

Propédeutique à l'examen d'admission en physique

Jean-Luc Goffin 2026

29 septembre 2026

Table des matières

1	Optique géométrique	7
1.1	Théorie	7
	Réflexion	7
	Réfraction	7
	Lentilles minces	8
1.2	Exercices	9
1.3	Réponses aux exercices	12
2	Mécanique rationnelle	15
2.1	Théorie	15
	Vitesse moyenne et vitesse instantanée - accélération	15
	Mouvement rectiligne à accélération constante	19
	Mouvement rectiligne à vitesse constante	20
	Lois de Newton	20
	Puissance et énergie	21
	Les unités	21
	Gravitation universelle	22
	Conservation de l'énergie	22
	Centre de masse	22
	Leviers	23
2.2	Exercices	24
2.3	Réponses aux exercices	32
3	Ondes	39
3.1	Théorie	39
	Ondes mécaniques	39
	Ondes électromagnétiques	39
	Ondes sinusoïdales	39
	Longueur d'onde	41
3.2	Exercices	41
3.3	Réponses aux exercices	43
4	Électromagnétisme	45
4.1	Théorie	45
	Electricité	45
	Force électrostatique	47
	Champ électrique et champ magnétique	47
4.2	Exercices	49
4.3	Réponses aux exercices	54

Préface

L'antimatière est d'usage courant en médecine. Ce cours est orienté exclusivement vers l'examen d'admission. Que cette frustration soit source de curiosité!

Chapitre 1

Optique géométrique

1.1 Théorie

Le rayon lumineux envisagé ici est parfait. On peut se l'imaginer comme un faisceau laser très fin. Lorsqu'un tel rayon lumineux rencontre une surface, on définit, au point d'impact, la normale, droite imaginaire perpendiculaire à la surface en ce point, afin de mesurer des angles et de définir des plans.

Réflexion

Un rayon lumineux (rayon incident) rencontre une surface réfléchissante, sans changer de milieu.

Le rayon réfléchi se trouve dans le plan d'incidence et

$\hat{i} = \hat{r}$ l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Réfraction

Un rayon lumineux (rayon incident) rencontre une surface et la traverse en changeant de milieu.

Le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence et

les angles sont liés par la formule : $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$

où n_1 est une constante du milieu du rayon 1 appelée indice de réfraction et $n_2...$

NB : si $i_2 \geq 90^\circ$ il n'y a plus de réfraction ; une réflexion est possible.

milieu	indice de réfraction
air	1
eau	1,33
verre	1,5

Lentilles minces

Toutes nos lentilles possèdent un axe de symétrie appelé axe optique et un centre sur cet axe.

L'axe optique est orienté dans le sens de propagation de la lumière. Le centre possède l'abscisse 0.

Comment ça marche ?

Imaginons les lentilles en verre et faisons des exercices dans l'air ambiant.

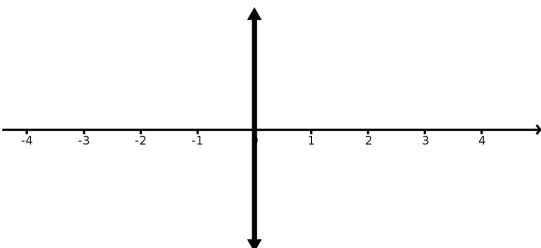
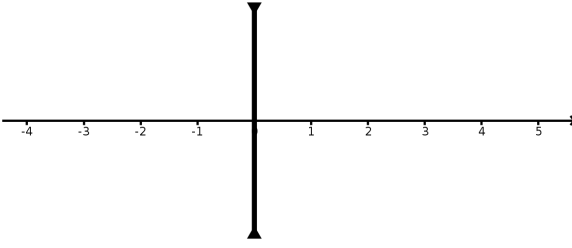
A l'entrée dans la lentille, le rayon subit une première réfraction : il traverse la normale et s'en rapproche.

A la sortie de la lentille, le rayon subit une deuxième réfraction : il traverse la normale et s'en éloigne.

Une lentille peut être convergente (en traversant la lentille les rayons se rapprochent de l'axe optique) ou divergente.

Tout rayon passant par le centre de la lentille n'est pas dévié.

Imaginons le sens de propagation de la lumière de gauche à droite.

lentille convergente	lentille divergente
	

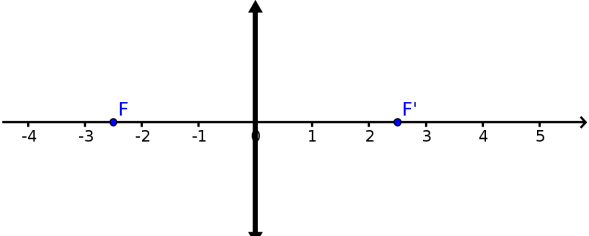
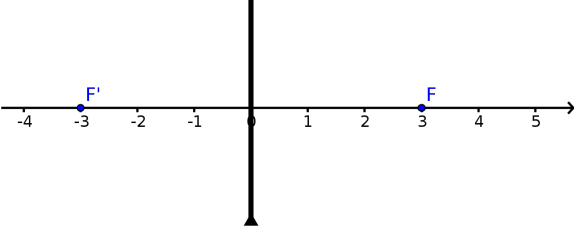
Foyers

Imaginons une source lumineuse placée à l'infini (le soleil convient).

Après avoir traversé une lentille convergente, les rayons convergent vers un point appelé foyer image F' (du soleil).

Après avoir traversé une lentille divergente, les rayons divergent mais on peut les prolonger en amont vers un point appelé foyer image aussi.

Le symétrique (par rapport au centre) du foyer image est appelé foyer objet F .

lentille convergente	lentille divergente
	

Distances focales

On appelle distance focale image f' l'abscisse du foyer image (en mètres). Dans le cas d'une lentille divergente, cette « distance » est négative. Ne nous fâchons pas avec les opticiens...

On appelle distance focale objet f l'abscisse du foyer objet. $f = -f'$

lentille convergente		lentille divergente	
$f' = 2,5$	$f = -2,5$	$f' = -3$	$f = 3$

Image réelle ou virtuelle

Une image réelle peut être collectée sur un écran. Elle est la fin (s'il y a un écran) de la propagation de la lumière. Une image virtuelle est dessinée en dépit du sens de propagation de la lumière. En résumé : orientez l'axe optique !

Taille de l'image

En réduisant objet et image à des segments verticaux de tailles respectives $|O|$ et $|I|$,

$$\frac{|I|}{|x_I|} = \frac{|O|}{|x_O|} \quad \text{où}$$

x_O est l'abscisse de l'objet et x_I l'abscisse de l'image.

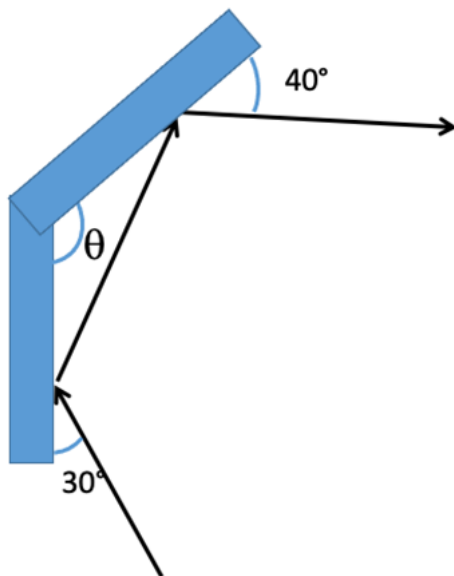
Relation de conjugaison

$$\frac{1}{x_I} - \frac{1}{x_O} = \frac{1}{f'} \quad \text{où}$$

x_O est l'abscisse de l'objet et x_I l'abscisse de l'image.

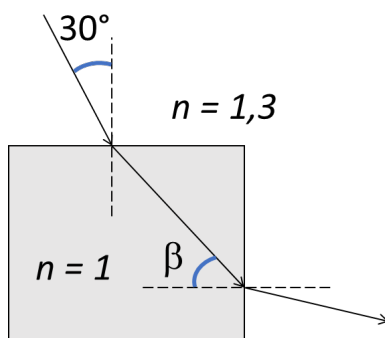
1.2 Exercices

1. (Ex 21) On envoie un rayon lumineux sur un système de deux miroirs plans faisant un angle θ entre eux, comme illustré sur la figure ci-dessous.



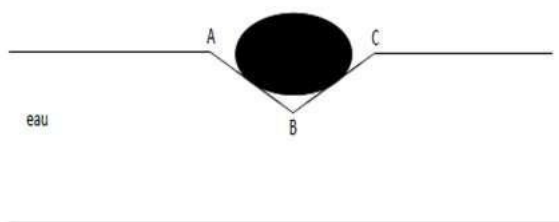
Que vaut l'angle θ ?

2. (Ex 23) Un rayon lumineux se propage dans un milieu d'indice de réfraction $n = 1,3$. Il pénètre dans un milieu d'indice de réfraction $n = 1$, comme représenté sur le schéma suivant.



Que vaut l'angle β ?

3. (Ex 24) Une araignée d'eau, dont le corps est noir et opaque, est posée à la surface d'une mare dont l'eau est transparente et calme. Nous supposons que la surface de la mare prend la forme idéalisée suivante où ABC forme un triangle isocèle. Le fond de la mare est éclairé par la lumière du soleil dont les faisceaux sont parallèles et verticaux.

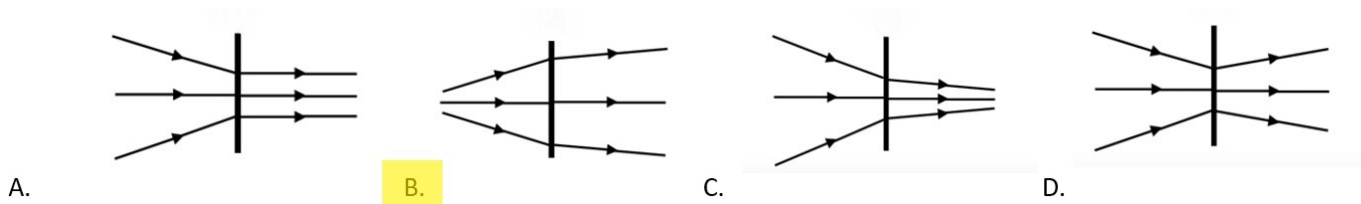


L'ombre de l'insecte sur le fond de la mare est inexistante, de même taille que l'insecte, plus grande/petite que l'insecte ?

4. (Ex 21) Une lentille convergente possède une distance focale $f = 0,05\text{ m}$. On place un objet perpendiculairement à l'axe optique à une distance d de 10 cm de la lentille.

A quelle distance d' de la lentille son image se formera-t-elle ?

5. (Ex 22) Parmi les quatre lentilles minces représentées sur les figures ci-dessous, laquelle est convergente ?



6. (Ex 22) Un objet est situé entre une lentille convergente et son foyer objet.

L'image formée par la lentille est...

- (a) droite et virtuelle.
(b) droite et réelle.
(c) renversée et virtuelle.
(d) renversée et réelle.
7. (Ex 23) Un objet se situe à 5 cm à gauche d'une lentille sphérique mince. Son image se situe à 2,5 cm à gauche de la lentille.

Que vaut la distance focale de la lentille ?

8. (Ex 24) Soit une lentille mince divergente. On observe que des rayons parallèles à l'axe optique divergent après passage par la lentille comme s'ils émergeaient d'un point situé 20 cm avant le centre optique.

A quel endroit doit se trouver un objet pour que son image soit droite, virtuelle et trois fois plus petite que l'objet ?

9. (Ex 25) Un faisceau de lumière parallèle atteint une lentille mince convergente de 25 cm de distance focale. A quelle distance après cette première lentille doit-on placer une seconde lentille mince convergente de 10 cm de distance focale pour que le faisceau qui en ressorte soit à nouveau parallèle ?

1.3 Réponses aux exercices

1. (Ex 21) Dans le triangle de sommet θ , la somme des autres angles vaut 70° (angle d'incidence=angle de réflexion). $\theta = 110^\circ$
2. (Ex 23) l'angle de réfraction vaut $90^\circ - \beta$.

$$1,3 \sin 30^\circ = \sin (90^\circ - \beta) \Rightarrow 0,65 = \cos (\beta) \Rightarrow \beta = \arccos (0,65)$$

Mais aussi

$$0,65 = \sin (90^\circ - \beta) \Rightarrow \arcsin (0,65) = 90^\circ - \beta \Rightarrow \beta = 90^\circ - \arcsin (0,65).$$

3. (Ex 24) Il s'agit d'un problème de réfraction. L'indice de réfraction de l'eau étant plus grand que celui de l'air, les rayons du soleil (verticaux) s'écartent de la normale à BC (et BA). L'ombre est plus grande que l'insecte.

4. (Ex 21)

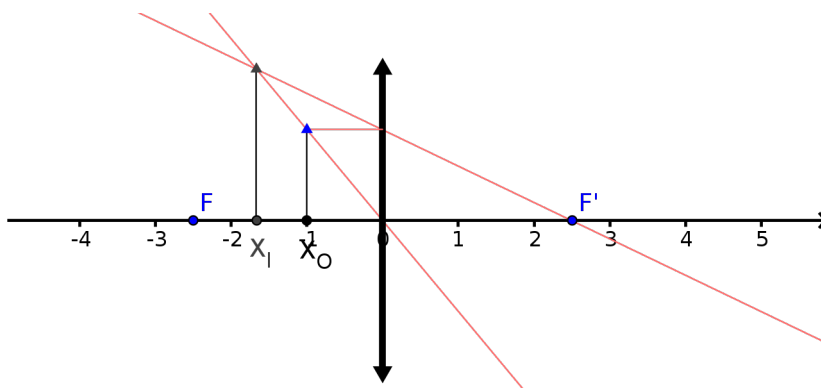
$$\frac{1}{x_I} - \frac{1}{x_O} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{x_I} - \frac{1}{0,1} = -\frac{1}{0,05}$$

$$\frac{1}{x_I} = \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,05} = 10 - 20 = -10$$

$$x_I = -\frac{1}{10} = -0,1 \text{ m}$$

Réponse : 10 cm

5. (Ex 22) Il suffit d'imaginer que la lumière se propage dans l'autre sens (les réfractions ne changent pas). Réponse B.
6. (Ex 22)



Soit x_O l'abscisse de l'objet et x_I l'abscisse de son image. Les rayons du soleil vont vers la droite et n'arriveront pas réellement à l'image.

Réponse : L'image est droite et virtuelle.

7. (Ex 23) Si la lentille était convergente, l'image serait de l'autre côté de la lentille ou plus grande et plus éloignée de l'objet (qui serait entre le foyer et la lentille).

Il s'agit donc d'une lentille divergente. Je fixe le sens de propagation vers la droite. $x_O = -5$ et $x_I = -2,5$ (en centimètres).

$$\frac{1}{x_I} - \frac{1}{x_O} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{-2,5} - \frac{1}{-5} = \frac{1}{f'} \Rightarrow -\frac{2}{5} + \frac{1}{5} = \frac{1}{f'}$$

Réponse : $f' = -5 \text{ cm}$.

