

# ETINCELLE PHYSIQUE

The logo for '1BAC Sciences Maths' is positioned in the upper right quadrant. It features the text '1BAC' in a large, bold, teal font, with 'Sciences Maths' in a smaller, teal font below it. The logo is set against a white background that resembles a piece of paper with a yellow tab at the top and a shadow effect.

Apostrrophe

Auteurs

Driss FAZAZI

Inspecteur principal du second cycle  
de physique-chimie

Mohammed EL HEDDARI

Ex-inspecteur principal du second cycle  
de physique-chimie

# Sommaire...

## Physique

Constantes physiques fondamentales fixe.....	5
Alphabet grecque.....	6

### ► Partie 1 : Mécanique

<b>CHAPITRE 1 : Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe.....</b>	<b>7</b>
Activité 1 : Translation ou rotation ?.....	8
Activité 2 : Mouvement circulaire uniforme.....	12
L'essentiel du cours.....	16
Exercices d'application.....	17

<b>CHAPITRE 2 : Travail - Puissance d'une force ou couple de forces..</b>	<b>19</b>
Activité 1 : Travail d'une force.....	20
Activité 2 : Puissance d'une force.....	26
L'essentiel du cours.....	28
Exercices d'application.....	29

<b>CHAPITRE 3 : Le Travail un mode de transfert d'énergie.....</b>	<b>31</b>
Activité 1 : Énergie.....	32
Activité 2 : Énergie cinétique.....	38
Activité 3 : Théorème d'énergie cinétique.....	42
Activité 4 : Énergie potentielle.....	44
Activité 5 : Énergie mécanique.....	46
Activité 6 : Variation d'énergie mécanique.....	48
L'essentiel du cours.....	50
Exercices d'application.....	51

<b>CHAPITRE 4 : Énergie thermique-Transfert de chaleur.....</b>	<b>55</b>
Activité 1 : Chaleur et température.....	56
Activité 2 : Mode de transfert de chaleur.....	62
Activité 3 : Quantité de chaleur échangée sans changer d'état.....	66
Activité 4 : Quantité de chaleur échangée avec changement d'état.....	70
L'essentiel du cours.....	74
Exercices d'application.....	75

<b>CHAPITRE 5 : Énergie interne.....</b>	<b>77</b>
Activité 1 : Autres effets du travail-énergie interne.....	78
L'essentiel du cours.....	82
Exercices d'application.....	83

### ► Partie 2 : Électricité

<b>CHAPITRE 1 : Champ et potentiel électrostatiques.....</b>	<b>85</b>
Activité 1 : Loi de Coulomb.....	86
Activité 2 : Vecteur champ électrostatique.....	88

Activité 3 : Champ électrostatique uniforme.....	90
Activité 4 : Énergie potentielle électrostatique.....	92
Activité 5 : Le potentiel électrostatique.....	94
L'essentiel du cours.....	98
Exercices d'application.....	99

### CHAPITRE 2 : Transfert d'énergie dans un circuit électrique

<b>Comportement global d'un circuit.....</b>	<b>103</b>
Activité 1 : Transfert et transformation d'énergie électrique.....	104
Activité 2 : Effet Joule.....	106
Activité 3 : Énergie reçue par un récepteur électrique.....	108
Activité 4 : Cas d'un dipôle actif.....	112
Activité 5 : Étude d'un circuit résistif.....	116
L'essentiel du cours.....	122
Exercices d'application.....	123

### CHAPITRE 3 : Champ magnétique.....

<b>125</b>	
Activité 1 : Sources du champ magnétique.....	126
Activité 2 : Champ magnétique créé par un aimant et par la terre.....	130
Activité 3 : Champ magnétique créé par un courant.....	134
Activité 4 : Expression du champ magnétique créé par un courant.....	138
L'essentiel du cours.....	144
Exercices d'application.....	145

### CHAPITRE 4 : Force de Laplace.....

<b>149</b>	
Activité 1 : Force de Laplace.....	150
Activité 2 : Applications de la force de Laplace.....	152
Activité 3 : Transformations d'énergie.....	156
L'essentiel du cours.....	160
Exercices d'application.....	161

### ► Partie 3 : Optique

#### CHAPITRE 1 Condition de visibilité et l'obtention de l'image d'un objet.....

<b>163</b>	
Activité 1 : Propagation de la lumière.....	164
Activité 2 : Réflexion de la lumière.....	168
Activité 3 : Réfraction de la lumière.....	170
Activité 4 : Dispersion de la lumière.....	176
L'essentiel du cours.....	178
Exercices d'application.....	179

#### CHAPITRE 2 : Images données par une lentille mince convergente..

<b>181</b>	
Activité 1 : Lentille mince.....	182
Activité 2 : Images données par un appareil optique.....	186
L'essentiel du cours.....	188
Exercices d'application.....	189
Tableau périodique.....	191

# Constantes physiques fondamentales

## Qu'est-ce qu'une constante fondamentale ?

Une constante fondamentale est une grandeur qui intervient dans les théories physiques, et dont la valeur n'est pas prédite par la théorie.

Les constantes fondamentales ne sont pas censées varier dans le temps ou dans l'espace : quel que soit l'endroit de l'univers où l'on se trouve, et quel que soit le moment d'étude dans l'histoire de l'univers, une constante doit toujours avoir la même valeur.

Nom	Valeur	Unité
Électronvolt	$1,602\ 176\ 487(40) \cdot 10^{-19}$	J
Accélération de la pesanteur	9,806 65	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Base des logarithmes naturels	2,718 281 828 459...	
Charge élémentaire	$1,602\ 176\ 487(40) \cdot 10^{-19}$	C
Constante d'Avogadro	$6,022\ 141\ 79(30) \cdot 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$
Constante de Faraday	96 485.3399(24)	$\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$
Constante de gravitation	$6,674\ 28(67) \cdot 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante de Planck	$6,626\ 068\ 96(33) \cdot 10^{-34}$	J s
Constante de Rydberg	10 973 731,568 527(73)	$\text{m}^{-1}$
Constante molaire des gaz	8,314 472(15)	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Masse du neutron	$1,674\ 927\ 211(84) \cdot 10^{-27}$	kg
Masse du proton	$1,672\ 621\ 637(83) \cdot 10^{-27}$	kg
Masse de l'électron	$9,109\ 382\ 15(45) \cdot 10^{-31}$	kg
Permittivité du vide	$8,854\ 187\ 817... \cdot 10^{-12}$	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$
Pi	3,141 592 653 589 793 238...	
Pression standard	101 325	Pa
Rayon de Bohr	$0,529\ 177\ 208\ 59(36) \cdot 10^{-10}$	m
Rayon de l'électron	$2,817\ 940\ 2894(58) \cdot 10^{-15}$	m
Unité de masse atomique	$1,660\ 538\ 782(83) \cdot 10^{-27}$	kg
Vitesse de la lumière dans le vide	299 792 458	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Vitesse du son dans l'air	$331,5 + 0,6 \cdot T/^\circ\text{C}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Volume molaire (gaz parfait, T = 273.15 K, P = 101.325) kPa)	$22,413\ 996(39) \cdot 10^{-3}$	$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
Zéro absolu	-273,15	$^\circ\text{C}$

# Alphabet grecque

Nom	Minuscule	Majuscule
Alpha	α	Α
Bêta	β	Β
Gamma	γ	Γ
Delta	δ	Δ
Epsilon	ε	Ε
Zêta	ζ	Ζ
Êta	η	Η
Thêta	θ	Θ
Iota	ι	Ι
Kappa	κ	Κ
Lambda	λ	Λ
Mu	μ	Μ
Nu	ν	Ν
Xi	ξ	Ξ
Omicron	ο	Ο
Pi	π	Π
Rhê	ρ	Ρ
Sigma	σ	Σ
Tau	τ	Τ
Upsilon	υ	Υ
Phi	φ	Φ
Khi	χ	Χ
Psi	ψ	Ψ
Oméga	ω	Ω



Les différents rayons de la grande roue tournent du même angle pendant la même durée, tandis que ses nacelles conservent la même direction.

## MOUVEMENT DE ROTATION D'UN SOLIDE AUTOUR D'UN AXE FIXE

**Quelle est la différence entre les mouvements des rayons de la grande roue et ceux de ses cabines ?**

### Objectifs

- Savoir les Abscisses curviligne et linéaire et relations entre elles ;
- Savoir les Vitesses linéaire et angulaire et relations entre elles ;
- Savoir les caractéristiques du vecteur vitesse instantanée ;
- Savoir les caractéristiques d'un mouvement de rotation uniforme :
  - Période et Fréquence ;
  - Équation horaire.

## Activité documentaire

### Objectif

Distinguer entre mouvement de rotation et mouvement de translation circulaire.

### Doc.1 Manège



Dans notre langage courant, lorsqu'on entend translation, on pense souvent au mouvement rectiligne, or la translation peut-être curviligne. On confond aussi entre translation circulaire et rotation.

► Quelle est la différence entre ces deux derniers mouvements ?

## A Propriétés de la translation circulaire :

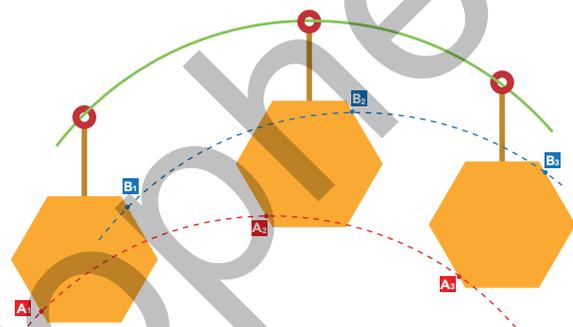
### Manipulation :

1. Prendre un objet de forme quelconque.
  2. Noter sur cet objet deux points A et B.
  3. Le déplacer sur la table de façon circulaire tout en gardant la même direction.
- La figure du (Doc. 2) donne trois positions de cet objet.

### Remarque :

- On peut utiliser trois copies identiques de l'objet pour avoir les trois positions en même temps.

### Doc.2 Translation circulaire



### Piste de travail :

1- Représenter sur le (Doc. 2), les vecteurs  $\overline{A_i B_i}$  aux trois positions de l'objet.

2- Comparer les caractéristiques (directions et sens) de ces vecteurs dans les trois positions.

3- La trajectoire de chacun des points A et B étant circulaire (Doc. 2) :

3-1- Les trajectoires ont-elles le même centre ou non ?

3-2- Comparer les distances parcourues par les deux points A et B au cours de ce trajet.

3-3- Représenter les vecteurs vitesses instantanées de A et B dans les trois positions, comparer ces vecteurs.

4- Un tel mouvement est appelé « Translation circulaire », Proposer une définition.

ApoStrophe

## B Propriétés de la rotation autour d'un axe fixe :

### Manipulation :

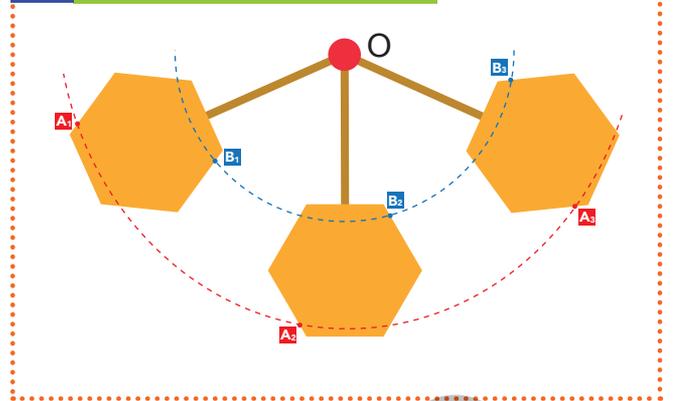
1. Reprendre le même objet.
2. Le fixer sur la table, en un point O, avec une punaise.
3. Tourner l'objet.

La figure du (Doc. 3) donne trois positions de cet objet.

### Remarque :

- On peut utiliser trois copies identiques de l'objet pour avoir les trois positions en même temps.

Doc.3 Rotation autour d'un axe fixe



### Piste de travail :

1- Comparer les caractéristiques (directions et sens) des vecteurs  $\overline{A_i B_i}$  dans les trois positions ;

2- La trajectoire de chacun des points A et B étant circulaire (Doc. 3) :

2-1- Les trajectoires ont-elles le même centre ou non ?

2-1- Comparer les distances parcourues par les deux points A et B au cours de ce trajet.

2-2- Représenter, les vecteurs vitesses instantanées de A et B dans les trois positions. Comparer ces vecteurs en chaque position.

2-2- Comparer les angles de rotation des vecteurs  $\overline{OA}$  et  $\overline{OB}$ .

3- Un tel mouvement est appelé « Rotation autour d'un axe fixe », Proposer une définition.

4- Toutes les nacelles du manège (Doc. 1) passent par les mêmes positions au cours du mouvement. Observer le mouvement de l'une d'elles, et dites s'il s'agit d'une rotation ou d'une translation circulaire ?

5- Le mouvement d'un rayon du manège, est-il un mouvement de translation ou de rotation ?

### Ce qu'il faut savoir

Un vecteur est constant s'il conserve toutes les caractéristiques.

### Lexique

- **Manège** : grande roue tournante.
- **Nacelle** : compartiment du manège.

ApoStrophe

# Mouvement circulaire uniforme

## Activité expérimentale

### Objectif

Établir l'équation horaire  $\theta(t)$  du mouvement circulaire uniforme.

### Doc.1 Horloge murale



Les aiguilles d'une montre (Doc. 1) sont animées de mouvements de rotations uniformes autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ), tous leurs points sont animés de mouvements circulaires uniformes dont les centres des trajectoires se trouvent sur l'axe ( $\Delta$ ). L'étude du mouvement d'un point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe, renseigne sur le mouvement de ce solide.

► Quelle est l'équation horaire qui régit ces mouvements ?

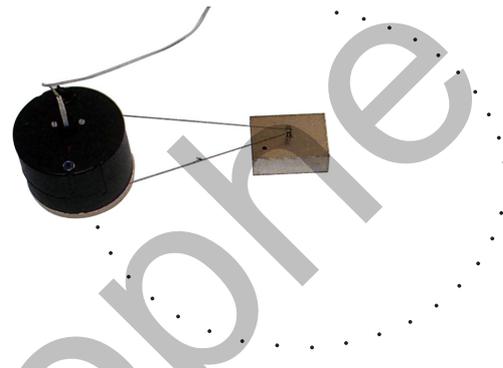
### Matériel :

Table à coussin d'air et accessoires.

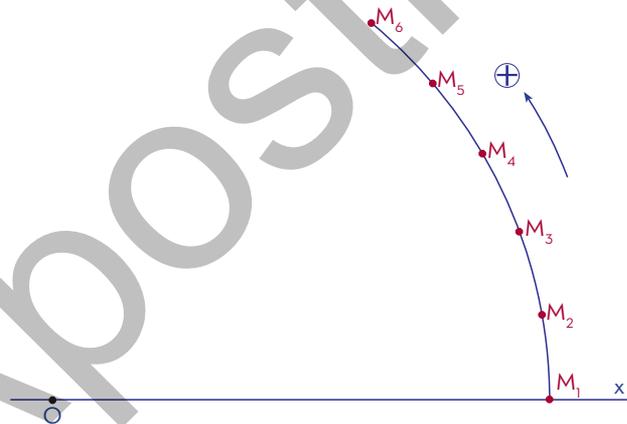
### Manipulation :

1. On relie l'autoporteur à l'aide d'un fil inextensible à un point fixe Doc. 2.
  2. On lance l'autoporteur et on enregistre le mouvement de l'éclateur central M.
- L'enregistrement ressemble à celui de la figure (Doc. 3) suivante, obtenue avec  $\tau = 40$  ms.

### Doc.2 Autoporteur relié à un point fixe



### Doc.3 Enregistrement du mouvement de l'éclateur central



### Piste de travail :

1- Noter la valeur du rayon de la trajectoire.

.....  
.....  
.....  
.....

2- Quelle est la nature du mouvement de M ? Justifier votre réponse.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

ApoStrophe

3- Par exploitation de l'enregistrement du (Doc. 3), et en considérant :

- L'axe Ox comme axe de référence pour la mesure des abscisses angulaires ;
- L'instant d'enregistrement du point  $M_2$  comme origine des temps ;

3-1- Mesurer les abscisses angulaires des positions occupées par M, et noter les dates correspondantes. Rassembler les résultats dans le tableau (Doc. 4) suivant :

Doc.4 Tableau des valeurs

Positions	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$\theta(^{\circ})$	0	10	.....	.....	.....	.....	.....
$\theta(\text{rad})$	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....
t(s)	.....	.....	0	.....	.....	.....	.....
$\omega (\text{rad.s}^{-1})$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

3-2- Tracer dans le système d'axe (Doc.5) ci-contre, la courbe  $\theta=f(t)$  représentative des variations de l'abscisse angulaire  $\theta$  en fonction du temps. Quelle est la nature de cette courbe ?

.....  
 .....  
 .....  
 .....

3-3- Écrire l'équation de cette courbe en précisant les unités des grandeurs utilisées.

.....  
 .....  
 .....

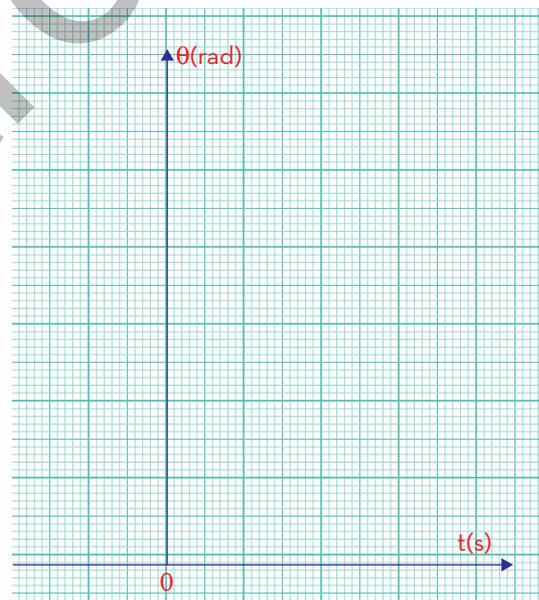
4- Représenter le vecteur vitesse instantanée en chacun des points  $M_3$  et  $M_5$ . Ce vecteur est-il constant ou variable ? Justifier votre réponse.

.....  
 .....  
 .....

5- Quelle est la durée T (appelée période) nécessaire pour accomplir un tour ?

.....  
 .....

Doc.5 Système d'axes  $\theta(t)$



### Ce qu'il faut savoir

- Deux grandeurs sont identiques s'ils ont la même valeur et la même unité.
- L'équation d'une fonction affine  $y(t)$  est :  $y = a.t + b$

### Lexique

- **Horaire** : indicateur de dates et lieux.
- **Inextensible** : ne se dilate pas.
- **Curviligne** : non linéaire.

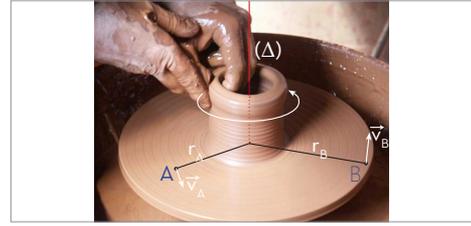
ApoStrophe

# L'ESSENTIEL DU COURS

## 1. Distinction entre rotation et translation circulaire :

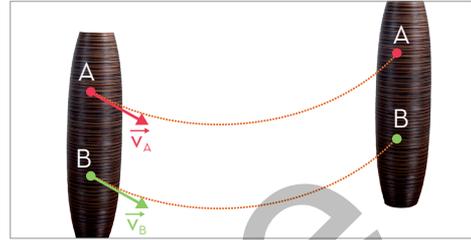
### 1.1. Rotation autour d'un axe fixe :

- Tous les points du corps ont des mouvements circulaires.
- Les centres restent immobiles constituant l'axe de rotation.
- Les vecteurs vitesses linéaires diffèrent d'un point à l'autre.



### 1.2. Translation circulaire :

- Les trajectoires des différents points sont circulaires de mêmes rayons et de centres distincts.
- Les points ont mêmes vecteurs vitesses linéaires.



## 2. Repérage de la position d'un point :

### a. Abscisse curviligne :

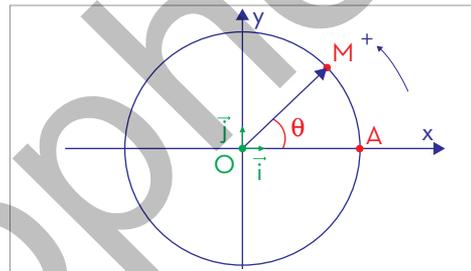
Mesure algébrique de

$$S = \widehat{AM}$$

### b. Abscisse angulaire :

Mesure algébrique de  $\theta = (\widehat{OA}, \widehat{OM})$

$$S = r \cdot \theta$$



## 3. Vitesses instantanées :

### a. Vitesse linéaire :

À un instant t :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

### b. Vitesse angulaire :

Au même instant t :

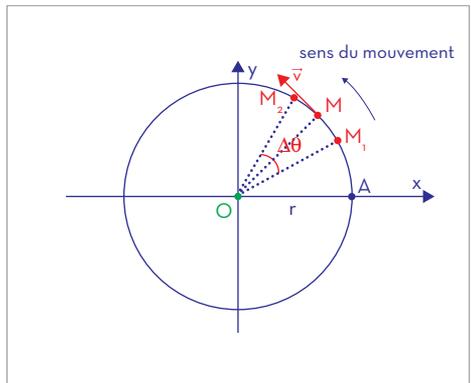
$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$$

$\Delta t$  : la plus petite durée encadrant l'instant t.

### c. Relation entre les deux vitesses :

À tout instant :

$$\omega = \frac{v}{r}$$



## 4. Équations horaires :

### 4.1. Abscisse angulaire :

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

### 4.2. Abscisse curviligne :

$$s = vt + s_0$$

## 5. Période et Fréquence du mouvement :

### a. La période T :

C'est la plus petite durée pour accomplir un tour.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v}$$

### b. La fréquence N :

C'est le nombre de tours effectués par seconde.

$$N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{Hz})$$

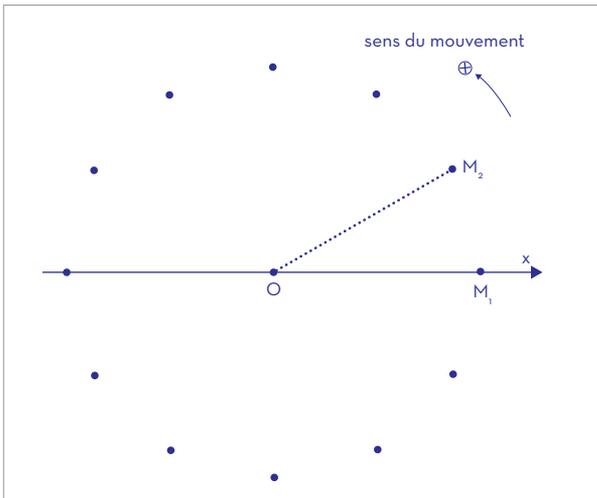
**NB**

Quelques conversions utiles :

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ tr/s} = 2\pi \text{ rad/s} = 60 \text{ tr/min}$$

## 1 Équation horaire

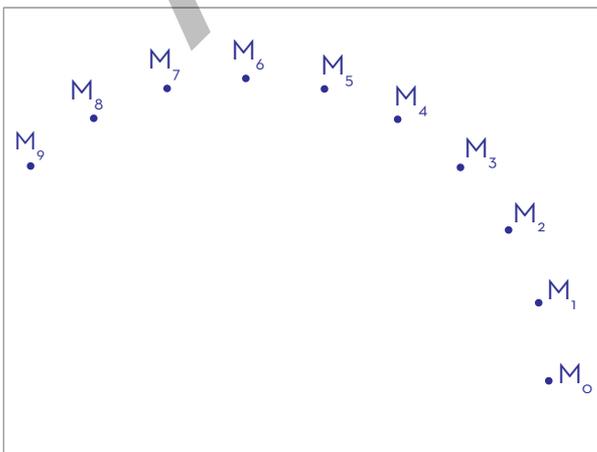
On enregistre pendant des durées successives et égales à  $\tau = 60$  ms, le mouvement d'un point  $M$  d'un solide ( $S$ ) en rotation autour d'un axe fixe. On obtient l'enregistrement représenté sur le schéma suivant :



1. Quelle est la nature du mouvement de  $M$  ? Justifier votre réponse.
2. Déterminer la période  $T$  du mouvement du solide.
3. Dédurre la valeur de la vitesse angulaire du solide.
4. Écrire l'équation horaire  $\theta(t)$  du mouvement de  $M$ , en considérant l'instant de l'enregistrement du point  $M_2$  comme origine des temps et l'axe passant par  $M_1$  comme axe de référence.

## 2 Exploitation d'un enregistrement

On enregistre pendant des durées successives et égales à  $\tau = 40$  ms, le mouvement d'un point  $M$  d'un solide ( $S$ ) en mouvement de rotation autour d'un axe fixe. On obtient l'enregistrement suivant :



1. Déterminer graphiquement.

- 1.1. Le centre de la trajectoire circulaire.
- 1.2. Le rayon de cette trajectoire.
- 1.3. La valeur de la vitesse linéaire de  $M$  à la position  $M_5$  et représenter ce vecteur.
- 1.4. La valeur de la vitesse angulaire au même point  $M_5$ .
2. Vérifier par calcul la valeur du rayon obtenue graphiquement.
3. Écrire l'équation horaire  $\theta(t)$  du mouvement de  $M$ , en considérant l'instant de l'enregistrement du point  $M_3$  comme origine des temps et l'axe passant par  $M_0$  comme axe de référence.

## 3 Rotation d'un disque

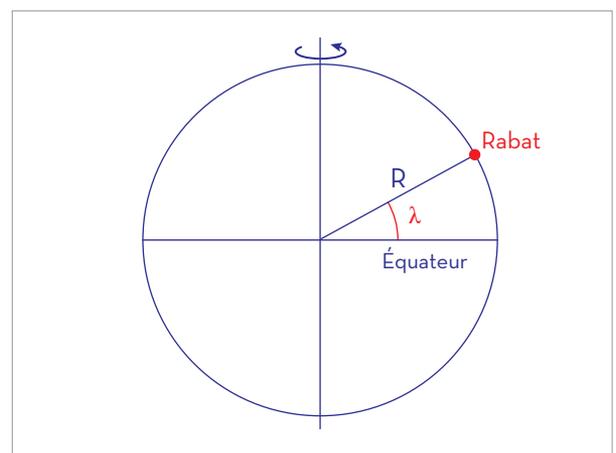
Un disque fixé sur l'axe d'un moteur effectue 3500 tr/min. On choisit le sens de rotation comme sens positif.

1. Calculer sa vitesse angulaire en rad/s.
2. Calculer la fréquence de son mouvement.
3. Calculer la valeur de la vitesse linéaire d'un point  $P$  du disque, distant de l'axe de rotation d'une distance de 15 cm.
4. Calculer le nombre de tours effectués par le disque pendant 20 s.
5. Écrire l'équation horaire  $\theta(t)$  du mouvement, sachant que  $\theta(T) = 2\pi$ .

## 4 Mouvements des aiguilles d'une horloge

1. Calculer la vitesse angulaire de l'aiguille des heures d'une horloge murale.
2. La même question pour celle des minutes.
3. On choisit midi (12 h) comme origine des dates ( $t=0$ ), combien de fois les deux aiguilles coïncident entre midi et minuit. En déduire les instants correspondants.

## 5 Rotation de la Terre autour d'elle même



La Terre de rayon  $R$  effectue une révolution autour de l'axe passant par ses pôles en un jour sidéral 23 h 56 min 4 s.

On donne :  $R = 6378$  km.

1. Calculer dans le repère géocentrique, la valeur de la vitesse linéaire d'un point situé sur l'équateur.
2. Calculer dans le même repère, la valeur de la vitesse d'un point de Rabat de latitude  $\lambda = 34^\circ$ .
3. Calculer suivant le même méridien, la distance entre Rabat et l'équateur.

