874** :

Méthode : Pendant l'aller et retour de la lumière 2D = 46 km, la roue tourne d'un demi trou et la lumière ne peut pas ressortir de la roue. A la première réapparition de la lumière, la roue a avancé d'un trou pendant le trajet 2D de la lumière. La vitesse de la roue augmente de 0 à 900/28 = 32.14 t/s (T = 0.031 s) pour la première réapparition de la lumière. Soit que le disque a tourné de 1/200ème de tour en 1/32.14/200 = 0.156 ms pendant un aller et retour de la lumière 2D. La vitesse mesurée est donc de c = 2D/(T/200)= 2*23/(1.56*10^{-4}) = 295'714 km/s.



Exercices sur la réflexion

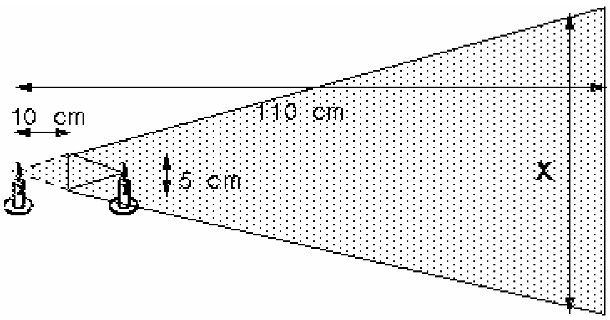


1) Construire le symétrique du point de contact de l'aiguille. L'image est parallèle à l'objet.

2) Construire d'abord le point D' puis tracer les parallèles. Mesurer ensuite.

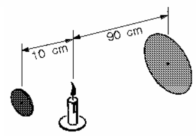
3) a) tête et pieds
   b) tête
   c) pieds.
   Il a d'abord fallu construire le symétrique de la personne par rapport au miroir.

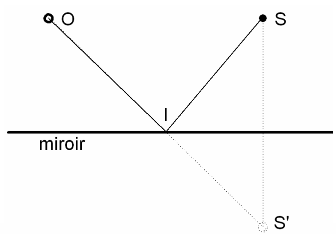
4) Pour trouver h_{min}, il faut considérer le triangle qui part du sommet de la tête et qui a une base de 12 cm. Pour tous les cas de miroirs, les triangles semblables ont des hauteurs de L et 2L à cause de la symétrie. Les tailles au niveau du miroir sont donc divisées par 2. La distance entre le haut du miroir et 180 cm est donc de 6 cm donc 174 cm du sol.



5) Une bougie est située à 10 cm d'un miroir de forme circulaire de 5 cm de diamètre. La flamme est sur l'axe de symétrie du miroir, le plan du mur et le miroir sont parallèles.
Un raisonnement sur les triangles semblables de hauteurs 10 et 110 cm

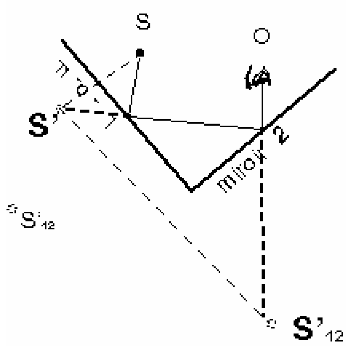
nous montre que : 110 cm/10 cm = x/5 cm => x = 55 cm



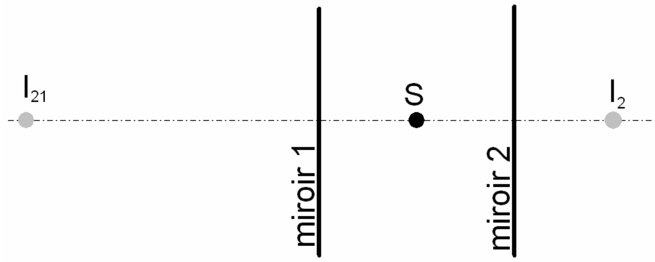


6) Construire le symétrique S' de S puis tracer OS'. C'est le trajet le plus court entre O et S car IS = IS' par symétrie.

7) Construire le symétrique S' de la source par rapport au miroir 1 puis le symétrique S'_{12} de S' par rapport au miroir 2.
Tracer OS'12 qui donne le point I d'intersection avec le miroir 2 puis IS' qui donne le point I' d'intersection avec le miroir 1.
Le trajet de la lumière est SI'IO.



8) On place une source lumineuse S entre deux miroirs plans parallèles.
   a) Il y a une infinité d'images qui sont de plus en plus loin des miroirs.
   b) On ne peut pas tous les observer car les images sont de plus en plus loin. Faire l'expérience entre 2 miroirs parallèles.



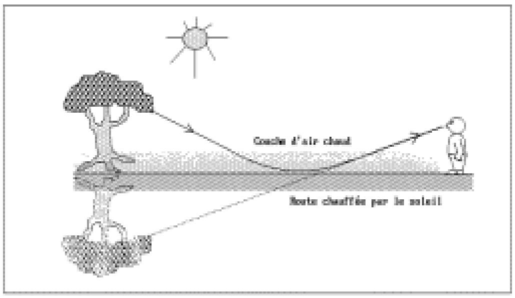
Exercices sur la réfraction de la lumière

1) Problème du maître nageur donné au point 4.3.3 du cours :
   a) En prenant le trajet qui arrive dans l'eau à 7.75 m, on obtient des angles :
   tan i = 7.75/10 à <u>i = 37.78°</u>
   tan r = 2.25/10 à <u>r = 12.65°</u> et sin r et sin i / sin r = 0.6126 / 2195 = 2.8 ~ 3/1
   b) -------------------------------------- à

x [m]	distance sur terre [m]	distance dans l'eau [m]	Temps du trajet [s]
0	10.00	14.14	17.48
2.5	10.31	12.50	15.94
5	11.18	11.18	14.91
7.5	12.50	10.31	14.47
10	14.14	10.00	14.71