8. (Ex 24) Fixons le sens de propagation vers la droite. F' est le point $(-20, 0)$.

Pour que l'image soit droite, il faut que l'image et l'objet soient du même côté de la lentille.

Pour que l'image soit virtuelle, ils doivent se trouver à gauche de la lentille.

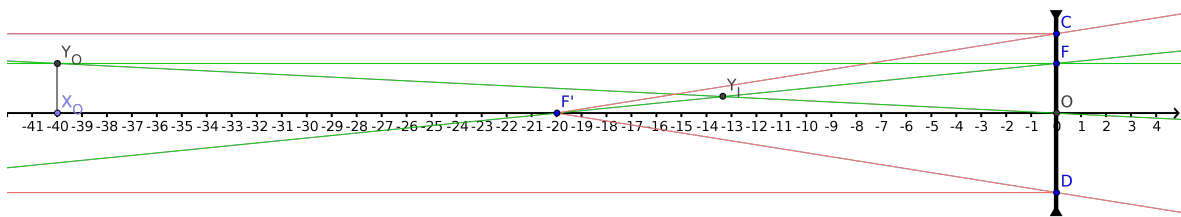
Appelons x_O l'abscisse de l'objet $x_O < 0$.

Pour que son image soit trois fois plus petite que lui,

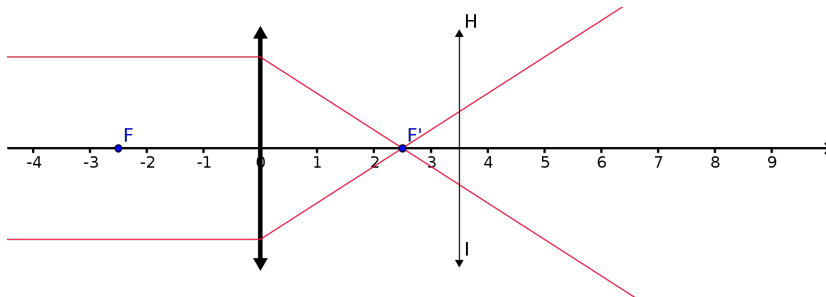
$$\frac{|I|}{|x_I|} = \frac{|O|}{|x_O|} \Rightarrow 3|x_I| = |x_O| \Rightarrow 3x_I = x_O \text{ car } x_I \text{ est négatif aussi.}$$

$$\frac{1}{x_I} - \frac{1}{x_O} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\frac{x_O}{3}} - \frac{1}{x_O} = \frac{1}{-20} \Rightarrow \frac{2}{x_O} = -\frac{1}{20} \Rightarrow x_O = -40.$$

Réponse : 40 cm avant la lentille.



9. (Ex 25) 10 cm après le foyer, soit 35 cm après cette première lentille.



Réponse : 35 cm

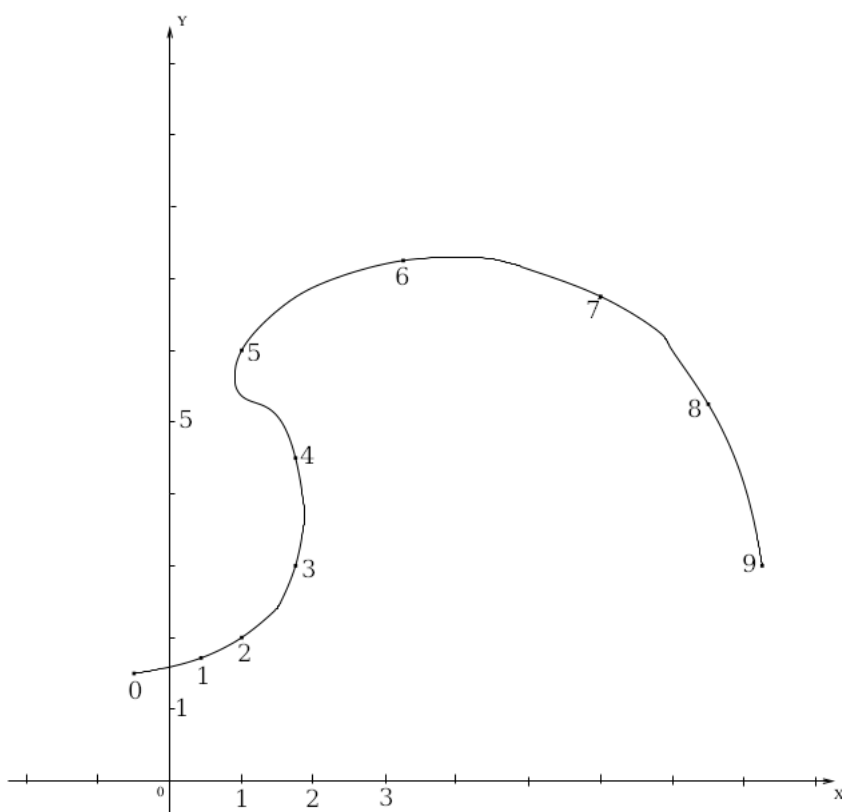
Chapitre 2

Mécanique rationnelle

2.1 Théorie

Vitesse moyenne et vitesse instantanée - accélération

Imaginons un point matériel qui se déplace dans un plan (objet lancé en l'air, boule de billard, ...). Ce plan est muni d'un repère. La position du point est donnée par (x, y) .



Vous voyez à côté de certains points à quel moment le point matériel est passé. Le temps est donné en secondes et la position en mètres.

Reliez la position atteinte en $t = 2$ à la position atteinte en $t = 9$. Ce déplacement est un vecteur. Appelez-le $\vec{d}_1$ et cherchez ses composantes à l'aide de $\vec{d}_1 = P(9) - P(2)$.

Faites de même avec la position atteinte en $t = 2$ et la position atteinte en $t = 8$. Vous obtenez $\vec{d}_2$ et ses composantes.

Faites de même avec la position atteinte en $t = 2$ et la position atteinte en $t = 4$. Vous obtenez $\vec{d}_3$.

Si vous divisez chacun de ces vecteurs par le temps mis par le point matériel pour faire le déplacement, vous obtenez les vitesses moyennes, qui sont des vecteurs $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$ dont vous calculez les composantes (2 décimales).

Toutes ces vitesses moyennes ont pour formule $\frac{P(2 + \Delta t) - P(2)}{\Delta t}$.

Que représentent ces vitesses moyennes? Pas grand-chose! Ce serait plus intéressant d'obtenir la vitesse instantanée en $t = 2$.

Celle-ci s'obtient par $\vec{v}(2) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(2 + \Delta t) - P(2)}{\Delta t}$

et plus généralement $\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t}$.

La vitesse (instantanée) est donc la dérivée de la position.

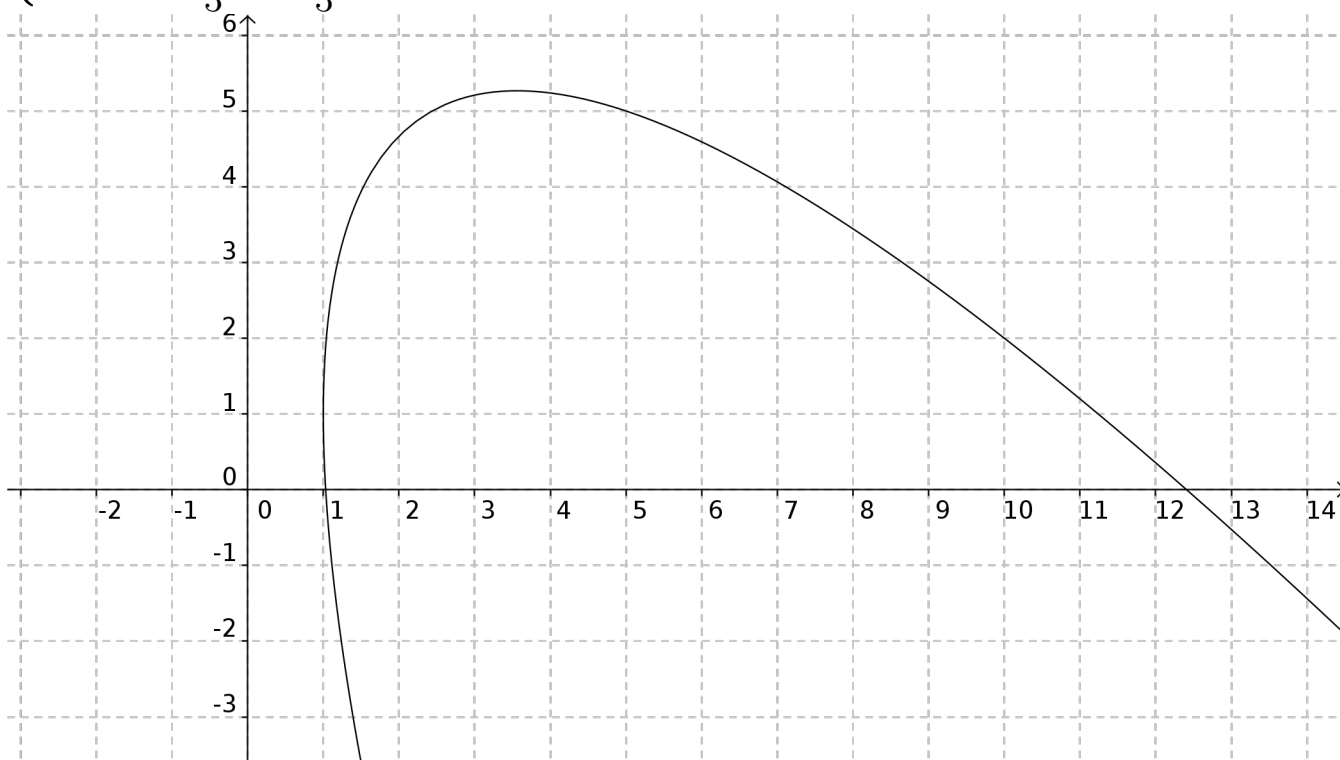
Vérifiez vos réponses

$\vec{d}_1 (7, 25 \quad 1)$	$\vec{v}_1 (1, 04 \quad 0, 14)$
$\vec{d}_2 (6, 5 \quad 3, 25)$	$\vec{v}_2 (1, 08 \quad 0, 54)$
$\vec{d}_3 (0, 75 \quad 2, 5)$	$\vec{v}_3 (0, 375 \quad 1, 25)$

Exercice

La trajectoire ci-dessous parcourue par le point $P(t)$ est donnée par

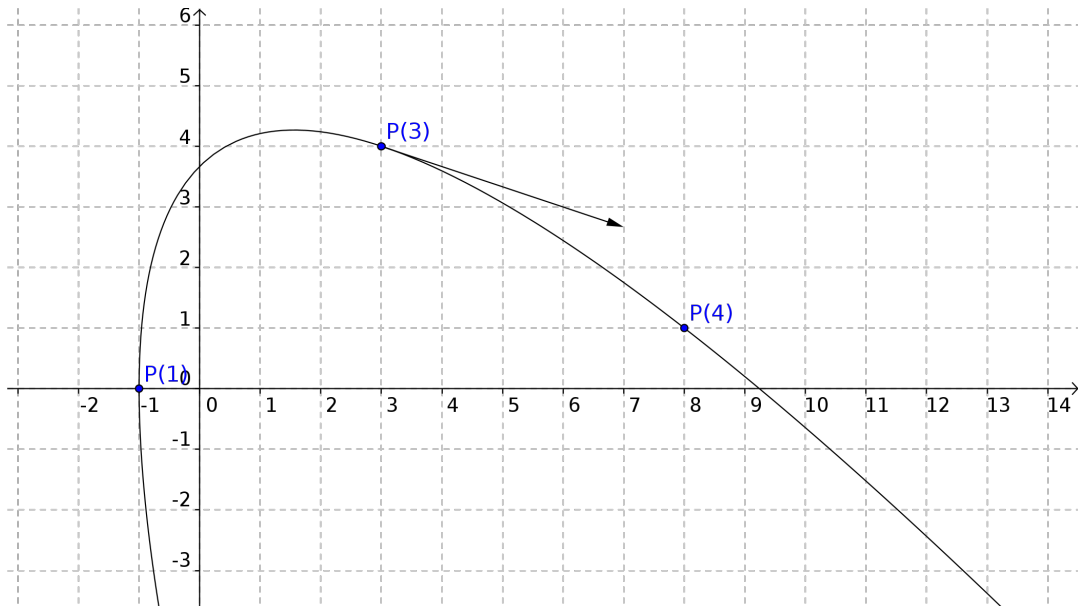
$$\begin{cases} x(t) = t^2 - 2t + 2 \\ y(t) = -\frac{5}{3}t^2 + \frac{26}{3}t - 6 \end{cases}.$$



- 1) Représentez sur la figure $P(1)$, $P(3)$ et $P(4)$, c'est-à-dire la position du point P après 1, 3 et 4 secondes.
- 2) Calculez la vitesse instantanée.
- 3) Représentez sur la figure $\vec{v}(3)$, c'est-à-dire la vitesse instantanée à l'instant $t = 3$.

Vérifiez vos réponses

$$\vec{v}(t) \text{ est donné par } \begin{cases} x'(t) = 2t - 2 \\ y'(t) = -\frac{10}{3}t + \frac{26}{3} \end{cases}.$$



1) et 3)

$$\vec{v}(3) = \left(4, -\frac{4}{3}\right)$$

Notation

En physique, on ne dérive pas toujours par rapport au temps. De nombreuses fonctions ont comme variables $(x, y, z; t)$. La notation ' est donc inutilisable.

On lui préfère $\frac{d}{dx}, \frac{d}{dy}, \frac{d}{dz}, \frac{d}{dt}$.

Ainsi, $\vec{v}(t)$ est donné par
$$\begin{cases} \frac{d}{dt}x(t) = 2t - 2 \\ \frac{d}{dt}y(t) = -\frac{10}{3}t + \frac{26}{3} \end{cases}.$$

La vitesse (instantanée) est la dérivée de la position
peut s'écrire

$$\vec{v}(t) = \frac{d}{dt}\vec{P}(t)$$

Pour des raisons de cohérence, la position est considérée comme un vecteur lié à l'origine.

De la même façon,

L'accélération (instantanée) est la dérivée de la vitesse

$$\vec{a}(t) = \frac{d}{dt}\vec{v}(t)$$

Mouvement rectiligne à accélération constante

Ce mouvement, parfois appelé MRUA est caractérisé par une direction constante et $\|\vec{a}\|$ constante.

On introduit le nombre $a = \|\vec{a}\|$, a sera utilisé pour une accélération, $-a$ sera utilisé pour une décélération.

L'accélération étant la dérivée de la vitesse, la vitesse est une primitive de l'accélération. Plus précisément,

$$v(t) = at + v_0$$

L'interprétation de v_0 est immédiate : c'est la vitesse en $t = 0$.