### 6 Deux mobiles sur la même trajectoire

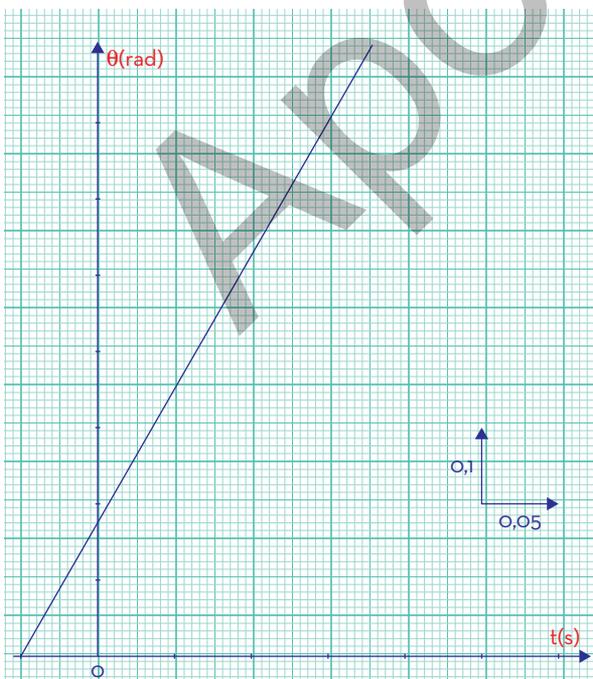
Les coordonnées d'un point  $A$  mobile dans un repère  $(Oxy)$  sont :

$$x(t) = 0,4 \cos\theta \text{ (m)} \text{ et } y(t) = 0,4 \sin\theta \text{ (m)}$$

1. Quelle est la nature du mouvement du point  $A$  ?
2. Calculer la valeur de sa vitesse linéaire sachant que la valeur de sa vitesse angulaire est  $\omega_A = 2$  rad/s.
3. Un autre mobile  $B$  se déplace sur la même trajectoire avec une vitesse constante de valeur  $V_B = 1$  m/s. Les deux mobiles passent à  $t = 0$  au même endroit. Déterminer l'instant de la première rencontre des deux mobiles lorsqu'ils :
  - 3.1. Se déplacent dans le même sens.
  - 3.2. Se déplacent en sens contraires.

### 7 Exploitation d'une courbe

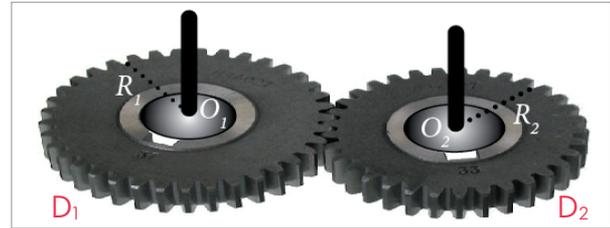
Le schéma ci-après représente la courbe  $\theta(t)$  du mouvement d'un point  $A$  d'un solide  $(S)$  en rotation autour d'un axe fixe  $(\Delta)$ .



1. Déterminer la valeur de la vitesse angulaire  $\omega$  du mouvement de  $(S)$ .

2. Sachant que la valeur de la vitesse linéaire de  $A$  est :  $V_A = 0,35$  m/s, en déduire la valeur du rayon  $r$  de la trajectoire de  $A$ .
3. Écrire l'équation horaire  $\theta(t)$  du mouvement de  $A$ .

### 8 Engrenages



On fait tourner un engrenage  $D_1$  à l'aide d'un moteur avec une vitesse de 200 tr/min. Il fait tourner par contact un autre engrenage  $D_2$ . Les deux engrenages roulent l'un sur l'autre sans glissement.

Les rayons de  $D_1$  et  $D_2$  sont respectivement :  $R_1 = 50$  cm et  $R_2 = 30$  cm.

1. Calculer la valeur de la vitesse angulaire  $\omega_1$  de  $D_1$ .
2. Déduire la vitesse linéaire d'un point de sa périphérie.
3. Calculer la valeur de la vitesse angulaire  $\omega_2$  de  $D_2$ .
4. Déduire la fréquence  $N_2$  du mouvement de rotation de  $D_2$ .

### 9 Transmission de mouvement

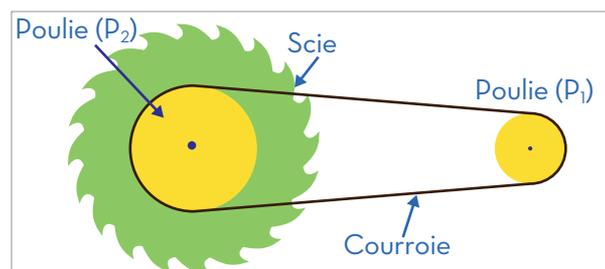
On considère le schéma ci-dessous :

Sachant que la poulie  $(P_1)$  tourne avec une vitesse qui correspond à 1800 tr.min<sup>-1</sup>, la courroie ne glisse pas sur les poulies. Calculer :

1. La vitesse angulaire de rotation de la poulie  $(P_1)$ .
2. La vitesse d'un point de la courroie.
3. La fréquence et la période de rotation de la scie.
4. La vitesse linéaire des dents de la scie.

**On donne :**

- Le rayon de la scie :  $R = 40$  cm ;
- Les rayons des deux poulies :  $r_1 = 10$  cm, et  $r_2 = 20$  cm.

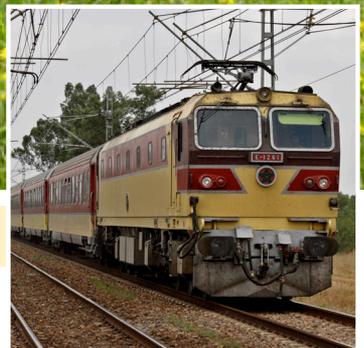




# Mécanique

# 2

CHAPITRE



*Le cheval est un animal très puissant, il est capable d'effectuer des travaux considérables en fournissant des énergies énormes.*

## TRAVAIL - PUISSANCE D'UNE FORCE OU COUPLE DE FORCES

**Quelle différence y'a-t-il entre travail et énergie, et comment les relier à la puissance ?**

### Objectifs

- Savoir l'expression et l'unité du travail d'une force dans le cas :
  - D'une force constante au cours d'une translation ;
  - Des forces de frottement ;
- Savoir l'expression du travail d'une force de moment constant au cours d'une rotation autour d'un axe fixe ;
- Savoir l'expression et l'unité de la puissance d'une force ou couple dans le cas de la translation et de la rotation.

## Activité documentaire

Pour mettre un objet en mouvement, il est nécessaire qu'un système (l'expérimentateur, moteur, ...) lui transfère de l'énergie. Ce mode de transfert d'énergie s'appelle : **travail**.

- ▶ Comment peut-on définir cette grandeur mathématiquement ?
- ▶ Quand est ce que ce transfert est réalisé ?

**Objectifs**

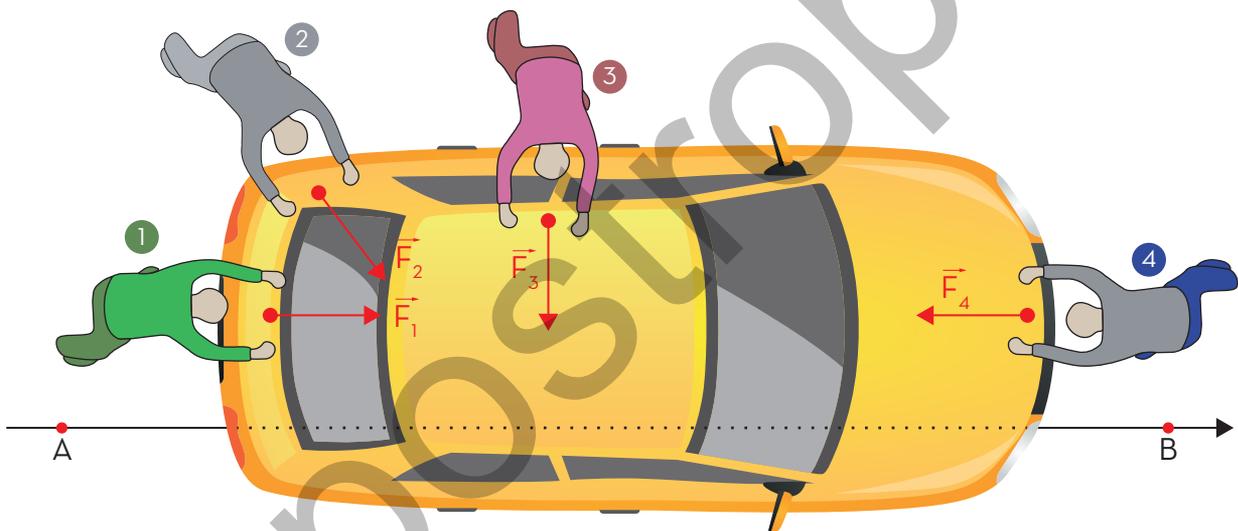
- ▶ Mettre en évidence la notion de travail d'une force ;
- ▶ Établir l'expression du travail d'une force constante.

## A Notion de travail d'une force :

Quatre personnes déplacent une voiture de A à B **Doc. 1**, en exerçant chacun une force de même intensité. On entend les phrases suivantes :

- a- Je résiste !
- b- Je contribue comme je peux...
- c- C'est moi le meilleur !
- d- Je ne sers à rien !

Doc.1 Efficacité d'une force



### Piste de travail :

1- Attribuer à chaque personne la phrase qu'il prononce parmi les phrases précédentes.

- 1 ..... 2 .....
- 3 ..... 4 .....

2- L'énergie transmise à la voiture, par chaque force, pour la faire déplacer de A à B s'appelle : Travail de la force. Quelle est la force dont le travail est maximal, et quelle est celle dont le travail est nul ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

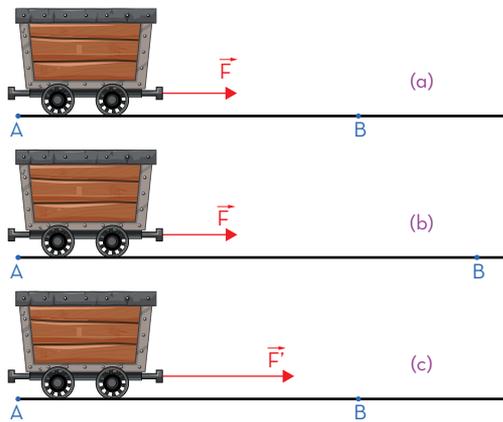
.....

ApoStrophe

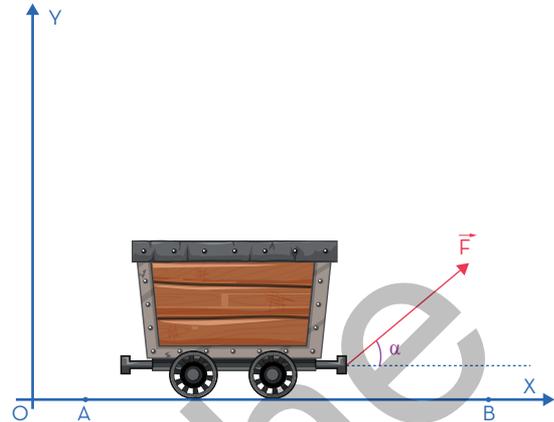
## B Expression du travail d'une force constante :

Une force constante est une force qui conserve les caractéristiques.

Doc.2 Force parallèle au trajet



Doc.3 Force inclinée par rapport au trajet



### Piste de travail :

#### 1- Force de direction parallèle au trajet :

On désire déplacer le wagonnet d'une distance  $d = AB$ , en appliquant une force d'intensité constante durant tout le trajet et de direction parallèle au trajet (Doc. 2)  $F' = 2 F$ .

1-1- L'effort fourni est-il le même dans les trois situations ?

.....

.....

1-2- Déduire les facteurs dont dépend le travail d'une force ?

.....

.....

1-3- Parmi les expressions suivantes du travail (noté  $W$ ), cocher  celle qui semble le mieux convenir ?

$W = F/d$

$W = F \cdot d$

$W = d/F$

#### 2- Force de direction inclinée par rapport au trajet :

Le travail fourni par une force  $\vec{F}$ , est la somme des travaux fournis par ses composantes  $\vec{F}_x$  et  $\vec{F}_y$ .

-(O,x) axe parallèle à la direction de déplacement ;

-(O,y) axe normal à la direction de déplacement ;

On notera  $d = AB$ .

2-1- Tracer sur le schéma Doc. 3, les composantes  $\vec{F}_x$  et  $\vec{F}_y$  de la force  $\vec{F}$  suivant les axes (Ox) et (Oy).

2-2- Quelle est la composante de la force  $\vec{F}$  qui favorise le déplacement horizontal du wagonnet ?

.....

.....

2-3- En utilisant l'expression du travail établie dans le cas particulier précédent (question 1-3), établir l'expression de ce travail dans le cas de cette force de direction inclinée par rapport au trajet en fonction de  $F$ ,  $d$  et  $\alpha$ .

.....

.....

2-4- Déduire l'expression de ce travail en fonction de  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$ .

.....

.....

.....

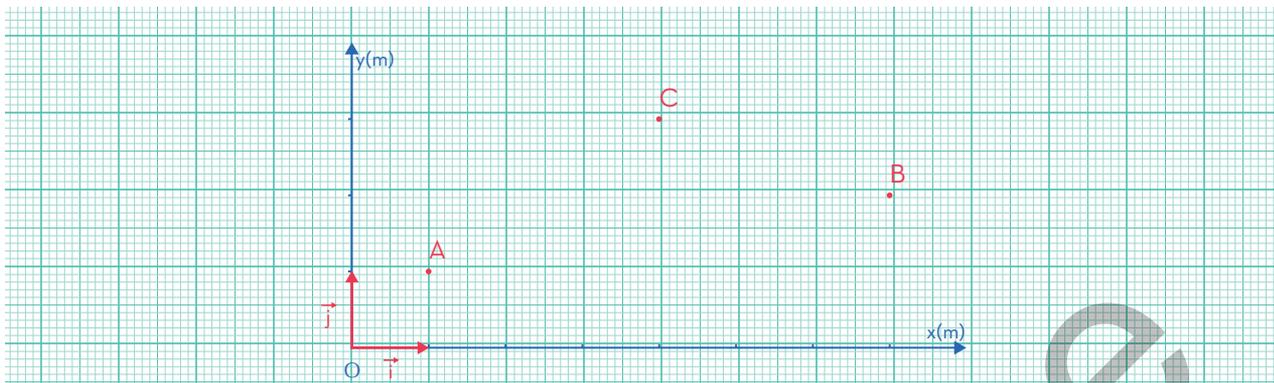
.....

ApoStrophe

## C Propriété du travail d'une force constante :

On considère une force de composantes :  $F_x = 2 \text{ N}$  et  $F_y = 3 \text{ N}$ .

### Doc.4 Travail et trajet



#### Piste de travail :

1- Donner (en m), les coordonnées des points A, B et C Doc. 1 dans le repère (Oxy).

A (..... ; .....)

B (..... ; .....)

C (..... ; .....).

2- En choisissant l'échelle :  $2 \text{ N} \leftrightarrow 1 \text{ cm}$  ;  
Représenter le vecteur force  $\vec{F}$  en A, B et C.  
Conclure. ....

3- Calculer le travail de  $\vec{F}$  de A à B directement, puis de A à B en passant par C.

4- Ce travail dépend-il du trajet suivi par le mobile ?

#### Ce qu'il faut savoir

L'expression du produit scalaire :

$$\vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(\widehat{F, AB})$$

$$\vec{F} \cdot \vec{AB} = F_x \cdot (x_B - x_A) + F_y \cdot (y_B - y_A)$$

#### Lexique

- **Travail** : mode de transfert d'énergie.
- **Résister** : s'opposer.
- **Contribuer** : participer.

ApoStrophe

## Activité documentaire

Lorsque deux systèmes de puissances différentes effectuent le même travail (fournissent la même énergie), le plus puissant est celui le plus rapide.

► **Quelle relation relie ces deux grandeurs (puissance et énergie) ?**

Trois ouvriers dans un chantier (Doc. 1) effectuent des travaux évalués comme suit :

- L'ouvrier ① effectue un travail « W » pendant une durée « Δt » ;
- L'ouvrier ② effectue un travail « 2W » pendant la même durée « Δt » ;
- L'ouvrier ③ effectue un travail « W » pendant une durée « 2 Δt ».

### Piste de travail :

1- Classer les travaux des trois ouvriers par efficacité croissante :

.....  
 .....  
 .....

2- Les trois ouvriers ont effectué les travaux en développant chacun une puissance moyenne  $P_m$ .

Quelle est parmi les expressions suivantes celle qui paraît la plus convenable ?

$$P_m = W \cdot \Delta t \quad \square$$

$$P_m = W / \Delta t \quad \square$$

$$P_m = \Delta t / W \quad \square$$

3- La puissance est-elle une grandeur absolue ou algébrique ?

.....  
 .....

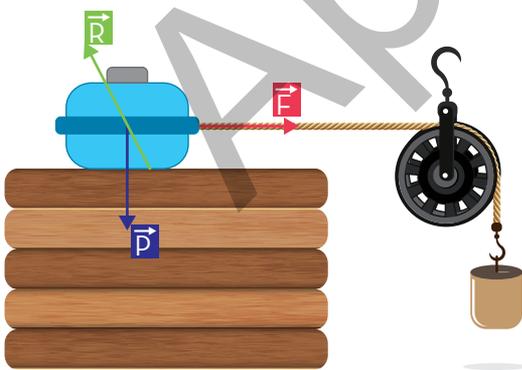
4- Un corps est tiré par un câble sur un plan horizontal (Doc.2).

Quelle est la nature du travail de chacune des forces modélisant les actions que subit le corps tracté ?

Quel est le signe de la puissance développée par chacune d'elles ?

.....  
 .....

### Doc.2 Corps tiré



.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

**Objectif**

- Mettre en évidence la notion de puissance ;
- Établir l'expression de la puissance moyenne d'une force.

### Doc.1 Efficacité d'un travail



### Ce qu'il faut savoir

- Le travail est une grandeur algébrique ;
- Les frottements causent l'apparition de chaleur.

### Lexique

- **Ordre croissant** : du plus petit au plus grand.
- **Absolu** : toujours positif.
- **Algébrique** : peut être positif ou négatif.

ApoStrophe

## 1. Travail :

### 1.1. Travail d'une force constante au cours d'une translation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB}$$

Donc :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = F \cdot AB \cdot \cos(\vec{F}, \overline{AB}) = F_x(x_B - x_A) + F_y(y_B - y_A)$

- Si  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) > 0$ , on dit que le travail est **moteur**.
- Si  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) < 0$ , on dit que le travail est **résistant**.

#### Remarque :

- Le travail de toute force de direction perpendiculaire à la tangente à la trajectoire est **nul**.
- Le travail d'une force constante ne dépend pas du chemin suivi, on dit que la force est **conservative**.

### 1.2. Travail du poids d'un corps :

Dans un repère d'axe vertical (Oz) orienté vers le haut :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

Pour simplifier l'utilisation de cette formule, on distinguera deux cas :

- Cas d'un mouvement descendant :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mgh$
- Cas d'un mouvement ascendant :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -mgh$

Avec : **h** la différence d'altitude entre les positions : initiale et finale, du centre d'inertie du corps.

### 1.3. Travail de la réaction d'un plan sur un corps :

On a :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$

$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) = 0$  : parce que  $\vec{R}_N$  est toujours normale à la tangente à la trajectoire quelle que soit sa nature.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \cdot \widehat{AB}$$

Avec  $\widehat{AB}$  la distance parcourue par le point d'application de  $\vec{R}$ , c'est la longueur de la trajectoire AB.

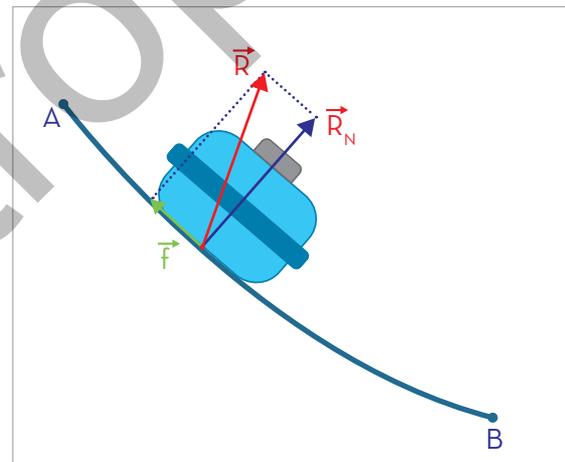
#### Remarque :

Le travail de la réaction du plan sur le corps dépend du chemin suivi, cette force est non conservative.

### 1.4. Travail d'une force ou couple de moment constant :

$$W = c M_b \cdot \Delta\theta$$

Pour déterminer l'angle entre  $\vec{F}$  et  $\overline{AB}$ , il faut coïncider leurs origines.



## 2. Puissance :

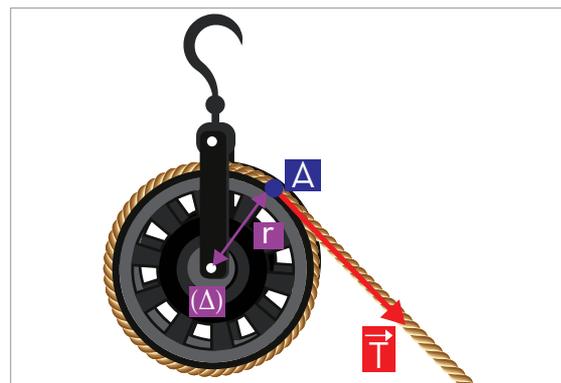
### 2.1. Puissance moyenne d'une force ou couple :

$$P_m = \frac{W}{\Delta t}$$

### 2.2. Puissance instantanée, expressions générales :

a. Cas de translation :  $P(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{v}$

b. Cas de rotation autour d'un axe fixe (force ou couple de moments constants) :  $P = c M_b \cdot \omega$

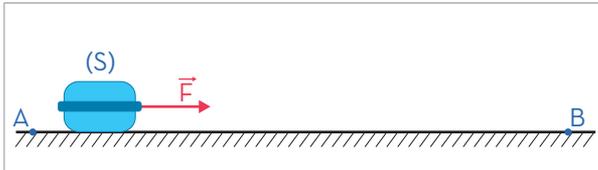


On prendra :  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

## 1 Travail d'une force constante

Un mobile (S) supposé ponctuel, de masse  $m = 200 \text{ g}$ , se déplace d'un point A à un point B tel que  $AB = 2,5 \text{ m}$  sous l'action d'une force  $\vec{F}$  d'intensité  $F = 2 \text{ N}$ .

1.  $\vec{F}$  parallèle au trajet AB rectiligne et horizontal.



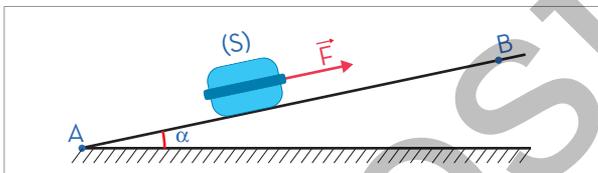
1.1. Calculer le travail de  $\vec{F}$  entre A et B.

1.2. Quel est le travail du poids de (S) sur le même trajet ?

1.3. Le mobile (S) est soumis à des frottements modélisés par une force  $\vec{f}$  de sens contraire au vecteur vitesse et de module  $f = 1 \text{ N}$ .

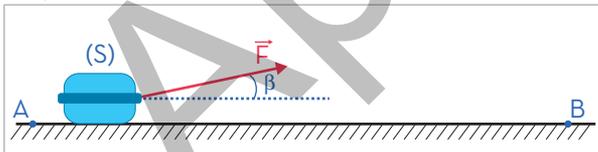
Calculer le travail de  $\vec{f}$  au cours du trajet AB.

2.  $\vec{F}$  parallèle au trajet AB rectiligne et incliné d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.



Calculer le travail du poids de (S) sur ce trajet.

3. Le trajet est à nouveau horizontal et la direction de  $\vec{F}$  est inclinée d'un angle  $\beta = 30^\circ$  par rapport au plan horizontal.



Calculer le travail de  $\vec{F}$  entre A et B.

## 2 Trajet curviligne

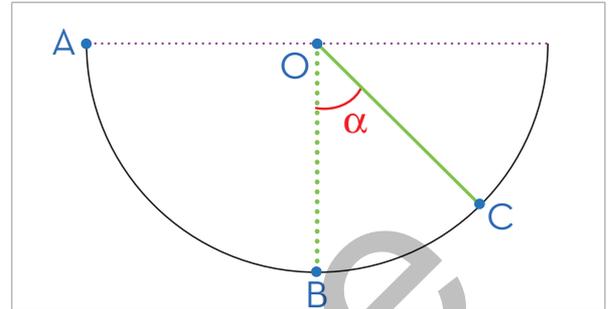
Un solide (S) supposé ponctuel, de masse  $m = 100 \text{ g}$ , se déplace à l'intérieur d'une cuvette circulaire de rayon  $r = 0,5 \text{ m}$ . Le solide est lâché du point A sans vitesse initiale et s'arrête en C. On donne  $\alpha = 45^\circ$ .

1. Calculer le travail du poids  $\vec{P}$  de (S) entre A et C.

2. Le mobile (S) est soumis à des frottements modélisés par une force  $\vec{f}$  de sens contraire au vecteur vitesse et d'intensité  $f$ .

Donner l'expression du travail de la réaction  $\vec{R}$  de la cuvette sur (S) au cours du trajet AC.

3. Calculer  $f$  pour que la somme des travaux de A à C de  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$  soit nulle

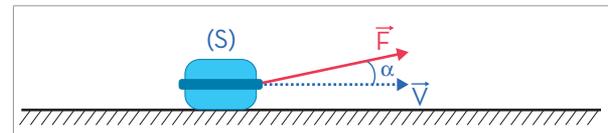


## 3 Puissance moyenne

La puissance moyenne développée par le moteur d'une voiture est  $P_m = 30 \text{ kW}$ . Calculer le travail fourni par le moteur pendant une durée de travail  $\Delta t = 1 \text{ h}$ .

## 4 Puissance instantanée

On tire sur un plan horizontal, un solide (S), par l'intermédiaire d'un câble fixé à un moteur qui développe une puissance constante  $P = 400 \text{ W}$ . Le moteur applique sur le câble tracteur, une force  $\vec{F}$ , de direction inclinée d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale et de module  $F = 140 \text{ N}$ .



1. Calculer la valeur supposée constante de la vitesse du solide (S).

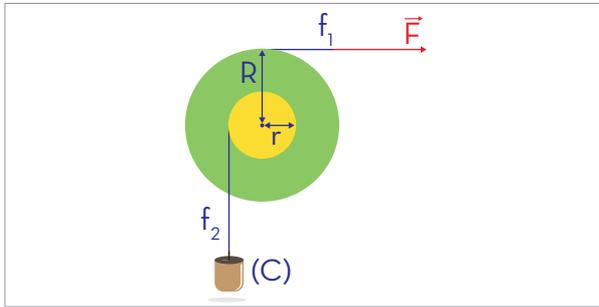
2. Quelle est la nature du contact entre le corps et le plan horizontal ? S'il y a des frottements calculer leur intensité  $f$  supposée constante.

## 5 Système de poulies

Un système constitué d'une poulie à deux gorges de rayons respectifs :  $r = 4 \text{ cm}$  et  $R = 10 \text{ cm}$ . Le système est utilisé pour soulever un solide (C) de masse  $m = 2 \text{ kg}$  à une vitesse  $v = 2 \text{ m/s}$ . Les fils  $f_1$  et  $f_2$  sont inextensibles, de masses négligeables et ne glissent pas sur les gorges de la poulie. On néglige tous les frottements.

1. Calculer l'intensité de la force  $\vec{F}$  appliquée sur  $f_1$ .

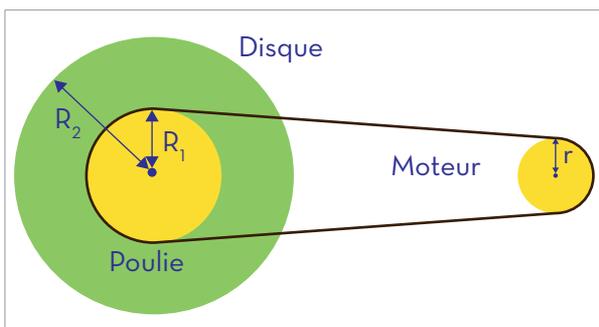
2. Calculer le travail fourni par  $\vec{P}$  (poids du corps) et  $\vec{F}$  (force de traction) et la puissance développée par chacune d'elles, lorsque la poulie accomplit un tour complet.



### 6 Couple moteur

Le système ci-dessous modélise un disque solidaire d'une poulie trainée par un moteur à l'aide d'un câble inextensible, de masse négligeable et ne glisse pas sur la gorge de la poulie.