2) a) La vitesse de propagation de la lumière dans l'eau est de 225'000 km/s. L'indice de réfraction de l'eau est de n_{eau} = 300'000/225'000 = <u>1.33</u>
   b) L'indice de réfraction du plexiglas est de 1.5. La vitesse de propagation de la lumière dans le plexiglas est de c_{plexi} = 300'000/1.5 = <u>200'000 km/s</u>

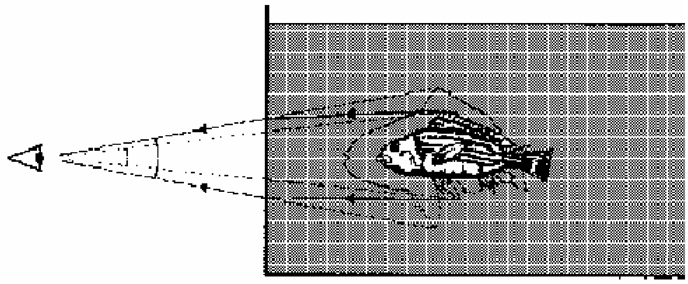
3) a) Un rayon lumineux peut se propager selon une courbe si l'indice de réfraction varie. Il y a alors constamment un changement de direction des rayons. à
   b) Lorsqu'il fait très chaud, on a l'impression que la route (noire) brille. L'indice de réfraction varie et la lumière se propage selon une courbe et, en regardant par terre, on voit le ciel.



   Voir la page Internet http://lycees.ac-rouen.fr/galilee/iesp27/optique/Mirages.htm.

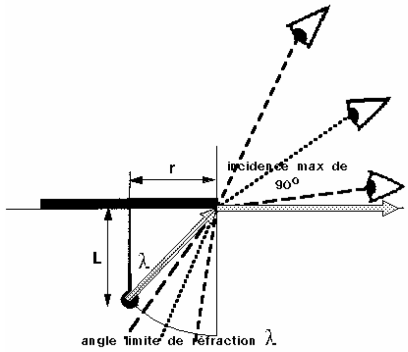
4) Lorsque l'on plonge un crayon dans un verre d'eau, le crayon semble coudé si l'on regarde le verre d'eau avec des rayons non perpendiculaires. Avec la réfraction, la lumière change de direction alors que notre cerveau croit qu'elle va tout droit.

5) Lorsque nous observons des poissons dans un aquarium, ils nous paraissent légèrement plus gros qu'en réalité. La lumière change de direction en se rapprochant de la normale à la paroi de l'aquarium alors que notre cerveau croit qu'elle va tout droit.



6) Calculer l'angle incident limite pour un rayon lumineux qui passe :
   a) d'un verre cristal (n = 1.6) dans l'eau (n = 1.33). 1.6 * sinλ = 1.33 * sin90° => sin λ = 1.33/1.6 = 0.831 => <u>λ = 56.23°</u>
   b) de l'eau (n = 1.33) dans l'air. 1.33 * sinλ = 1 * sin90° => sin λ = 1/1.33 = 0.752 => <u>λ = 48.75°</u>
   c) de l'air dans le verre (n = 1.5) il n'y a pas de réflexion totale car 1 * sinλ = 1.5 * sin90° => sinλ = 1.5 impossible

7) On fait flotter sur l'eau un bouchon (de forme cylindrique) et de rayon r = 25 mm. Une aiguille, d'extrémité A est enfoncée par le centre O de ce disque. On désire que la tête A de cette aiguille ne puisse être vue quelle que soit la position de l'œil au-dessus de la surface de l'eau. L'angle d'incidence maximum est donc de 90° pour un angle limite de réfraction $\lambda = 48.75°$ (voir 6b).
On retrouve l'angle λ sur un triangle rectangle de cathètes r et L : $\tan\lambda = r/L \Rightarrow L = r/\tan\lambda = 21.9$ mm