Pour un mouvement rectiligne à accélération constante,

$$v(t) = v_0 + at$$

La vitesse étant la dérivée de la position, la position est une primitive de la vitesse. Plus précisément,

$$e(t) = e_0 + v_0 t + a \frac{t^2}{2}$$

L'interprétation de e_0 est immédiate : c'est l'espace parcouru en $t = 0$ lors du déplacement.

Déplacement et distance

Il est question de déplacement, d'espace et, dans les exercices, de distance.

Prenons un exemple.

Un objet est lancé verticalement, à partir du sol, à une vitesse initiale de 20 m/s . Au voisinage du sol, il est admis qu'il subit une décélération constante de valeur $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Après un certain temps, l'objet (assimilé à un point matériel) retombe.

Quel est son déplacement ? 0

En effet, le déplacement est un vecteur, seules son origine et son extrémité comptent.

L'équation $e(t) = 20t - 10\frac{t^2}{2}$ est très parlante : $e(t) = 0$ fournit 2 solutions :

$0 = 5t(4 - t) \Rightarrow t = 0$ ou $t = 4$ qui correspondent au départ au retour de l'objet au sol.

L'équation $e(t) = -5t^2 + 20t$ fournit aussi le sommet en $t = \frac{-20}{-10} = 2$.

La distance parcourue jusqu'au sommet est $e(2) = -5.4 + 20.2 = 20$ et donc la distance totale entre le départ et le retour est de 40 m .

Mouvement rectiligne à vitesse constante

Ce mouvement, parfois appelé MRU est caractérisé par une direction constante et $\|\vec{v}\|$ constante.

On introduit le nombre $v = \|\vec{v}\|$, v sera utilisé si l'objet s'éloigne et $-v$ si l'objet se rapproche.

$$a = 0$$

La vitesse étant la dérivée de la position, la position est une primitive de la vitesse. Plus précisément,

$$e(t) = e_0 + vt.$$

Lois de Newton

Première loi de Newton

S'il n'y a pas de force qui s'exerce sur un point matériel, ou si la somme des forces s'exerçant sur lui est nulle, sa vitesse est constante (MRU).

Deuxième loi de Newton

$$m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$$

L'accélération d'un point matériel est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit.

Troisième loi de Newton

Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B.

Remarques

Ces lois sont valables dans un repère idéal. Les corps ou points matériels sont électriquement neutres. Les phénomènes se déroulent à l'échelle macroscopique et à vitesses d'un ordre de grandeur inférieur à c .

La deuxième loi de Newton peut s'écrire

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = \sum_i \vec{F}_i$$

Puissance et énergie

En réalisant le produit scalaire¹ de la deuxième loi de Newton avec la vitesse, nous obtenons

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} \bullet \vec{v} = \sum_i \vec{F}_i \bullet \vec{v} \text{ qui se transforme en}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \sum_i \vec{F}_i \bullet \vec{v}.$$

Cette grandeur est la puissance : $P = \vec{F} \bullet \vec{v}$.

Plus intéressant encore, l'énergie est l'intégrale de la puissance pendant un certain temps :

$E = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} \bullet \vec{v} dt$ et de l'énergie ça se vend, ça s'achète, ça se fabrique, ça se transforme.

L'unité d'énergie est le Joule J .

L'équation $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \sum_i \vec{F}_i \bullet \vec{v}$ nous montre que $T = \frac{1}{2} m v^2$ est une énergie : c'est l'énergie cinétique.

L'unité de puissance est le Watt W . $1W.1s = 1J$

$1 kWh = 3,6 MJ$ Le kWh a été abandonné en 1960. Certains fabricants devraient se mettre à jour...

L'unité de force est le Newton N .

$$1W = 1N.1m/1s$$

$$1N = 1W.1s/1m$$

Lorsqu'une force provoque un déplacement, l'énergie, appelée travail, est définie par $T = \vec{F} \bullet \vec{AB}$.

Les unités

L'unité de masse est le mètre m , l'unité de temps la seconde s et l'unité de masse le kilogramme kg .

Ce sont des unités de base dont le lecteur trouvera aisément la définition.

Voici le tableau des grandeurs dérivées avec leurs unités et leurs expressions en unités de base.

grandeur	unité	expression
vitesse	m/s	m/s
accélération	m/s^2	m/s^2
force	N	$kg m/s^2$
puissance	W	$kg m^2/s^3$
énergie	J	$kg m^2/s^2$

¹Le produit scalaire de 2 vecteurs (de même origine) est le nombre $\|\vec{a}\| \|\vec{b}\| \cos \vartheta$.

Gravitation universelle

Formulée également par Isaac Newton, cette loi d'attraction se formule :

Deux corps ponctuels de masses respectives M_A et M_B s'attirent avec des forces vectoriellement opposées et de même valeur absolue. Cette valeur est proportionnelle au produit des deux masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Ces 2 forces opposées ont pour axe commun la droite passant par les centres de gravité de ces deux corps. Mathématiquement,

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = G \frac{M_A M_B}{r^2} \frac{\overrightarrow{BA}}{\|\overrightarrow{BA}\|} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$

En utilisant les unités SI (N, kg, m), $G \cong 6,67 \cdot 10^{-11}$.

Pour un objet de masse m proche de la surface de la terre,

$$G \frac{m M_T}{r^2} \simeq 10m.$$

Ainsi, $ma = F$ devient $ma = 10m$ et $a \cong 10$.

Cette constante, au voisinage du sol, est appelée g .

On a donc, au voisinage du sol, $ma = mg$.

Le travail de cette force, lors d'un déplacement dans ce voisinage, est

$$T = \vec{g} \bullet \overrightarrow{AB}.$$

Comme $\vec{g}$ est vertical, le produit scalaire se fait en projetant $\overrightarrow{AB}$ sur $\vec{g}$; cela donne

$V = mgh$ appelée énergie potentielle (h est la différence d'altitude).

Conservation de l'énergie

Lors d'un phénomène sans perte d'énergie (frottements, dissipation, bruit, ...)

$$T + V = c^{ste}$$

ce qui signifie que la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle est une constante.

Centre de masse

Le centre de masse G d'un système de points matériels de positions M_i et de masses respectives m_i est défini par $\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_i m_i \overrightarrow{OM_i}}{\sum_i m_i}$.

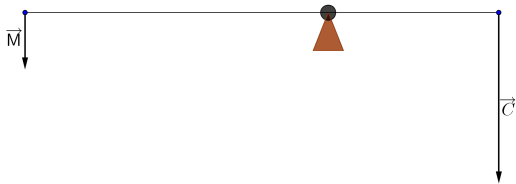
C'est donc le point moyen pondéré par les masses. L'origine O des vecteurs est un point fixe quelconque.

Leviers

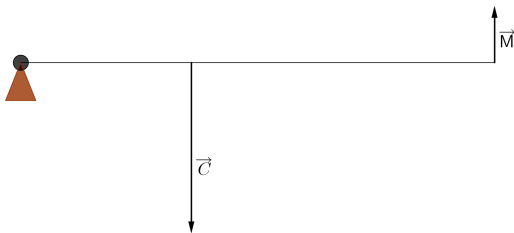
Un levier est composé d'un pivot, d'une force $\vec{C}$ appelée charge et d'une force $\vec{M}$ appelée motrice.

Une barre rectiligne infiniment rigide et de masse nulle connecte les trois (le levier).

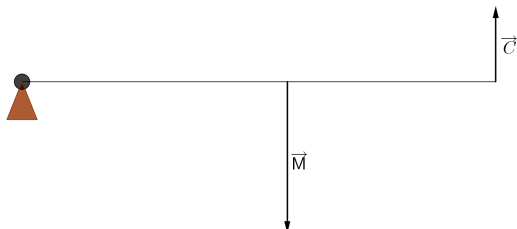
Levier inter-appui (pied de biche)



Levier inter-résistant (brouette)



Levier inter-moteur (pince à épiler)

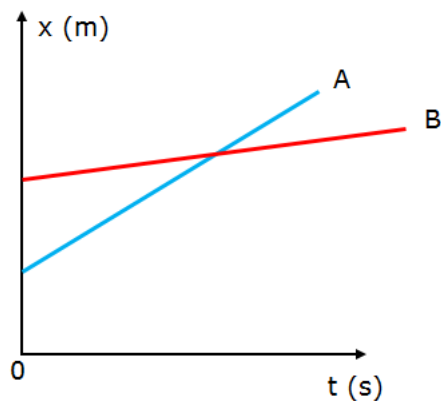


Définissons r_c , la distance entre le point d'appui et le point d'application de la charge et r_m la distance entre le point d'appui et la force motrice. Dans tous les cas,

$$r_c \cdot \vec{C} = r_m \cdot \vec{M}$$

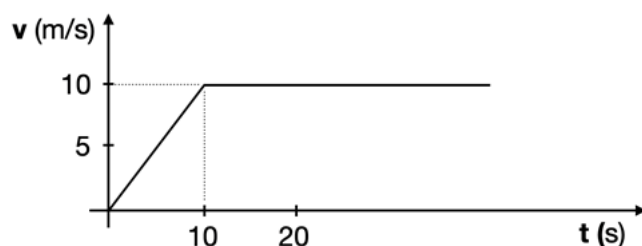
2.2 Exercices

1. (Ex 21) Deux voitures A et B évoluent le long d'une route rectiligne. Le graphe ci-dessous représente la position x des deux voitures A et B au cours du temps.



Parmi les propositions suivantes, laquelle est correcte ?

- (a) La voiture A va plus vite que la voiture B.
 - (b) La voiture B va plus vite que la voiture A.
 - (c) Les deux voitures ont, à un moment donné, la même vitesse.
 - (d) Les voitures ont des accélérations différentes.
2. (Ex 21) Une voiture se déplace en ligne droite. L'évolution de sa vitesse v en fonction du temps t est représentée sur la figure ci-dessous.



Quelle est la distance parcourue par la voiture après 20 s ?

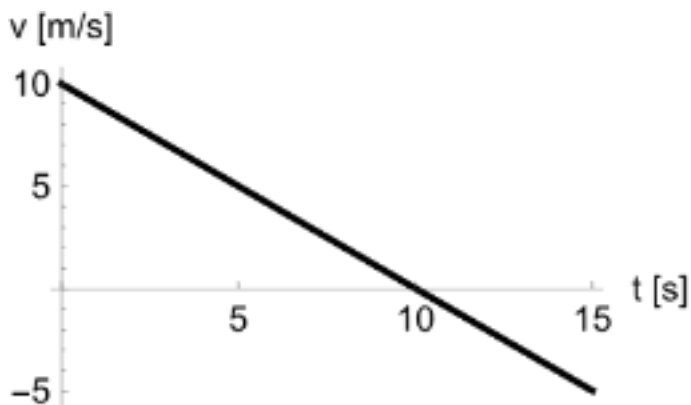
3. (Ex 22) Un automobiliste passe avec une vitesse de 72 km/h devant un policier installé sur sa moto à l'arrêt ; la vitesse est cependant limitée à 50 km/h . Le policier réagit immédiatement dès que la voiture est passée devant lui et se met en route en direction de celle-ci avec une accélération constante de 5 m/s^2 .

Si la vitesse de la voiture reste constante pendant la poursuite, quelle distance aura parcouru le policier lorsqu'il rejoindra la voiture poursuivie ?

4. (Ex 23) Une Formule 1 roulant en ligne droite initialement à 216 km/h subit une décélération constante de 5 m/s^2 pendant 6 s.

Quelle distance parcourt-elle pendant ce laps de temps ?

5. (Ex 24) Le graphique ci-dessous montre la vitesse d'un véhicule en mouvement rectiligne en fonction du temps.



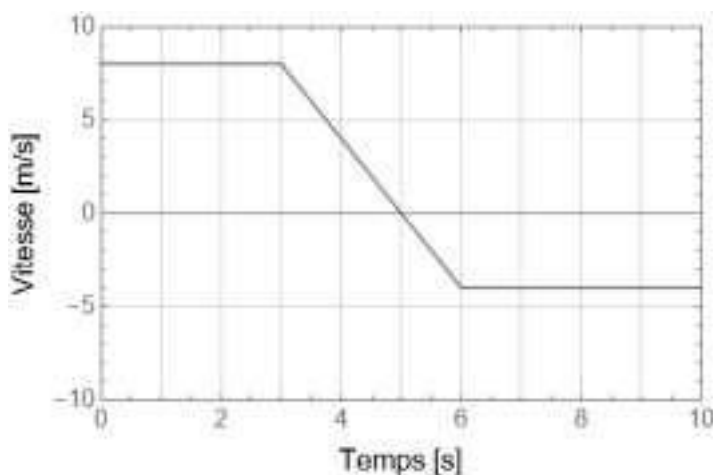
Quelle est la distance totale parcourue par ce véhicule entre le temps $t = 0$ s et le temps $t = 15$ s ?

6. (Ex 24) Une moto démarre sur une route rectiligne et son mouvement est uniformément accéléré. Les mesures de sa vitesse (v) et de la distance (x) parcourue depuis le départ sont les suivantes :

v (m/s)	0	4	8	12	16	20	24
x (m)	0	1	4	9	16	25	36

Quelle est la valeur de son accélération ?

7. (Ex 25) Une voiture se déplace sur une route rectiligne. Le graphique ci-dessous décrit l'évolution de la vitesse de la voiture en fonction du temps. La voiture passe auprès d'un observateur à l'instant $t = 0$.



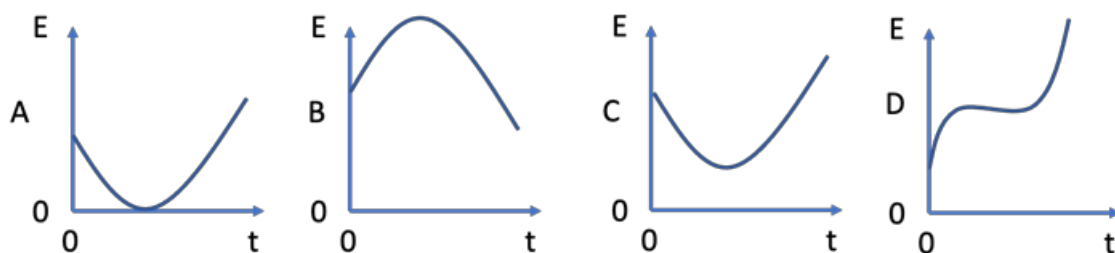
A quel instant t la voiture est-elle le plus loin de l'observateur ?

8. (Ex 25) Le conducteur d'un train à grande vitesse roulant à 80 m/s est informé de la présence d'un obstacle sur la voie, situé à 1 km de l'endroit où se trouve le train au moment où il a reçu l'information. Il réagit immédiatement et produit un freinage d'urgence du train avec une décélération constante pour éviter la collision.

Quelle doit être la valeur minimale (en valeur absolue) de cette décélération ?