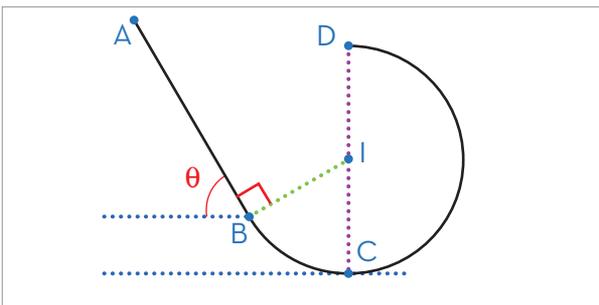
On donne :  $r = 5 \text{ cm}$  ;  $R_1 = 15 \text{ cm}$  ;  $R_2 = 30 \text{ cm}$ .



La vitesse angulaire de rotation du moteur est  $\omega = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$ .

- Calculer la valeur  $v_1$  de la vitesse d'un point du fil, et la valeur de la vitesse angulaire  $\omega_1$  de la poulie.
- Déduire la valeur de la vitesse angulaire  $\omega_2$  du disque.
- Calculer la valeur de la vitesse d'un point du contour du disque.
- Le moteur applique sur son axe un couple de moment  $\mathcal{M} = 50 \text{ N.m}$ . Calculer le travail de ce couple lorsque le moteur accomplit 1000 tours.
- Déduire la puissance développée par ce moteur au cours de ce travail.

### 7 Détermination graphique d'un travail

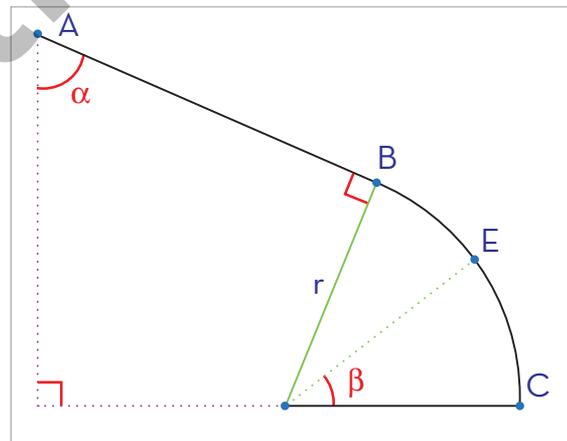


Un mobile M ponctuel de masse  $m = 0,5 \text{ kg}$ , glisse le long d'une piste verticale ABCD.

- AB rectiligne de longueur  $AB = 2 \text{ m}$  et incliné d'un angle  $\theta = 60^\circ$  par rapport au plan horizontal.
- BCD portion de cercle de centre I et de rayon  $r = 50 \text{ cm}$ .

- Calculer le travail du poids de M entre A et B puis entre B et D.
- En considérant que les forces de frottements sont équivalentes à une force  $\vec{f}$  de sens opposé au vecteur vitesse et de module  $f = 0,9 \text{ N}$ :
  - Calculer le travail de la réaction  $\vec{R}$  du plan sur M entre A et B puis entre B et D.
  - Déduire le module de  $\vec{R}$  sur le trajet AB, sachant que le coefficient de frottement sur ce trajet est  $k = 0,36$ .
- Le mobile part à  $t = 0$ , du point A sans vitesse initiale et passe au point B à l'instant  $t = 0,76 \text{ s}$ , avec une vitesse de valeur  $v_B = 5,24 \text{ m.s}^{-1}$ .
  - Calculer la puissance du poids  $\vec{P}$  du mobile aux points A et B.
  - Sachant que la valeur de la vitesse est une fonction linéaire du temps, tracer qualitativement le graphe  $P(t)$ , et déduire la valeur du travail du poids  $\vec{P}$  du mobile entre les points A et B. Comparer à la valeur trouvée à la question 1.

### 8 Dépendance des travaux



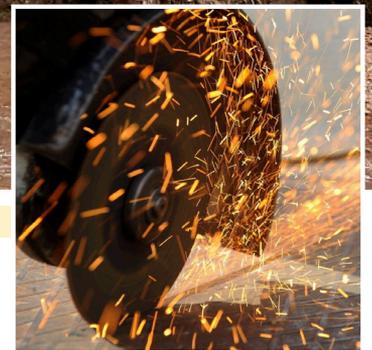
Un solide ponctuel de masse  $m = 200 \text{ g}$  part de A sans vitesse initiale et glisse le long d'un trajet constitué de :

- Une partie AB rectiligne de longueur  $AB = 75 \text{ cm}$ .
- Une partie BC circulaire de centre O et de rayon  $r = 50 \text{ cm}$ .

On donne :  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ .

- Calculer le travail du poids du solide entre A et E.
- Le contact entre le solide et la piste se fait avec frottements. Calculer le module de la force de frottement supposé constant sachant que :

$$W_{A-E}(\vec{P}) + W_{A-E}(\vec{R}) = 0,3 \text{ J.}$$



Plus que la hauteur des chutes d'eau est grande, plus que cette eau peut fournir des énergies énormes.

## LE TRAVAIL UN MODE DE TRANSFERT D'ÉNERGIE

Comment peut-on transformer l'énergie d'une forme à une autre forme ?

### Objectifs

#### 1. Travail et énergie cinétique $E_c$ :

- Savoir l'expression et l'unité de l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation ;
- Savoir le théorème de l'énergie cinétique, et l'appliquer.

#### 2. Travail et énergie potentielle de pesanteur $E_{pp}$ :

- Savoir l'expression et l'unité de  $E_{pp}$  d'un solide ;
- Savoir la relation entre le travail du poids et la variation de  $E_{pp}$ .

#### 3. Travail et énergie mécanique $E_m$ :

- Savoir l'expression et l'unité de l'énergie mécanique d'un solide ;
- Savoir le cas de conservation de cette énergie et le cas de non conservation.

## Activité documentaire

### Objectif

Mettre en évidence quelques ressources d'énergie dans la nature.

L'énergie totale dans l'univers est constante, elle ne peut être ni créée ni détruite, mais elle ne peut être que transformée d'une forme à une autre.

► Quelles sont ces ressources d'énergie ?

### A Ressources d'énergie :

L'énergie c'est l'aptitude à fournir un travail quelconque, il existe plusieurs formes d'énergie dont la plus part apparaissent sous forme de chaleur et de lumière.

Le son est aussi une énergie.

Il y a des énergies qui peuvent être produites par des machines « énergies mécaniques » et d'autres sont libérées par des réactions chimiques « énergies chimiques ».

Il y'a aussi l'énergie nucléaire qui peut être libérées par des noyaux de quelques atomes comme le Plutonium et l'Uranium... (Doc. 1)

Doc.1 Bombe nucléaire



On utilise l'énergie provenant des ressources qui emmagasinent l'énergie solaire, comme le charbon et le pétrole, comme on utilise l'énergie provenant directement du soleil.

Doc.2 Charbon



### Charbon et bois :

Le charbon résulte des débris de plantes qui vivaient sur terre depuis des millions d'années, et l'énergie emmagasinée dans le charbon et le bois provient des aliments synthétisés par les plantes par l'intermédiaire des rayons solaires, cette énergie apparaît par combustion (Doc. 2) sous forme de chaleur et de lumière.

### Le pétrole :

C'est l'une des principales ressources d'énergie, et c'est à partir de laquelle on extrait les carburants et des milliers d'autres produits (Doc. 3).

Le pétrole résulte des débris de plantes et d'animaux qui vivaient sur terre et aux fonds des mers.

### Le gaz naturel :

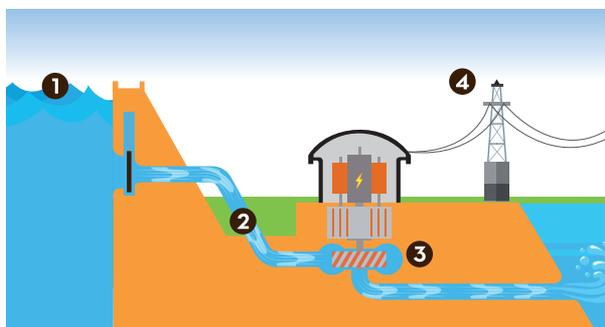
Il se forme à peu près de la même façon que le pétrole.

Doc.3 Plate-forme pétrolière



ApoStrophe

#### Doc.4 hydro-électricité



#### L'électricité :

C'est l'une des meilleures formes d'énergie, elle peut être produite facilement à partir d'autres formes d'énergie (par exemple l'énergie résultant des chutes d'eau) et transportée d'un lieu à un autre à l'aide des câbles (Doc. 4).

#### Autres ressources d'énergie :

Le vent, les vagues et les eaux chaudes qui proviennent de la Terre sont aussi des ressources considérables d'énergie.

Les éoliennes (Doc. 5), utilisent l'énergie du vent pour tourner des turbines de production d'électricité.

#### Doc.5 Eoliennes



## B Transformations d'énergie :

#### Doc.6 Pile chimique



L'énergie peut-être transformée d'une forme à une autre.

- L'énergie chimique emmagasinée dans une pile peut être transformée en courant électrique, qui se transforme à son tour en énergie lumineuse en traversant une lampe ou en énergie mécanique en traversant un moteur électrique (Doc. 6).

- En se frottant les mains, on peut transformer l'énergie mécanique en énergie calorifique.

Une voiture (Doc. 7), en panne de moteur en haut d'une colline, peut descendre et acquérir de la vitesse, on dit qu'elle a acquit de l'énergie cinétique, mais se serait à l'égard de la perte d'une autre forme d'énergie dépendant de l'altitude et qu'on appelle énergie potentielle de pesanteur.

#### Doc.7 Voiture



ApoStrophe



ApoStrophe

## Activité expérimentale

### Objectif

Établir l'expression de l'énergie cinétique.

Le travail du poids d'un corps en chute vers le bas est moteur, et le corps acquiert de la vitesse. Ce travail se transforme donc en une grandeur liée à la vitesse.

► Quelle est cette grandeur, et quelle est son expression ?

Doc.1 chute libre

### Matériel :

Ordinateur muni :

- D'un logiciel de pointage (AviStep par exemple) ;
- D'un tableur (Regressi par exemple) ;
- D'une vidéo de chute libre (Doc. 1) au format AVI.

### Manipulation :

1. Ouvrir la vidéo avec le logiciel de pointage ;
2. Étalonner le logiciel, et choisir un axe d'étude descendant ;
3. Suivre le mouvement du centre de gravité de la balle ;
4. Copier le tableau de mesure (après affichage des vitesses) vers le tableur ;

5. Définir  $W(\vec{P})=m.g.h$  et  $v^2$

(h : distance verticale parcourue par la balle) ;

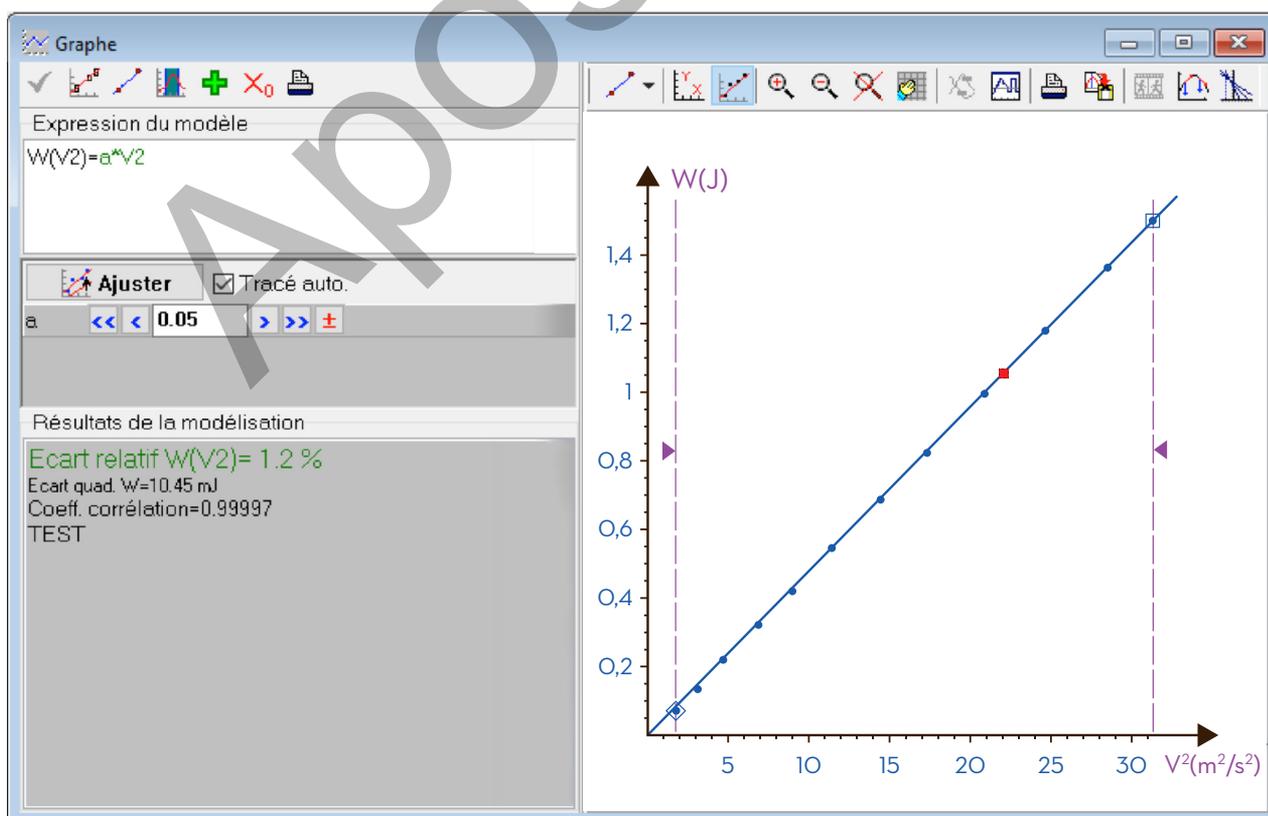
**On donne :**  $m = 0,1 \text{ kg}$  et on prendra  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

6. Faire tracer la courbe  $W(\vec{P})=f(v^2)$

La courbe obtenue ressemble à celle représentée sur la figure (Doc. 2) suivante.



Doc.2 Courbe  $W = f(v^2)$



ApoStrophe

**Piste de travail :**

1- Quelle est la vitesse initiale de la balle ?

.....  
.....  
.....

2- Noter la valeur de la pente de la courbe et montrer qu'elle est homogène à une masse ;

On donne :  $1\text{J} = 1\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ .

.....  
.....  
.....

3- Comparer la valeur de cette pente à celle de la masse  $m$  de la balle.

.....  
.....  
.....

4- Par exploitation de l'équation de cette courbe, établir l'expression du travail du poids en fonction de  $m$  et  $v$ .

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

5- Quelle est l'expression de l'énergie en laquelle se transforme le travail du poids de cette balle ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

6- Le nom **d'énergie cinétique**, est-il convenable pour cette énergie ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Ce qu'il faut savoir**

- Le travail est un mode de transfert d'énergie ;
- L'unité d'un rapport est le rapport des unités ;
- L'équation d'une fonction linéaire  $y(x)$  s'écrit :  
 **$y = a x$ .**

**Lexique**

- **Tableur** : éditeur de graphes.
- **Homogène à...** : à la même unité que...
- **Pente** : coefficient directeur.
- **Cinétique** : mouvement.

ApoStrophe

# Théorème d'énergie cinétique

## Activité expérimentale

### Objectif

Établir le théorème de l'énergie cinétique.

L'énergie cinétique d'un corps reste constante tant que les forces modélisant les actions qui lui sont appliquées ne travaillent pas.

► Quelle relation relie la variation de l'énergie cinétique et les travaux de ces forces ?

### Matériel :

Table à coussin d'air et accessoires.

### Manipulation :

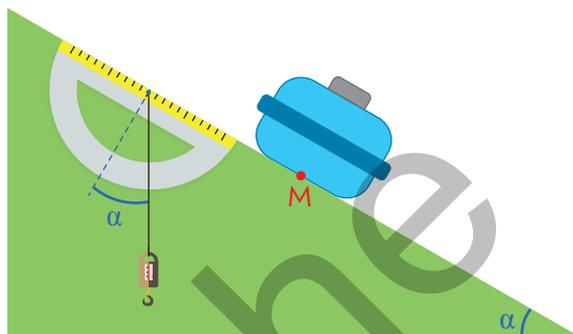
1. Incliner la table d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.

2. Lâcher l'autoporteur sans vitesse initiale et déclencher l'enregistrement des positions de l'éclateur central M. Les frottements sont supposés négligeables. L'enregistrement obtenu ressemble à celui représentée sur la figure (Doc. 2) ci-dessous.

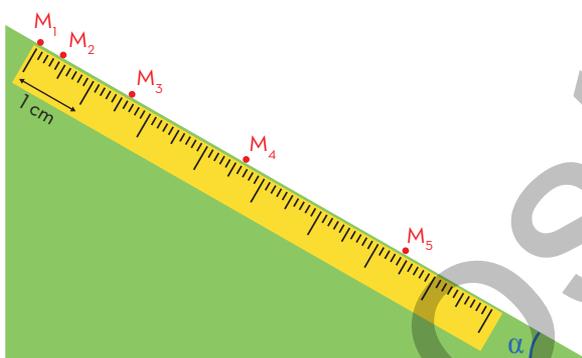
### On donne :

- Masse de l'autoporteur :  $m = 700 \text{ g}$  ;
- $\tau = 40 \text{ ms}$ .

### Doc.1 Autoporteur sur plan incliné



### Doc.2 Enregistrement



### Piste de travail :

1- Calculer la valeur de la vitesse instantanée aux points  $M_2$  et  $M_4$ .

2- Déduire  $\Delta E_c$  : la variation de l'énergie cinétique de l'autoporteur entre ces deux points.

3- Calculer  $\sum W(\vec{F}_{\text{ext}})$  : la somme des travaux des forces modélisant les actions appliquées à l'autoporteur entre les deux points  $M_2$  et  $M_4$ . On prendra  $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

4- Comparer  $\Delta E_c$  et  $\sum W(\vec{F}_{\text{ext}})$  en valeurs et en unités. Conclure.

### Ce qu'il faut savoir

- **Variation** : Valeur finale - Valeur initiale ;
- On ne peut comparer deux grandeurs que si elles ont la même unité.

### Lexique

- **Théorème** : affirmation.
- **Modélisant** : représentant.

ApoStrophe

## Objectif

Établir l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

## Activité documentaire

Lorsqu'un corps solide change d'altitude, il y a variation d'une énergie liée à sa position.

► **Laquelle et comment peut-on la définir ?**

### Situation :

Une grue soulève lentement un colis de masse  $m$  initialement au repos sur le sol (position A), pour le poser sur le toit d'une construction (position B).

**Les vitesses :** initiale et finale, sont supposées nulles.

Toutes les positions occupées par le colis au cours du mouvement très lent sont considérées comme des positions d'équilibre (pas de variation de l'énergie cinétique du colis).

Doc.1 Grue



Doc.2 Modélisation



### Piste de travail :

1- Faire l'inventaire des forces modélisant les actions s'exerçant sur le colis, et les représenter sur la figure du (Doc. 2) ;

2- Montrer que l'expression du travail fourni par le câble au cours du déplacement de la position A à la position B est :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{T}) = m \cdot g \cdot z_B - m \cdot g \cdot z_A$ , avec  $z_A$  et  $z_B$  (ordonnées du centre de gravité du colis respectivement aux positions A et B).

3- S'assurer que la quantité «  $m \cdot g \cdot z$  » est homogène à une énergie.

4- Le travail de cette tension se transforme en énergie qui sera emmagasinée par le colis.

4-1- De quoi dépend cette énergie ?

4-2- Le nom « énergie potentielle de pesanteur » convient-il pour cette forme d'énergie ?

### Ce qu'il faut savoir

- $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot z_A - m \cdot g \cdot z_B$  ;
- $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

### Lexique

- **Potentielle** : existe en puissance virtuelle.
- **Pesanteur** : gravité.

ApoStrophe

## Objectif

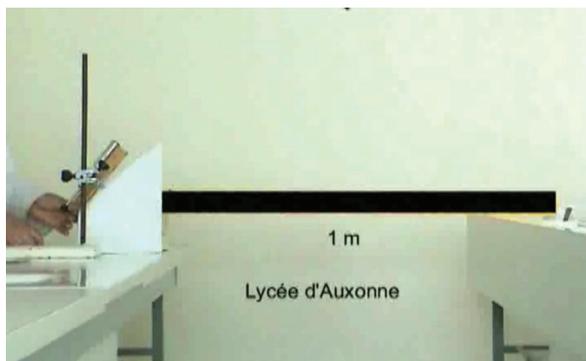
Mettre en évidence les échanges d'énergie au cours d'un mouvement de chute libre.

## Activité expérimentale

En gagnant de l'altitude, la vitesse d'un projectile diminue, et inversement.

► Quelle conséquence sur les variations des énergies potentielle et cinétique correspondantes ?

### Doc.1 Projectile en chute libre



### Matériel :

Ordinateur muni d'un logiciel de pointage et d'un tableur et une vidéo de chute libre.

### Manipulation :

1. Ouvrir la vidéo avec le logiciel de pointage ;
2. Suivre le mouvement du centre de gravité de la balle ;
3. Copier le tableau de mesure vers le tableur ;
4. Faire tracer les courbes :  $E_C = f(t)$ ,  $E_{pp} = f(t)$  et  $E_C + E_{pp} = f(t)$ .

### On donne :

$m = 0,1 \text{ kg}$  et on prendra  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

Les courbes obtenues ressemblent à celles représentées sur la figure (Doc. 2) ci-dessous.

### Piste de travail :

1- Préciser la courbe représentative des variations de chacune des énergies.

Énergies	Cinétique	Potentielle	Mécanique
Couleur	.....	.....	.....

2- Quelle est la propriété de la grandeur  $E_m = E_C + E_{pp}$  ?

.....

.....

.....

3- Choisir deux instants quelconques, et noter à partir du graphe les variations  $\Delta E_C$  et  $\Delta E_{pp}$  pendant la même durée.

.....

.....

4- Écrire l'expression  $\Delta E_m$  en fonction de  $\Delta E_C$  et  $\Delta E_{pp}$ , et déduire sa valeur dans ce cas de chute libre.

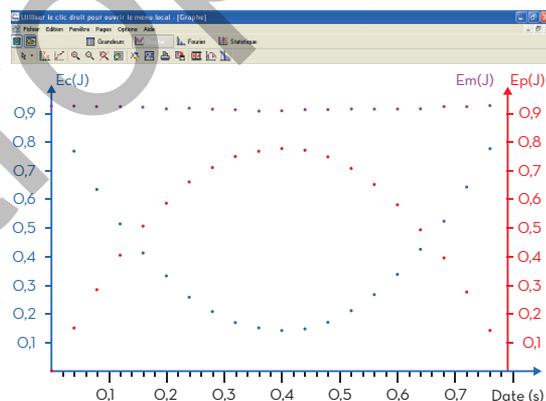
.....

.....

.....

.....

### Doc.2 Energies en fonction du temps



### Ce qu'il faut savoir

- Deux variables dont la somme reste constante, varient en sens inverses ;
- $z = x + y \Leftrightarrow \Delta z = \Delta x + \Delta y$ .

### Lexique

- **Chute libre** : mouvement sous l'action du poids seul.
- **Échange** : perte ou gain.
- **Projectile** : corps qu'on projette.

ApoStrophe

# Variation d'énergie mécanique

## Activité expérimentale

La chute d'une balle légère peut être gênée par l'air, contrairement à la chute d'une balle très dense, le mouvement n'est pas visiblement affecté.

► Le travail des actions résistantes doit se transformer en une certaine forme d'énergie, laquelle ?

### Matériel :

Ordinateur muni d'un logiciel de pointage, d'un tableur et d'une vidéo de chute avec frottement.

### Manipulation :

- Ouvrir la vidéo avec le logiciel de pointage et suivre le mouvement du centre de gravité de la balle ;
- Copier le tableau de mesure vers le tableur ;
- Faire tracer les courbes :  $E_C = f(t)$ ,  $E_{pp} = f(t)$  et  $E_m = f(t)$ .

### On donne :

$m = 6 \text{ g}$ , la hauteur de la porte  $2,2 \text{ m}$ .

Et on prendra  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

Les courbes obtenues ressemblent à celles représentées sur la figure (Doc. 2) ci-après.

### Objectif

Mise en évidence de la diminution d'énergie mécanique par frottement.

### Doc.1 Chute avec frottement



### Piste de travail :

1- Affecter à chacune des énergies la courbe correspondante.

Energies	Cinétique	Potentielle	Mécanique
Couleur	.....	.....	.....

2- Y'a-t-il dans ce cas transformation d'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}$  en énergie cinétique  $E_C$ , ou non ? Justifier votre réponse.

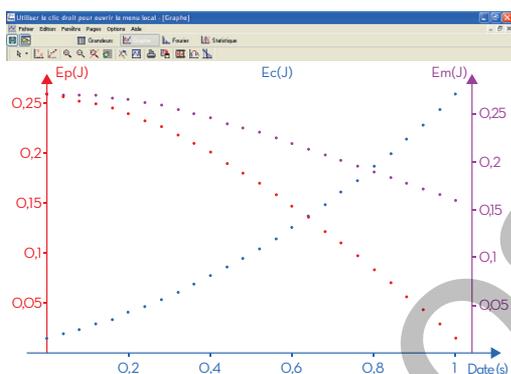
.....

.....

.....

.....

### Doc.2 Courbes d'énergies



3- Apparemment, l'énergie mécanique diminue, en quelle autre forme d'énergie (non rencontrée avant) se transforme-t-elle ?

.....

.....

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.
- Pour se réchauffer, on doit se frotter les mains.

### Lexique

- **Frottement**: interaction qui s'oppose au mouvement.
- **Apparemment** : selon les apparences.

ApoStrophe

## 1. Travail et énergie cinétique :

### 1.1. Énergie cinétique d'un point matériel :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Unité : Joule « J »}$$

### 1.2. Énergie cinétique d'un solide :

• Translation :  $E_c = \frac{1}{2}mv_G^2$

• Rotation autour d'un axe fixe :  $E_c = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2$

Avec :  $J_\Delta = \sum m_i r_i^2$  moment d'inertie du solide par

rapport à l'axe ( $\Delta$ ) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ).

### 1.3. Théorème de l'énergie cinétique :

La variation de l'énergie cinétique d'un solide entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$ , est égale à la somme des travaux de toutes les actions extérieures appliquées à ce solide entre ces deux instants.

$$\Delta E_c = \sum_{t_1 \rightarrow t_2} W(\vec{F}_{\text{ext}})$$

## 2. Travail et énergie potentielle de pesanteur :

### 2.1. Expression de $E_{pp}$ :

a. Expression générale :  $E_{pp} = mgz + C$  (J)

Avec :

- $z$  : l'ordonnée suivant un axe ( $Oz$ ) vertical orienté vers le haut.
- $C$  : une constante à déterminer.

### b. État de référence :

On appelle état de référence, le plan horizontal où  $E_{pp}$  est nulle. Elle permet de déterminer la valeur de la constante  $C$ .

### Exemple :

Soit  $z_0$  l'ordonnée où  $E_{pp} = 0$ , donc  $C = -mgz_0$ .

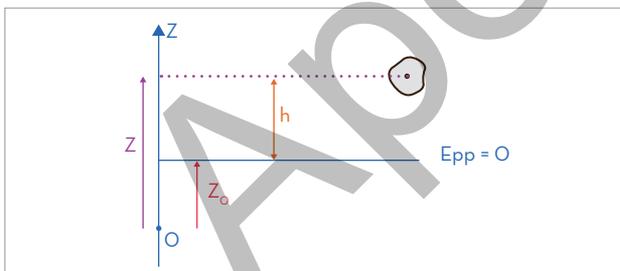
On trouve :  $E_{pp} = mg(z - z_0)$

### c. Autre expression de $E_{pp}$ :

#### • Centre d'inertie $G$ au-dessus de l'état de référence :

$$z - z_0 = h$$

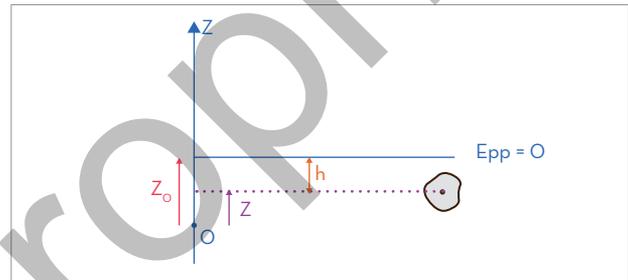
Donc :  $E_{pp} = mgh$



#### • Centre d'inertie $G$ au-dessous de l'état de référence :

$$z_0 - z = h$$

Donc :  $E_{pp} = -mgh$



$h$  : la différence d'altitude entre le centre de gravité du corps et l'état de référence.