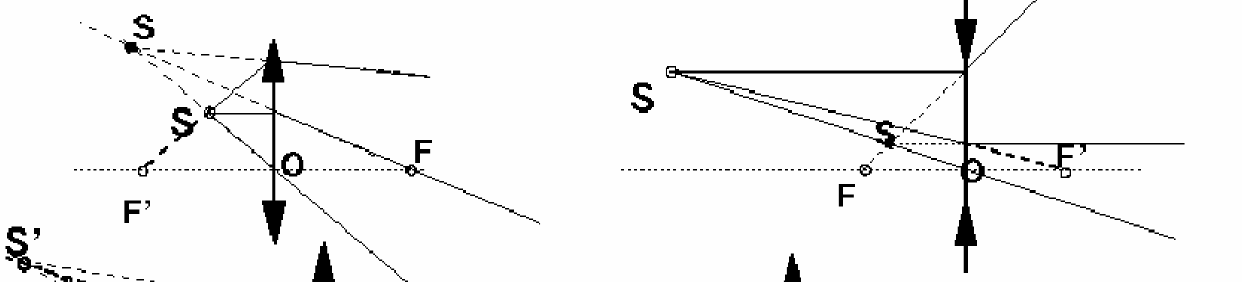


Exercices sur les lentilles

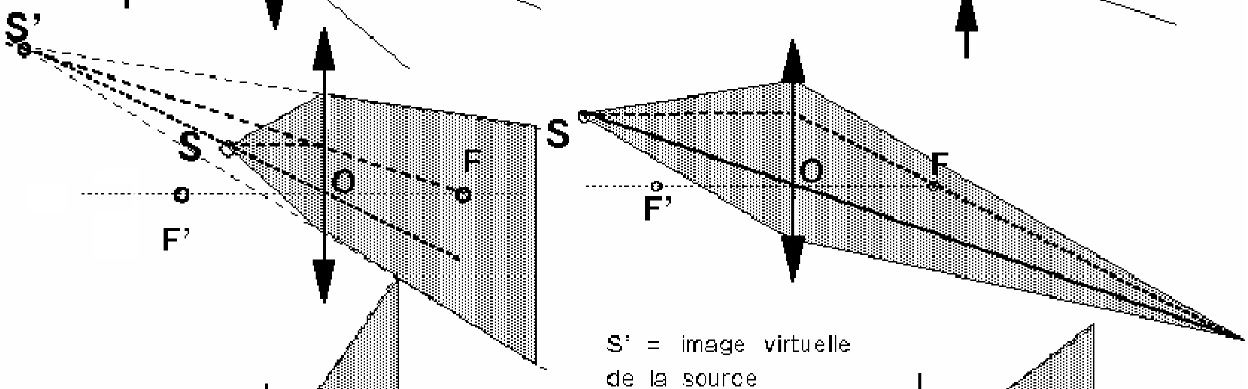
1) Trois rayons parallèles arrivent perpendiculairement sur la face plane d'une lentille plan-convexe en verre d'indice de réfraction n = 1.5 et de rayon R = 20 cm et d'épaisseur maximale e = 1 cm. La distance entre les rayons est de 4 cm et ils sont parallèles à l'axe optique.
Un exemple de construction est donné à la page L 10 du cours.

2) Même exercice pour une lentille plan-concave de dimensions semblables. Un exemple de construction est donné à la page L 11 du cours.

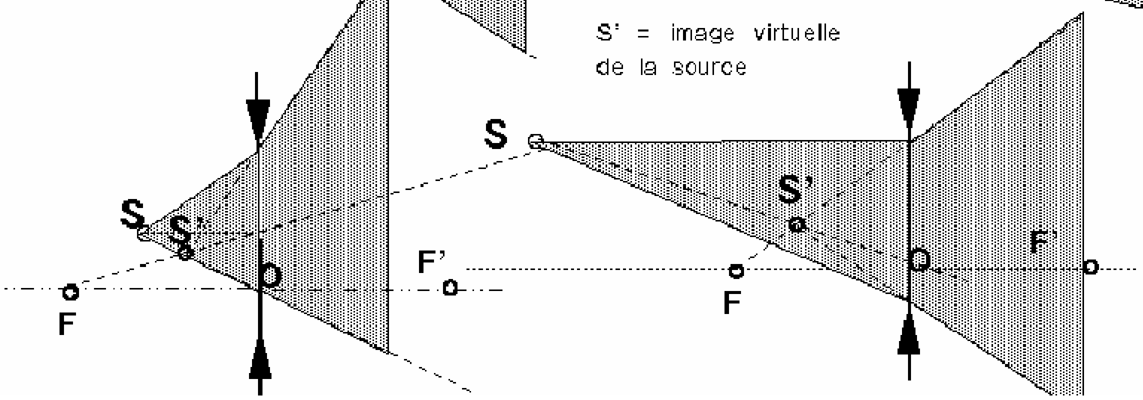
3) Dans les 2 cas les images sont virtuelles et les 3 rayons divergent



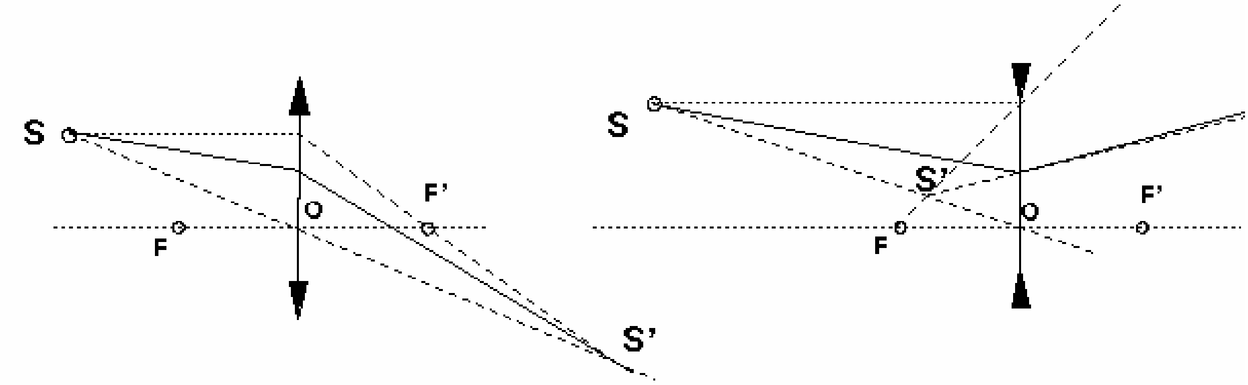
4)