9. (Ex 21) Une pomme de pin de 50 grammes tombe du haut d'un sapin. Après 2 secondes de chute, elle atteint une vitesse constante de 3 m/s . À ce moment, que vaut la force de frottement avec l'air ? [Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$]
10. (Ex 21) Un objet est lancé verticalement vers le haut pour retomber ensuite sur le sol.

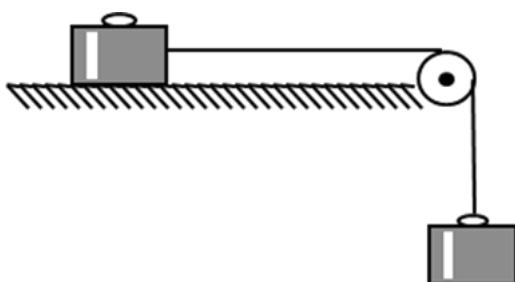
Parmi les graphiques suivants, lequel représente le mieux l'évolution de l'énergie cinétique E par rapport au sol de l'objet en fonction du temps t ?



11. (Ex 21) Un bloc initialement au repos glisse sans frottement vers le bas d'un plan incliné faisant un angle de 30° avec l'horizontale.

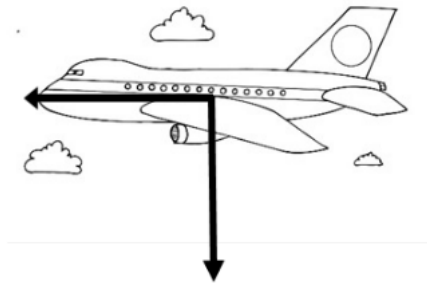
En supposant que l'accélération de pesanteur est de 10 m/s^2 , quelle sera la vitesse du bloc après avoir parcouru dix mètres ?

12. (Ex 21) Deux objets, ayant chacun une masse d'un kilogramme, sont reliés par un câble de masse négligeable. Une des masses se trouve sur une surface horizontale et l'autre est suspendue à la verticale sous l'action de la force de pesanteur (voir la figure ci-dessous). Le système est initialement maintenu au repos. Libéré, il acquiert une certaine accélération a (on néglige la masse de la poulie).



Si l'on double la valeur de la masse suspendue, par quel nombre cette accélération sera-t-elle multipliée (on considère que les frottements sont négligeables) ?

13. (Ex 22) Un avion vole en ligne droite et à vitesse constante. Le schéma ci-dessous indique deux des forces appliquées à cet avion : son poids et la force motrice (des réacteurs).



Choisissez la ou les forces manquantes parmi les propositions suivantes.

- (a) Il manque la résistance de l'air égale et opposée à la force motrice, et la force de portance égale et opposée au poids.
 - (b) Il manque la résistance de l'air qui est plus petite que la force motrice et qui lui est opposée.
 - (c) Il manque la force de portance de l'air, opposée et plus grande que le poids de l'avion.
 - (d) Il manque les forces décrites comme aux points A) et B).
14. (Ex 22) Un randonneur laisse tomber une pierre dans un puits qui semble très profond. Le premier bruit de l'impact de la pierre sur le fond lui parvient 4,25 s après l'avoir lâchée. Ensuite, les échos de ce bruit dans le puits se succèdent toutes les 0,5 s.

Sachant que le mouvement est une chute libre et que la vitesse du son est de 320 m/s, quelle est la profondeur du puits ? (Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$)

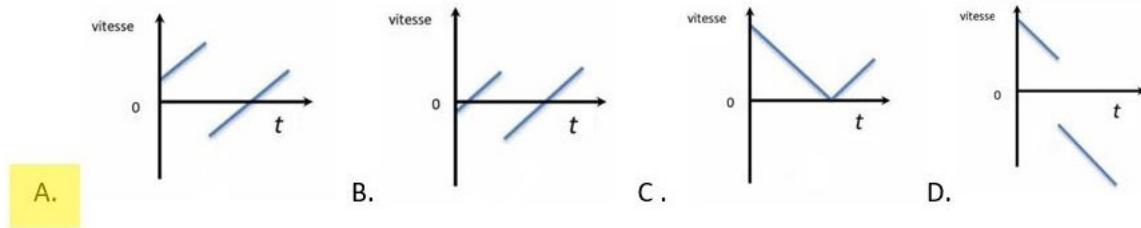
15. (Ex 22) Un archer utilise le même arc et la même force pour décocher deux flèches identiques. La première est tirée à 60° de l'horizontale et la seconde à 45° .

Quelle flèche aura le temps de vol plus long et quelle flèche atteint un point au sol plus éloigné que l'autre ?

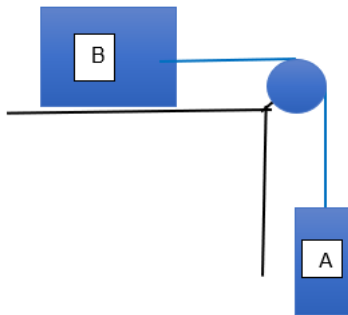
16. (Ex 22) On lance une balle vers le bas et celle-ci rebondit sur le sol.

Les graphiques ci-dessous indiquent la vitesse de cette balle en fonction du temps.

Quel est le graphique compatible avec le mouvement de cette balle ?



17. (Ex 22) Une masse A de 4 kg est suspendue dans le vide. Elle tracte une masse B initialement au repos sur une table et la met en mouvement. (Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$)



On considère les affirmations suivantes :

1. La tension dans la corde freine la chute de la masse A.
2. La tension dans la corde provoque une accélération de la masse B.
3. L'intensité de la tension dans la corde est indépendante de la valeur de la force de frottement.
4. L'intensité de la tension dans la corde a une valeur de 40 N.

Parmi les affirmations 1 à 4,...

- (a) une seule affirmation est exacte.
 - (b) deux affirmations sont exactes.
 - (c) trois affirmations sont exactes.
 - (d) toutes les affirmations sont exactes.
18. (Ex 22) Un skieur se trouve à l'arrêt au sommet d'une piste à 2500 m d'altitude. Il entame sa descente en se laissant glisser.

À quelle altitude se situe-t-il lorsqu'il atteint la vitesse de 72 km/h ?

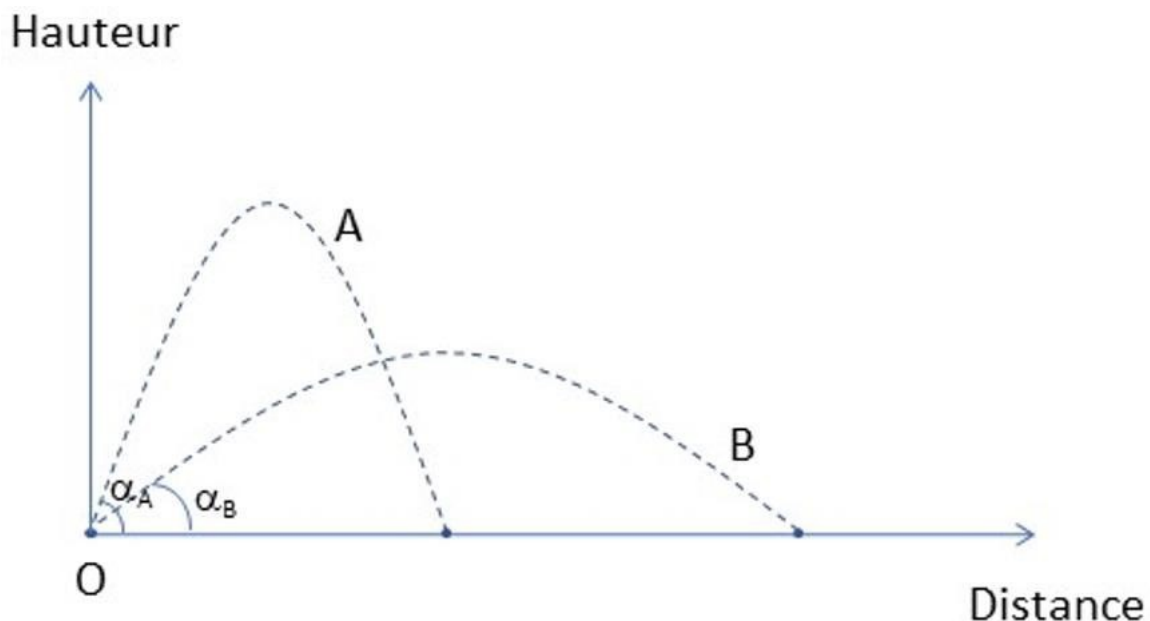
(Négliger les frottements et prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$)

19. (Ex 23) Lorsqu'on laisse tomber un aimant dans un tube métallique vertical, sa chute est ralentie par les phénomènes d'induction électromagnétique qui engendrent des courants électriques dans le tube. La force de frottement correspondant à ce freinage électromagnétique est proportionnelle à la vitesse de chute de l'aimant.

Si on laisse tomber un aimant de 20 g dans un tube vertical, en cuivre, qui pèse 100 g et qu'on mesure le poids du tube à l'aide d'une balance pendant la chute de l'aimant qui se fait à vitesse constante de 3 m/s, quel poids obtient-on (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$) ?

20. (Ex 23) Deux projectiles sont lancés du sol depuis un même point O avec la même vitesse initiale, mais selon deux angles de tir distincts par rapport à l'horizontale du sol (un angle α_A pour le projectile qui suit la trajectoire A et α_B pour le projectile qui suit la trajectoire B, avec $90^\circ > \alpha_A > \alpha_B > 0^\circ$).

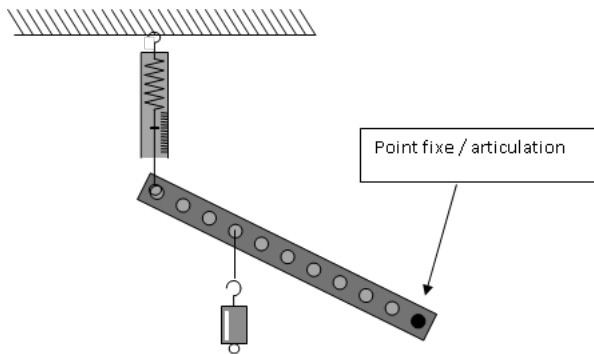
Ils décrivent chacun une trajectoire parabolique et retombent sur le sol en des points distincts tels qu'illustrés sur la figure ci-dessous.



Laquelle de ces affirmations est vraie si on néglige les frottements de l'air ?

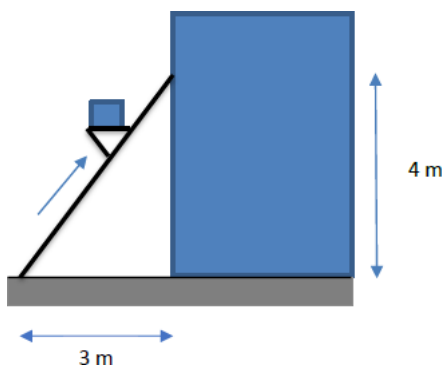
- (a) Le projectile qui suit la trajectoire A retombe au sol en premier seulement si $\alpha_A > 45^\circ$.
- (b) Le projectile qui suit la trajectoire A retombe au sol en premier.
- (c) Le projectile qui suit la trajectoire B retombe au sol en premier.
- (d) Les deux projectiles retombent au sol en même temps.

21. (Ex 23) Une barre homogène de 100 g (percée de trous équidistants) à laquelle on a accroché une masse de 500 g est maintenue en équilibre par un dynamomètre vertical fixé au plafond. Le système à l'équilibre est représenté dans le schéma ci-dessous.



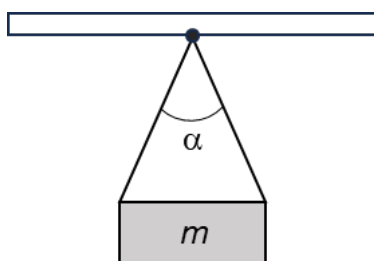
Quelle est la valeur indiquée par le dynamomètre (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$) ?

22. (Ex 23) Des déménageurs utilisent une rampe (comme illustré sur le schéma ci-dessous) pour amener un meuble de 100 kg au 1er étage d'une maison à une hauteur de 4 m.



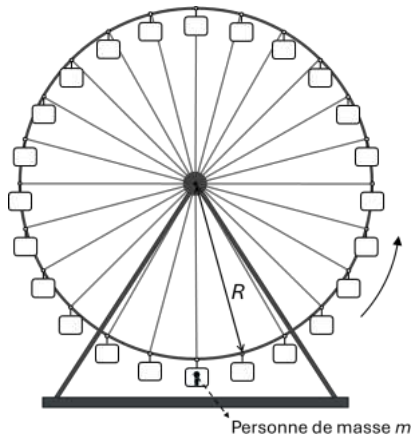
Quel est le travail effectué contre la pesanteur (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$) ?

23. (Ex 24) Une masse m est suspendue à un crochet par deux câbles de même longueur et formant entre eux un angle α (voir schéma ci-dessous). Chaque câble peut supporter au maximum une tension de 500 N.



Quelle est la valeur maximale de m , exprimée en kg, qui peut être suspendue aux câbles sans qu'ils ne cèdent (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$) ?

24. (Ex 24) Une personne de masse m se trouve dans une grande roue de rayon R (telle qu'illustrée sur la figure ci-dessous) et fait un tour complet.



Sachant que g est l'accélération de pesanteur, que vaut le travail de son poids lors de ce tour ?

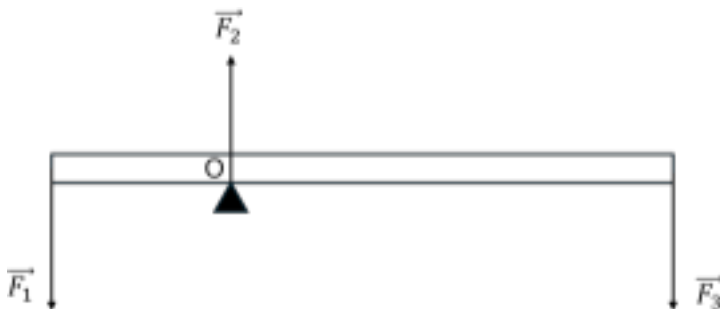
25. (Ex 24) Une balle de 200 grammes est lancée à partir du sol, verticalement vers le haut, avec une vitesse initiale de 10 m/s.

Quelle est l'affirmation correcte parmi les suivantes (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$ et négliger les frottements) ?

- (a) Lorsque la balle atteint la hauteur de 5 m, son énergie cinétique est de 10 J.
 - (b) Lorsque la vitesse de la balle s'annule, son énergie potentielle a augmenté de 10 J.
 - (c) La balle atteindra la hauteur maximale de 10 m.
 - (d) La balle retombera à son point de départ après une seconde.
26. (Ex 25) Une balle de 100 g en chute libre rebondit sur une plateforme horizontale située à 3 m de hauteur. Après l'impact, elle possède une vitesse ascensionnelle de 10 m/s.