### 2.2. Variation de $E_{pp}$ :

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur est égale l'opposé du travail du poids du corps.

$$\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

#### Remarque :

$\Delta E_{pp}$  ne dépend pas de l'état de référence.

## 3. Travail et énergie mécanique :

### 3.1. Définition de l'énergie mécanique :

$$E_m = E_c + E_{pp} \quad (\text{J})$$

### 3.2. Variation de l'énergie mécanique :

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp}$$

#### Remarque :

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_{\text{ext}}) - W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_{\text{ext}})_{nc}$$

$nc$  : non conservatives.

• Si  $\sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_{\text{ext}})_{nc} = 0 \Rightarrow \Delta E_m = 0$ .

On dit que l'énergie mécanique se conserve.

• Si  $\sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_{\text{ext}})_{nc} \neq 0 \Rightarrow \Delta E_m \neq 0$ .

On dit que l'énergie mécanique ne se conserve pas.

#### Remarque :

Si les forces non conservatives sont des forces de frottements, alors :  $\Delta E_m = W(\vec{R})_{(O)}$ .

La perte d'énergie se transforme intégralement en chaleur  $Q$  :  $\Delta E_m = -Q$ .

On prendra :  $g = 10 \text{ N/kg}^{-1}$

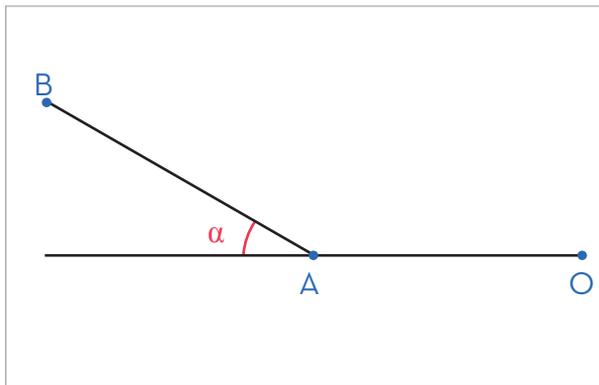
## A. Travail et énergie cinétique

### 1 Application du Théorème $E_c$ aux mouvements rectilignes

Un solide ponctuel (S) de masse  $m$  est lancé d'un point O avec une vitesse initiale  $v_0 = 5 \text{ m/s}$ . il glisse le long d'une piste OAB.

On donne :

$AB = 1,5 \text{ m}$ ,  $OA = 1 \text{ m}$ ,  $m = 0,5 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .



1. Énoncer le théorème de l'énergie cinétique.

2. On néglige tous les frottements.

2.1. Par application du théorème de l'énergie cinétique, calculer la valeur de la vitesse du solide au point A.

2.2. Calculer le travail du poids de (S) entre A et B.

2.3. Déduire la vitesse de (S) au passage en B.

3. La mesure de la vitesse de (S) au passage en A donne  $v_A = 4,5 \text{ m/s}$ :

3.1. Calculer l'intensité de la force de frottements supposée constante sur OAB.

3.2. Trouver la distance  $d = AD$ , sachant que D est le point où s'arrête (S).

### 2 Application du Th $E_c$ aux mouvements circulaires

Un solide (S) ponctuel de masse  $m = 1 \text{ kg}$  peut se déplacer sur un trajet ABCD représenté sur le schéma ci-dessous.

On donne :

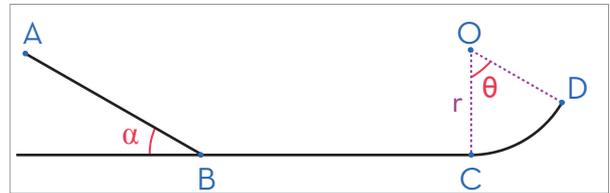
$AB = 2 \text{ m}$  ;  $r = 80 \text{ cm}$  ;

$\alpha = 30^\circ$  ;  $\theta = 60^\circ$ .

1. Le solide (S) est lâché de A sans vitesse initiale, passe en B avec une vitesse  $v_B = 4 \text{ m/s}$ .

1.1. Calculer la variation de l'énergie cinétique entre A et B.

1.2. Calculer le travail du poids  $\vec{P}$  de (S) entre A et B.



1.3. Calculer le travail de la réaction  $\vec{R}$  du plan sur le solide (S), en déduire la nature du contact entre (S) et la piste AB.

2. Les frottements sont négligeables sur le trajet BCD.

2.1. Calculer la vitesse de passage de (S) en C sachant que sa vitesse au passage en B est  $v_B = 4 \text{ m/s}$ .

2.2. Calculer la vitesse de (S) en D.

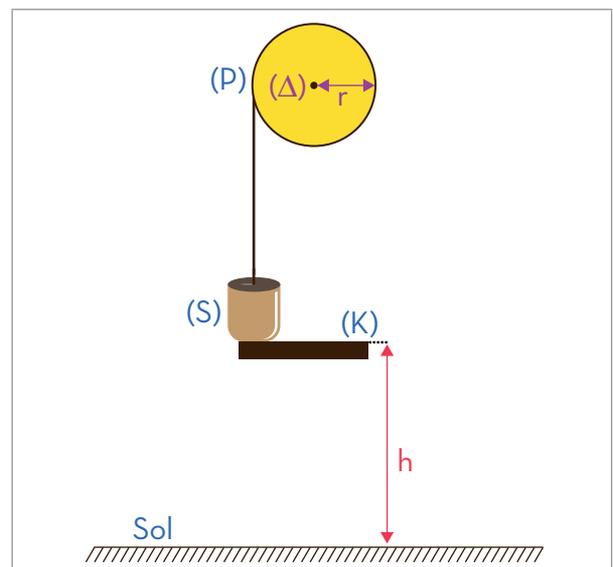
3. En considérant que les frottements entre (S) et la piste BCD sont équivalentes à une force  $\vec{f}$  de sens opposé au vecteur vitesse et de module  $f = 1 \text{ N}$ . Calculer la longueur de la portion BC pour que la vitesse de (S) s'annule en D.

### 3 Rotation et translation

Le système représenté ci-dessous est composé de :

- Une poulie (P) de rayon  $r = 10 \text{ cm}$  et de masse  $M = 500 \text{ g}$ . Son moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation passant par son centre est  $J_\Delta = \frac{1}{2}Mr^2$ .

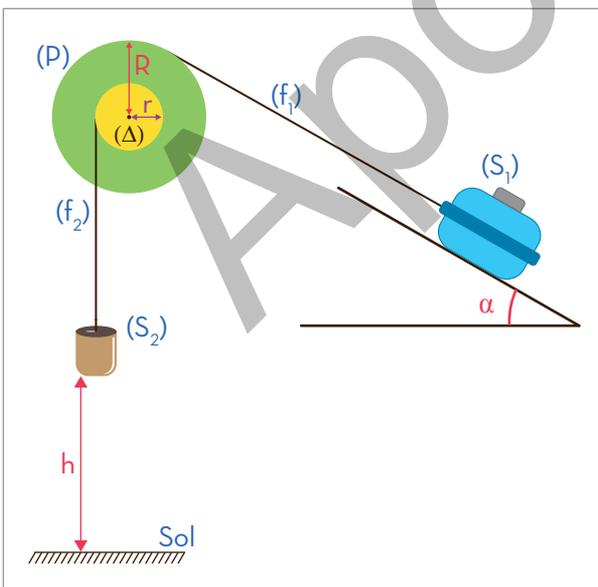
- Un solide (S) de masse  $m = 200 \text{ g}$ , initialement au repos sur un support (K), et relié à la poulie par l'intermédiaire d'un fil inextensible, de masse négligeable et ne glisse pas sur la gorge de la poulie. On retire le support pour libérer le solide qui chute d'une hauteur  $h = 1 \text{ m}$  pour arriver au sol avec une vitesse  $v = 2 \text{ m/s}$ .



1. Calculer l'intensité de la tension du fil  $\vec{T}$  appliquée sur le solide.
2. Calculer la vitesse angulaire de la poulie à l'instant d'arrivée de (S) au sol.
3. À l'arrivée de (S) au sol, la poulie continue de tourner pour s'arrêter sous l'action des frottements après avoir accompli 20 tours.
- 3.1. Calculer le travail du couple résistant que subit la poulie.
- 3.2. Déduire le moment de ce couple considéré constant.

#### 4 Application du Th $E_c$ à un système

Une poulie (P) à deux gorges de rayons respectifs  $R = 2r = 20$  cm, est susceptible de tourner dans le plan vertical autour d'un axe fixe  $(\Delta)$ , horizontal et passant par son centre d'inertie. Le moment d'inertie de la poulie (P) par rapport à cet axe est :  $J_\Delta = 4.10^{-4}$  kg.m<sup>2</sup>. Deux fils  $(f_1)$  et  $(f_2)$  inextensibles et de masses négligeables, sont enroulés chacun sur l'une des gorges de la poulie. À l'extrémité libre de  $(f_1)$  on fixe un corps  $(S_1)$  de masses  $m_1 = 500$  g initialement au repos sur un plan incliné d'un angle :  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale et à l'extrémité libre de  $(f_2)$  on fixe un corps  $(S_2)$  de masse  $m_2$  initialement immobilisé à une hauteur  $h = 50$  cm au-dessus du sol. On néglige tous les frottements. On libère le système  $S = \{S_1, S_2, P\}$  sans vitesse initiale.



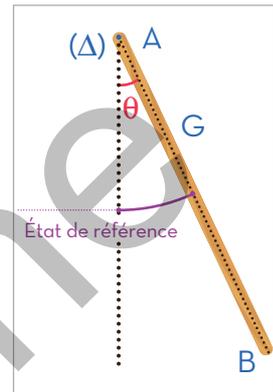
1. Déterminer  $m_{2(\text{éq})}$  la valeur de  $m_2$  qui assurera l'équilibre du système (S).
2. On donne à  $m_2$  la valeur  $m_2 = 750$  g :
  - 2.1. Déduire le sens du mouvement de chacun des corps du système (S).

- 2.2. Etablir l'expression de l'énergie cinétique du système (S) à un instant  $t$  au cours du mouvement, en fonction de  $m_1, m_2, R, r, J_\Delta$  et  $v_2$  (vitesse de  $(S_2)$  au même instant  $t$ ).
- 2.3. Calculer la valeur de  $v_2$  lorsque  $(S_1)$  arrive au sol à un instant  $t_1$ , en déduire  $v_1$  (vitesse de  $(S_1)$  à cet instant  $t_1$ ).
- 2.4. Calculer la distance  $d$  parcourue par  $(S_1)$  sur le plan incliné entre  $t_1$  et  $t_2$  (instant d'arrêt de  $(S_2)$ ) sachant que le fil  $(f_2)$  reste tendu au cours du mouvement.

## B. Travail et énergie potentielle de pesanteur

### 1 Barre en rotation

Une barre AB, homogène, de section constante, de masse  $m$  et de longueur  $L = 20$  cm, peut tourner sans frottements autour d'un axe fixe  $(\Delta)$ , horizontal et passant par son extrémité A.



On écarte la barre de sa position d'équilibre stable d'un angle  $\theta_m$  et on la lâche sans vitesse initiale, pour y repasser avec une vitesse angulaire  $\omega = 1,36$  rad/s.

On considère la position d'équilibre stable comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

1. Trouver l'expression de  $E_{pp}$  à un instant où la position de la barre est repérée par une abscisse angulaire  $\theta$  quelconque.

2. On considérera  $\theta_m$  petit, et on prendra  $\cos\theta \approx 1 - \frac{1}{2}\theta^2$ .

2.1. Déduire l'expression de  $E_{pp}$  dans ce cas.

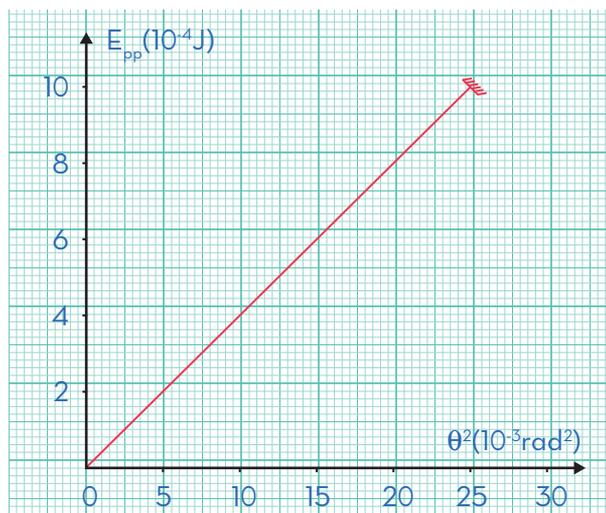
2.2. Le schéma ci-dessous représente  $E_{pp} = f(\theta^2)$ .

a- Déterminer graphiquement la valeur de l'énergie mécanique de la barre.

b- Déduire son énergie cinétique maximale.

c- Déduire la valeur du moment d'inertie de la barre par rapport à l'axe de rotation  $(\Delta)$ .

d- Calculer la valeur de la masse  $m$  de la barre.

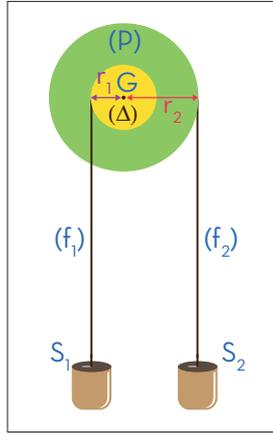


## 2 Poulie à deux gorges

Une poulie (P) homogène à deux gorges de rayons  $r_2 = 2r_1 = 10\text{ cm}$ , peut tourner sans frottements dans un plan vertical, autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) horizontal passant par son centre d'inertie G.

Son moment d'inertie par rapport à cet axe est  $J_{\Delta} = 5 \cdot 10^{-3}\text{ kg.m}^2$ .

Deux fils ( $f_1$ ) et ( $f_2$ ) inextensibles et de masses négligeables et ne glissent pas sur les gorges de la poulie, sont enroulés sur les gorges de la poulie et portent à l'autre extrémité deux corps ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) de masses respectives  $m_1 = 300\text{ g}$  et  $m_2 = 200\text{ g}$ . Le système  $S = \{P, S_1, S_2\}$  est lâché sans vitesse initiale.



**1.** Déterminer le sens de rotation de la poulie (P).

**2.** On prendra comme états de références la position initiale de chaque corps.

**2.1.** Calculer l'énergie cinétique du système (S) à un instant où la fréquence de rotation de la poulie devient  $N = \frac{2}{3}\text{ Hz}$ .

**2.2.** Dédire son énergie potentielle de pesanteur au même instant.

**3.** Calculer la variation d'altitude de chacun des corps ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ).

## C. Travail et énergie mécanique

### 1 Conservation de l'énergie mécanique

Un corps ponctuel M de masse  $m = 50\text{ g}$ , est lâché sans vitesse initiale d'un point A et glisse à l'intérieur d'une piste circulaire de rayon  $r = 50\text{ cm}$  contenue dans un plan vertical.

Le plan horizontal passant par B est choisi comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}$ .

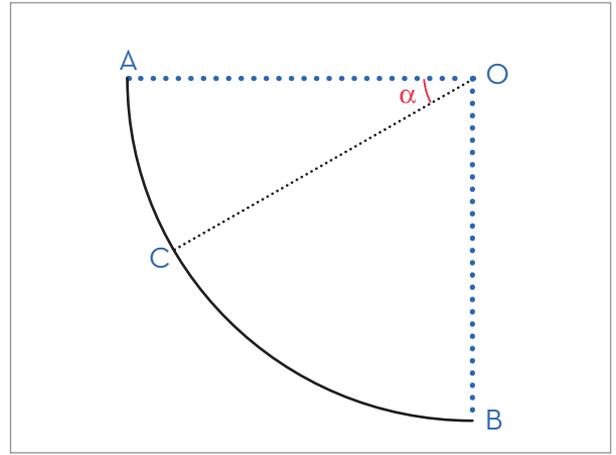
**1.** Trouver l'expression de  $E_{pp}$  du corps en A. Calculer sa valeur.

**2.** Dédire la valeur de l'énergie mécanique du corps M en A.

**3.** Par application du théorème de l'énergie cinétique, trouver l'expression de cette énergie du corps M en C, et calculer sa valeur. On donne  $\alpha = 30^\circ$ .

**4.** Calculer la valeur de l'énergie mécanique de M en C. Conclure.

**5.** Dédire la valeur de la vitesse de M au passage en B.

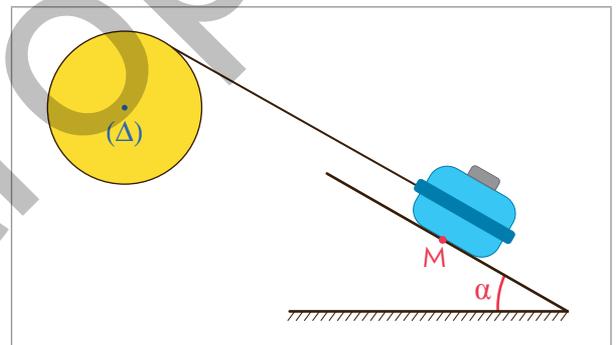


### 2 Non conservation de l'énergie mécanique

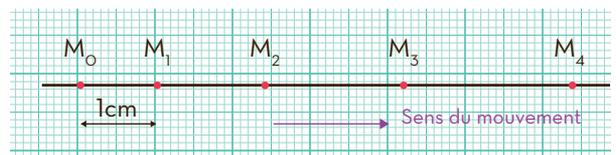
On néglige tous les frottements.

On enroule sur la gorge d'une poulie de rayon  $r = 2\text{ cm}$ , un fil inextensible, de masse négligeable et ne glisse pas sur la gorge de la poulie.

Le fil porte à l'autre extrémité libre un corps (S) de masse  $m = 100\text{ g}$  initialement au repos sur un plan incliné d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.



La figure suivante représente l'enregistrement du mouvement d'un point M du corps pendant des intervalles de temps successifs et égaux à  $\tau = 40\text{ ms}$ .



**1.** Etude du mouvement descendant de M entre  $M_1$  et  $M_3$ .

**1.1.** Calculer la vitesse de M en chacun des points  $M_1$  et  $M_3$ .

**1.2.** Dédire la variation de son énergie cinétique entre  $M_1$  et  $M_3$ .

**1.3.** Calculer la variation de son énergie potentielle de pesanteur au cours du même trajet.

**1.4.** Dédire la variation de son énergie mécanique entre  $M_1$  et  $M_3$ , et calculer l'intensité de la tension du fil  $\vec{T}$ .

2. Pour remonter le corps de  $M_3$  à  $M_1$  avec une vitesse constante, on actionne un moteur qui applique sur l'axe de rotation de la poulie un couple moteur de moment  $\mathcal{M}_m$  constant par rapport à cet axe.

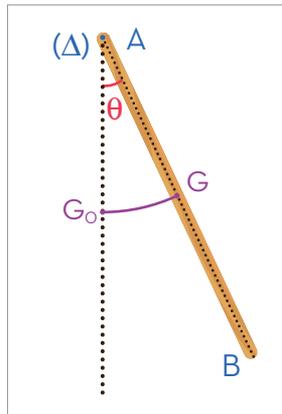
2.1. Calculer le travail de la tension  $\vec{T}$  du fil appliquée sur le corps (S).

2.2. Calculer la valeur de  $\mathcal{M}_m$ .

2.3. Calculer la puissance que doit développer le moteur pour faire monter le corps (S) de  $M_3$  à  $M_1$  pendant une durée  $\Delta t = 40$  ms.

### 3 Couple résistant

Une barre homogène (AB), de longueur  $L = 18,5$  cm et de masse  $m = 0,5$  kg est susceptible de tourner dans un plan vertical autour d'un axe horizontal  $(\Delta)$  passant par son extrémité A. Son moment d'inertie par rapport à  $(\Delta)$  est  $J_\Delta = \frac{1}{3} mL^2$ .



La position d'équilibre stable est choisie comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}$ .

1. On écarte la barre de sa position d'équilibre d'un angle  $\theta_m = \frac{\pi}{3}$  et on la lâche sans vitesse initiale. On néglige tous les frottements.

1.1. Établir l'expression de  $E_{pp}$  à un instant où la position de la barre est repérée par une abscisse angulaire quelconque.

1.2. Ecrire l'expression de son énergie mécanique.

1.3. Calculer la valeur de la vitesse angulaire  $\omega$  de la barre à l'instant du passage par sa position d'équilibre stable.

1.4. Dédire  $v_B$  la valeur de la vitesse linéaire de l'extrémité B à cet instant.

2. Une mesure expérimentale de cette vitesse donne  $v'_B = 1,2$  m/s.

2.1. Expliquer la différence entre  $v_B$  et  $v'_B$ .

2.2. Calculer le moment (supposé constant) du couple résistant appliqué à la barre au niveau de l'axe de rotation.

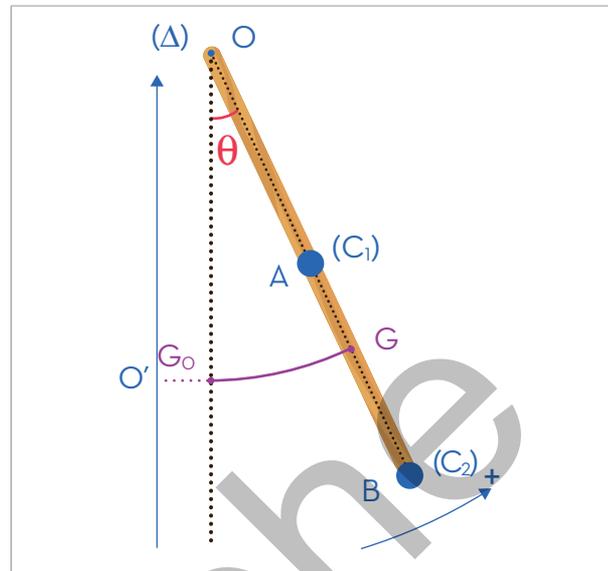
### 4 Conditions initiales et nature du mouvement

On néglige tous les frottements.

Un pendule (S) est constitué d'une barre (OB) homogène, de masse  $m$ , de longueur  $OB = 2L = 60$  cm, et de deux masselottes ( $C_1$ ) et ( $C_2$ ) de mêmes masses  $m_1 = m_2 = m$ , fixées l'une au milieu A de la barre et l'autre à son extrémité inférieure B.

Le pendule est susceptible de tourner dans un plan vertical autour d'un axe horizontal

passant par son extrémité supérieure O. On communique au pendule initialement au repos dans sa position d'équilibre, une énergie cinétique  $E_c$ .



Sur le schéma ci-dessous sont représentées les variations des énergies potentielle de pesanteur et mécanique du pendule en fonction de l'abscisse angulaire  $\theta$ , pour deux expériences :

• **Expérience 1 :**

$D_1$  représente l'énergie mécanique du pendule.

• **Expérience 2 :**

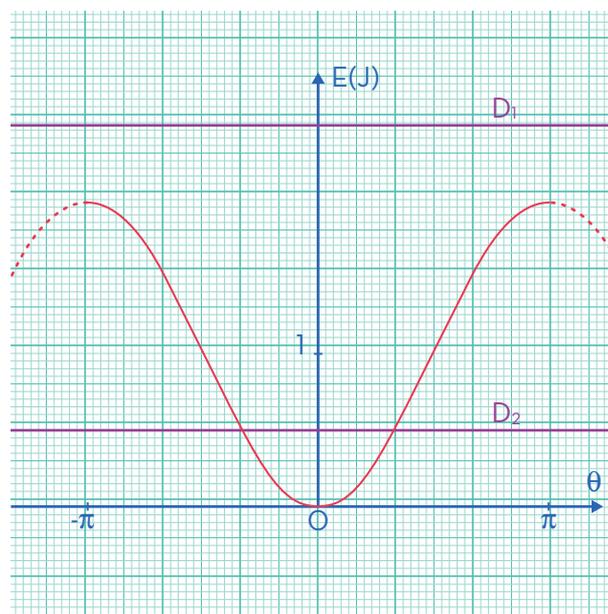
$D_2$  représente l'énergie mécanique du pendule.

1. Décrire qualitativement le mouvement du pendule dans chaque cas.

2. Quelle est la valeur de l'amplitude angulaire  $\theta_m$  dans le cas où le pendule effectue des oscillations ?

3. Quelle est la valeur de  $E_c$  dans chaque cas ?

4. Trouver la valeur de  $m$ .





*En perdant de la chaleur, la glace se transforme en eau liquide à une température constante. A son tour l'eau peut s'évaporer sous l'action des rayons solaires.*

## ÉNERGIE THERMIQUE- TRANSFERT DE CHALEUR

**Quelle différence y'a-t-il entre chaleur et température ?  
Quelles lois régissent les échanges de chaleur ?**

### Objectifs

- Savoir les modes de transfert d'énergie.
- Savoir les expressions de la quantité de chaleur échangée :
  - Sans changement d'état physique ;
  - Avec changement d'état physique.
- Savoir l'équilibre thermique et son équation.

## Activité documentaire

Il est très courant de confondre la chaleur et la température.

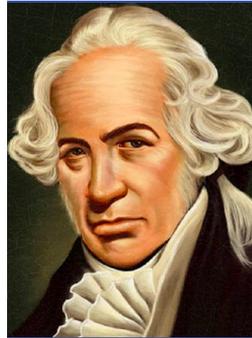
► Ces notions sont liées, mais comment les différencier ?

### A Température :

La température est l'agitation d'atomes ou molécules (vibration au sein de la structure solide, ou déplacement dans un gaz).

Pour repérer une température, il nous faut utiliser un thermomètre. Tous les thermomètres sont gradués avec des échelles utilisant deux points fixes suivants :

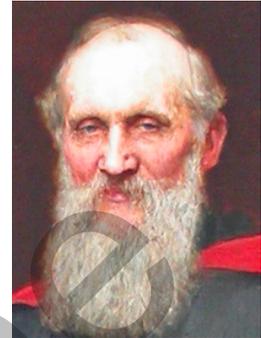
#### Doc.1 Photos de quelques savants



▲ Fahrenheit 1686-1736



▲ Celsius 1701-1744



▲ Kelvin 1824-1907

Points fixes	Échelle Celsius	Échelle Fahrenheit
La température de fusion de la glace	0°C	32°F
La température de vaporisation de l'eau liquide	100°C	212 °F

### Échelle Kelvin ou échelle absolue :

Le « 0 K » est défini comme la température où le volume d'un gaz parfait s'annule, mais comme c'est impossible, cette valeur reste théorique.

Le seul gaz qu'on a pu refroidir à une température voisine du zéro absolu ( $0,002\ 0\ K = -273,148\ ^\circ C$ ) est l'Hélium, qui est un gaz inerte et très rare dans la nature :  $(1/200000)$  pour  $^4_2\text{He}$  et  $10^6$  fois moins pour  $^3_2\text{He}$ .

### B Chaleur :

Lorsqu'on chauffe, par le même moyen de chauffage, les mêmes quantités d'eau et d'huile prises à la même température initiale pour atteindre la même température finale, on constate que la durée de chauffage est plus longue pour l'eau.

L'eau est le liquide qui échange la plus grande quantité de chaleur que les autres liquides, c'est pour cela qu'on l'utilise dans les circuits de chauffage (Doc. 2), ou de refroidissement.

#### Doc.2 Radiateur



### C Comparaison :

Plus les molécules d'un objet sont agitées, plus la température de cet objet est élevée. Tandis que la chaleur est un transfert d'énergie thermique d'un objet à un autre lorsqu'il y a une différence de température entre les deux objets. La quantité de chaleur emmagasinée dans une montagne de neige à une température très basse, est très supérieure devant celle emmagasinée dans un vers d'eau très chaude.

ApoStrophe

## D Effets de la chaleur :

Lorsqu'une matière s'échauffe, elle reçoit de l'énergie thermique (chaleur) qui augmente l'agitation de ses molécules, et lorsque la température varie suffisamment, la matière peut changer d'état physique.