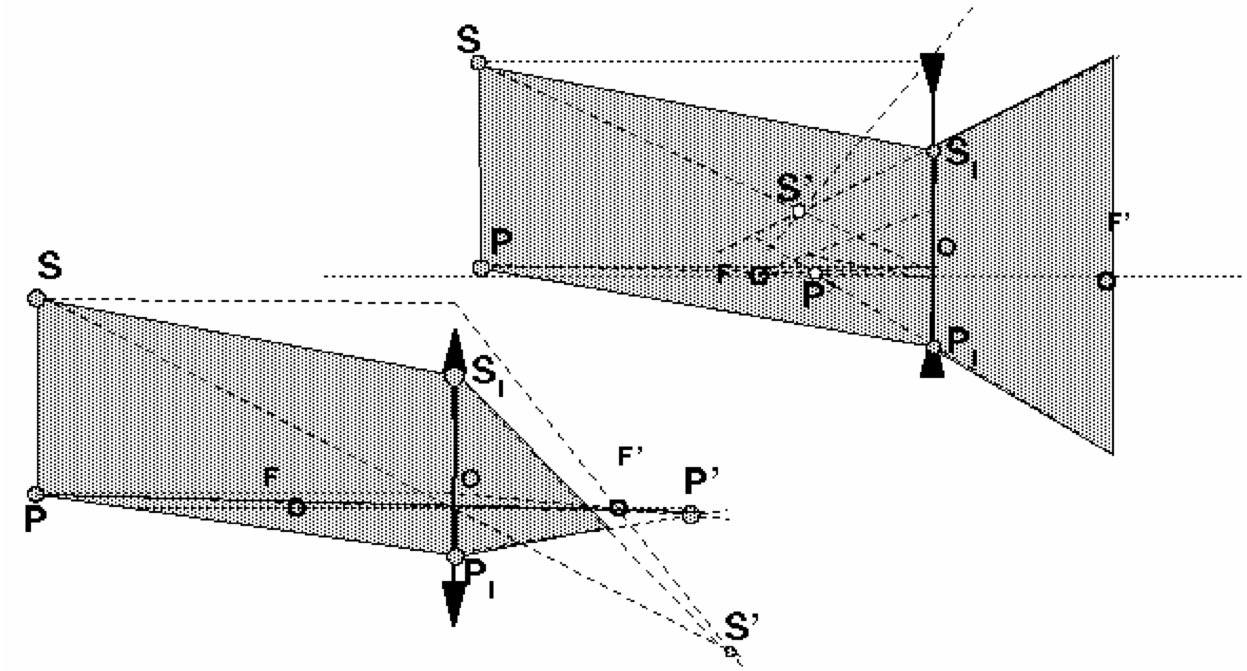
5)



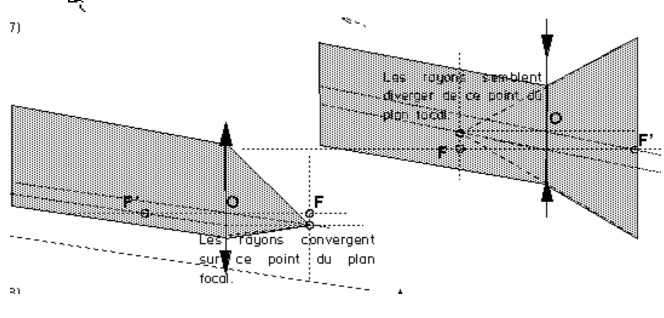
6) Construire d'abord les images S' : elle est réelle après la lentille convergente et virtuelle après la lentille divergente. On peut ensuite traces les rayons.



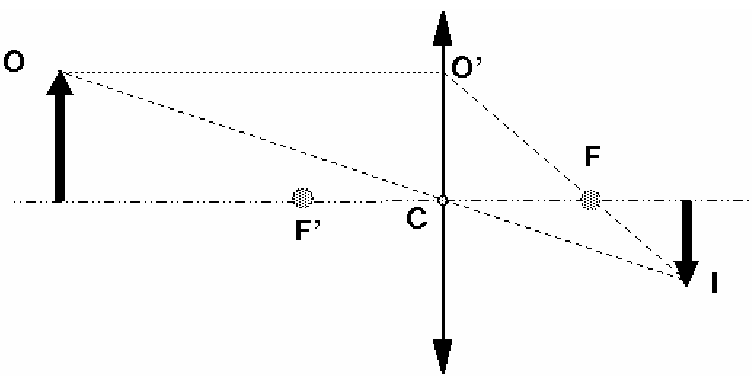
7) Pour construire l'image du faisceau parallèle incliné sur l'axe optique, il faut construire l'image S' du point S en haut à gauche du faisceau puis l'image P' du point P. Relier ensuite S' et S_I et P' et P_I de l'autre côté de la lentille.