Quelle sera la hauteur maximale de la balle par rapport au sol, si on néglige les frottements avec l'air et qu'on considère que $g = 10 \text{ m/s}^2$?

27. (Ex 25) Un levier est en équilibre autour d'un point fixe O comme indiqué sur le schéma ci-dessous. Les normes des forces dessinées sur le schéma ne représentent pas la réalité.



Quelle force a la plus grande norme ?

(a) $\vec{F}_1$

(b) $\vec{F}_2$

(c) $\vec{F}_3$

(d) Cela dépend de la position du point O

28. Une pierre de 5 kg chute d'une hauteur de 10 m et arrive au sol à une vitesse de 12 m/s.

Que vaut l'énergie dissipée par les forces de frottement de l'air lors de la chute (prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$) ?

2.3 Réponses aux exercices

1. (Ex 21) Sur le graphique, la vitesse est la pente. La voiture A va plus vite que la voiture B.
2. (Ex 21) Pendant les 10 premières secondes,

MRUA avec $a = 1 \text{ m/s}^2$: $e = 1 \cdot \frac{10^2}{2} = 50 \text{ m}$.

Pendant les 10 secondes suivantes,

MRU avec $v = 10 \text{ m/s}$: $e = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}$.

Réponse : 150 m

3. (Ex 22) Pour le policier, $e = 5 \frac{t^2}{2}$ alors que pour l'automobiliste $e = 20t$.

$$\begin{cases} e = 2,5t^2 \\ e = 20t \end{cases} \Rightarrow e = 2,5 \frac{e^2}{400} \Rightarrow \frac{400}{2,5} = e.$$

Réponse : 160 m

4. (Ex 23) $e = 60 \cdot 6 - 5 \cdot \frac{6^2}{2} = 360 - 90 = 270 \text{ m}$

5. (Ex 24) Il s'agit visiblement d'un MRUA avec $a = -1 \text{ m/s}^2$.

Le véhicule a (brutalement) fait demi-tour en $t=10$.

$$e = e_1 + e_2 = 10 \cdot 10 - 1 \cdot \frac{10^2}{2} + 1 \cdot \frac{5^2}{2} = 100 - 50 + 12,5 = 62,5 \text{ m.}$$

6. (Ex 24) MRUA avec départ à l'arrêt donc $x = a \frac{t^2}{2}$ et $v = at \Rightarrow t = \frac{v}{a}$.

En substituant, $x = a \frac{v^2}{2a^2} \Rightarrow x = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v^2}{2x}$.

Le lecteur vérifiera aisément que, dans le tableau, $\frac{v^2}{2x}$ est la constante 8.

Réponse : $a = 8 \text{ m/s}^2$

7. (Ex 25) La voiture fait demi-tour en $t=5$. Réponse : $t = 5 \text{ s}$

8. (Ex 25) $e = v_0 t + a \frac{t^2}{2} \Rightarrow 1000 = 80t + a \frac{t^2}{2}$

et le train doit s'arrêter après t secondes : $v = 80 + at$ devient $0 = 80 + at$.

Remplaçons $t = -\frac{80}{a}$ dans la première relation : $1000 = 80 \left(\frac{-80}{a} \right) + a \frac{\frac{6400}{a^2}}{2}$

$$1000 = -\frac{6400}{a} + \frac{6400}{2a} \Rightarrow 1000 = \frac{-6400 + 3200}{a} \Rightarrow a = \frac{-3200}{1000}$$

Réponse : $3,2 \text{ m/s}^2$

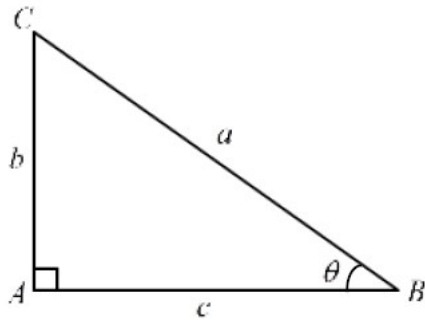
9. (Ex 21) Au moment où la vitesse devient constante, l'accélération s'annule et la force de frottement devient égale (en norme et opposée en sens) à la force gravifique mg .

Réponse : $0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ N}$

10. (Ex 21) La vitesse en valeur absolue diminue, s'annule puis augmente. Le carré de la vitesse aussi.

Réponse A

11. (Ex 21)

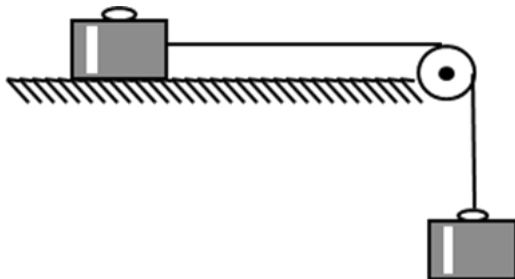


En glissant de 10 m sur l'hypoténuse le bloc a perdu une hauteur $h = 10 \sin 30^\circ = 5$.

Il a donc acquis une énergie $mgh = 50m$ qui s'est transformée en énergie cinétique $\frac{1}{2}mv^2 = 50m$.

On en déduit $v^2 = 100$. Réponse : 10 m/s

12. (Ex 21)



Seule la masse suspendue subit la gravité, la masse qui glisse à l'horizontale ne la subit pas.

Dans le premier cas, la force de gravité est de 10 N et la masse totale est de 2 kg (la corde et la poulie sont magiques). Cela donne une accélération $2a = 10 \Rightarrow a = \frac{10}{2}$.

Dans le second cas, la force de gravité est de 20 N et la masse totale est de 3 kg . Cela donne une accélération $3a = 20 \Rightarrow a = \frac{20}{3}$.

Réponse : $\frac{\frac{20}{3}}{\frac{10}{2}} = \frac{4}{3}$.

13. (Ex 22)

L'avion vole en ligne droite à vitesse (vectorielle) constante, autrement dit en MRU horizontal. Les forces doivent donc s'annuler. Réponse (a)

14. (Ex 22) $t = t_1 + t_2$ où t_1 est le temps de chute de la pierre et t_2 le temps de montée du son.

$$\begin{cases} e = 10\frac{t_1^2}{2} \\ e = 320t_2 \\ t_1 + t_2 = 4,25 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} e = 10\frac{t_1^2}{2} \\ e = 320(4,25 - t_1) \\ t_2 = 4,25 - t_1 \end{cases}$$

Il est facile à ce stade de tester les 4 possibilités une à une.

Pour les amateurs de math : $320(4,25 - t_1) = 10\frac{t_1^2}{2} \Rightarrow 272 - 64t_1 = t_1^2$

$t_1^2 + 64t_1 - 272 = 0$ a comme solutions -32 ± 36 donc $t_1 = 4$.

Réponse : 80 m

15. (Ex 22) Posons $v = \|\vec{v}_0\|$.

Pour la première flèche, $\begin{cases} v_{x0} = \frac{v}{2} \\ v_{y0} = \frac{\sqrt{3}v}{2} \end{cases}$ pour la deuxième flèche, $\begin{cases} v_{x0} = \frac{\sqrt{2}v}{2} \\ v_{y0} = \frac{\sqrt{2}v}{2} \end{cases}$

La vitesse verticale initiale de la première est plus grande. $y = v_{y0}t - g\frac{t^2}{2}$ donc il faudra plus de temps pour que y retombe à 0.

$$0 = v_{y0} - g\frac{t}{2} \Rightarrow t = \frac{2v_{y0}}{g} \Rightarrow t = \frac{\sqrt{3}v}{g}$$

alors que pour la seconde $t = \frac{\sqrt{2}v}{g}$.

La première a un temps de vol plus long.

La vitesse horizontale initiale de la seconde est plus grande. Comme en x on a un mouvement sans accélération (vitesse horizontale constante), la seconde atteint un point au sol donné par $\frac{\sqrt{2}v}{2} \frac{\sqrt{2}v}{g} = \frac{v^2}{g}$.

La première atteint un point au sol donné par $\frac{v}{2} \frac{\sqrt{3}v}{g} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{v^2}{g}$.

Réponse : La première a un temps de vol plus long et atteint un point du sol moins éloigné que la seconde $\frac{\sqrt{3}}{2} < 1$.

16. (Ex 22) Sous l'effet de la gravité, la vitesse de la balle (non nulle au départ) augmente avant le rebond. Graphique A
17. (Ex 22) L'intensité de la tension dans la corde est de 40 N (troisième loi de Newton) et il y a une accélération de la masse B (deux affirmations exactes).
18. (Ex 22) Au départ, l'énergie potentielle vaut $V = mgh = 25000m$ et l'énergie cinétique $T = 0$ (arrêt).

A la vitesse de 72 km/h, l'énergie cinétique vaut $T = \frac{1}{2}m20^2 = 200m$. A ce moment, l'énergie potentielle vaut $25000m - 200m = 24800m$.

Réponse : le skieur se situe à 2480 m d'altitude.

19. (Ex 23) Le premier paragraphe est du blabla. La chute de l'aimant se faisant à vitesse constante, il n'y a pas d'autre accélération que g , donc pas d'autre force. La masse à considérer est $100+20=120$ g.

Réponse : $0,12 \cdot 10 = 1,2$ N.

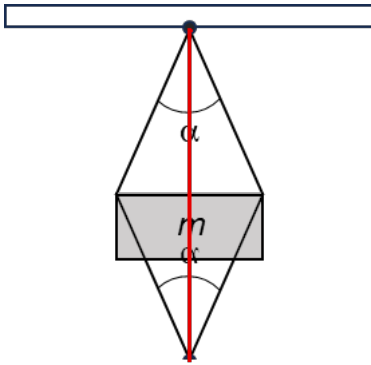
20. (Ex 23) Considérons le mouvement vertical des 2 projectiles. Ils passent de l'altitude 0 à l'altitude 0 en un temps t tel que $0 = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$, le temps que la gravité mange leur vitesse verticale initiale.

Ainsi, $\frac{gt}{2} = v_0$ ou encore $t = \frac{2v_0}{g}$. Le projectile B, qui a une plus petite vitesse verticale initiale, retombe en premier.

21. (Ex 23) $\left(\frac{0,1}{2} + 0,5 \cdot 0,7\right) 10 = 4$ N

22. (Ex 23) $mgh = 100 \cdot 10 \cdot 4 = 4000$ J

23. (Ex 24) La tension maximale F résultante s'obtient par la règle du parallélogramme :



En rouge sur la figure ; $F = 2.500 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 1000 \cos \frac{\alpha}{2}$.

$F = mg$ donne une masse maximale de $100 \cos \frac{\alpha}{2}$.

24. (Ex 24) 0, son déplacement est nul.

25. (Ex 24) $h = 10t - 10\frac{t^2}{2} = 10t \left(1 - \frac{t}{2}\right)$ L'affirmation (d) est fausse.

$h = -5t^2 + 10t$ atteint son maximum pour $t = \frac{-10}{-10} = 1 \Rightarrow h_{max} = 5$.

L'affirmation (a) est fausse (énergie cinétique nulle).

Lorsque la balle atteint la hauteur de 5 m, sa vitesse s'annule et

son énergie potentielle a augmenté de $mgh = 0,2 \cdot 10 \cdot 5 = 10 \text{ J}$.

L'affirmation (b) « Lorsque la vitesse de la balle s'annule, son énergie potentielle a augmenté de 10 J » est correcte.

26. (Ex 25) Le fait que la balle rebondisse n'a pas d'intérêt, sauf sa vitesse (initiale) après rebond et le fait qu'on se trouve à 3 m de haut par rapport au sol.

$h = 10t - 10\frac{t^2}{2} = -5t^2 + 10t$ dont le maximum est donné par $t = \frac{-10}{-10} = 1$

soit une hauteur de 5 m . Réponse : $5 + 3 = 8\text{ m}$

27. (Ex 25) J'imagine que $\vec{F}_2$ est la réaction au poids total. Réponse : $\vec{F}_2$

28. (Ex 25) L'énergie cinétique à l'arrivée vaut $\frac{1}{2}mv^2 = 2,5.144 = 360\text{ J}$, alors que, sans frottement,

$$\text{la vitesse serait } \begin{cases} 10 = 10\frac{t^2}{2} \\ v_2 = 10t \end{cases} \Rightarrow v_2 = \sqrt{2}10$$

et l'énergie cinétique $\frac{1}{2}mv_2^2 = 2,5.200 = 500\text{ J}$ (qui est l'énergie potentielle de départ).

Réponse : 140 J

Chapitre 3

Ondes

3.1 Théorie

Définition de l'onde : propagation dans un milieu matériel ou dans le vide, d'énergie sans transport de matière.

Cette définition est généralisable, ce qui sort du cadre de ce cours. En fait, ce cours n'est qu'une modeste introduction à la notion d'onde.

Ondes mécaniques

Une onde mécanique nécessite un milieu matériel pour se propager (ex : ondes sonores, vagues à la surface de l'eau, ondes sismiques).

Ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique se propage dans le vide ou dans un milieu transparent (ex. : lumière, micro-ondes).

Ondes sinusoïdales

Il ne s'agit pas d'un autre type d'onde mais bien d'un modèle simple pour représenter certaines ondes, comme le courant alternatif.

$$s(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

où

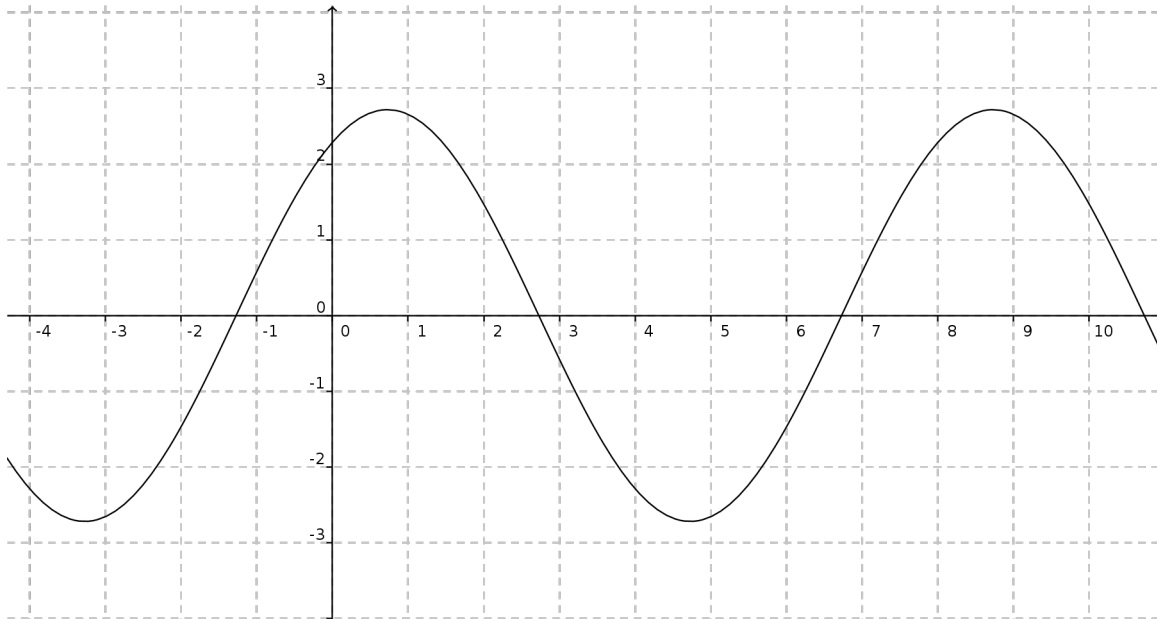
s est l'élongation

A l'amplitude

ω la pulsation

φ la phase.