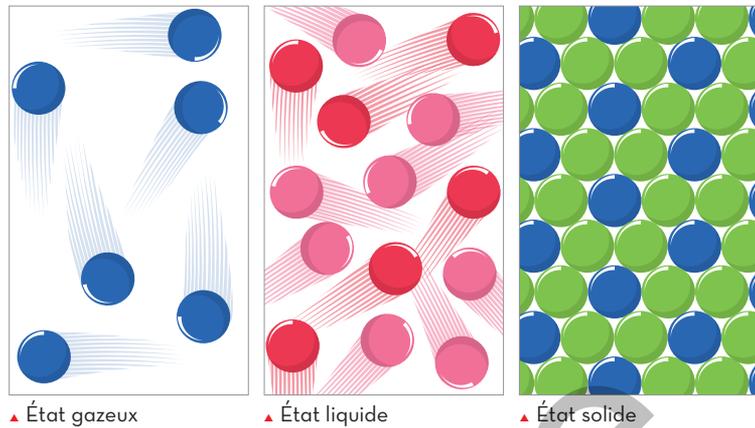
Un liquide en évaporation reçoit de la chaleur à température constante, cette quantité de chaleur sert à transformer ce liquide en gaz qui l'emmagasine sous forme de chaleur appelée « chaleur Latente », et lorsque ce gaz se liquéfie, cette chaleur est libérée.

Cette chaleur est aussi absorbée lors de la fusion et libérée lors de la solidification.

Un sportif utilise un calmant composé d'une matière très volatile, qui absorbe de son corps la chaleur nécessaire à l'évaporation, et fait diminuer la température du corps.

De la même façon, la sueur refroidit le corps en absorbant sa chaleur.

Doc.3 États de la matière



### Piste de travail :

1- Donner l'équivalent de  $1^{\circ}\text{F}$  dans l'échelle Celsius.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- Déduire l'équivalent du  $0\text{ K}$  (de l'échelle Kelvin), dans les deux autres échelles (Celsius et Fahrenheit) ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3- Comment expliquer la fraîcheur du climat des villes côtières pendant l'été ou l'hiver ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

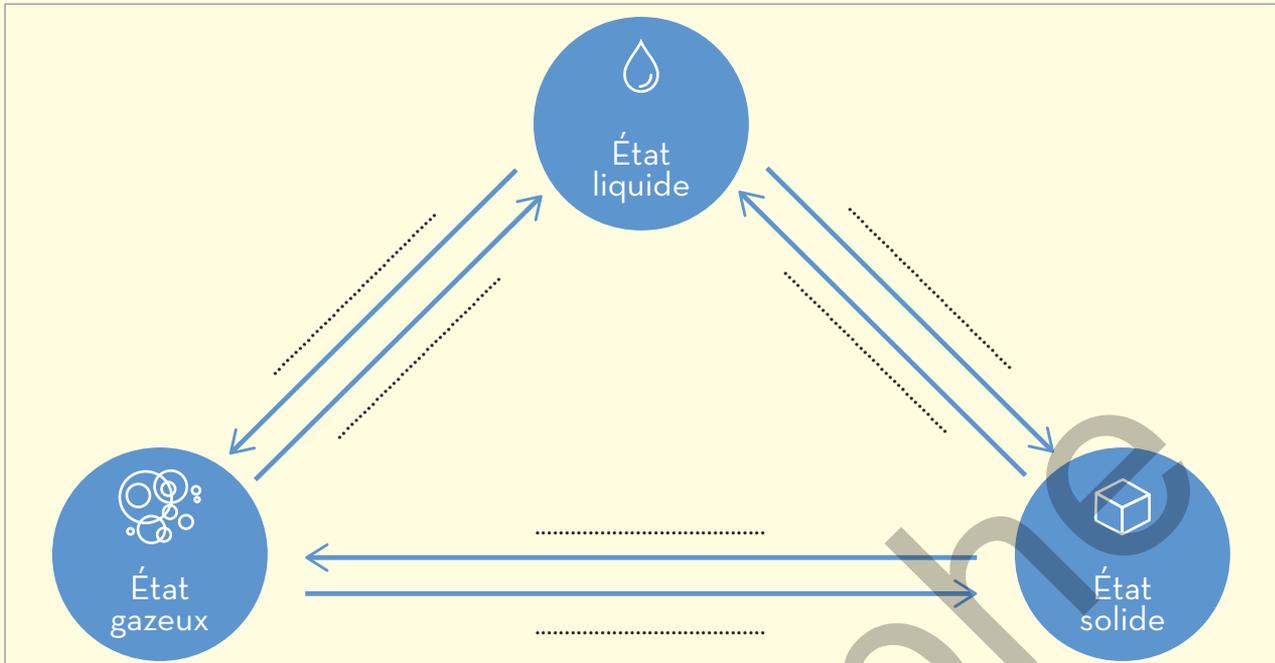
.....

.....

.....

ApoStrophe

4- Écrire les noms des changements d'états suivants :



5- Donner la relation entre la variation de température  $\Delta T$  dans l'échelle Kelvin et  $\Delta \theta$  dans l'échelle Celsius.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6- Un échange de chaleur d'un corps pur avec le milieu extérieur, s'accompagne-t-il forcément d'un changement de température du corps ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- La variation de température est la même dans tous les échelles ;
- Les changements d'états des corps purs se font à température constante.

### Lexique

- **Échange** : cède ou reçoit.
- **Volatil** : s'évapore spontanément.
- **Latente** : cachée, mais susceptible d'apparaître.

ApoStrophe

## Objectif

Mettre en évidence les moyens de transfert de chaleur

## Activité documentaire

La chaleur passe spontanément du corps chaud au corps froid, et ce par des moyens divers.

► Quels sont ces moyens ?

### A La conduction :

Lorsqu'on chauffe l'extrémité d'un clou de fer, on ressent la chaleur au bout des doigts à l'autre extrémité du clou. La chaleur se propage à travers la matière constituant le clou. Cette méthode de propagation est appelée « Conduction », elle résulte de la transmission d'énergie cinétique de l'agitation thermique entre molécules sans déplacement de la matière.

#### Doc.1 Chauffage d'un clou



### B La convection :

#### Doc.2 Ébullition de l'eau



En chauffant un liquide, **Doc. 2** la température de la couche profonde voisine de la source de chaleur augmente, sa densité diminue provoquant sa migration vers le haut et une autre couche plus froide la remplace. Ce mouvement de montée et descente des couches de liquides ou gaz s'appelle « Convection ». Le phénomène de convection est accompagné de déplacement de la matière chaude du voisinage de la source de chauffage vers le haut.

### C Le rayonnement :

Tout corps émet, sous forme d'ondes électromagnétiques, des rayonnements dont l'intensité augmente avec sa température.

Ce mode de transmission s'appelle « Rayonnement ». Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de milieu matériel pour se propager.

La chaleur nous arrive du soleil (**Doc. 3**) malgré la grande distance qui nous sépare  $1,5 \cdot 10^8$  km ?

#### Doc.3 Rayonnement du soleil



#### Doc.4 Modes de transfert de chaleur



Ces trois modes de transfert de chaleur peuvent se réaliser au sein du même système.

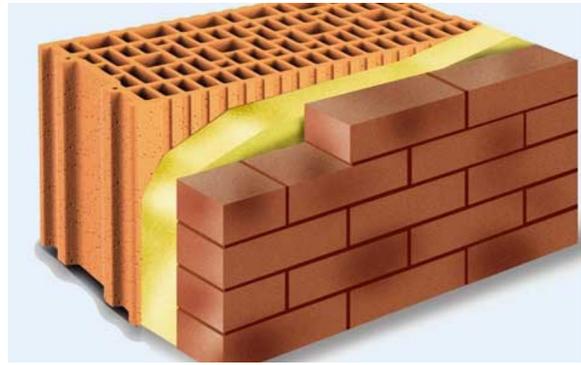
La photo ci-contre (**Doc. 4**) résume ces trois modes de transfert de chaleur.

ApoStrophe

Doc.5 Papier aluminium



Doc.6 Liège entre les briques



Doc.7 Micro-onde



Doc.8 Avion fantôme



**Piste de travail :**

Les documents précédents proposent des situations où il y'a transfert de chaleur.

Répondre aux questions et dites quel type de transfert met chaque situation en évidence ?

1- Pour conserver des aliments à chaud, on les couvre par du papier Aluminium (Doc. 5), la partie brillante doit-elle être interne ou externe ? Justifier votre réponse.

.....  
.....  
.....

2- Quel est l'intérêt de l'introduction du liège entre les briques (Doc. 6) des murs des maisons ?

.....  
.....

3- Dans une micro-onde (Doc. 7), quelle est l'état physique de la matière la plus simple à chauffer ? Justifier votre réponse.

.....  
.....

4- Les avions militaires fantômes sont teintés par des couleurs noires mates (Doc. 8). Proposer une explication.

.....  
.....

**Ce qu'il faut savoir**

-La chaleur peut se réfléchir comme les rayons lumineux.

**Lexique**

- **Teinte** : couleur.
- **Mâte** : non brillant.

ApoStrophe

# Quantité de chaleur échangée sans changer d'état

## Activité expérimentale

### Objectif

Établir l'expression de l'énergie thermique reçue par l'eau pure sans changement de son état physique.

Pour augmenter la température de l'eau il faut la chauffer, l'utilisation d'une résistance chauffante permet de fournir une quantité de chaleur régulière au cours du chauffage.

► Quelle relation relie donc la quantité de chaleur fournie à la variation de température ?

### Matériel :

Calorimètre et accessoires (Doc. 1).

### Données :

- On admet que la quantité de chaleur transmise à l'eau est proportionnelle à la durée de chauffage, on écrit :  $Q = at$ .
- L'état physique ne doit pas changer au cours du Chauffage.
- La masse volumique de l'eau pure :  $\rho = 1 \text{ g.cm}^{-3}$ .

### Manipulation :

1. Introduire une quantité d'eau pure de masse  $m_1 = 100 \text{ g}$  (100 mL) dans le calorimètre.
2. Repérer la température initiale  $\theta_0$ .
3. Commencer le chauffage de l'eau à l'aide de la résistance chauffante à l'instant  $t = 0$ .
4. Repérer la température au bout de chaque minute.

Les résultats obtenus ressemblent à ceux regroupés dans le tableau suivant :

T (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta$ (°C)	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35
$\Delta\theta$ (°C)	0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

$\Delta\theta = \theta - \theta_0$  : variation de température de l'eau entre  $t = 0$  et un instant  $t$  au cours du chauffage.

5. Compléter le tableau précédent ;
6. Répéter la même manipulation avec des échantillons d'eau de masses différentes :  $m_2 = 200 \text{ g}$  et  $m_3 = 400 \text{ g}$ .
7. Tracer les courbes  $\Delta\theta = f(t)$  représentant les variations de la température de l'eau en fonction du temps, pour chaque échantillon.

Les courbes ressemblent à celles représentées sur la figure (Doc. 2.)

### Piste de travail :

1- Écrire l'équation de la courbe  $\Delta\theta = f(t)$ .

.....  
 .....  
 .....  
 .....

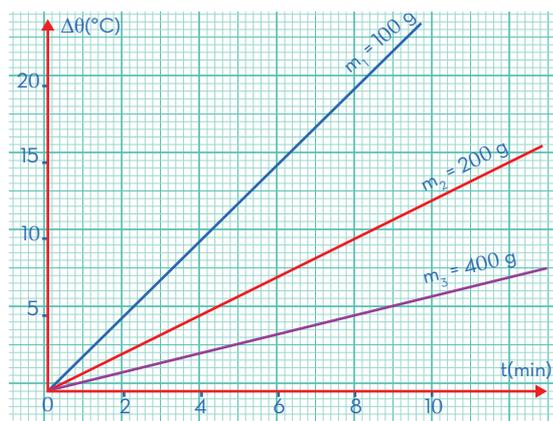
2- En exploitant cette équation et la relation proposée  $Q = at$ , déduire que la quantité de chaleur  $Q$  reçue par l'eau, est liée à la variation de sa température  $\Delta\theta$ , par la relation  $Q = \mu\Delta\theta$ .

.....  
 .....  
 .....  
 .....

### Doc.1 Calorimètre et accessoires



### Doc.2 Courbes $\Delta\theta = f(t)$



ApoStrophe

3- Préciser dans le système international (Doc. 3), l'unité de la constante  $\mu$ , et en proposer une définition.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Doc.3 Unité (SI)

$Q = \mu \Delta\theta$

.....

.....

.....

4- Noter à partir du graphe précédent, les durées nécessaires pour élever la température des trois échantillons d'eau de la même valeur ( $\Delta\theta = 5^\circ\text{C}$ ).

Masse de l'échantillon	$M_1 = 100 \text{ g}$	$M_2 = 200 \text{ g}$	$M_3 = 400 \text{ g}$
Durée de chauffage	.....	.....	.....

5- La quantité de chaleur  $Q$  reçue par l'eau est-elle proportionnelle à sa masse  $m$  ou non ? Justifier votre réponse.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6- Dédurre que l'expression de  $Q$  en fonction de  $m$  et  $\Delta\theta$  peut s'écrire sous la forme :  $Q = m.C.\Delta\theta$ .

.....

.....

.....

.....

7- Préciser dans le système international (Doc. 4), l'unité de la constante  $C$ , et en proposer une définition.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Doc.4 Unité (SI)

$Q = m.C.\Delta\theta$

.....

.....

.....

.....

8- Quelle relation relie  $\mu$  et  $C$  ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Ce qu'il faut savoir**

-Une grandeur proportionnelle à deux autre est aussi proportionnelle à leur produit.

**Lexique**

- **Calorimètre**: récipient qui n'échange pas de chaleur avec le milieu extérieur.

ApoStrophe

# Quantité de chaleur échangée avec changement d'état

## Activité expérimentale

À l'échelle microscopique, un changement d'état correspond à une réorganisation de la matière. En recevant de la chaleur, cette matière passe à un état moins ordonné et inversement.

► De quoi dépend la quantité de chaleur nécessaire pour varier l'état physique d'un corps pur ?

### Objectif

- Mettre en évidence les propriétés du changement d'état ;
- Établir l'expression de l'énergie thermique reçue par l'eau pure lors de sa fusion.

## A Suivi du changement d'état de l'eau :

### Matériel :

Glace pilée, Bain marie, Thermomètre, Balance, Source de chaleur, Chronomètre.

### Données :

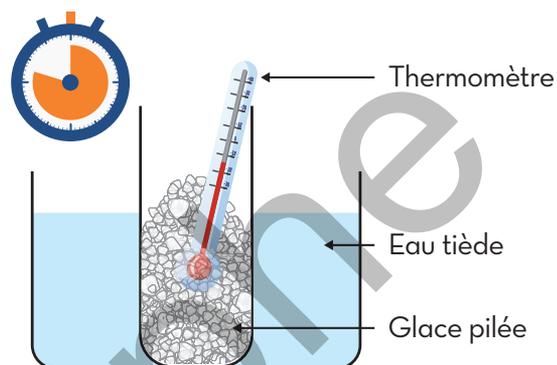
En admettant que la quantité de chaleur transmise à l'eau est proportionnelle à la durée de chauffage, on écrira :  $Q = at$ .

### Manipulation :

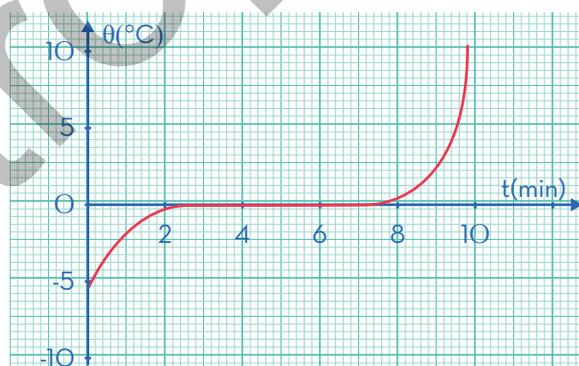
1. Introduire une quantité de glace pilée ( $m = 50$  g) dans un tube à essai ;
2. Y introduire un thermomètre ;
3. Poser le tube dans un bain mari ;
4. Commencer le chauffage à l'instant  $t = 0$  ;
5. Repérer la température  $\theta$  de la glace toutes les minutes ;

Les résultats obtenus ressemblent à ceux regroupés dans le graphe (Doc. 2) suivant.

Doc.1 Étude du changement d'état



Doc.2 Graphe  $\theta = f(t)$



### Piste de travail :

1- Le graphe comprend trois phases ①, ② et ③, repérer les sur la figure (Doc. 2) et relever la durée de chacune.

2- Préciser l'état physique de l'eau dans chaque phase.

Phase	Phase ①	Phase ②	Phase ③
Etat physique	.....	.....	.....

3- Quelle est la propriété de la température lors du changement d'état de l'eau ?

4- Noter la durée du changement d'état de cette eau.

ApoStrophe

## B Quantité de chaleur échangée (chaleur latente) :

### Manipulation :

1. Reprendre le même dispositif de la manipulation précédente.
2. Peser une quantité de glace et la placer dans le tube à essai.
3. Déclencher le chronomètre au début de la fusion et l'arrêter à sa fin, noter la durée de la fusion.
4. Répéter les mêmes mesures pour différentes masses de glace.
5. Tracer la courbe  $m = f(t)$ .

La courbe obtenue ressemble à celle du graphe du (Doc. 3) ci-contre.

### Piste de travail :

- 1- En exploitant la courbe du (Doc. 3), et la relation proposée  $Q = at$ , déduire que la quantité de chaleur  $Q$  reçue par l'eau au cours de sa fusion, est liée à sa masse  $m$ , par la relation  $Q = mL$ .

.....  
 .....  
 .....

- 2- Préciser dans le système international, l'unité de la constante  $L$ , et en proposer une définition.

.....  
 .....

- 3- On chauffe un échantillon de glace de masse  $m$  initialement à la température  $\theta_i < 0$  pour le transformer en eau liquide à la température  $\theta_f > 0$ .



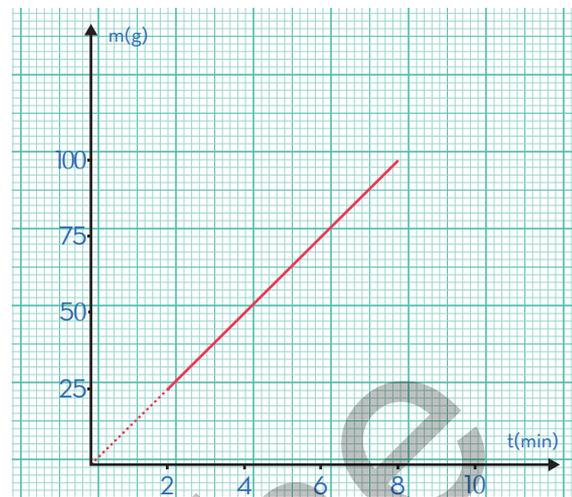
On notera :  $C_g$  : chaleur massique de l'eau solide ;  $C_e$  : chaleur massique de l'eau liquide.

- 3-1- Préciser l'état physique de l'eau dans chacune des trois phases 1, 2 et 3.

- 3-2- Écrire l'expression de la quantité de chaleur reçue par l'eau au cours de chaque phase. En déduire l'expression de la quantité de chaleur nécessaire à fournir à l'échantillon de glace, pour élever sa température de  $\theta_i$  à  $\theta_f$ .

.....  
 .....  
 .....

Doc.3 Graphe  $m = f(t)$



Doc.4 Unité (SI)

$$Q = m.L$$

.....  
 .....  
 .....

### Ce qu'il faut savoir

- La température d'un corps pur se stabilise lors de son changement d'état ;
- Les quantités de chaleurs sont additives.

### Lexique

- **Pilée** : fragmentée en petits morceaux.
- **Phase** : partie.
- **Fusion** : passage de l'état solide à l'état liquide.

ApoStrophe

## 1. Échange de chaleur sans changement d'état physique :

### 1.1. Chaleur massique :

La chaleur massique  $C$  d'un corps pur est la quantité de chaleur que peut échanger 1kg de ce corps pour varier sa température de  $1^\circ\text{C}$ . Unité :  $\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .

### 1.2. Capacité calorifique :

La capacité calorifique  $\mu$  d'un corps est la quantité de chaleur que peut échanger ce corps pour varier sa température de  $1^\circ\text{C}$ ,  $\mu = m.C$  Unité :  $\text{J.K}^{-1}$ .

**Remarque :** La capacité calorifique d'un système.  $\mu = \sum \mu_i$

### 1.3. Expression de la quantité de chaleur échangée par un corps :

$$Q = mC(\theta_f - \theta_i)$$

- Si  $\theta_f < \theta_i \Rightarrow Q < 0$  : le corps cède de la chaleur.
- Si  $\theta_f > \theta_i \Rightarrow Q > 0$  : le corps reçoit de la chaleur.

### 1.4. Équilibre thermique :

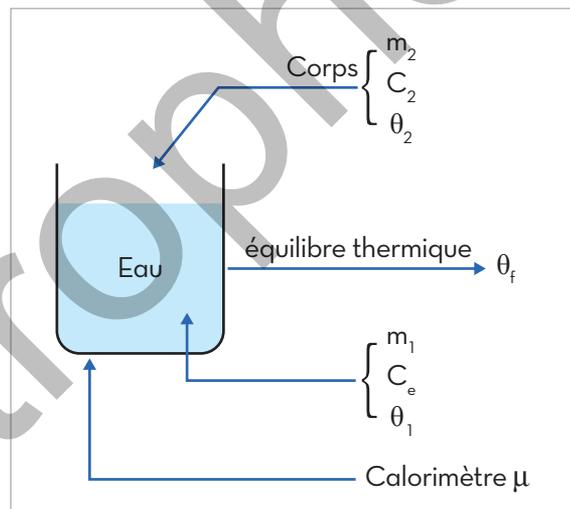
Lorsque plusieurs corps échangent de la chaleur entre eux, en admettant qu'il n'y a pas de pertes de chaleur on écrit :  $\Sigma Q = 0$  (équation d'équilibre thermique).

#### Exemple :

Échange de chaleur dans un calorimètre entre une quantité d'eau froide et un corps chaud.

L'équation calorifique s'écrit :

$$(m_1 C_e + \mu)(\theta_f - \theta_1) + m_2 C_2(\theta_f - \theta_2) = 0.$$



## 2. Échange de chaleur avec changement d'état physique :

### 2.1. Chaleur Latente :

La chaleur Latente  $L$  de changement d'état d'un corps pur, est la chaleur échangée par un échantillon de masse 1 kg pour changer son état physique d'un état à un autre à température constante.

Unité :  $\text{J.kg}^{-1}$ .

- |                  |                                    |   |                 |
|------------------|------------------------------------|---|-----------------|
| • Fusion         | : $L_f > 0$ (réception de chaleur) | } | $L_f = -L_s$    |
| • Solidification | : $L_s < 0$ (perte de chaleur)     |   |                 |
| • Vaporisation   | : $L_v > 0$ (réception de chaleur) | } | $L_v = -L_\ell$ |
| • Liquéfaction   | : $L_\ell < 0$ (perte de chaleur)  |   |                 |

### 2.2. Expression de la quantité de chaleur échangée par un corps :

Au cours du changement d'état à température constante, on écrit :  $Q = mL$ .

#### Exemple :

On chauffe un morceau de glace, de masse  $m$ , pour faire varier sa température de  $\theta_i < 0$  à  $\theta_f > 0$ .

La quantité de chaleur reçue est :  $Q = m.c_g(0 - \theta_i) + mL_f + m.c_e(\theta_f - 0)$

## 1 Capacité calorifique d'un métal

Un calorimètre contient une quantité d'eau de masse  $m_e = 400$  g à la température  $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$ . On y introduit une pièce d'aluminium de masse  $m_{Al} = 68$  g à la température  $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$ .

La température à l'équilibre dans le calorimètre se stabilise à  $\theta_f = 13^\circ\text{C}$ .

Calculer la capacité calorifique  $\mu$  du calorimètre. On donne :  $C_e = 4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;  $C_{Al} = 920 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

## 2 Capacité calorifique d'un système

Un calorimètre est constitué d'un vase intérieur d'aluminium de masse  $m = 50$  g et des accessoires (thermomètre + agitateur) de capacité calorifique  $15 \text{ J.K}^{-1}$ .

1. Calculer la capacité calorifique du calorimètre.

2. On introduit dans ce calorimètre lorsque sa température est  $\theta_1 = 17^\circ\text{C}$ , une quantité d'eau pure à la température  $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$ . L'équilibre thermique s'établit dans le calorimètre à la température :  $\theta_f = 38,5^\circ\text{C}$ .

2.1. Calculer la capacité calorifique  $\mu'$  de l'eau.

2.2. En déduire sa masse.

On donne :  $C_e = 4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;  $C_{Al} = 920 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

## 3 Équilibre thermique

1. On introduit dans un calorimètre initialement à la température  $\theta_1 = 30^\circ\text{C}$ , une quantité d'alcool de masse  $m = 500$  g et de température  $\theta_2 = 10^\circ\text{C}$ . La température du système à l'équilibre se stabilise à  $\theta_f = 15^\circ\text{C}$ .

1.1. Calculer la quantité de chaleur  $Q_1$  reçue par la quantité d'alcool.

1.2. Calculer la capacité calorifique  $\mu$  du calorimètre.

2. On introduit dans le système précédent à la température  $\theta_f = 15^\circ\text{C}$ , une pièce de fer de masse  $m' = 64,5$  g à la température  $\theta_3 = 100^\circ\text{C}$ . La température du nouveau système à l'équilibre se stabilise à  $\theta'_f$ .

2.1. Donner l'expression de :

a. La quantité de chaleur  $Q$  reçue par le système {calorimètre + alcool}.

b. La quantité de chaleur  $Q'$  cédée par la pièce de fer.

2.2. Déduire la valeur de  $\theta'_f$ .

On donne :  $C_{al} = 2400 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,

$$C_{Fe} = 400 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}.$$

## 4 Préparation d'un bain

On veut préparer un volume  $V = 250$  mL

d'eau tiède à la température  $\theta = 37^\circ\text{C}$ , pour cela on mélange un volume  $V_1$  d'eau chaude à la température  $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$  et un volume  $V_2$  d'eau froide à la température  $\theta_2 = 15^\circ\text{C}$  se trouvant dans une enceinte adiabatique de capacité calorifique  $\mu = 63,34 \text{ J.K}^{-1}$ .

Calculer les valeurs de  $V_1$  et  $V_2$ .

On donne :  $\rho_e = 1 \text{ g/cm}^3$ .

## 5 Condition de fusion

On introduit dans un calorimètre contenant une quantité d'eau de masse  $m = 1$  kg à la température  $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$ , un bloc de glace de masse  $M = 1$  kg à la température  $\theta_2 = 0^\circ\text{C}$ . On néglige la capacité calorifique du calorimètre. On donne :

- La chaleur Latente de fusion de la glace :  $L_f = 335 \text{ kJ.K}^{-1}$ .

- La chaleur massique de l'eau liquide :  $C_e = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

1. Calculer la quantité de chaleur  $Q$  susceptible d'être libérée par l'eau en se refroidissant de  $100^\circ\text{C}$  à  $0^\circ\text{C}$ .

2. Calculer la quantité de chaleur  $Q'$  nécessaire à la fusion totale du bloc de glace sans élévation de sa température.

3. Déduire l'état physique final du système obtenu.

4. Calculer la valeur de la température  $\theta_f$  à l'équilibre thermique du système.

## 6 Fusion et fusion partielle

Un calorimètre constitué d'un vase d'aluminium de chaleur massique  $C_{Al} = 892 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et de masse  $m = 80$  g, contient une quantité d'eau de masse  $m_1 = 200$  g, initialement à la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ .

1. Calculer la chaleur massique  $\mu$  du système  $S = \{\text{calorimètre} + \text{eau}\}$ .

2. On introduit dans le calorimètre contenant l'eau précédente, un bloc de glace de masse  $m_2 = 25$  g à la température  $\theta_2 = -13^\circ\text{C}$ .

2.1. Calculer la température finale à l'équilibre thermique.

2.2. Encadrer la valeur de la masse de glace à la température  $\theta_2 = -13^\circ\text{C}$ , qu'on doit introduire dans le calorimètre pour que la température se stabilise à  $0^\circ\text{C}$ .

3. On recommence l'expérience précédente en introduisant dans le même calorimètre précédent contenant la quantité d'eau de masse

$m_1 = 200$  g à la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ , un bloc de glace de masse  $m$  à la même température  $\theta_2 = -13^\circ\text{C}$ , on constate qu'à l'équilibre thermique ainsi obtenu, qu'il reste un morceau de glace de masse  $m' = 46$  g non fondu.

Calculer la valeur de  $m$ .

On donne :

- Chaleur massique de l'eau :  $C_e = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
- Chaleur massique de la glace :  $C_g = 2092 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
- Chaleur Latente de fusion de la glace :  $L_f = 335 \text{ kJ.K}^{-1}$ .