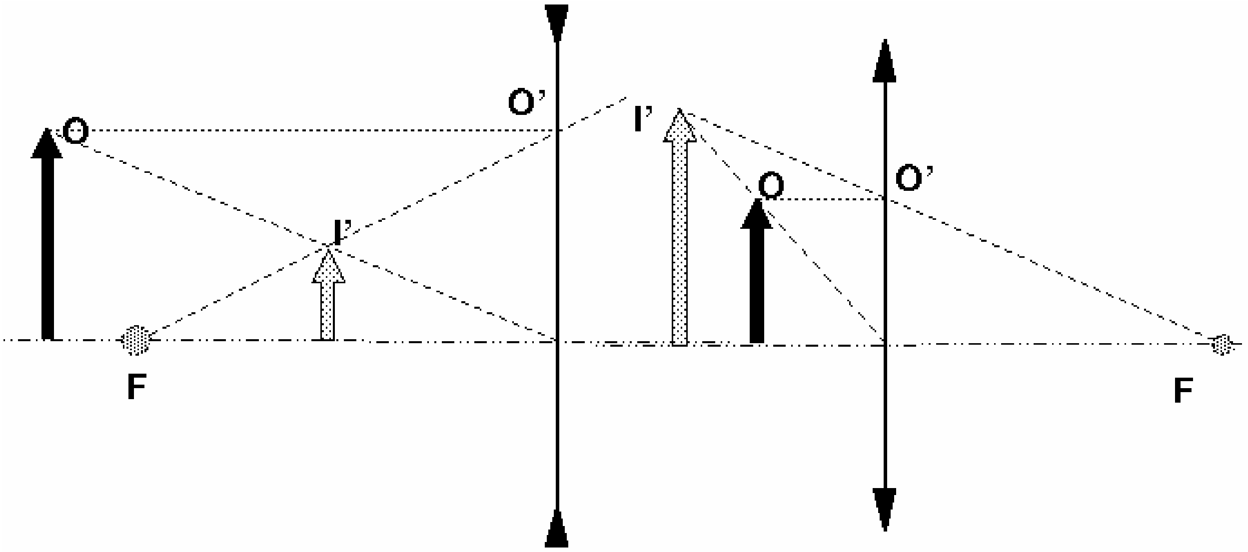
Il est aussi possible de tracer un rayon parallèle du faisceau qui passe par le centre de la lentille. L'intersection de ce rayon et du plan focal (perpendiculaire à l'axe optique passant par le foyer) donne le point où convergent les rayons ou le point d'où ils semblent diverger.



8) Relier les sommets de O et I. L'intersection avec l'axe optique donne le centre de la lentille. Tracer la lentille convergente (image réelle renversée). Tracer une parallèle à l'axe optique par le sommet O qui donne le point O'. Relier O' et I ce qui donne le foyer F.



9) Même construction avec des images virtuelles.



Exercice Ondes électromagnétiques p. L 19

Calculer la fréquence, la longueur d'onde et l'énergie en eV (1 eV = $1.6 * 10^{-19}$ J) :

a) Photon radio : fréquence f = 100 MHz = 10^8 Hz ;

longueur d'onde $\lambda = c/f = 3*10^8/10^8 =$ <u>3 m</u> ;

Energie $E = h\ f = 6.62 * 10^{-34} * 10^8 = 6.62 * 10^{-26}$ J $= 6.62 * 10^{-26} / 1.6 * 10^{-19}$
<u>$E = 4.14 * 10^{-7}$ eV = 0.4 µeV</u>.

b) Photon visible jaune : longueur d'onde $\lambda =$ 0,5 µm = $5*10^{-7}$ m ;

fréquence $f = c/\lambda$ => $f = 3*10^8 / 5*10^{-7} =$ <u>$6*10^{14}$ Hz</u> ;

Energie $E = h\ f = 6.62 * 10^{-34} * 6*10^{14} = 3.97 * 10^{-19}$ J $= 3.97 * 10^{-19} / 1.6 * 10^{-19}$ =>
<u>E = 2.48 eV</u>.

c) Rayon X : fréquence f = 10^{18} Hz ;

longueur d'onde $\lambda = c/f = 3*10^8/10^{18} =$ <u>$3*10^{-10}$ m = 3 Å</u> ;

Energie $E = h\ f = 6.62 * 10^{-34} * 10^{18} = 6.62 * 10^{-16}$ J $= 6.62 * 10^{-16} / 1.6 * 10^{-19}$ =
<u>$E = 4.14 * 10^3$ eV = 4.14 keV</u>.

d) Photon γ : longueur d'onde $\lambda = 10^{-15}$ m

fréquence $f = c/\lambda$ => $f = 3*10^8 / 10^{-15} =$ <u>$3*10^{23}$ Hz</u>

Energie $E = h\ f = 6.62 * 10^{-34} * 3*10^{23} = 1.99 * 10^{-10}$ J $= 1.99 * 10^{-10} / 1.6 * 10^{-19}$ =
<u>$E = 1.24 * 10^9$ eV = 1.24 GeV</u>.

Corrigé des exercices sur la physique nucléaire

5.1 Exercices sur le noyau *(PN 2)*

Nom	Nb nucl.	rayon [fm]
^{4}He	4	1.90
^{27}Al	27	3.60
^{64}Cu	64	4.80
^{125}I	125	6.00
^{216}Po	216	7.20
^{238}U	238	7.44

1) Trouver les rayons nucléaires de ^{4}He, ^{27}Al, ^{64}Cu, ^{125}I, ^{216}Po et ^{238}U.

Le rayon du noyau est de : $\boxed{r = 1,2\ A^{1/3}\ fm}$ (1 fm = 1 femtomètre = 10^{-15} m) et A = nombre de nucléons dans le noyau.

2) Quelle fraction du volume de l'atome d'hélium est occupée par son noyau ? (Supposer un rayon atomique de 1Å = 10^{-10} m.

Rapport des volumes : V_{noyau}/V_{atome} = $(R_{noyau}/R_{atome}/)^3$ =. $4/3\ \pi\ R_n^3 / (4/3\ \pi\ R_a^3) = (R_n/R_a)^3 = (1.9 * 10^{-15} / 10^{-10})^3$

è V_{noyau}/V_{atome} = <u>$6.86 * 10^{-15}$</u>.

3) Une étoile à neutrons est supposée avoir une masse comparable à celle du soleil (M = 2 * 10^{30} kg et R = 700'000 km) mais elle est formée de neutrons mis "côte à côte" sous l'effet de la force gravifique. On pourra alors prendre l'hypothèse que la densité de matière est égale à celle du noyau. Calculer le rayon de l'étoile si elle est sphérique et en admettant que le soleil est composé d'hydrogène uniquement. R_H = 1,2 fm comme A = 1.