En plaçant le temps, en secondes, sur l'axe Ox,



$s(t)$ est sur l'axe Oy,

A est l'image des maximums, A est une constante, ni amortissement ni d'amplification.

ω φ période, fréquence

La fonction sin est périodique :

$A \sin(\omega t + \varphi + 2\pi) = A \sin(\omega t + \varphi)$ donc

$$A \sin\left(\omega\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right) + \varphi\right) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

$\frac{2\pi}{\omega}$ est donc le temps qu'il faut pour retrouver « la même » onde autrement dit la période :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

On définit aussi la fréquence

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Pour une période $T = 0,5 \text{ s}$, la fréquence vaut $f = 2 \text{ s}^{-1}$; Avec une période de $0,5 \text{ s}$ on voit « passer » deux fois l'onde par seconde. L'unité s^{-1} est appelée Hertz Hz.

Notre ouïe interprète la fréquence (ondes sonores).

Il y a deux façons d'interpréter φ dans $s(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$.

Si $t = 0$, $s(0) = A \sin(\varphi)$ et donc $\varphi = \arcsin\left(\frac{s(0)}{A}\right)$.

En résolvant $\omega t + \varphi = 0$, on obtient $t = -\frac{\varphi}{\omega}$. La première racine de la fonction sin à gauche de 0 est donc à la distance $\frac{\varphi}{\omega}$.

Longueur d'onde

Cette notion n'est pas liée au modèle mais à l'onde elle-même.

C'est la longueur λ en mètres qui sépare deux points dans le même état (deux maximums par exemple).

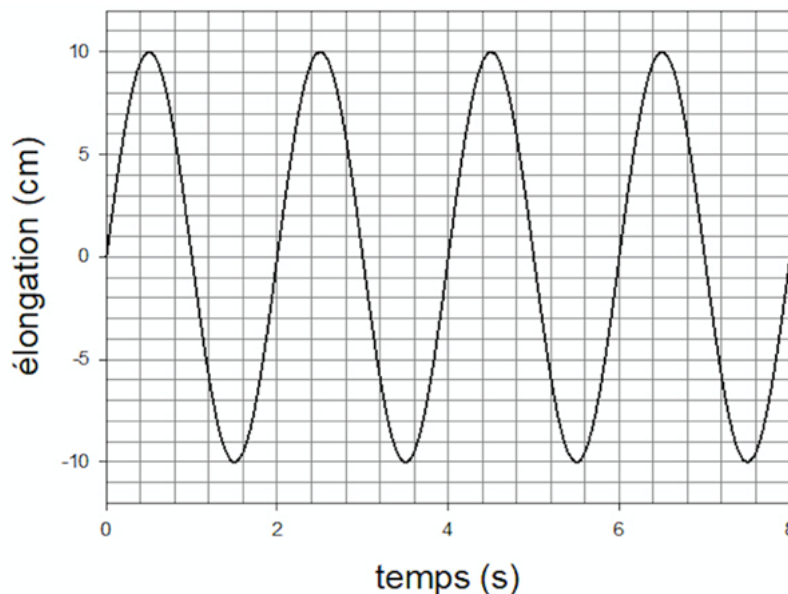
Notre vue interprète la longueur d'onde comme une couleur (lumière visible).

Si une onde se déplace (son, onde progressive, onde radio, lumière, ...) à la vitesse v ,

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f.$$

3.2 Exercices

1. (Ex 21) Une onde sinusoïdale se propage dans une corde à la vitesse de 0,5 m/s. Le graphe suivant montre l'évolution dans le temps de l'élongation d'un point de la corde.

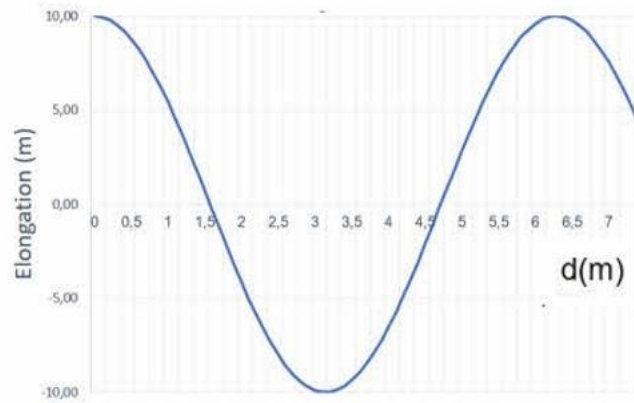
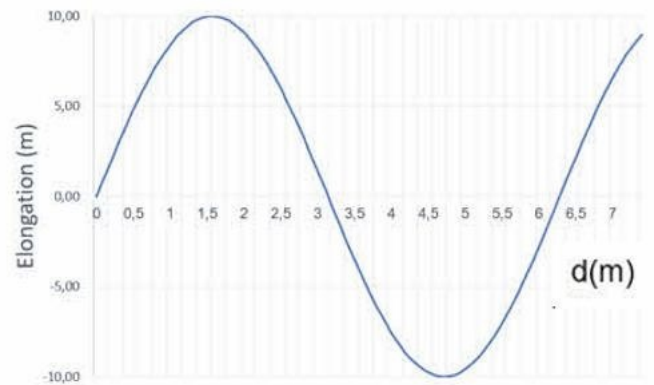


Que vaut la longueur d'onde ?

2. (Ex 22) Une onde progressive sinusoïdale se propage dans une corde vers la droite. Les graphiques de gauche et de droite présentent deux photos d'un même segment de la corde à deux instants proches (à $t = 0$ s et $t = 0,125$ s).

$t = 0 \text{ s}$

$t = 0,125 \text{ s}$



N.B. : dans le graphique, "d" représente la distance.

La vitesse de cette onde est comprise entre...

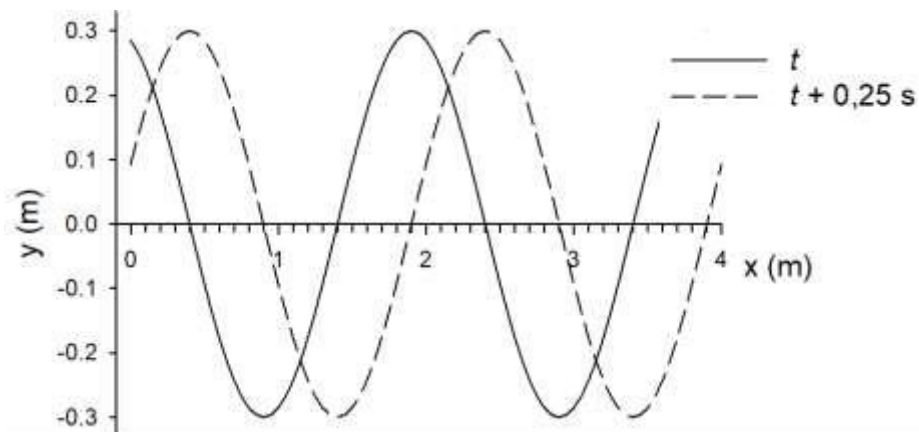
- (a) 0 m/s et 2 m/s
- (b) 3 m/s et 5 m/s
- (c) 6 m/s et 10 m/s
- (d) 11 m/s et 15 m/s

3. (Ex 23) Deux ondes de même amplitude X et de même longueur d'onde se propagent à vitesses identiques dans la même direction. La première onde a une avance d'un quart de longueur d'onde par rapport à la deuxième.

Que peut-on dire de l'amplitude de l'onde résultant de l'interférence de ces deux ondes ?

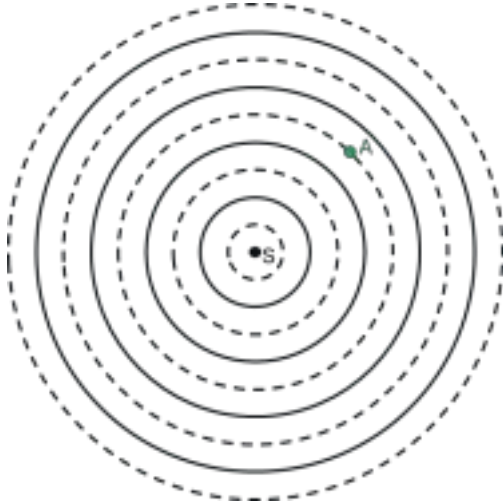
4. (Ex 24) La figure suivante montre une corde le long de laquelle se propage une onde sinusoïdale.

La corde est représentée à l'instant t et un quart de seconde plus tard, à l'instant $t + 0,25 \text{ s}$.



Que vaut la fréquence de cette onde ?

5. (Ex 25) Une pointe frappe la surface d'un plan d'eau à un rythme constant en un point S en produisant des rides concentriques. La figure ci-dessous montre, en vue aérienne, un instantané de la surface du plan d'eau. Les lignes en trait plein représentent les crêtes ; celles en pointillés représentent les creux.



Quelle est la distance d entre le point S et un flotteur placé en A en fonction de la longueur d'onde λ ?

3.3 Réponses aux exercices

1. (Ex 21) En 8 s on voit passer 4 longueurs d'onde donc $T = 2$. $v = \frac{\lambda}{T}$ donne $0,5 = \frac{\lambda}{2}$.

Réponse : $\lambda = 1 \text{ m}$

2. (Ex 22) En 0,125 s le maximum de gauche a parcouru 1,7 m environ.

$$v = \frac{1,7}{0,125} \cong 13,6 \text{ m/s}$$

Réponse : entre 11 m/s et 15 m/s

3. (Ex 23) On peut supposer que la longueur d'onde commune vaut 2π (pas d'influence sur l'amplitude).

$$X \sin \left(x - \frac{\pi}{2} \right) + X \sin (x) = X \left(2 \sin \left(x - \frac{\pi}{4} \right) \cos \frac{\pi}{4} \right) = X \sqrt{2} \sin \left(x - \frac{\pi}{4} \right)$$

Réponse : L'amplitude de l'onde résultante vaut $\sqrt{2}X$. Elle se situe entre X et $2X$.

4. (Ex 24) Pour retrouver le même graphique (longueur d'onde), il faut déphaser de $4.0, 25 = 1 \text{ s}$.

La fréquence est de $\frac{1}{1} = 1 \text{ Hz}$.

5. (Ex 25) $2, 5\lambda = 5\lambda/2$

Chapitre 4

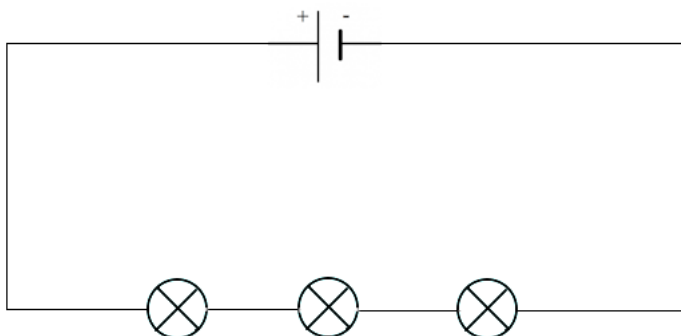
Électromagnétisme

4.1 Théorie

Électricité

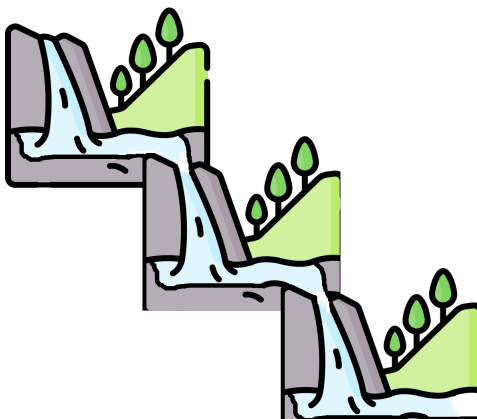
$$U = RI$$

Allons acheter une batterie 24V et branchons-y 3 lampes identiques comme ceci :



Il s'agit d'un montage en série, car les lampes sont à la queue-leu-leu.

24 V est la différence de potentiel aux bornes de la batterie. Elle se répartit comme ceci :

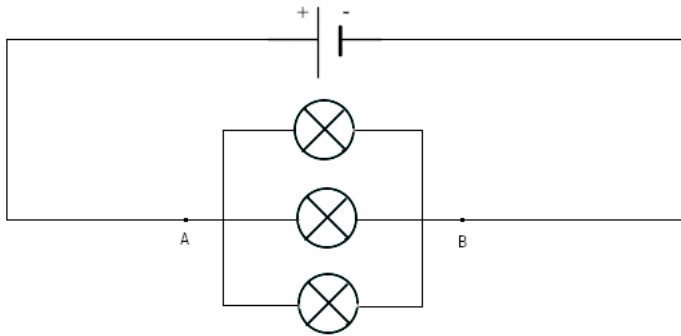


1/3 de la différence de potentiel pour chaque lampe (cascade). La différence de potentiel aux bornes de chaque lampe est $U = 8\text{ V}$.

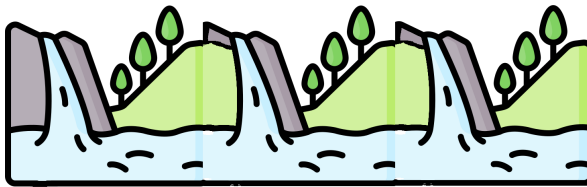
Le débit de la rivière est le même pour les 3 cascades. En électricité, on parle d'intensité I , mesurée en ampères (A).

Mes vieilles lampes éclairent mal et chauffent bien : ce sont des résistances. La résistance se mesure en ohms (Ω). En admettant que chaque lampe a une résistance $R = 4\Omega$, la relation $U = RI$ donne l'intensité $2A$, dans tout le circuit.

Maintenant, branchons nos trois lampes comme ceci :



Il s'agit d'un montage en parallèle.



La différence de potentiel est la même sur chaque branche (cascade) et l'intensité (débit) est plus importante. La résistance est 3 fois moins importante $\frac{4}{3}\Omega$ et l'intensité est de $18A$ au bornes AB. Chaque lampe est traversée par un courant de $6A$.

La relation $U = RI$ est toujours respectée.

Si les résistances avaient été différentes, la résistance aux bornes AB obéirait à $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Dans une installation résidentielle, le montage est toujours en parallèle car les appareils sont prévus pour une ddp (tension) de $230V$.