### 7 Évaporation de l'eau

Un pot en aluminium de masse  $M = 1$  kg, contient une quantité d'eau de masse  $m_1 = 2$  kg à la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ . On chauffe le pot à l'aide d'une plaque chauffante, la température s'élève et se stabilise à la valeur  $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$  où l'eau commence à s'évaporer.

1. Après une durée d'ébullition, il reste dans le pot une quantité d'eau de masse  $m_2 = 1,6$  kg non évaporée.

Calculer la quantité de chaleur  $Q$  cédée au pot et à l'eau qu'il contient dès le début du chauffage.

2. Quelle est la quantité de chaleur  $Q_t$  cédée par la source de chauffage sachant que 90 % seulement est exploitée dans ce chauffage.

On donne :

$$L_v = 22255 \text{ kJ.K}^{-1}, C_e = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}, C_{Al} = 900 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}.$$

### 8 Fusion totale

1. Un calorimètre de capacité calorifique  $\mu = 190 \text{ J.K}^{-1}$ , contient une quantité d'eau froide de masse  $m_1 = 300$  g à la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ . On y introduit une quantité d'eau chaude de masse  $m_2 = 400$  g à la température  $\theta_2$ .

La température du système à l'équilibre se stabilise à la valeur  $\theta_e = 42^\circ\text{C}$ .

Calculer la valeur de  $\theta_2$ .

2. Le système ainsi en équilibre à la température  $\theta_e = 42^\circ\text{C}$ , on y introduit une quantité de glace de masse  $m_g = 35$  g à la température  $\theta = -24^\circ\text{C}$ .

2.1. Montrer que la glace fond complètement.

2.2. Calculer la température  $\theta_f$  du nouvel équilibre thermique.

On donne :  $C_e = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $C_g = 2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $L_f = 335 \text{ kJ.K}^{-1}$ .

### 9 Chaleur latente de fusion

1. Un calorimètre contient une quantité d'eau de masse  $M_1 = 150$  g à la température  $\theta_1 = 19^\circ\text{C}$ , On y introduit une autre quantité d'eau de masse  $M_2 = 200$  g à la température  $\theta_2 = 35^\circ\text{C}$ .

Après agitation la température se stabilise à  $\theta_3 = 27^\circ\text{C}$ .

Calculer la capacité calorifique du calorimètre et ses accessoires.

2. Le système précédent en équilibre à la température  $\theta_3 = 27^\circ\text{C}$ , on y introduit un bloc de glace fondu, la température se stabilise de nouveau à  $\theta_4 = 12^\circ\text{C}$  et la masse du nouveau système devient  $m_2 = 535$  g. Calculer la valeur de la chaleur Latente de fusion de la glace.

On donne :

- La chaleur massique de l'eau liquide :  $C_e = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
- La masse du calorimètre et accessoires :  $m = 100$  g.

### 10 Capacité thermique du cuivre

Un calorimètre contient 100 g d'eau à  $18^\circ\text{C}$ .

On y verse 80 g d'eau à  $60^\circ\text{C}$ .

1. Quelle serait la température d'équilibre si la chaleur massique du calorimètre et de ces accessoires était négligeable ?

2. La température d'équilibre est en fait  $35,9^\circ\text{C}$ . En déduire la chaleur massique du calorimètre et de ses accessoires.

3. On considère de nouveau le calorimètre qui contient 100 g d'eau à  $18^\circ\text{C}$ .

On y plonge un morceau de cuivre de masse 20 g initialement placé dans de l'eau en ébullition. La température d'équilibre s'établit à  $19,4^\circ\text{C}$ .

Calculer la chaleur massique du cuivre.

4. On considère encore le même calorimètre contenant 100 g d'eau à  $18^\circ\text{C}$ .

On y plonge maintenant un morceau d'aluminium de masse 30,2 g à la température de  $100^\circ\text{C}$  et de chaleur massique  $920 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Déterminer la température d'équilibre.

5. L'état initial restant le même : le calorimètre contenant 100 g d'eau à  $18^\circ\text{C}$ , on y introduit un glaçon de masse 25 g à  $0^\circ\text{C}$ .

Calculer la température d'équilibre.

6. L'état initial est encore : le calorimètre contenant 100 g d'eau à  $18^\circ\text{C}$ , on y introduit un glaçon de masse 25g provenant d'un congélateur à la température de  $-18^\circ\text{C}$ .

Quelle est la température d'équilibre ?

Données :

- Chaleur massique de l'eau liquide :  $C_e = 4,19 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;
- Chaleur massique de la glace :  $C_g = 2,10.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;
- Chaleur latente de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 3,34.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$ .



*L'eau chauffée suffisamment, emmagasine l'énergie nécessaire à faire tourner les roues du train.*

## ÉNERGIE INTERNE

**De quel type d'énergie s'agit-il donc ?**

### Objectifs

- Savoir les effets du travail ;
- Savoir calculer le travail des forces appliquées à une quantité de gaz parfait ;
- Savoir la définition et l'expression de l'énergie interne ;
- Savoir le premier principe de la thermodynamique.

## Activité documentaire

On a vu jusqu'à présent que le travail d'une force, modélisant une action exercée sur un système, peut faire varier son énergie cinétique ou/et son énergie potentielle de pesanteur.

Les particules constituant un système sont en mouvement dans le référentiel lié au système ; ils ont donc une vitesse dans ce référentiel.

On associe à cette vitesse une énergie cinétique microscopique  $\mathcal{E}_c$  qui augmente avec la température du système. De plus les particules peuvent interagir entre elles. À ces interactions, on associe une énergie potentielle microscopique  $\mathcal{E}_p$ .

Ces deux formes microscopiques ne sont pas mesurées directement, mais leurs variations le peuvent.

### Objectif

- ▶ Mettre en évidence de nouveaux effets du travail.
- ▶ Présenter une nouvelle forme d'énergie microscopique.

## A Effets du travail :

### Situation 1 : (Doc. 1)

**Système à étudier :** Le fil de fer ;

On fait tordre un fil de fer jusqu'à ce qu'il casse, et on touche le lieu de torsion.

Doc.1 Fil de fer



Doc.2 Morceau de glace



### Situation 2 : (Doc. 2)

**Système à étudier :** Le morceau de glace ;  
On frotte un morceau de glace contre un plan rugueux.

Doc.3 Seringue



### Situation 3 : (Doc. 3)

**Système à étudier :** L'air contenu dans la seringue ;  
On ferme l'extrémité d'une seringue, on appuie sur le piston et on le lâche.

### Piste de travail :

1- Quel est l'effet du travail fourni au système étudié dans chacune des trois situations proposées ?

Situation	1	2	3
Effet du travail	..... .....	..... .....	..... .....

ApoStrophe

2- Le travail des efforts fournis par l'opérateur dans chaque situation, a-t-il varié l'énergie cinétique ou potentielle de pesanteur macroscopiques du système étudié ?

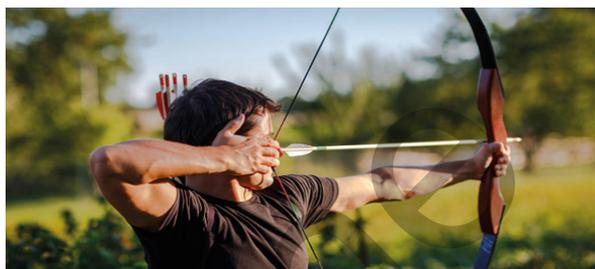
.....  
.....  
.....  
.....

## B Énergies microscopiques :

### Situation 1 : (Doc. 4)

Lorsque l'archer tend son arc, celui-ci se déforme. Lorsqu'il lâche la corde élastique, la flèche est mise en mouvement et l'arc reprend sa forme initiale.

Doc.4 Tir à l'arc



### Situation 2 : (Doc. 5)

Lorsque la température de l'eau dans la cocotte s'élève suffisamment, la vapeur d'eau peut mettre la soupape de fonctionnement en rotation.

Doc.5 Cocotte



#### Piste de travail :

1- Que fournit l'archer à l'arc pour le déformer ?

.....

2- Qu'est ce qui montre que l'arc déformé a stocké de l'énergie ?

.....

3- La déformation de l'arc a provoqué une modification au niveau microscopique. S'agit-il d'une variation d'énergie cinétique ou potentielle microscopiques ?

.....

4- Que fournit la plaque chauffante à l'eau de la cocotte ?

.....

5- Qu'est ce qui montre que l'eau chauffée a stocké de l'énergie ?

.....

6- L'agitation des molécules d'eau chauffée augmente. S'agit-il d'une variation d'énergie cinétique ou potentielle microscopiques ?

.....

7- Comment l'énergie microscopique d'un système peut-elle être modifiée ?

.....

### Ce qu'il faut savoir

- Au cours du changement d'état physique, un corps pur peut échanger de la chaleur sans variation de sa température.

### Lexique

- **Macroscopique** : au niveau visuel.
- **Microscopique** : au niveau d'atomes ou molécules invisibles.
- **Archer** : lanceur d'arc.

ApoStrophe

# L'ESSENTIEL DU COURS

## 1. Effets du travail :

Les effets du travail, autre que la variation d'énergie cinétique ou potentielle de pesanteur d'un système, peuvent être :

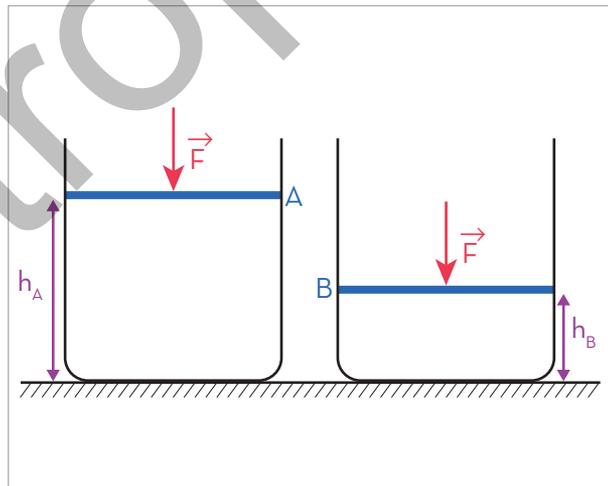
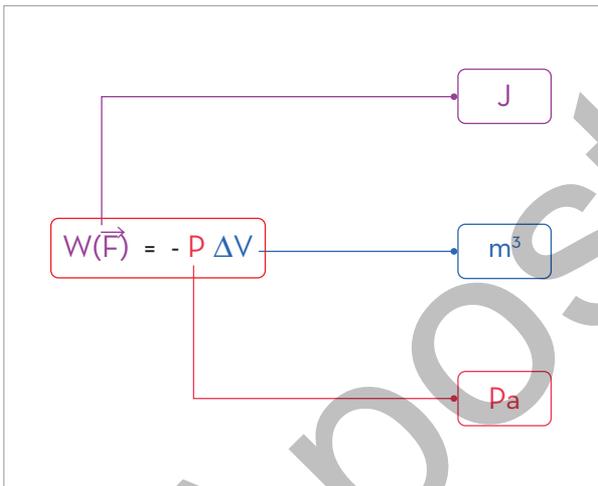
- Une élévation de sa température ;
- Un changement de son état physique ;
- Une déformation élastique.

## 2. Définition de l'énergie interne:

L'énergie interne  $U$  d'un système est la somme des énergies : cinétique  $\mathcal{E}_c$  et potentielle  $\mathcal{E}_p$  microscopiques des molécules ou atomes.

$$U = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$$

## 3. Travail des forces pressantes :



## 4. Premier principe de la thermodynamique :

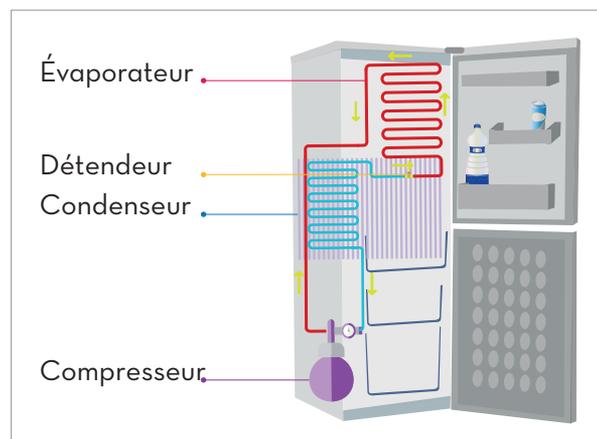
L'énergie interne d'un système peut être variée soit par le travail (variation de volume), soit par la chaleur (chauffage ou refroidissement), soit les deux en même temps.

$$\Delta U = W + Q$$

### Cas particulier :

Au cours d'une transformation cyclique (le système revient à son état initial), l'énergie interne du système ne varie pas.

$$\Delta U = 0$$



## 1 Effet du chauffage sur l'énergie interne

On place sur une plaque chauffante développant une puissance moyenne de valeur  $P_m = 1 \text{ kW}$ , un récipient contenant une quantité d'eau de volume  $0,5 \text{ L}$ .

- Calculer la quantité de chaleur libérée par la plaque pendant  $3 \text{ min}$ .
- Par quel mode de transfert, la chaleur est-elle transmise à l'eau ?
- Quelle est l'influence de ce transfert de chaleur sur l'eau au niveau microscopique ?
- Sachant que l'eau reçoit  $60 \%$  de la chaleur libérée par la plaque, donner la valeur de la variation de l'énergie interne de l'eau.

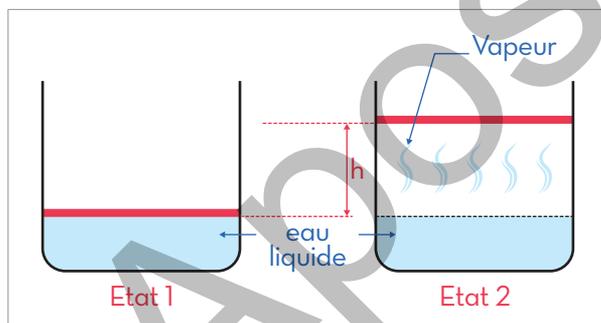
## 2 Travail des forces pressantes et énergie interne

Un récipient, fermé par un piston de masse négligeable peut coulisser à l'intérieur duquel sans frottements.

Le récipient contient une quantité d'eau à la température  $373 \text{ K}$  (état 1).

En chauffant cette eau, elle s'évapore à température constante, et le piston s'élève lentement d'une hauteur  $h = 20 \text{ cm}$  (état 2).

(On néglige la variation du volume d'eau liquide due à l'évaporation)



- Calculer l'intensité de la force pressante  $\vec{F}$  exercée par l'air ambiant sur le piston.
- En assimilant la vapeur d'eau à un gaz parfait :
  - Calculer le volume de cette vapeur.
  - Déduire la quantité de matière d'eau constituant cette vapeur, et calculer sa masse.
- L'évaporation de l'eau à température constante  $373 \text{ K}$ , provoque une élévation de son énergie interne de  $2088 \text{ kJ}$ .

Calculer la variation  $\Delta U$  de l'énergie interne de l'eau lorsqu'elle passe de l'état 1 à l'état 2.

On donne :

$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $R = 8,314 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{k}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$ .  
Surface de la section interne du récipient :  $S = 200 \text{ cm}^2$ .

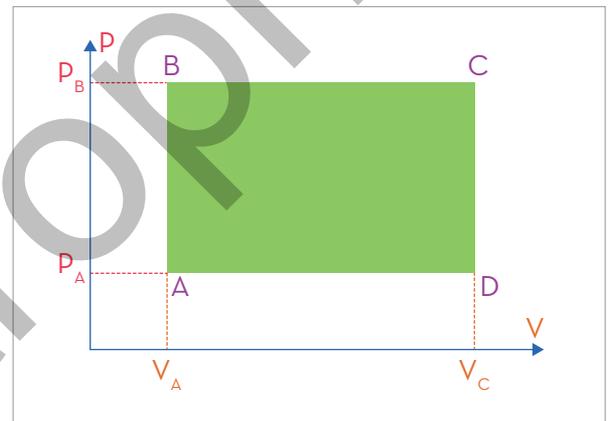
## 3 Transformation cyclique

On fait subir  $1 \text{ kg}$  d'air à une transformation cyclique (ABCD) comme suit :

$T_A = 300 \text{ K}$	$T_B = 1000 \text{ K}$
$P_A = 105 \text{ Pa}$	$P_B = 3,33.105 \text{ Pa}$
$V_A = 0,86 \text{ m}^3$	$V_B = V_A = 0,86 \text{ m}^3$

$T_C = 2372 \text{ K}$	$T_D = 710 \text{ K}$
$P_C = P_B = 3,33.105 \text{ Pa}$	$P_D = P_A = 105 \text{ Pa}$
$V_C = 2,04 \text{ m}^3$	$V_D = V_C = 2,04 \text{ m}^3$

Le diagramme représenté ci-dessous donne les caractéristiques de cette transformation.



- Calculer le travail total  $W$  et la quantité de chaleur  $Q$  échangés par l'air avec le milieu extérieur au cours de la transformation.
- Vérifier que la variation d'énergie interne de l'air au cours de cette transformation est nulle ( $\Delta U = 0$ ).

On donne :

- Chaleur massique de l'air à volume constant :  $C_V = 714,2 \text{ J}\cdot\text{k}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;
- Chaleur massique de l'air à pression constante :  $C_p = 10^3 \text{ J}\cdot\text{k}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

## 4 Énergie stockée par un gaz

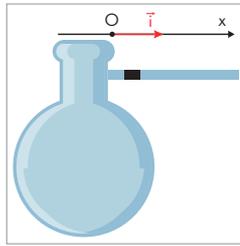
Le schéma ci-dessous représente un ballon de volume  $V = 1 \text{ L}$ , relié à un tube effilé, horizontal et de diamètre  $d = 4 \text{ mm}$ .

À l'intérieur du tube, une gouttelette de mercure initialement d'abscisse nulle sur l'axe  $(Ox)$ , bloquée à l'intérieur du ballon, une quantité d'air constituée de  $n = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$  d'air, à la température  $\theta_0 = 17^\circ\text{C}$ .

- Montrer que la pression à l'intérieur du ballon est égale à la pression atmosphérique  $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$ .

2. Déduire le module  $F$  de la force pressante, appliquée sur la goutte de Mercure, de la part de l'air emprisonné à l'intérieur du ballon.

3. On chauffe le ballon à l'aide des mains, sa température augmente de  $\Delta\theta = 2,5^\circ\text{C}$  et la goutte



de déplace sous une pression constante  $P_0$  pour se stabiliser en une position d'abscisse  $x$ .

3.1. Établir l'expression de  $x$  et calculer sa valeur.

3.2. Montrer que la variation d'énergie interne de l'air interne, peut s'écrire sous la forme  $\Delta U = K.x$ . Calculer sa valeur.

3.3. Donner une interprétation microscopique au déplacement de la goutte de Mercure.

On donne :

- Masse molaire de l'air :  $M = 29 \text{ g/mol}$  ;
- Chaleur massique de l'air à pression constante :  $C_p = 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{k}^{-1}$ .

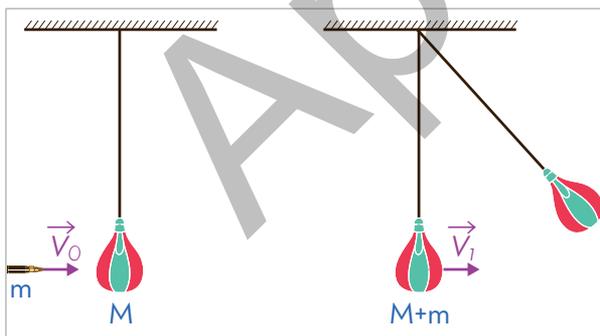
## 5 Pendule balistique

Un pendule balistique est constitué par un sac de sable de masse :  $M = 10,0 \text{ kg}$ , suspendu à un fil de longueur :  $L = 1,50 \text{ m}$ .

On assimile ce pendule à un pendule simple, le sac sera ainsi réduit à son centre d'inertie  $G$ . Une balle en plomb, de masse :  $m = 30,0 \text{ g}$  et de centre d'inertie  $G'$ , vient frapper le sac à la vitesse  $V_0$ , de norme :  $V_0 = 500 \text{ m.s}^{-1}$ .

La balle s'incruste dans le sac et le système :  $S = \{G + G'\}$  se met en mouvement à la vitesse  $\vec{V}_1$ , de norme  $V_1$  (voir Figure ci-dessous).

On négligera tout frottement avec l'air et on prendra :  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ .



1. Quelle est la nature du mouvement du système  $S$  après l'impact ? Justifier la réponse.

2. Le système  $S$  s'immobilise lorsque le pendule est incliné de l'angle :  $\alpha = 34,3^\circ$ .

2.1. Déterminer l'expression littérale, en fonction des données, de l'énergie mécanique du système  $S$  juste après l'impact.

2.2. Déterminer l'expression littérale, en fonction des données, de l'énergie mécanique du système

$S$  lorsqu'il s'immobilise.

2.3. En déduire une valeur numérique de  $V_1$ . Justifier le calcul.

3. On s'intéresse à la balle en plomb, c'est-à-dire au système :  $S_0 = \{G'\}$ .

3.1. Déterminer la perte d'énergie cinétique de  $S_0$  au moment de l'impact.

3.2. On admet que 80,0% de l'énergie cinétique ainsi perdue est transférée à la balle et augmente son énergie interne. Sachant que la température ambiante est de  $20,0^\circ\text{C}$  et qu'il faut une énergie de  $129 \text{ J}$  pour élever de  $1,00^\circ\text{C}$  la température de  $1,00 \text{ kg}$  de plomb, dire si l'énergie captée par la balle est suffisante pour atteindre la température de fusion du plomb,  $327^\circ\text{C}$ .

3.3. Sous quelle forme s'est effectué le transfert d'énergie vers la balle ?

3.4. Qu'est-il devenu les 20,0% restant de la perte d'énergie cinétique de  $S_0$  ?

## 6 Découpe « LASER »

Pour découper une plaque d'aluminium, on utilise un « laser » au dioxyde de carbone de puissance :  $P = 3,0 \text{ kW}$ .

1. Qu'appelle-t-on énergie interne d'un système ? Donner un exemple de ce type d'énergie.

2. Un des modes de transfert de l'énergie interne entre deux systèmes est « la chaleur ».

Expliquer cette affirmation.

3. Quel mode de transfert d'énergie est mis en œuvre dans le procédé de découpage de la plaque d'aluminium ?

Préciser les systèmes qui échangent de l'énergie et le signe de ces échanges.

4. On découpe au « laser » une plaque d'aluminium de longueur :  $L = 1,3 \text{ m}$  en utilisant une vitesse de découpe constante :  $V = 15 \text{ mm.s}^{-1}$ . Déterminer l'énergie reçue par la plaque lors de cette découpe.

5. Quelle forme du « capital énergie » de la plaque varie au cours de la découpe ?

6. Comment se rend-on compte concrètement de la variation du « capital énergie » de la plaque ?

7. On suppose que toute l'énergie reçue par la plaque a servi à vaporiser une partie de l'aluminium. Sachant que, dans ses conditions, il faut  $1,3 \cdot 10^4 \text{ J}$  pour vaporiser  $1,0 \text{ g}$  d'aluminium, calculer la masse d'aluminium vaporisé lors de la découpe « laser ».

8. L'épaisseur de la plaque est :  $e = 12 \text{ mm}$ . Calculer la largeur  $\ell$  du trait de découpe. Données :

- Masse volumique de l'aluminium :  $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  ;
- Masse molaire atomique :  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g.mol}^{-1}$ .



La machine de Wimshurst inventée en 1882 par l'anglais James Wimshurst permet d'obtenir une décharge électrique entre ses électrodes.

## CHAMP ET POTENTIEL ÉLECTROSTATIQUES

**Comment la décharge électrique peut traverser l'air supposé isolant ?**

### Objectifs

- Savoir la loi de coulomb ;
- Savoir les caractéristiques du vecteur champ électrostatique ;
- Savoir le champ électrostatique uniforme ;
- Savoir le travail de la force électrostatique ;
- Savoir le potentiel électrostatique ;
- Savoir l'énergie totale d'une particule.

## Objectif

Savoir la loi de Coulomb.

## Activité documentaire

### Doc.1 Éclairs



L'éclair (**Doc. 1**), est un phénomène naturel de décharge qui se produit lorsque de l'électricité statique s'accumule entre des nuages d'orage, ou entre un tel nuage et la terre. La différence de potentiel électrique entre les deux points peut aller de 10 à 20 millions de volts, causant une expansion explosive de l'air sous l'action d'énormes forces.

► **Quelle est l'expression de cette force ?**

### Loi de Coulomb :

Deux charges électriques  $q_A$  et  $q_B$ , au repos et de centres distants d'une distance  $d$ , s'influencent mutuellement avec des forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$ .

L'intensité commune des deux forces est proportionnelle à la valeur absolue du produit des deux charges, et inversement proportionnelle au carré de la distance entre leurs centres.

### Piste de travail :

- 1- Représenter sur le (**Doc. 2**), les vecteurs forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  modélisant les interactions entre les deux charges.
- 2- Traduire la phrase décrivant l'intensité de la force de Coulomb, sous forme de formule mathématique.

- 3- Parmi les deux propositions suivantes, déduire l'expression des vecteurs forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  dans les deux cas étudiés au (**Doc. 2**).

a.  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{U}_{AB}$  ;

b.  $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{U}_{AB}$  .

- 4- La valeur de la force d'interaction électrique qui s'exerce entre le proton et l'électron dans un atome d'hydrogène **Doc. 3**, est de l'ordre de  $8,2 \cdot 10^{-8} \text{N}$ .

- La distance moyenne entre le proton et l'électron est 53 pm ;
- La charge élémentaire est  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

Calculer la valeur de la constante  $k$  et préciser son unité.

### Doc.2 Interaction entre deux charges

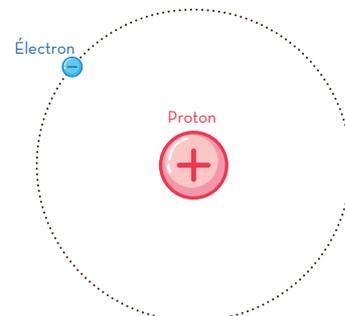
a. Charges de mêmes signes



b. Charges de signes opposés



### Doc.3 Atome d'hydrogène



### Ce qu'il faut savoir

- Deux charges de mêmes signes se repoussent ;
- Deux charges de signes contraires s'attirent ;
- L'expression d'une grandeur  $z$  proportionnelle à  $x$  et inversement proportionnelle à  $y$  s'écrit :  $z = k \frac{x}{y}$

### Lexique

- **Statique** : immobile.
- **Expansion** : dilatation.
- **Mutuellement** : réciproquement.
- **pm** : pico mètre ( $10^{-12} \text{m}$ ).

Apostrophe

## Activité documentaire

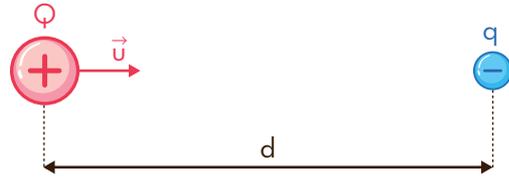
### Doc.1 Haute tension



Porté à un potentiel élevé, les cheveux se dispersent dans l'espace (Doc. 1).

► Que se trouve-t-il dans cette région de l'espace ?

### Doc.2 Vecteur force électrostatique



### Doc.3 Vecteur champ créé par une charge



### Doc.4 Lignes de champ d'une charge ponctuelle



### Doc.5 Superposition de champs



### Piste de travail :

1- Écrire l'expression du vecteur force  $\vec{F}$  modélisant l'action de la charge  $Q$  sur la charge  $q$ . (Doc. 2)

.....

.....

.....

2- Dédire l'expression du vecteur  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ .

Ce vecteur caractérise-t-il la charge  $Q$  ou  $q$  ?

.....

.....

3- Dédire l'unité de son module.

.....

4-1- Représenter sur le (Doc. 3), le vecteur  $\vec{E}$  créé par la charge  $Q$  au point M.

4-2- Qualifier chacun de ces deux vecteurs de : centrifuge ou centripète.

$Q > 0$  : ..... ;  $Q < 0$  : .....

5- On appelle ligne de champ, toute ligne tangente au vecteur champ en tout point de l'espace entourant la charge. Représenter ces lignes dans les deux cas du (Doc. 4). Proposer comment différencier les deux cas ?

6- En trois points A, B et C de l'espace entre deux charges sont représentés les vecteurs champs électrostatiques créés par les deux charges.