Si l'on admet que le soleil est homogène et constitué d'atomes d'hydrogène : $R_{S.}$ / $R_{E.N.}$ = R_{at} / R_n = $0.53*10^{-10}/1.2*10^{-15}$ = 44'167. Le rayon de l'étoile à neutrons est donc de $R_{\ E.N.}$ = $R_{S.}$ * R_n / R_{at} = 700'000/44'167 = 15.85 km = 15'850 m.

Masse volumique : $\rho = M/(4/3\pi r^3) = 2 * 10^{30} / (4\pi(15850^3/3) = 1.12 * 10^{17}$ kg/m³ = 120'000 t/mm³.

5.2 Exercices sur les isotopes *(PN 2)*

Atome	Masse at.	Nb. p^+	Nb. neutrons
C	14	6	8
Cl	36	17	19
Cu	64	29	35
Pb	208	82	126

1) Le nombre de neutrons est la différence A - Z entre la masse atomique A (64 pour le cuivre) et le numéro atomique ou nombre de protons Z dans le noyau (29 pour le cuivre) donc 35 = 64-29 pour le cuivre.

2) Parmi les noyaux ^{1}H ; ^{2}H ; ^{3}H et ^{4}He :

a) ^{3}H et ^{4}He ont 2 neutrons (A – Z = 3-1 et 4-2 = 2)

b) Ceux qui ont le même nombre de protons dans le noyau (donc le même nombre d'électrons) ont les mêmes propriétés chimiques soit ^{1}H ; ^{2}H et ^{3}H qui ont 1 proton et 1 électron.

5.4 Exercices sur la demi-vie *(PN 5)*

1) a) Chaque demi vie, la radioactivité décroît de moitié. Au bout de trois périodes, la radioactivité a décru de ½ * ½ * ½ = 1/8. Sa demi-vie est donc de <u>T = 24/3 = 8 h</u>

b) 1/64 = ½*½*½*½*½*½ = 1/2^6. Il a fallu 6 périodes depuis le début <u>6T = 48 h</u>.

2) La demi vie effective est de 6 jours (= 18/3) car, comme dans le premier exercice, il a décru d'un facteur 8 en 18 jours. La demi-vie biologique de cet isotope est supérieure à la demi vie biologique : $1/T_{eff} = 1/T + 1/T_b$ la demi-vie physique est de 10 jours => $1/6 = 1/10 + 1/\ T_b$ => T_b = 15 j.

3) Un radio-isotope a une demi-vie de 10 heures. Au bout de T = 10 h, il restera ½ ; au bout de 2T = 20 h, il restera ¼ ; ; au bout de 3T = 30 h, il restera 1/8 = <u>12.5%</u> ($N/N_o = 1/2^3 = 1/8$).

4) *Combien de demi-*vies doivent s'écouler avant que l'activité d'un radio-isotope n'ait diminué de 1% ?

99% = 0.99 = $N/N_o = 1/2^n$ => $\log(N/N_o) = -n \log(2)$ => $\boxed{n = -\log(N/N_o)/\log(2)}$ = => n = -log(0.99)/log(2) = -ln(0,99)/ln(2) = <u>0,0145 demi-vies.</u>

Le carbone 14 a une demi-vie de 5730 ans

5) *Une poutre en bois contient 20% de ^{14}C. Quel est l'âge de la poutre si l'on suppose que les taux du ^{14}C atmosphérique n'ont pas changé ?* *Même type d'exercice que le 4 :* 20% = 0.20 = $N/N_o = 1/2^n$ => $\log(N/N_o) = -n \log(2)$ => $\boxed{n = -\log(N/N_o)/\log(2)}$ = -log(0.2)/log(2) ou n = ln(0,2)/ln2 = 2.32 et t = nT = 2.32 T = <u>13'305 ans.</u>

6) Un bol en bois a une activité en ^{14}C égale au quart de celle observée dans des objets en bois contemporains. Estimer son âge en supposant que les taux du ^{14}C atmosphérique n'ont pas changé. Comme le taux de C_{14} a diminué d'un facteur 4 ($N/N_o = 1/2^2$), Il s'est passé deux demi-vies de 5730 ans donc t = 2T = <u>11'460 ans.</u>

7) Pourquoi n'y a t il pas de radiocarbone dans les organismes fossiles ? Parce qu'il n'y a pas de carbone dans les organismes fossiles.

8) *Le carbone des organismes vivants contient du ^{14}C dans une proportion d'environ 10^{-12} atomes de ^{14}C pour un atome de ^{12}C. Quelle est la proportion d'atomes de ^{14}C pour un atome de ^{12}C dans un échantillon âgé de 4000 ans ?* $x/10^{-12} = 1/(2^{(4000/5730)})$ => $\log(x) - \log(10^{-12}) = -(4000/5730) \log 2$ => $\log(x) = \log(10^{-12}) + (4000/5730)*\log(2) = -12.21$ et
$x = 10^{(-12.21)}$ => <u>$x = 6,164 * 10^{-13}$</u>

(ou $N/N_o = \exp(-t \ln 2 / T) = \exp(-4000*\ln 2/5730) = 0.6164$)

9) Une roche contient quatre noyaux de ^{207}Pb pour un noyau d'^{235}U. Quel est l'âge de la roche ? (Supposer que la totalité du ^{207}Pb provient de la désintégration de l'^{235}U.) L'uranium 235 a une demi-vie de 7.1 * 10^8 ans. $N/N_o = 1/4$ => t = 2T = 1,42 * 10^9 ans = 1,42 Gans.