Puissance

La puissance est donnée par $P = U.I$.

Elle se mesure en watts (W). $1W = 1V.1A$.

Dans le premier montage (en série) chaque lampe a une puissance de $16W$.

Dans le deuxième montage (en parallèle) chaque lampe a une puissance de $24W$.

Unités

L'ampère A est une unité de base.

Voici le tableau de grandeurs dérivées avec leurs unités et leurs expressions en unités de base.

grandeur	unité	expression
puissance	W	$kg\,m^2/s^3$
ddp (tension)	V	$kg\,m^2/As^3$
force	N	$kg\,m/s^2$
ddp (tension)	V	$N\,m/As$

Force électrostatique

Il existe deux types de charges électriques, appelées positives et négatives. Les charges de même signe se repoussent et les charges de signe contraire s'attirent.

L'attraction entre deux charges se fait suivant la droite qui les joint et dans le sens qui vient d'être indiqué. La norme de cette force est donnée par

$$F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad \text{où}$$

r est la distance qui sépare les deux charges. Une charge électrique se mesure en coulombs (C).

1 coulomb est la charge transportée par un courant d'un ampère pendant une seconde. Un ampère (unité de base) correspond à un flux de charge d'un coulomb par seconde.

La constante k permet d'exprimer cette force en newtons (N).

La force électrostatique est 1000 milliards de fois plus intense que la gravité. Comment est-il possible dès lors de ressentir la gravité? Parce que, en général, les corps macroscopiques sont électriquement neutres. Il y a des exceptions : vent solaire, magnétisme terrestre, ... Cela ressort de ce cours. A l'occasion, soyez curieux!

Champ électrique et champ magnétique

Lorsque les charges sont en mouvement, en plus de la force électrostatique apparaît la force magnétique. En tout, la force que subit une charge q de vitesse $\vec{v}$ est donnée par¹ :

$$\vec{F} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B} \right)$$

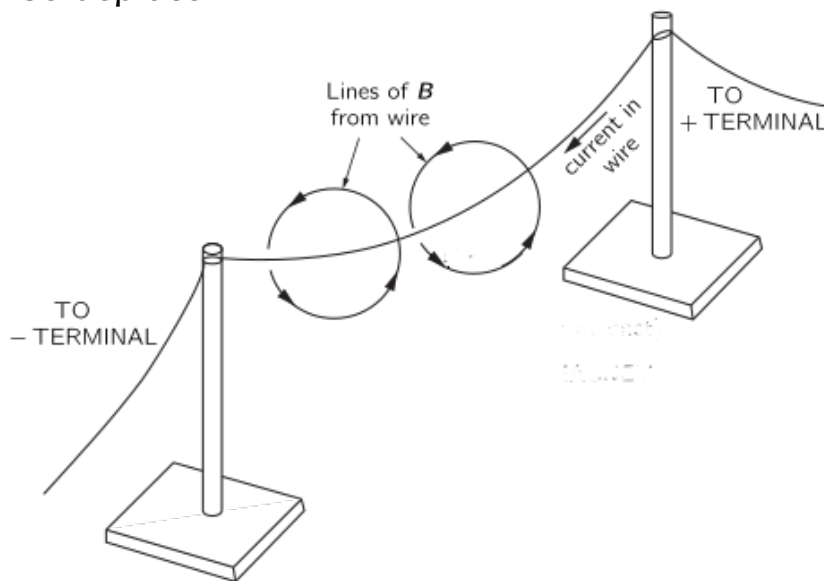
Imaginons qu'il n'y ait que 2 charges dans l'univers et que deux petits diables les maintiennent immobiles. Dans ce cas

$\vec{E} = k \frac{|q_2|}{r^2} \vec{u}$ où $\vec{u}$ est le vecteur unitaire reliant les 2 charges et de sens correct.

$\vec{E}$ est appelé champ électrique et $\vec{B}$ champ magnétique (ou induction). Ce sont des fonctions de $(x, y, z; t)$ ce qui signifie qu'ils sont définis partout et tout le temps (en théorie).

¹ $\vec{v} \wedge \vec{B}$ est le produit vectoriel

Notez que lorsque les charges se déplacent, il y a à la fois un champ électrique et un champ magnétique. Le champ magnétique est créé par les charges qui se déplacent.



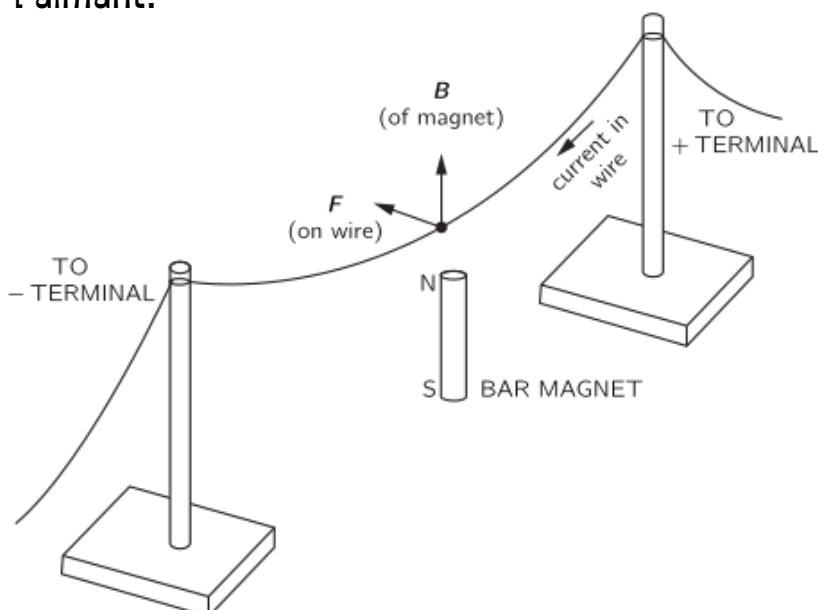
Imaginons des disques perpendiculaires au courant dans le fil. La quatrième loi de l'électromagnétisme donne un champ magnétique en cercles.

Pour ce champ magnétique, une charge test q subit une force $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$. $\vec{v}$ et $\vec{B}$ sont des vecteurs d'origine q . Leur produit vectoriel est le vecteur perpendiculaire au plan des vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{B}$ de norme $vb \sin \alpha$. α est l'angle formé par $\vec{v}$ et $\vec{B}$; il n'y a donc pas de force magnétique si $\vec{v} // \vec{B}$.

Son sens est fixé par la règle du tire-bouchon, de la main droite, du petit bonhomme d'Ampère, ...

La force magnétique est perpendiculaire au plan des vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{B}$ (si $\alpha \neq 0$).

Plaçons maintenant un (gros) aimant sous le fil. Une charge en déplacement dans le fil subit une force en conséquence de sa vitesse et du champ magnétique de l'aimant.



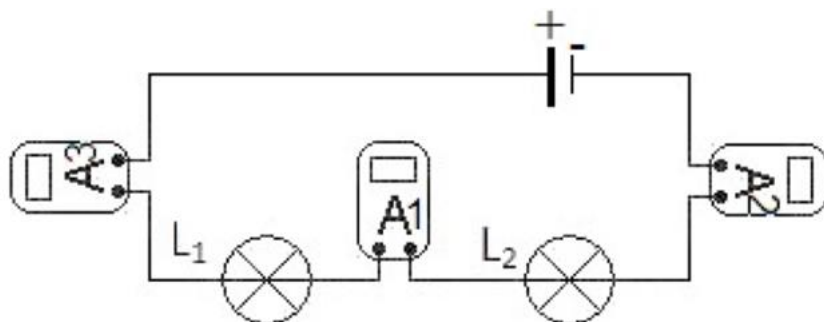
Dans la figure (issue du cours de physique de Feynman) le câble électrique subit une force.

4.2 Exercices

1. (Ex 21) Deux résistances R_1 et R_2 sont connectées en parallèle à une source de tension. Par ailleurs, la puissance dissipée dans la résistance R_1 est deux fois plus importante que celle dissipée dans la résistance R_2 .

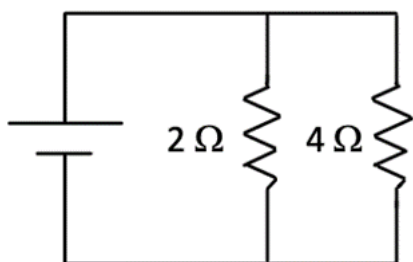
Quelle est la valeur du rapport R_1/R_2 ?

2. (Ex 21) Les 2 lampes L_1 et L_2 du circuit ci-dessous sont identiques et sous tension.



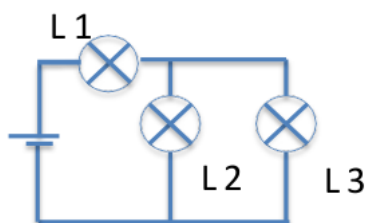
Si l'ampèremètre A_1 indique une intensité de 600 mA, qu'indique l'ampèremètre A_2 ?

3. (Ex 21) Dans le circuit ci-dessous, le courant dans la résistance de 2Ω est de 1 A.



Que vaut la puissance dissipée dans la résistance de 4Ω ?

4. (Ex 22) Les trois lampes représentées dans le schéma ci-dessous sont identiques. Ces lampes sont considérées comme des résistances.



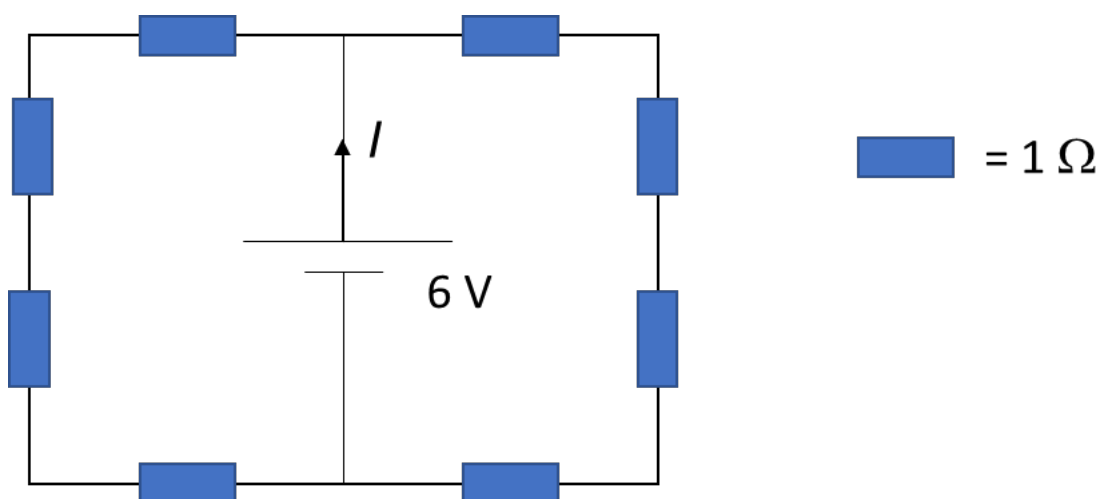
On considère les affirmations suivantes :

1. La lampe L1 est celle qui brille le moins fort.
2. L'intensité du courant qui circule dans L2 est la même que celle qui circule dans L3.
3. La différence de potentiel aux bornes de chaque lampe est la même.

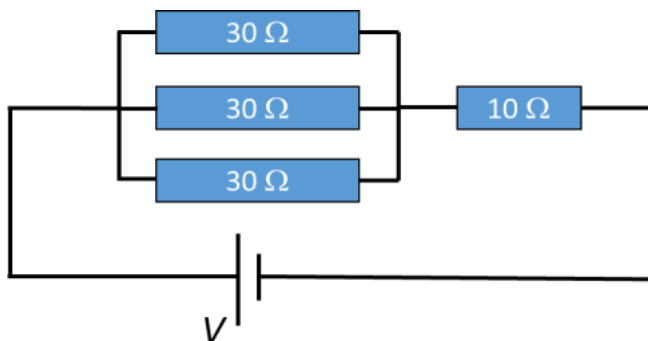
Parmi les affirmations 1 à 3,...

- (a) aucune n'est exacte.
- (b) une seule est exacte.
- (c) deux sont exactes.
- (d) toutes les trois sont exactes.

5. (Ex 22) Dans le circuit électrique ci-dessous, que vaut le courant I issu du générateur ?

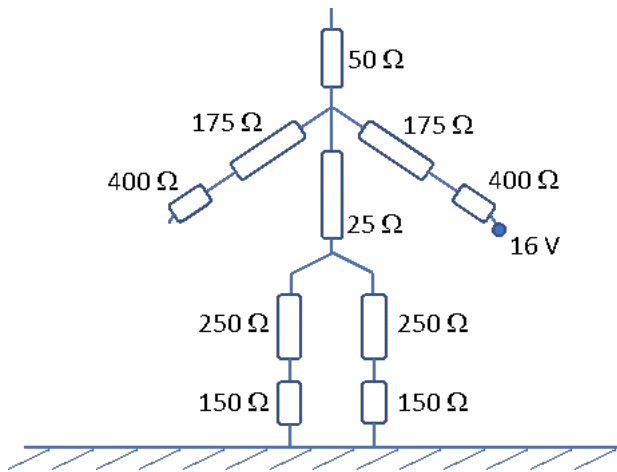


6. (Ex 22) La puissance dissipée par le circuit ci-dessous est de 125 W.



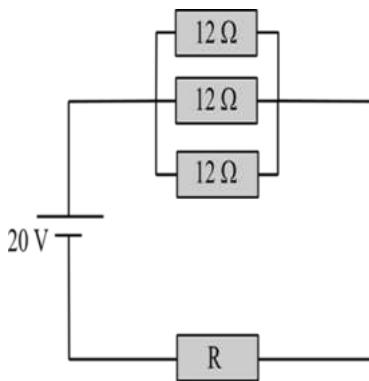
Que vaut la différence de potentiel V aux bornes du générateur ?

7. (Ex 23) Dans une modélisation simple, le corps humain peut être schématisé par quelques résistances comme illustré sur la figure ci-dessous



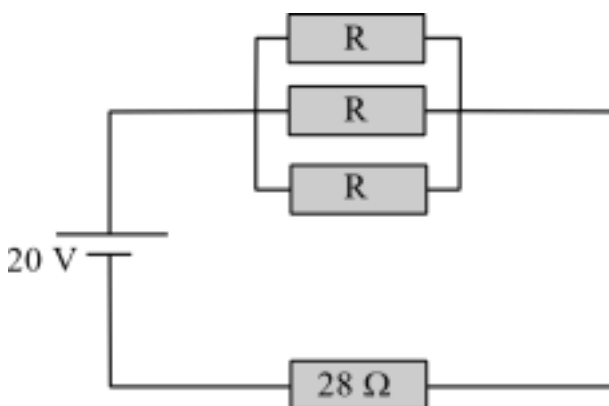
Si une main touche un conducteur porté à un potentiel de 16 V par rapport au sol, le courant qui passera au travers du tronc sera de...