Représenter le vecteur champ global, et tracer une ligne de ce champ.

### Ce qu'il faut savoir

- L'expression du vecteur force de Coulomb ;
- Représenter la résultante de deux vecteurs.

### Lexique

- **Centrifuge** : Qui tend à s'éloigner du centre.
- **Centripète** : Qui tend à se rapprocher du centre.

Apostrophe

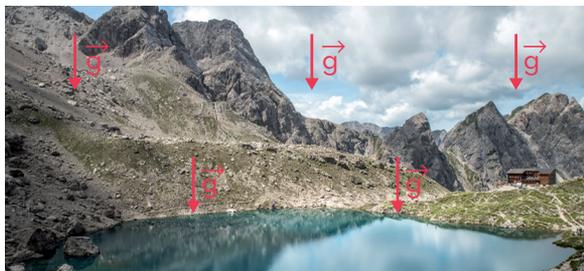
# Champ électrostatique uniforme

## Activité expérimentale

### Objectif

savoir le champ électrostatique uniforme.

### Doc.1 Champ de pesanteur



Le champ de gravitation terrestre est caractérisé par un vecteur champ  $\vec{g}$  dont la direction varie d'environ  $1^\circ$  pour un parcours sur le sol de 100 km et le module diminue de 1% pour une altitude d'environ 32 km. Dans une région de petites dimensions **Doc. 1**; ce vecteur semble constant; le champ dans cette région est dit **uniforme**.

### Matériel :

Cuve de verre, plaques métalliques ; huile, semoule, générateur de tension continue;

### Manipulation :

1. Verser un peu d'huile de paraffine dans la cuve.
2. Disposer les plaques comme l'indique le schéma (**Doc. 2**).
3. Brancher les plaques au générateur.
4. Saupoudrer les grains de semoule entre les deux plaques.

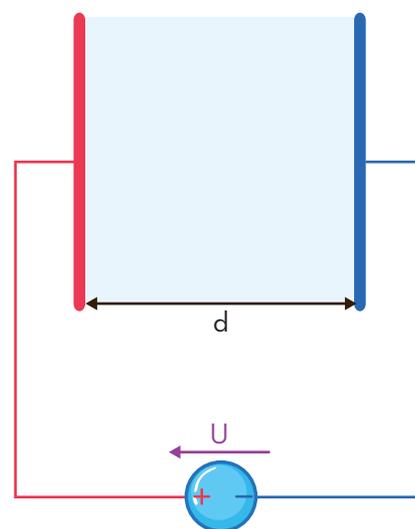
### Précaution :

Poser un morceau de bois (matière isolante) dans la cuve entre les deux plaques pour éviter tout court-circuit possible.

### Doc.2 Plaques parallèles



### Doc.3 Vecteur champ uniforme



### Piste de travail :

1- En observant le spectre obtenu au (**Doc. 2**), peut-on qualifier le champ électrique entre les plaques de champ uniforme ou non ? Justifier votre réponse.

.....

.....

.....

2- Les caractéristiques d'un vecteur champ uniforme sont :

Direction	Sens	Module
.....	Vers les potentiels décroissants.	$E = \frac{U}{d}$

2-1- Représenter ce vecteur entre les deux plaques (**Doc. 3**).

2-2- Écrire l'unité du module de ce vecteur.

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- L'extrémité de la flèche représentant une tension positive est orientée vers le potentiel élevé.

### Lexique

- **Champ** : région de l'espace.
- **Saupoudrer** : disperser.

Apostrophe

## Objectif

Mise en évidence de l'énergie potentielle électrostatique.

## Activité documentaire

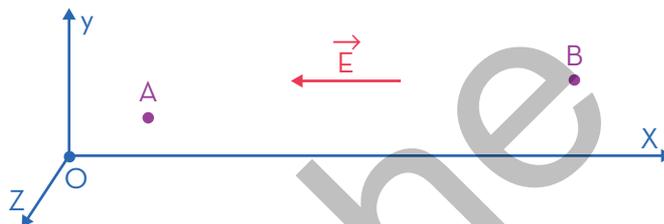
### Doc.1 Tube cathodique



Les tubes cathodiques ont été inventés pour produire et accélérer des électrons sous l'action de champs électrostatiques. Les électrons acquièrent de l'énergie cinétique, évidemment à l'égard d'une autre forme d'énergie.

► Quelle est donc cette énergie ?

### Doc.2 Champ uniforme



Une particule portant une charge  $q$ , se déplace d'un point A à un point B, dans une région où règne un champ électrostatique uniforme de vecteur  $\vec{E}$  de sens opposé à l'axe (Ox) d'un repère d'espace (Oxyz) (Doc. 2).

### Piste de travail :

1- Donner les coordonnées des vecteurs  $\vec{E}$  et  $\vec{AB}$  dans le repère (Oxyz).

.....

2- Dédurre que :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \cdot E \cdot (x_A - x_B)$ , ce travail dépend-t-il du chemin suivi ?

.....

3- Cette force résulte de l'existence d'une énergie appelé énergie potentielle électrostatique noté  $E_{pe}$ . Dédurre l'expression de cette énergie en un point d'abscisse  $x$ .

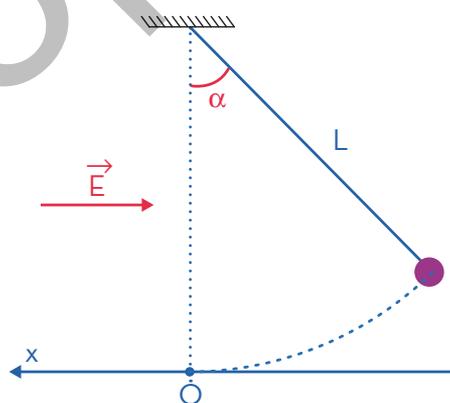
.....

4- Donner l'expression de l'énergie potentielle électrostatique du pendule électrostatique de charge  $q$  (Doc. 3), en choisissant la position d'équilibre comme état de référence de cette énergie.

.....

.....

### Doc.3 Pendule électrostatique



### Ce qu'il faut savoir

-  $W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$  pour toute force constante.

-  $W(\vec{F}) = -\Delta E_p$  pour toute force conservative.

### Lexique

- **Coordonnées** : composantes.

- **Potentielle** : existe virtuellement.

- **Pendule** : tout système pouvant osciller.

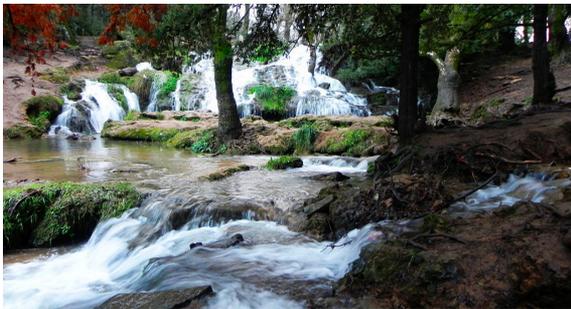
Apostrophe

## Activité expérimentale

### Objectif

- ▶ Établir l'expression du potentiel électrostatique.
- ▶ Savoir les équipotentiels.

### Doc.1 Circulation d'eau



L'eau circule spontanément des endroits les plus élevés vers les endroits les moins élevés.

▶ Y'a-t-il une analogie avec la circulation du courant électrique ?

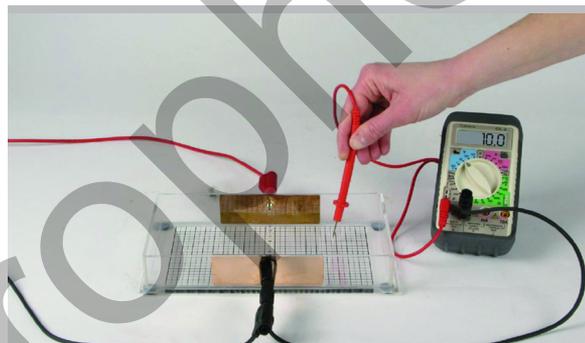
### Matériel :

- Cuve rhéographique (plaques distantes de  $d = 5 \text{ cm}$ ) ;
- Solution ionique (sulfate de Cuivre II) ;
- Générateur de tension continue ( $U = 6 \text{ V}$ ) ;
- Voltmètre.

### Manipulation :

1. Verser un peu de solution ionique dans la cuve.
2. Relier les plaques au générateur.
3. Brancher le voltmètre (Borne com reliée à la borne -).
4. Déplacer le pointeur et relever les valeurs des coordonnées et potentiels  $V$  correspondants (en Volt).

### Doc.2 Cuve rhéographique



### Doc.3 Tableau des mesures

x(cm) \ y(cm)	-4	-2	0	2	4
1	1,32	1,36	1,32	1,38	1,36
2	2,56	2,58	2,56	2,56	2,58
3	3,98	3,98	3,98	4,02	4,02
4	5,02	4,98	5,04	5,02	5,02

### Piste de travail :

1- En observant les mesures du tableau (Doc. 3) :

1-1- Comment varie le potentiel  $V$  en déplaçant le pointeur suivant l'axe (Oy) parallèle aux plaques ?

.....

.....

.....

.....

.....

1-2- Comment varie le potentiel en déplaçant le pointeur suivant l'axe (Ox) normal aux plaques ?

.....

.....

.....

.....

.....

Apostrophe

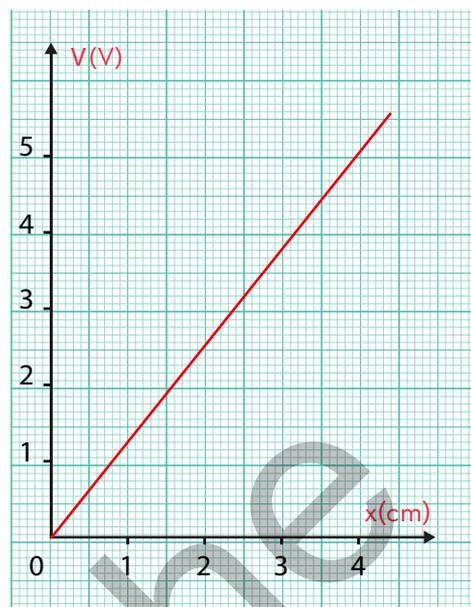
2- Tracer la courbe  $V = f(x)$  représentant les variations du potentiel  $V$  en fonction de  $x$  (coordonnée suivant l'axe parallèle et opposé au vecteur champ  $\vec{E}$ ) pour différentes valeurs de  $y$ .

Le (Doc. 4) représente cette courbe pour  $y = 0$ .

2-1- Calculer la valeur de la pente de cette droite.

La comparer à celle de  $E$ .

Doc.4 courbe  $V = f(x)$  pour  $y = 0$



2-2- Déduire l'expression du potentiel électrique en un point en fonction de son abscisse  $x$

2-3- Une équipotentielle est une surface dont tous les points sont au même potentiel. Décrire la forme de l'une de ces équipotentielles entre les plaques de la cuve rhéographique.

### Ce qu'il faut savoir

- L'intensité du champ uniforme  $E = \frac{U}{d}$ .
- Deux grandeurs sont identiques, s'ils ont la même valeur et la même unité.

### Lexique

- **Potentiel**: Capacité dont on dispose en puissance.
- **Equi**: Même.

Apostrophe

## 1. Loi de Coulomb - force électrostatique :

Les caractéristiques des forces d'interaction entre deux charges  $q_A$  et  $q_B$  sont :

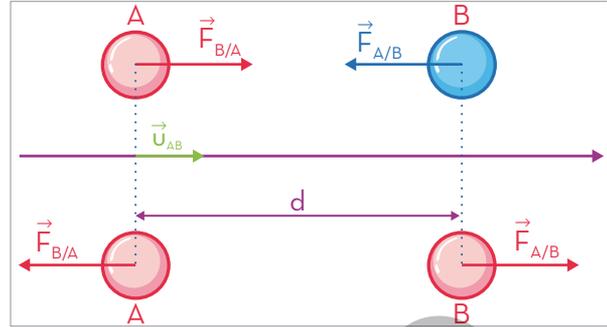
- **Direction** : droite passant par les centres des deux charges.
- **Sens** : les deux forces ont des sens contraires.
- **Module** : les deux forces ont même intensité

$$F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2}$$

$d$  : distance entre les centres des deux charges et  $k = 9 \cdot 10^9$  (SI) constante.

L'expression de la force électrostatique :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$



## 2. Vecteur champ électrostatique :

### 2.1. Définition :

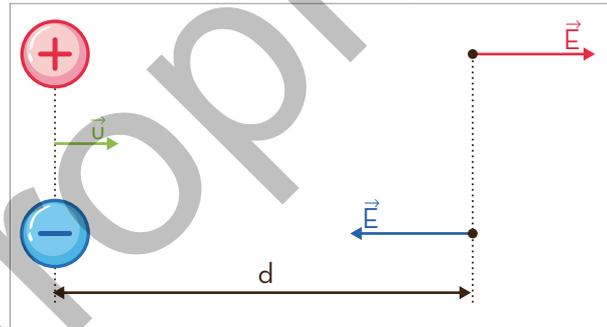
Le vecteur champ électrostatique créé par une charge  $Q$  :  $\vec{E} = k \frac{Q}{d^2} \vec{u}$

- **Direction** : droite passant par le centre de la charge.
- **Sens** : dépend du signe de la charge  $Q$ .
  - Centrifuge si  $Q > 0$ .
  - Centripète si  $Q < 0$ .

• **Module** :  $E = k \frac{Q}{d^2}$  (N/C)

L'expression du vecteur force électrostatique peut donc s'écrire :  $\vec{F} = q\vec{E}$

- $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  de même sens si  $q > 0$ .
- $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  de sens opposés si  $q < 0$ .

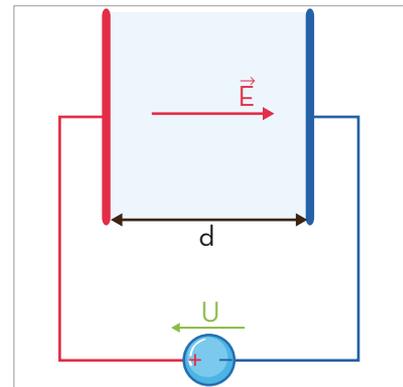


### 2.2. Lignes de champ électrostatique :

On appelle ligne de champ, la courbe à laquelle le vecteur champ électrostatique est tangent en tout point.

### 2.3. Superposition de champs électrostatique :

Lorsque plusieurs charges créent dans la même région de l'espace des champs électrostatiques, le champ résultant est :  $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$



### 2.4. Champs électrique uniforme :

Les caractéristiques d'un champ uniforme sont :

- **Direction** : normale aux plaques.
- **Sens** : vers les potentiels décroissants.
- **Module** :  $E = \frac{U}{d}$  (V/m).

## 3. Énergie potentielle électrostatique :

### 3.1. Travail de la force électrostatique :

Suivant un axe (Ox) orienté en sens contraire à  $\vec{E}$  :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q\vec{E} \cdot \vec{AB} = qE(x_A - x_B)$

Ce travail est indépendant du trajet, la force  $\vec{F}$  est donc conservative.

**3.2. Énergie potentielle électrostatique :**  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -\Delta E_{pe}$  **Càd :**  $E_{pe} = qEx + C$

**3.3. Potentiel électrostatique :**  $V = E_x + C'$

$C'$  : constante à déterminer en connaissant la référence des potentiels. On déduit :

$$E_{pe} = qV$$

**3.4. Différence de potentiel (ddp) :**  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q(V_A - V_B)$  **Donc :**  $V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB}$

### 3.5. Surface équipotentielle :

On appelle surface équipotentielle, toute surface dont les point sont au même potentiel.  $V_A - V_B = 0 \Rightarrow \vec{AB} \perp \vec{E}$



## 4. Énergie totale d'une charge électrique :

$$E = E_c + E_{pe} + E_{pp}$$

$$E = \Delta E_c + \Delta E_{pe} + \Delta E_{pp} \Rightarrow$$

$$\Delta E = \sum W(\vec{F})_{nc}$$

Si  $\Delta E = 0$  l'énergie totale se conserve.

## A. Champ électrostatique

### 1 Compensation de champs

En deux points A et B d'un axe (Ax), se trouve deux charges ponctuelles positives  $q_A$  et  $q_B$  tel que  $q_B = 4 q_A$ .

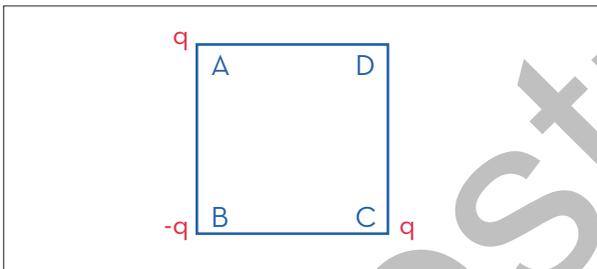
1. Représenter en un point C du segment [AB], les vecteurs champs électrostatiques  $\vec{E}_A$  et  $\vec{E}_B$  créés par les charges  $q_A$  et  $q_B$ .

2. Trouver la position du point C où le champ résultant est nul.

### 2 Champ résultant

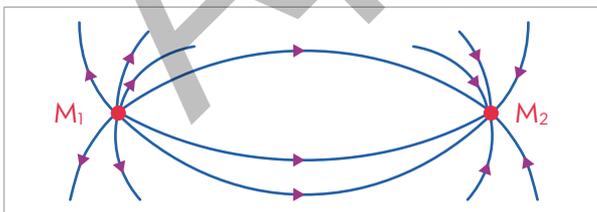
Un carré (ABCD) de coté de longueur (a), porte en chacun de ses sommets A et C une charge positive de valeur (q), et une charge négative de valeur opposé aux autres charges (-q) au sommet B.

Représenter les vecteurs champs électriques créés par les trois charges au quatrième sommet D, et trouver l'expression de son intensité.



### 3 Spectre de deux charges

Le schéma ci-après représente les lignes de champs électrostatique, créées par deux charges ponctuelles de valeurs  $q_1$  et  $q_2$  se trouvant en deux point  $M_1$  et  $M_2$  distants de  $d = 5$  cm.



1. Préciser le signe de chaque charge.

2. Les intensités des champs électriques créés au point  $M_0$  milieu du segment  $[M_1, M_2]$ , par les charges  $q_1$  et  $q_2$  sont :  $E_1 = 10^5$  V/m et  $E_2 = 2 \cdot 10^5$  V/m.

Donner les caractéristiques du vecteur champ  $\vec{E}$  résultant au point  $M_0$ .

3. Calculer les valeurs de  $q_1$  et  $q_2$ .

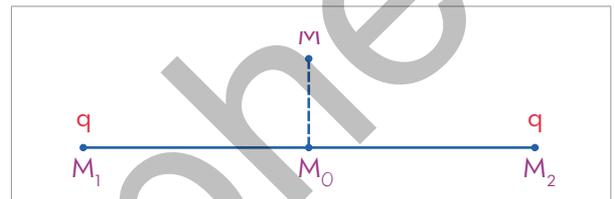
4. On pose au point  $M_0$ , une boule ponctuelle portant une charge de valeur  $q = -10^{-6}$  C.

Donner les caractéristiques de la force électrostatique que subit cette charge de la part du champ électrostatique existant

### 4 Champ créé par deux charges

Deux charges ponctuelles de même valeur  $q = 5$  nC, sont immobiles en deux point  $M_1$  et  $M_2$  distants d'une distance  $d = M_1M_2 = 5$  cm.

Soit un point M de l'espace se trouvant sur la médiatrice du segment  $[M_1M_2]$  à une distance  $h = M_0M = 1$  cm.



1. Calculer les intensités des champs électriques créés en M par les deux charges se trouvant en  $M_1$  et  $M_2$ .

2. Donner les caractéristiques du champ global créé en M.

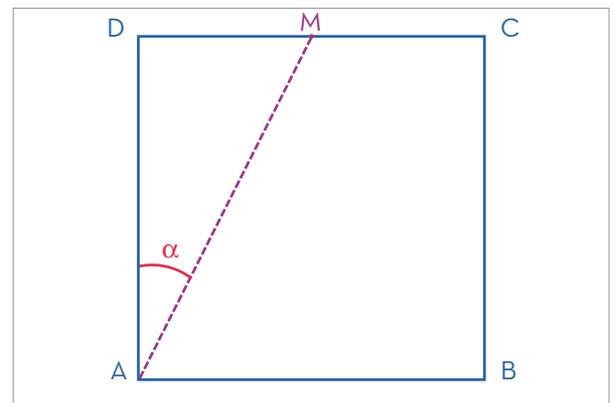
### 5 Champ créé par quatre charges

1. Aux sommets A, B, C et D d'un carré de côté  $a = 20$  cm, se trouvent des charges de mêmes valeur  $q = 1$   $\mu$ C.

Donner les caractéristiques du vecteur champ électrique global créé en :

1.1. O milieu du carré.

1.2. M milieu du segment [CD].



2. On remplace chacune des charges se trouvant aux sommets A et C, par une charge se signe opposé  $q' = -q$ .

2.1. Donner les caractéristiques du vecteur champ électrique global créé au même point M.

**2.2.** Donner les caractéristiques du vecteur champ électrique global créé au point C par les autres charges situées aux points A, B et D.

**2.3.** Dédire les caractéristiques de la force électrostatique appliquée à la charge se trouvant en C.

### 6 Expression d'un vecteur champ

Sur un axe (Ox), se trouve deux charges de valeurs  $q_B = 2 q_A = 2 \mu\text{C}$ , aux points A et B distants d'une distance  $AB = a = 8 \text{ cm}$ .



1. Soit un point  $M \in [AB]$  d'abscisse  $x$ .

**1.1.** Montrer que l'expression du vecteur champ électrique en M est :  $\vec{E}(M) = kq_A \left( \frac{1}{x^2} - \frac{2}{(a-x)^2} \right) \vec{u}$ , on donne  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$ .

**1.2.** Dédire ses caractéristiques au point d'abscisse  $x = 2 \text{ cm}$ .

**1.3.** Déterminer l'abscisse d'un point C où  $\vec{E}(C) = \vec{0}$ .

**2.** Donner les caractéristiques de  $\vec{E}(N)$  en un point N d'abscisse  $x_N = 10 \text{ cm}$ .

**3.** On remplace la charge  $q_A$  par une charge  $q' < 0$ , déterminer la valeur de  $q'$  pour que le champ électrique global s'annule en N.

## B. Potentiel électrostatique

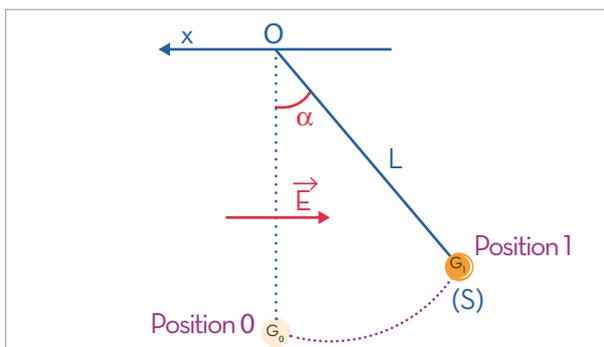
### 1 Pendule électrostatique

Un pendule électrostatique est composé d'un fil isolant, de longueur  $L = 50 \text{ cm}$ , de masse négligeable et porte à son extrémité libre une boule (S) de masse  $m = 60 \text{ g}$  portant une charge  $q$ .

En présence d'un champ électrostatique uniforme de vecteur  $\vec{E}$  horizontal, le pendule dévie d'un angle  $\alpha$  de sa position O d'équilibre à la position I, comme c'est indiqué sur le schéma ci-dessous.

On donne :  $\alpha = 20^\circ$ ,  $E = 2 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ ,  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

La position O est considérée comme état de référence de l'énergie potentielle électrostatique  $E_{pe}$ .



**1.** Quel est le signe de la charge électrique  $q$  ? Justifier votre réponse. Calculer sa valeur.

**2.** Etablir l'expression de  $E_{pe}$  de la boule à la position I. Calculer sa valeur.

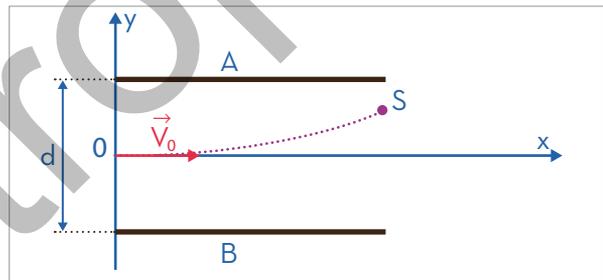
**3.** Dédire le travail de la force électrostatique lorsque le centre d'inertie de la boule se déplace de  $G_0$  à  $G_1$ . Calculer sa valeur.

**4.** Calculer la différence de potentiel (ddp) entre O et  $G_0$  et en déduire sa valeur entre O et  $G_1$ .

### 2 Mouvement d'un électron dans un champ électrique uniforme

On établit entre deux plaques métalliques A et B, parallèles, horizontales et distantes de  $d = 6 \text{ cm}$ , une tension continue  $|U_{AB}| = 600 \text{ V}$ .

On donne : la charge élémentaire :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Un électron de masse  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , entre à partir du point O, au champ électrique uniforme régnant entre les deux plaques, avec une vitesse de vecteur  $\vec{v}_0$  de direction horizontale et de module  $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$ , et sort en S d'ordonnée  $y = 1,3 \text{ cm}$ . (on néglige le poids de l'électron).



**1.** Quel est le signe de la tension  $U_{AB}$  appliquée entre les plaques ? Justifier votre réponse.

**2.** Calculer la valeur du travail de la force électrostatique appliqué à l'électron entre O et S, et en déduire la tension  $U_{OS} = V_O - V_S$ .

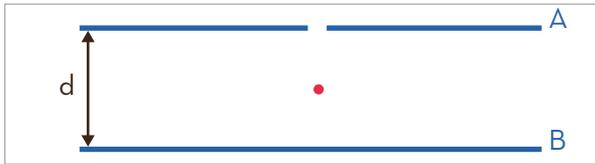
**3.** En choisissant le plan horizontal passant par O comme origine de l'énergie potentielle électrique, calculer la valeur de cette énergie en S.

**4.** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, calculer la valeur de la vitesse de sortie de l'électron du champ électrostatique au point S.

### 3 Chute d'une goutte d'huile

Entre deux plaques métalliques A et B, parallèles, horizontales et distantes d'une distance  $d$ , on applique une tension  $U_{AB} > 0$ .

En variant la valeur de la tension  $U_{AB}$ , on constate qu'on peut faire arrêter des gouttelettes d'huile (chacune de forme sphérique de rayon  $r$  et portant une charge électrique  $q$ ) dans l'espace entre les plaques lorsqu'on fixe la tension  $U_{AB}$  sur la valeur  $U_1 = 239 \text{ V}$ .



On donne :

$$d = 8 \text{ cm} ; r = 0,9 \text{ } \mu\text{m} ; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

La masse volumique de l'huile utilisée :  $\rho = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Le volume d'une sphère de rayon  $r$  :  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ .

**1.** Préciser en justifiant le signe de la charge  $q$ . Calculer sa valeur.

**2.** On fixe la valeur de la tension  $U_{AB}$  sur une nouvelle valeur  $U_2 = 200 \text{ V}$ . Calculer le travail de la force électrique appliquée à une goutte d'huile lorsqu'elle se déplace de la plaque A à la plaque B.

#### 4 Énergie totale

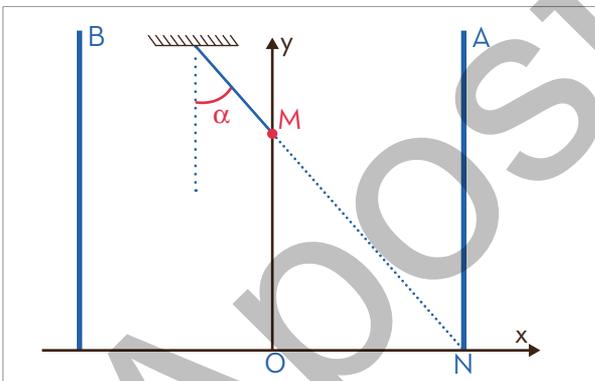
On crée un champ électrostatique uniforme en appliquant une tension  $U_{AB} > 0$  entre deux plaques A et B verticales et parallèles.

Un pendule électrique initialement dans sa position d'équilibre, dévie d'un angle  $\alpha$  et se stabilise lorsque sa boule occupe la position M.