10) On a observé que l'eau puisée dans un puits profond n'a que le <u>quart de ^{32}Si</u> trouvée dans les eaux de surface. Combien de temps faut-il à l'eau de source pour se renouveler ? (La demi-vie du ^{32}Si est de 650 ans. Admettre que l'eau renouvelée contient un quart de ^{32}Si.) Il n'y a plus que le quart de ^{32}Si donc 2 demi-vies se sont écoulées : $N/N_o = 1/4$ => <u>t = 2T = 1300 ans.</u>

5.6 Exercices sur les réactions nucléaires *(PN 8)*

1) Dans les réactions suivantes (d = ^2H) :

a)	p + ^{12}C	->	d + ^{11}C	(A = 13 et Z = 7 protons)
b)	^3He + ^3He	->	α + p + p	(A = 6 et Z = 4 protons)
c)	p + ^{14}N	->	^{12}N + ^3H	(A = 15 et Z = 8 protons)
d)	d + d	->	^3H + p	(A = 4 et Z = 2 protons)
e)	^6Li + d	->	α + α	(A = 8 et Z = 4 protons)
f)	α + ^{16}O	->	^{19}F + p	(A = 20 et Z = 10 protons)

2) Dans les processus de désintégration suivants La charge du noyau est conservée
Radioactivité β^- : (désintégration du neutron) n -> p + e^- + antineutrino <u>ν</u>
Radioactivité β^+ ; (désintégration du proton) p -> n + e^+ + neutrino ν(formulaire CRP p. 189 et 190)

a)	^{11}C	->	^{11}B + β^+ + ν	(A = 11 et charge noyau = +6 q_e)
b)	^{32}P	->	^{32}S + β^- + <u>ν</u>	(A = 32 et charge noyau = +15 q_e)
c)	^{240}Pu	->	^{236}U + α	(A = 240 et charge noyau = +94 q_e)

3) En 1921, Rutherford produisit des noyaux d'hydrogène ou protons en bombardant de l'azote (^{14}N) avec des particules α (^{4}He). ^{14}N + ^{4}He : (A = 18 et Z = 7+2 = 9)

^{14}N + ^{4}He -> ^{16}O + p + n (A = 16+1+1 = 18 et Z = 8+1+0 = 9)

L'autre particule produite est le <u>neutron</u>.

4) En bombardant du béryllium (^{9}Be) avec des particules α (^{4}He), James Chadwick (1891-1974) produisit des neutrons. ^{9}Be + ^{4}He : A = 13 et Z = 4+2 = 6

^{9}Be + ^{4}He -> ^{12}C + n (A = 12+1 = 13 et Z = 6+0 = 6)

L'autre élément obtenu dans cette transmutation est le <u>carbone 12</u>.

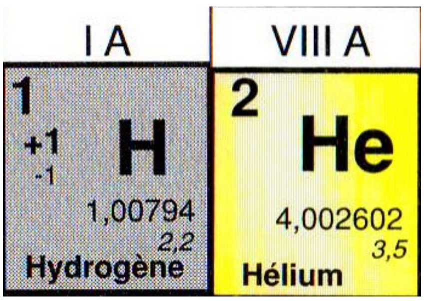
5.7 Exercices sur les énergies de liaison (PN 9)

1eV =	$1.60218*10^{-19}$	J…….1MeV =		$1.60218*10^{-13}$	J
1 uma =	$1.66054*10^{-27}$	kg			
Masse du proton =	$1.67262*10^{-27}$	kg	=	1.0072765	uma
Masse du neutron =	$1.67493*10^{-27}$	kg	=	1.0086653	uma
Célérité de la lumière	299'792'458	m/s			

1) La masse atomique de ^{208}Pb vaut 207,9766 uma. Que vaut l'énergie moyenne de liaison par nucléon ? Masse des nucléons = (82 protons et 208-82=126 neutrons) m_o = $82*1.67262*10^{-27}+126*1.67493*10^{-27}$ = $3.482*10^{-25}$ kg. Défaut de masse Δm = $2.84256*10^{-27}$ kg = 1.712 uma.
Énergie de liaison Δmc² = $2.84256*10^{-27}$ *(29979245)² = $2.555*10^{-10}$ J = 1595 MeV. Energie de liaison par nucléon = 1595/208 = 7.67 MeV/nucléon.

2) La masse atomique de ^{207}Pb vaut 206,9759 uma et celle de ^{208}Pb de 207,9766 uma. Quelle est l'énergie minimale requise pour enlever un neutron au ^{208}Pb ?
Défaut de masse Δm = (207.9766-1.0086653)-206,9759 = -0.0079653 uma = $-1.32267*10^{-29}$ kg Energie de liaison : E = Δm c² = $1.32267*10^{-29}$ *(29979245)² = $-1.18876*10^{-12}$ J = -7.41962 MeV (1 MeV = $1.60218*10^{-13}$ J).