8. (Ex 24) La puissance dissipée dans le circuit suivant est de 40 W.



Que vaut la résistance R ?

9. (Ex 25) Dans le circuit ci-dessous, le courant qui circule dans la résistance de $28\ \Omega$ est de 0,5 A.



Que vaut R ?

10. (Ex 21) La force électrostatique entre deux particules de même charge est de 1 N.

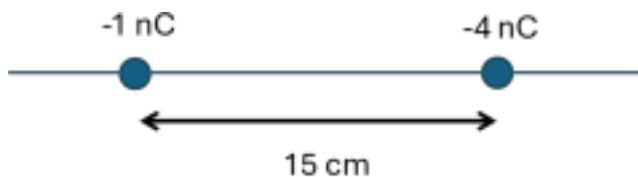
Que vaut cette force lorsque les charges doublent et que la distance qui les sépare est réduite de moitié ?

11. (Ex 24) Deux charges électriques ponctuelles de $+2\mu C$ et $-6\mu C$ sont fixes et distantes de 4 cm (voir schéma).



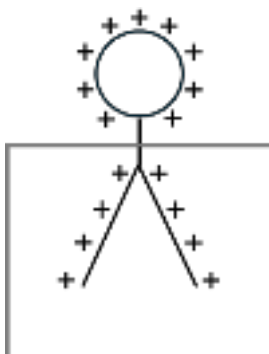
Où faut-il placer une troisième charge de $-8\mu C$ sur la ligne joignant les 2 autres charges, pour que la force résultante sur la charge de $-6\mu C$ soit nulle ?

12. (Ex 25) Deux charges électriques ponctuelles sont fixées comme indiqué dans le schéma ci-dessous. On vient déposer une troisième charge q sur l'axe représenté, de manière à ce que la force résultante qu'elle subisse soit nulle.



Où se trouve la charge q ?

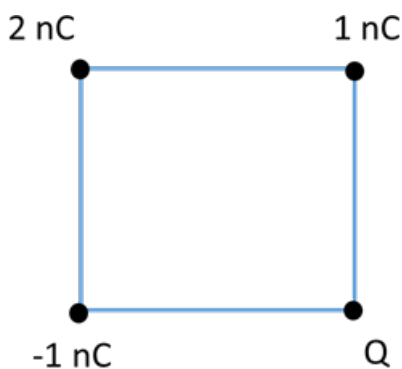
13. (Ex 25) Un électroscope à feuilles est un appareil qui permet la mise en évidence de la charge électrique d'un objet. Il est composé d'une boule métallique et de deux petites feuilles métalliques placées dans une chambre à vide (rectangle sur la figure ci-dessous). Les feuilles sont connectées à la boule par une barre métallique et elles peuvent bouger librement. La figure représente, de manière schématique, un électroscope chargé positivement.



Supposons à présent qu'on approche, dans cette configuration, une baguette de verre chargée positivement de la boule de cet électroscope, mais sans la toucher.

- (a) La charge de la boule diminue et la distance entre les feuilles diminue.
- (b) La charge de la boule diminue et la distance entre les feuilles augmente.
- (c) La charge de la boule augmente et la distance entre les feuilles augmente.
- (d) La charge de la boule augmente et la distance entre les feuilles diminue.

14. (Ex 22) Des charges électriques ponctuelles sont fixées aux sommets d'un carré de 10 cm de côté, comme représenté ci-dessous.



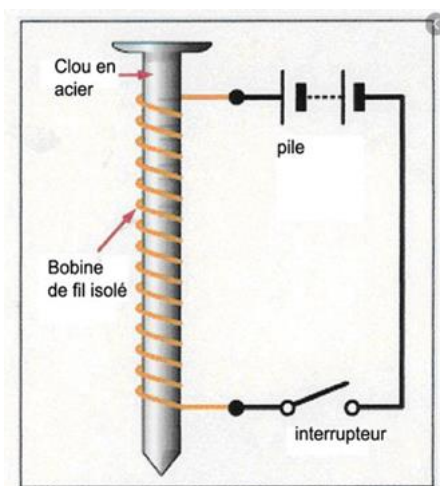
Que doit valoir la charge Q pour que le champ électrique total au centre du carré soit horizontal ?

15. (Ex 21) La différence de potentiel se mesure en Volts.

A quelle unité correspond un Volt ?

- (a) 1 N/C
- (b) 1 Nm/C
- (c) 1 NC
- (d) 1 NmC

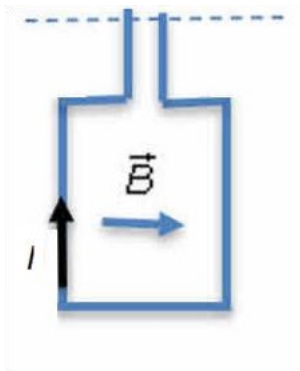
16. (Ex 21) Le schéma suivant représente un dispositif simple et courant.



De quel dispositif s'agit-il ?

- (a) Un moteur électrique.
- (b) Une génératrice.
- (c) Un transformateur.
- (d) Un électro-aimant.

17. (Ex 22) Un cadre métallique est relié aux bornes d'un générateur de sorte qu'il est parcouru par un courant d'intensité I , symbolisé ci-dessous. Ce cadre est plongé dans un champ magnétique uniforme dirigé de la gauche vers la droite.



Quelle affirmation est exacte ?

- (a) Le cadre se déplace parallèlement à B .
 - (b) Le cadre reste immobile.
 - (c) Le cadre pivote sur lui-même.
 - (d) Le cadre se déplace vers le haut.
18. (Ex 23) Un faisceau d'électrons se propageant horizontalement en ligne droite dans le vide est envoyé dans une zone où règne un champ magnétique homogène vertical dirigé vers le haut. Dès son entrée dans cette zone, si l'on néglige leur poids, les électrons vont suivre une trajectoire...
- (a) parabolique vers le haut.
 - (b) parabolique vers le bas.
 - (c) circulaire dans un plan vertical.
 - (d) circulaire dans un plan horizontal.

4.3 Réponses aux exercices

1. (Ex 21) Pour chaque résistance, $\begin{cases} U = RI \\ P = UI \end{cases} \Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$

où U est identique pour les deux résistances (en parallèle).

$$P_1 = 2P_2 \Rightarrow \frac{U^2}{R_1} = 2 \frac{U^2}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Réponse : $\frac{1}{2}$

2. (Ex 21) Le circuit est en série : 600 mA.

3. (Ex 21) Les résistances sont en parallèles donc ont la même ddp :
 $U = RI = 2V$.

L'intensité dans la résistance de 4Ω vaut $I = \frac{U}{R} = \frac{1}{2}A$. Pour cette résistance, $P = UI = 2 \cdot \frac{1}{2}$.

Réponse : 1 W

4. (Ex 22) Soit U la ddp aux bornes de la batterie et R la résistance d'une lampe.

La résistance de la partie parallèle du circuit est $\frac{R}{2}$. La résistance que voit la batterie est donc $\frac{3R}{2}$.

L'intensité aux bornes de la batterie est donc $I = \frac{U}{\frac{3R}{2}} = \frac{2U}{3R}$.

L_1 verra cette même intensité $\frac{2U}{3R}$ avec une ddp de $\frac{2U}{3}$.

Aux bornes de la partie parallèle, l'intensité de $\frac{2U}{3R}$ sera partagée entre L_2 et L_3 , chacune $\frac{U}{3R}$ avec une ddp de $\frac{U}{3}$.

La puissance de L_1 est donc $\frac{4U^2}{9R}$ et celle de L_2 ou L_3 de $\frac{U^2}{9R}$.

La lampe L_1 ne brille pas moins fort (au contraire), l'intensité de courant dans L_2 est la même que dans L_3 , la ddp aux bornes de chaque lampe n'est pas la même.

Réponse : une seule affirmation est exacte.

5. (Ex 22) Le courant rencontre 2 branches parallèles de 4Ω soit 2Ω .

$$U = RI \Rightarrow I = \frac{6}{2} \quad \text{Réponse : } 3A$$

6. (Ex 22) La partie en parallèle a une résistance de 10Ω donc le générateur voit une résistance de 20Ω .

$$\begin{cases} V = 20I \\ 125 = VI \end{cases} \Rightarrow V = 20 \cdot \frac{125}{V} \Rightarrow V^2 = 2500$$

Réponse : 50 V

7. (Ex 23) Pour retomber à un potentiel de 0 V (au sol) le courant traverse $400 + 175 + 25 + \frac{1}{2}(250 + 150) = 800 \Omega$. L'intensité sera donc $I = \frac{16}{800} = 20 \text{ mA}$.

8. (Ex 24) La résistance vue par la batterie est de $R + 4$ car la partie parallèle donne 4Ω .

$$\begin{cases} 20 = (R + 4)I \\ 40 = 20I \end{cases} \Rightarrow 20 = (R + 4)2 \Rightarrow R = 6$$

Variante : l'intensité doit être de 2A, égale sur la partie en série.

La partie parallèle, de 4Ω , prend 8V et il reste 12 V pour R ; $U = RI$ donne $12 = R \cdot 2$. Réponse : 6Ω .

9. (Ex 25) Les résistances en parallèle peuvent être remplacées par une seule valant $\frac{R}{3}$. Le circuit série obtenu est parcouru par 0,5 A.

$U = RI$ pour la résistance de 28Ω donne $U = 14 \text{ V}$, il reste donc 6 V pour la résistance $\frac{R}{3}$.

L'application de $U = RI$ pour cette dernière : $6 = \frac{R}{3}0,5 \Rightarrow R = \frac{6 \cdot 3}{0,5}$.

Réponse : 36Ω .

10. (Ex 21) $F_1 = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$ et $F_2 = k \frac{|2q_1 \cdot 2q_2|}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = 16k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} = 16F_1$.

Réponse : 16 N

11. (Ex 24) La charge de $-6 \mu\text{C}$ est attirée par la charge de $+2 \mu\text{C}$ par une force (à un facteur d'unité près) de $\frac{6 \cdot 2}{4^2} = \frac{3}{4}$ vers la gauche.



La charge de $-8\mu C$ doit donc la repousser vers la droite par une force (au même facteur d'unité près) de $\frac{3}{4} = \frac{48}{r^2} = \frac{48}{64}$.

Cette charge doit donc se trouver à 8 cm à gauche de la charge de $-6\mu C$.

12. (Ex 25) Cette charge q doit se trouver entre les deux charges données (sinon, bye bye). Son signe est quelconque : imaginons-le positif.

Soit r , la distance entre la charge q et la charge de $-1nC$. Cette charge q subit 2 forces (à une constante multiplicative d'unité près) :

$\frac{q}{r^2}$ vis-à-vis de celle de gauche et $\frac{4q}{(15-r)^2}$ vis-à-vis de celle de droite.

Pour que ces deux forces s'équilibrent, il faut

$$(15-r)^2 = 4r^2 \Rightarrow 225 - 30r + r^2 = 4r^2$$

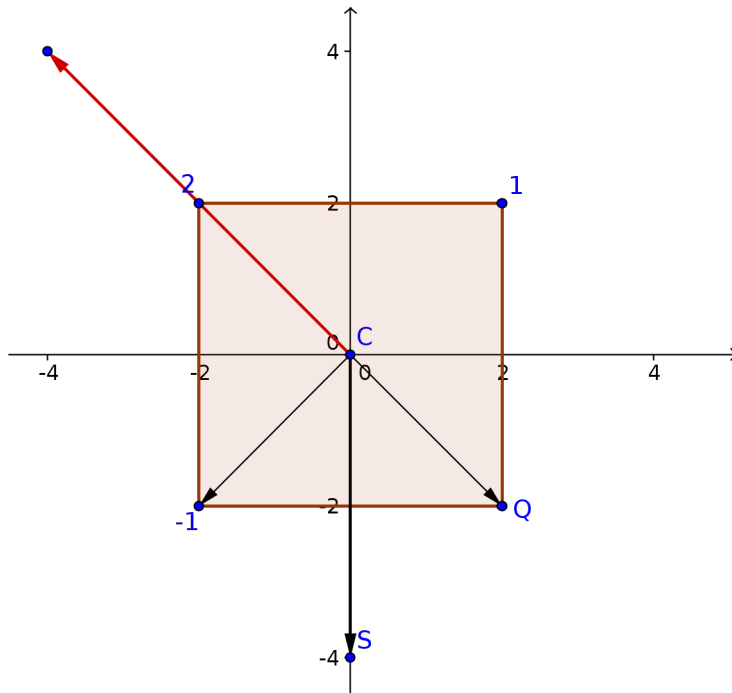
$$3r^2 + 30r - 225 = 0 \quad r^2 + 10r - 75 = 0 \quad b^2 - 4ac = 400 \quad r = \frac{-10 \pm 20}{2} = \frac{-15}{5}$$

La charge q se trouve à 5 cm à droite de la charge de $-1nC$.

13. (Ex 25) Les charges de même signe se repoussent, donc des charges vont quitter la boule pour se réfugier dans les feuilles.

Réponse : La charge de la boule diminue et la distance entre les feuilles augmente.

14. (Ex 22) Remplacer la force électrostatique par le champ électrique revient, dans cet exercice, à ne pas tenir compte de la valeur de la charge imaginée au centre du carré. Il est donc question de 4 vecteurs de normes $\frac{|q|}{r^2}$ avec la bonne direction et le bon sens. r étant identique pour les 4 charges depuis le centre du carré, cela donne (à un facteur près) le vecteur $\overrightarrow{OS}$ pour la somme des 3 vecteurs connus. Il faut en compenser la composante verticale à l'aide d'un vecteur de direction $\overrightarrow{CQ}$. Le vecteur rouge convient.



Réponse : $4 nC$

15. (Ex 21) Les 4 unités de base (de ce cours) sont m , kg , s et A . Je pars de $1 V$ et je transforme

unité	Formule	Explication
$1 V$	$P = UI$	$U = \frac{P}{I}$
$1 W/A$	$P = Fv$	
$1 Nm/As$	$C = It$	
$1 Nm/C$		

16. (Ex 21) Reprenons le schéma de Feynman. Des petits disques de champ magnétique se forment autour du fil. En embobinant ce fil, l'auteur imagine que ces petits champs magnétiques vont s'additionner et que le clou deviendra un (électro) aimant.
17. (Ex 22) $\vec{T}$ indique la vitesse des charges, qui descendent dans la partie droite du cadre. En appliquant le produit vectoriel, une force s'enfonce à gauche et ressort à droite. Le cadre pivote sur lui-même.
18. (Ex 23) $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$. La force sera donc horizontale et les électrons seront dans un plan horizontal.

Bibliographie

Il n'est pas possible de citer ici toutes les références bibliographiques que j'ai utilisées, y compris les cours que j'ai suivis et donnés.

Je pointe toutefois l'excellent ouvrage issu des cours de Richard Feynman :

Feynman, Leighton, Sands, Le cours de physique de Feynman, Électromagnétisme 1, éditions Dunod