3) Un noyau a un défaut de masse de 1,5 uma. a) Quelle est son énergie de liaison en MeV ?
Défaut de masse Δm = 1.5 * 1.66 * 10^{-27} kg = 2.5 * 10^{-27} kg. E = Δm c² = $2.23863*10^{-10}$ J =1.397 * 10^{9} eV = <u>1397 MeV</u>. b) Si le nombre de masse est de 200, l'énergie de liaison par nucléon est : E = 1397/200 = <u>6.99 MeV.</u>



4) L'énergie du soleil vient de réactions nucléaires ou 4 protons se transforment en une particule α avec émission de 2 positrons et 2 neutrinos.
Défaut de masse : Δm = 4*1.00794-4.002602 = 0,0292 uma = 4,84 * 10^{-29} kg. Quantité d'énergie libérée dans ce processus : E = Δmc² = 4,36 *10^{-12} J = 4.38 pJ = 27,2 MeV.

b) Quand les gaz H_2 et O_2 se combinent pour former H_2O, 6,2 eV sont libérés par molécule formée. Masse d'hydrogène brûlée pour que l'énergie libérée par la combustion soit égale à celle libérée par la fusion d'un kg d'hydrogène en particules α : 27.2M/6.2 = m_O/1 => m_O = 27.4M/6.2 = <u>4'386'787 kg</u> (Energie produite par la combustion de 1 kg H : 6,51 * 10^{14} J).

5.8 Exercices sur la fission nucléaire *(PN 10)*

1) a) Calculer l'énergie (en joules) libérée par la fission d'un kg d'uranium contenant 90% d'^{235}U en supposant qu'il y a libération de 200 MeV par noyau. Il y a 0.9 N moles d'^{235}U et 0.1 N moles d'^{235}U qui pèsent N(0.9*235+0.1*238) =1000 g. Le nombre de moles d'^{235}U vaut :N = 1000/(0.9*235+0.1*238) = 4,25. Nombre d'atomes d'^{235}U = 0.9 N*N_{Av} = 0.9*4.25*6.02*10^{23} = 2.3*10^{24} at. Energie par atome = 200 MeV = 200M * 1.6*10^{-19} = 3.2*10^{-11} J. Energie thermique totale = 2.3*10^{24} * 3.2*10^{-11} J = <u>7.37*10^{13} J</u> = 20.5 millions de kWh = 20'500 GWh thermique.

b) La capacité de puissance électrique de la Suisse est de 5 GW. Si le rendement dans la production d'électricité à partir du nucléaire est de 30%, à quelle vitesse faut-il consommer du ^{235}U pour fournir cette puissance ? Rendement de 30% = $P_{électrique}$ / $P_{thermique}$ => $P_{thermique}$ = 5/0.3 = 16.67 GW. D'après la valeur calculée en a), il y a 20'500 GWh thermique donc le kg d'^{235}U à 90% permet d'alimenter la Suisse pendant t = 20500/16.67 = 1228 h d'où une vitesse de combustion de 1/1228 = 0.000'814 kg/h = <u>0.814 g/h.</u>

2) a) Calculer le défaut de masse lors de la fission d'un kg à 90% d'^{235}U en supposant qu'il y a libération de 200 MeV par noyau. 200 MeV = 200*10^{6}*1.6*10^{-19} J = 3.2*10^{-11} J ; Δm = E /c² = 3.2*10^{-11}/(3*10^{8})² = 3,55 * 10^{-28} kg ; masse d'un noyau d'U^{235} = 235*1.66*10^{-27} kg = noyau = 0.0906 % <u>=> 0,0813 % pour un kg à 90% d'^{235}U.</u>

b) Calculer la puissance de la bombe qui contiendrait 10 kg d'^{235}U dont la fission s'opère en 0,1 s. Δm = 10 * 0,0813 % = 8,15 g ; E = Δm c^2 = 7,38 * 10^{14} J ; P = E/t = <u>7,38 * 10^{15} W</u>.

5.9 Exercices sur la fusion nucléaire *(PN 10)*

1) a) A quelle température l'énergie cinétique thermique W = 3/2 k T => T = 2W/3k = (où k = 1.38 * 10^{-23} J/K est la constante de Boltzmann) d'un noyau est-elle égale à 0,1 MeV ?
Energie E = 0.1 MeV = 1.60218*10^{-14} J = l'énergie cinétique thermique W = 3/2 k T
T = 2W/3k = 2*1.60218*10^{-14} /(3* 1.38 * 10^{-23}) = 7,73 * 10^{8} K.

b) Pourquoi n'est-il pas nécessaire d'atteindre cette température pour amorcer une réaction de fusion qui requiert une énergie cinétique de 0,1 MeV) à cause de la pression qui permet aux noyaux de se rapprocher suffisamment pour qu'ils puissent interagir.

2) La réaction de fusion deutérium-tritium est la suivante : $\boxed{^{2}H + {}^{3}H \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n + \gamma}$

a) Quelles sont l'énergie et la fréquence du rayon γ

Elément	masse atomique
^{2}H	2.0141
^{3}H	3.0160492
^{4}He	4.002602
^{1}n	1.0086653

Défaut de masse Δm = 2.0141 + 3.0160492 - 4.002602 - 1.0086653 = 0.0188819 uma = 3.135*10^{-29} kg
Energie de liaison : E = Δm c² = 2.81798+10^{-12} J = 2.82 pJ = <u>17.6 MeV</u>
Relation de Planck E = hf => f = E/h = 2.818*10^{-12} / 6.626076*10^{-34} = <u>4.25 * 10^{21} Hz</u> (γ).

b) Dans 1 kg de deutérium, il y a 500 moles de 2 g soit 500*6.022*10^{23} = 3.011*10^{26} atomes de ^{2}D. L'énergie obtenue par la fusion est de 3.011*10^{26} * 2.81798+10^{-12} J = <u>8.48* 10^{14} J.</u>
Quelle est la masse de tritium qui réagit avec le deutérium ? 1 mole + 1 mole = 2 g de deutérium et 3 g de tritium. => 1 kg de deutérium et <u>1,5 kg de tritium</u>.