On donne :

$$-\tan \alpha = 0,5 ; y_M = 2d = 5 \text{ cm} ; g = 10 \text{ N/kg.}$$

$$-\text{La masse de la boule : } m = 2 \text{ g et sa charge } q = -2 \cdot 10^{-7} \text{ C.}$$



**1.** Calculer le module du champ électrique régnant entre les plaques A et B.

**2.** La boule se détache du fil et part sans vitesse initiale vers un point N d'abscisse  $x_N = d$ .

Calculer le travail de la force électrique appliquée à la charge au cours du trajet entre M et N, et déduire la ddp  $V_M - V_N$ .

**3.** Calculer  $U_{AB}$  sachant que O occupe le milieu entre les plaques A et B.

**4.** En choisissant le plan vertical passant par O comme origine des  $E_{pe}$  et le plan horizontal passant par O comme origine des  $E_{pp}$  :

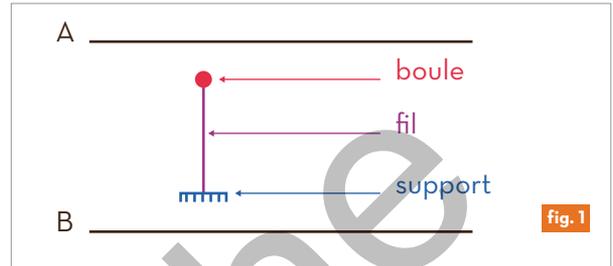
**4.1.** Donner l'expression du potentiel  $V_N$  et déduire celle de  $E_{pe}(N)$ .

**4.2.** Établir l'expression de l'énergie totale de la boule et montrer qu'elle se conserve entre M et N.

#### 5 Pendule électrostatique

Un pendule électrostatique est constitué d'une boule de masse  $m = 2 \text{ g}$ , et de charge électrique  $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ , attachée par un fil isolant de masse négligeable.

Le pendule se trouve dans un champ électrostatique uniforme (créé entre deux plaques métalliques A et B horizontales) de vecteur  $\vec{E}$  vertical et de module  $E = 3 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  (fig.1).



**1.** Déterminer les sens du vecteur champ électrostatique, sachant que la boule est en équilibre.

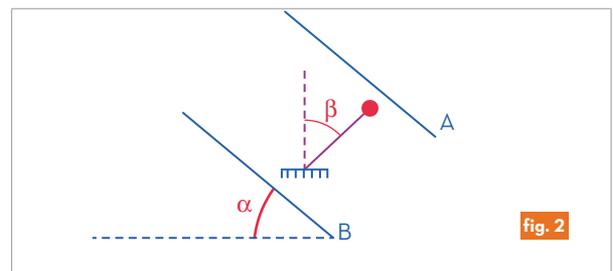
**2.** Calculer le module de la tension du fil.

**3.** Quelle est la valeur de l'intensité du vecteur champ électrostatique qu'on doit appliquer pour que la boule reste en équilibre si le fil casse ?

**4.** On incline les deux plaques d'un angle  $\alpha = 60^\circ$  (fig 2) et on constate que le pendule est dévié de sa position verticale précédente d'un angle  $\beta$ . (première situation avec  $\vec{E}$ ).

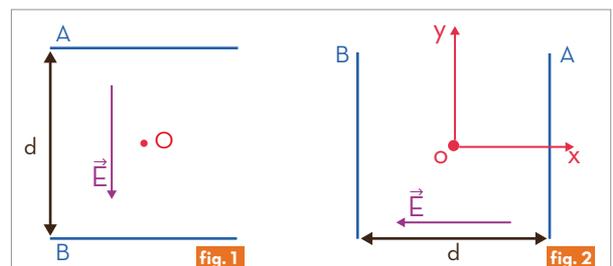
Calculer la valeur de l'angle  $\beta$ .

On prend :  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .



#### 6 Mouvement d'une charge

On crée entre deux plaques parallèles A et B, porteuses de deux charges opposées et séparées d'une distance  $d = 10 \text{ cm}$ , un champ électrostatique uniforme d'intensité  $E = 105 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  (fig.1).



**1.** En premier lieu on considère les deux plaques horizontales (fig.1).

**1.1.** Déterminer la nature de la charge portée par chaque plaque, justifier votre réponse.

**1.2.** On place en un point O à mi-distance des deux plaques A et B une boule (S) de masse  $m = 10^{-3}$  kg et de charge  $q = -9 \cdot 10^{-8}$  C.

**a.** Faire l'inventaire des forces appliquées sur la boule et calculer leurs intensités.

On donne :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .

**b.** Vers quelle plaque se dirige la boule ? Justifier votre réponse.

**c.** Calculer la vitesse de la boule à son arrivée à la plaque vers laquelle elle se dirige sachant que sa trajectoire est verticale et passe par le point O.

**2.** Dans une deuxième expérience, les deux plaques sont verticales et on place la boule (S) précédente en un point O situé à mi-chemin des deux plaques, origine du repère (Ox,Oy) (fig. 2).

**2.1.** Déterminer dans ce repère l'expression vectorielle de la résultante de toutes les forces appliquées à la boule (S).

**2.2.** Trouver les expressions des coordonnées du point d'arrivée H de la boule situé sur la plaque vers laquelle se dirige (S).

**2.3.** Calculer la vitesse de la boule à son arrivée au point H.

### 7 Pendule de torsion électrostatique

Un fil de torsion OO', vertical, de constante de torsion  $C = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ N.m.rad}^{-1}$ , est soudé en son milieu M à une tige horizontale isolante dont les extrémités A et B portent deux sphères de dimensions négligeables.

$MA = MB = \ell = 5 \text{ cm}$ .

**1.** On apporte la charge électrique q sur la sphère A et la charge -q sur la sphère B, cela provoque-t-il une torsion du fil OO' ?

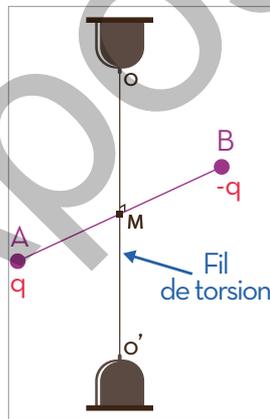
**2.** Les charges étant en place, le dispositif électrique est soumis à un champ électrostatique uniforme,

horizontal et perpendiculaire à la direction initiale de la tige AB. Son intensité E vaut  $5 \cdot 10^4 \text{ V/m}$ , il en résulte une torsion du fil OO' qui, à l'équilibre, a pour valeur  $\theta = 30^\circ$ .

• Expliquer qualitativement le phénomène observé.  
• En déduire la valeur de la charge q.

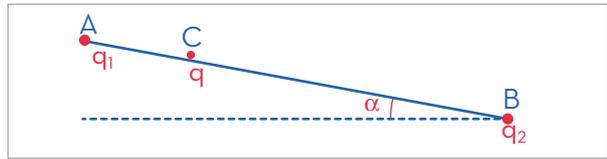
**3.** Que se passerait-il :

• Si l'on plaçait en A la charge -q et en B la charge q.  
• Si l'on plaçait en A et B la même charge q ?



### 8 Interaction électrostatique

Une tige isolante AB ( $AB = 20 \text{ cm}$ ) est inclinée d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  avec l'horizontale (figure suivante).



**1.** On fixe en A une charge  $q_1 = -10 \text{ nC}$ , en B une charge  $q_2 = 10 \text{ nC}$ .

Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique au point C situé sur la tige AB à 5 cm de A.

**2.** Une petite sphère (S) portant une charge  $q = 30 \text{ nC}$ , de masse m, peut coulisser sans frottement sur la tige AB, elle s'immobilise en C.

**2.1.** Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la sphère (S), les représenter.

**2.2.** En appliquant la condition d'équilibre de la sphère, calculer la masse m et la valeur de la réaction de la tige. On donne  $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

**3.** En maintenant la tige AB horizontalement, la sphère reste-t-elle immobile ? si non dans quel sens va-t-elle se déplacer ?

### 9 Expérience de Millikan (1911)

Entre deux plaques métalliques horizontales distantes de 1,5 cm, on applique une différence de potentiel de 3 kV.

On constate alors que de petites gouttes d'huile chargées négativement sont en équilibres entre les deux plaques.

**1.** Quelles sont les polarités des plaques ?

**2.** Quelle est la charge d'une goutte d'huile ? Comparer à la charge d'un électron.

On donne :

- Masse volumique de l'huile :  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  ;
- Diamètre d'une goutte :  $D = 4,1 \mu\text{m}$  ;
- Intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N/Kg}$ .

### 10 Champ électrostatique uniforme

Dans une région de l'espace, où tout point M est repéré dans un repère orthonormé  $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ , on superpose deux champs uniformes représentés par les vecteurs  $\vec{E}_1 = 10^3 \vec{i}$  et  $\vec{E}_2 = 4 \cdot 10^3 \vec{j}$ . L'unité de l'intensité du champ électrique est le V/m.

**1.** Montrer qu'en tout point de cette région de l'espace il existe un champ électrostatique uniforme.

Déterminer sa norme E et l'angle  $\alpha = (\vec{i}, \vec{E})$ .

**2.** Calculer la force subie par un ion  $\text{Cu}^{2+}$  placé en un point de ce champ.

On déterminera l'intensité F de la force et l'angle  $\beta = (\vec{i}, \vec{F})$ .



Les appareils électriques reçoivent de l'énergie électrique et la transforment en d'autres formes utiles en s'échauffant au cours du fonctionnement.

## TRANSFERT D'ÉNERGIE DANS UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE COMPORTEMENT GLOBAL D'UN CIRCUIT

Comment se répartie l'énergie électrique dans un circuit ? Et pourquoi les appareils s'échauffent-ils ?

### Objectifs

#### 1. Transfert de l'énergie dans un circuit électrique-Puissance électrique :

- Énergie électrique reçue par un récepteur - Puissance électrique du transfert.
- Effet Joule - Loi de joule.
- Énergie électrique fournie par un générateur - Puissance électrique du transfert.

#### 2. Comportement global d'un circuit :

- Distribution de l'énergie électrique pendant une durée  $\Delta t$  :
  - Au niveau du récepteur - rendement du récepteur.
  - Au niveau du générateur - rendement du générateur.
- Rendement total du circuit.
- Influence de la force électromotrice et des résistances sur l'énergie fournie par le générateur dans un circuit résistif.

# Transfert et transformation d'énergie électrique

## Activité expérimentale

L'énergie ne reste pas constamment au même « endroit » et sous la même forme. Elle peut se transmettre d'un endroit à l'autre; elle peut aussi passer d'une forme à une autre. Ainsi, il n'y a jamais destruction ou création d'énergie. C'est la loi de la conservation de l'énergie. On assiste plutôt à deux phénomènes : Les transferts et les transformations d'énergie.

- *Quel est le sens du transfert ?*
- *Quelles sont les transformations habituelles ?*

### Matériel :

Générateur, lampe, moteur, électrolyseur, fils de connexion, interrupteur.

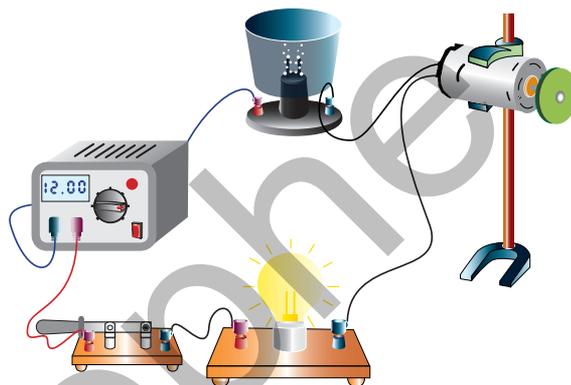
### Manipulation :

1. Associer les dipôles en série (Doc. 1) ;
2. Mettre le générateur en marche et fermer l'interrupteur.

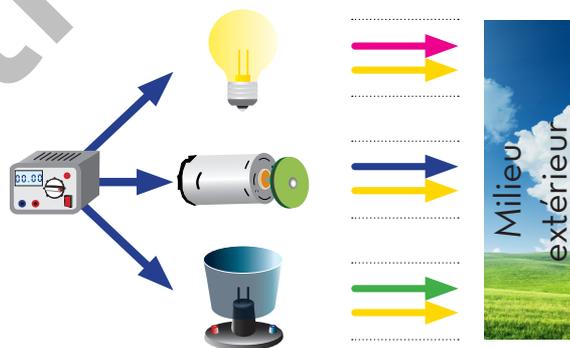
### Objectif

Savoir les transferts et conversions d'énergie dans un circuit.

### Doc.1 Transfert d'énergie



### Doc.2 Transfert et conversions d'énergie



### Piste de travail :

1- Que se passe-t-il au niveau de chaque dipôle lorsqu'on ferme l'interrupteur ?

.....  
.....  
.....

2- Quel est le dipôle qui fournit l'énergie au reste du circuit ?

.....  
.....  
.....

3- Noter sur le (Doc. 2), les conversions d'énergie électrique  $E_e$  (fournie par le générateur) se produisant au niveau de chaque dipôle ?

4- Quelle est l'énergie qui apparaît dans tous les éléments du circuit ?

.....  
.....  
.....  
.....

### Ce qu'il faut savoir

- Au sein d'un électrolyseur se produisent des réactions chimiques.

### Lexique

- **Transfert** : passage d'un lieu à un autre.
- **Conversion** : passage d'une forme à une autre.

Apostrophe

## Objectif

Savoir l'effet Joule.

## Activité expérimentale

Le courant électrique dans un matériau conducteur est dû au déplacement d'électrons. Plus la résistance d'un matériau est grande, plus les électrons ont du « mal » à circuler, ce qui provoque un échauffement du matériau. Ce phénomène s'appelle : effet Joule.

► *Ce phénomène est-il gênant ou avantageux ?*

### Matériel :

- Deux piles de 9 V ;
- Une mine de crayon.

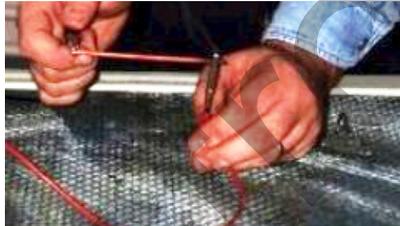
### Manipulation :

1. Monter les deux piles en série.
  2. Brancher les pôles de l'association des piles aux bornes de la mine de crayon.
- On observe ce qui suit (Doc. 2).

### Doc.1 Mines de crayon



### Doc.2 Tension aux bornes d'une mine de crayon



### Doc.3 Appareils générant de la chaleur



a- Dégivrage



b- Téléviseur



c- Lampes



d- Radiateur

### Piste de travail :

1- Décrire ce qu'on observe au Doc. 2.

2- Dites dans les différentes photos précédente (Doc. 3), si l'effet Joule est un avantage ou un inconvénient ?

- a- ..... b- .....  
c- ..... d- .....

### Ce qu'il faut savoir

- Un chauffage indésirable est un inconvénient ;
- Les frottements produisent de la chaleur.

### Lexique

- **Matériau** : matière.
- **Général** : Produisant.
- **Dégivrage** : Déglaçage.

Apostrophe

## Objectif

Savoir les conversions d'énergie électrique reçue par un récepteur.

## Activité expérimentale

### A Récepteur passif (Le résistor) :

Le résistor est un dipôle qui transforme toute l'énergie électrique reçue du générateur en énergie thermique. Cette énergie peut être mesurée par calorimétrie.

► Quelle est l'expression de cette énergie ?

#### Matériel :

- Calorimètre et accessoires (Doc. 1) ;
- Chronomètre ;
- Ampèremètre et Voltmètre;
- Générateur de tension continue.

#### Manipulation :

1. Introduire dans le vase du calorimètre une quantité d'eau de masse  $m$ , et réaliser le montage (Doc. 2).
2. Repérer à l'aide du thermomètre la température initiale  $\theta_i$  de l'eau.
3. Mettre le générateur en marche et déclencher au même instant le chronomètre.
4. Noter la valeur de l'intensité  $I$  du courant, et la valeur de la tension  $U$  appliquée par le générateur.
5. Repérer la température  $\theta_f$  de l'eau et calorimètre au bout de chaque minute.

Les résultats obtenus pour :  $m = 300 \text{ g}$  ;  $U = 12 \text{ V}$  ;  $I = 1,46 \text{ A}$  ;  $\mu = 46 \text{ J.K}^{-1}$  sont regroupés dans le tableau suivant :

t(min)	0	1	2	3	4	5
$\theta(^{\circ}\text{C})$	21	21,9	22,8	23,7	24,4	25,5

L'énergie thermique  $E$  transférée à l'eau et le calorimètre peut être calculée par :

$$E = (\mu + m.C_e)(\theta_f - \theta_i) ; \text{ soit : } E = 1300.\Delta\theta \text{ (en J)}$$

#### Piste de travail :

1- Compléter le tableau suivant :

t(min)	0	1	2	3	4	5
E (J)	.....	.....	.....	.....	.....	.....

2- La courbe (Doc. 3) traduit les variations de l'énergie  $E$  en fonction du temps.

2-1- Noter la valeur de la pente de cette courbe.

2-2- Comparer cette pente au produit  $U.I$

On donne :  $1 \text{ J/s} = 1 \text{ V.A.}$

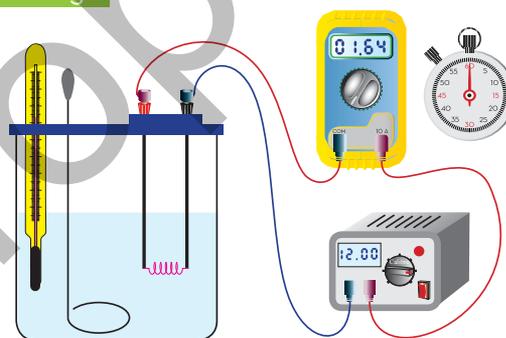
2-3- Dédurre l'expression de l'énergie thermique  $E_{\text{th}}$  reçue par le résistor du thermoplongeur et convertie en chaleur, en fonction de  $U$ ,  $I$  et  $\Delta t$ , puis en fonction de  $R$ ,  $U$  et  $\Delta t$  ( $R$  : résistance du thermoplongeur).

4- Dédurre l'expression de la puissance thermique  $P_{\text{th}}$  développée par ce résistor.

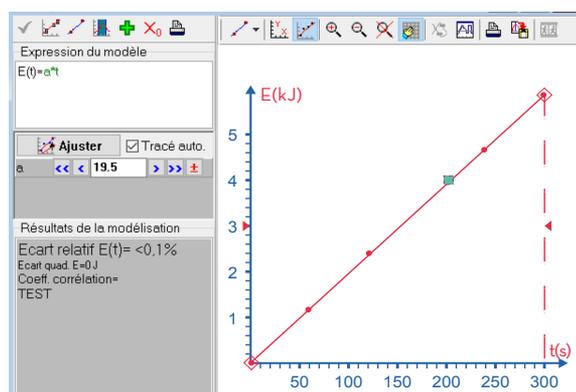
#### Doc.1 Calorimètre et accessoires



#### Doc.2 Montage



#### Doc.3 Courbe $E = f(t)$



Apostrophe

## B Récepteur actif (Le moteur) :

Le moteur est un appareil qui reçoit de l'énergie électrique et en transforme une partie en énergie mécanique sous forme de rotation.

► Comment se distribue donc l'énergie dans un moteur ?

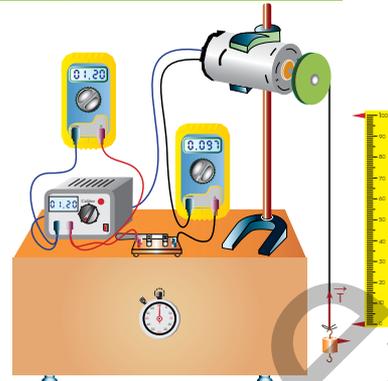
### Matériel :

Moteur électrique ; Générateur de tension continue ; Chronomètre ; Ampèremètre ; Voltmètre ; interrupteur et fils de connexion.

### Manipulation :

1. Réaliser le montage (Doc. 4).
2. Fixer la tension du générateur sur une valeur  $U$ .
3. Déclencher le chronomètre en même temps de la mise en marche du générateur.
4. Noter la valeur de l'intensité  $I$  du courant.
5. Mesurer la durée  $\Delta t$  de montée du corps de la distance  $h$ .
6. Changer le corps et répéter la même mesure.

Doc.4 Montage d'étude d'un moteur



Des mesures avec :  $U = 1,2 \text{ V}$  et  $h = 1 \text{ m}$ , ont donné les résultats suivants :

<b>m (g)</b>	10	20	30	40	50
<b>I (A)</b>	0,097	0,116	0,143	0,185	0,202
<b><math>\Delta t</math> (s)</b>	4,75	5,47	6,42	8,12	10,6

### Piste de travail :

1- Calculer l'énergie  $E_r$  reçue par le moteur et l'énergie mécanique  $E_m$  fournie sous forme de travail de la tension  $\vec{T}$  du fil. Regrouper les résultats dans le tableau suivant :

<b>m (g)</b>	10	20	30	40	50
<b><math>E_r</math> (J)</b>	.....	.....	.....	.....	.....
<b><math>E_m</math> (J)</b>	.....	.....	.....	.....	.....

On prendra :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$  et on supposera que la vitesse est constante.

2- Comparer  $E_r$  et  $E_m$ . Sous quelle forme apparaît la différence de ces deux énergies ?

.....

.....

3- Le rendement d'un moteur est la proportion d'énergie utilisée.

3-1- Proposer une formule donnant le rendement  $r$  du moteur.

.....

.....

3-2- Évaluer sa valeur pour chaque masse proposée.

<b>m (g)</b>	10	20	30	40	50
<b>r (%)</b>	.....	.....	.....	.....	.....

3-3- Ce rendement dépend-il de la masse soulevée ou non ?

.....

### Ce qu'il faut savoir

- La variation de température est la même dans toutes les échelles.
- Relation entre puissance et énergie :  $P = \frac{E}{\Delta t}$

### Lexique

- **Transférée** : transmise.
- **Pente** : coefficient directeur.
- **Thermoplongeur** : résistance immergée.

Apostrophe

# Cas d'un dipôle actif

## Activité expérimentale

### Objectif

Savoir le bilan d'énergie électrique au niveau d'un générateur.

La tension à vide aux bornes d'un générateur s'appelle force électromotrice  $E$  (f.é.m.), cette tension chute en présence d'une charge.

► Comment l'énergie est donc distribuée au niveau d'un générateur ?

### Matériel :

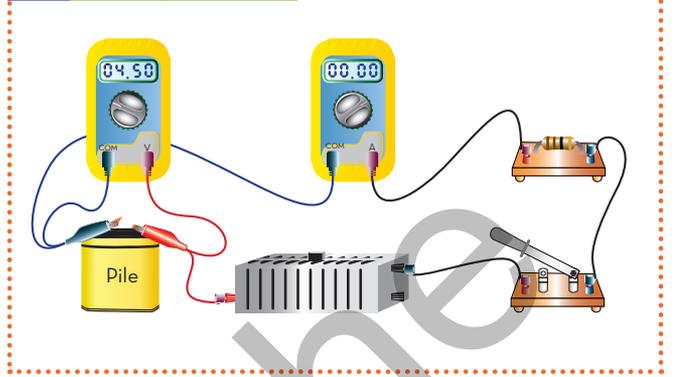
-Pile, rhéostat, résistor de protection de résistance  $R_p$ , interrupteur, ampèremètre et voltmètre.

### Manipulation :

- Réaliser le montage (Doc. 1).
- Mesurer la tension à vide.
- Fermer l'interrupteur et relever quelques valeurs de la tension  $U_{PN}$  aux bornes de la pile et l'intensité  $I$  du courant qu'elle débite.

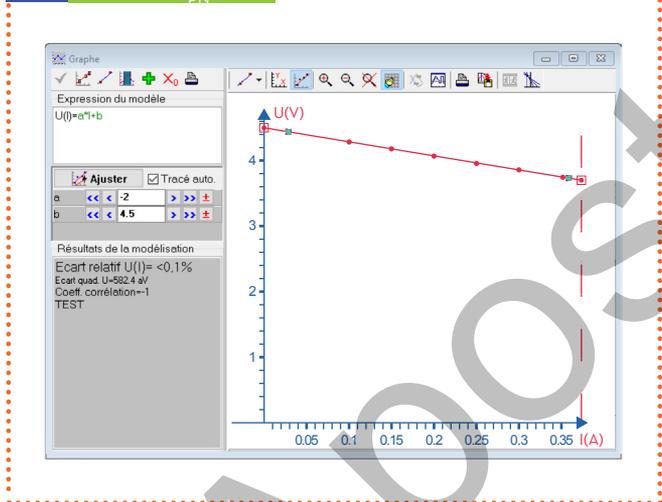
Des mesures similaires avec  $R_p = 11 \Omega$ , ont donné les résultats suivants :

Doc.1 Montage d'étude

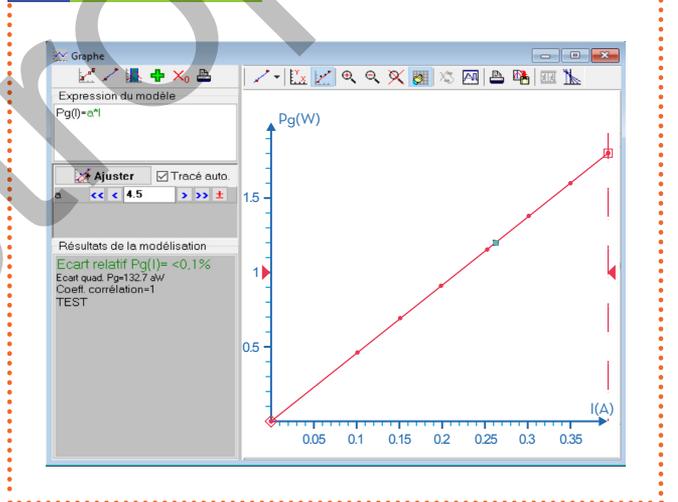


$U_{PN}$ (V)	4,5	4,3	4,2	4,1	4	3,9	3,8	3,7
$I$ (A)	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4

Doc.2 courbe  $U_{PN} = f(I)$



Doc.3 courbe  $P_g = f(I)$



### Piste de travail :

1- La courbe (Doc. 2) représente les variations de la tension  $U_{PN}$  en fonction de  $I$ . Noter la valeur de la f.é.m.  $E$  et de la résistance interne  $r$  de la pile (exploiter les valeurs données par le logiciel).

2- Calculer les valeurs de  $P_g = U_{PN} \cdot I + r \cdot I^2$  :

$I$ (A)	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$P_g$ (w)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

3- Tracer la courbe  $P_g = f(I)$ .

La courbe (Doc. 3) donne cette courbe pour les mesures précédentes.

Apostrophe

**3-1-** Noter la valeur de la pente de cette courbe (exploiter la valeur donnée par le logiciel). Que représente cette pente ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3-2-** On note  $P_{th} = r \cdot I^2$ . Que représente cette grandeur ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3-3-** Écrire l'expression de la puissance  $P_{ext}$  développée aux bornes de la pile en fonction de  $U_{pN}$  et  $I$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3-4-** Donner la relation (appelée bilan de puissances) entre  $P_g$ ,  $P_{ext}$  et  $P_{th}$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3-5-** Dédurre le bilan énergétique pour un générateur.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**4-** Proposer une définition du rendement du générateur et déduire son expression en fonction de  $r$ ,  $I$  et  $E$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- Tension aux bornes d'un générateur :  $U_{pN} = E - r \cdot I$  ;
- Tension à vide : f.é.m.  $E$

### Lexique

- **f.é.m.** : force électromotrice.
- **Pente** : coefficient directeur.

Apostrophe

## Objectif

Savoir les facteurs influençant sur l'énergie fournie par un générateur à un circuit résistif.

## Activité expérimentale

Un circuit résistif est un circuit ne contenant que des résistors montés entre les pôles d'un générateur.

L'énergie transférée par le générateur à ce circuit dépend de plusieurs facteurs.

► **Quels sont ces facteurs dont dépend cette énergie?**

### Matériel :

Générateur de tension ajustable, pile, résistors, boîte de résistances, ampèremètre, voltmètre, interrupteur, fils de connexion.

## A Influence de la force électromotrice :

- Réaliser le montage (Doc. 1).
- Régler la tension à vide sur la valeur  $E_1$ .
- Fermer l'interrupteur et mesurer l'intensité  $I_1$  du courant.
- Refaire la même mesure pour une autre valeur  $E_2$  de la f.é.m.

Des mesures similaires avec  $R = 280 \Omega$ , ont donné les résultats suivants :

E (V)	6,3	10,5
I (mA)	21	35

Doc.1 Influence de la f.é.m



### Piste de travail :

1- Montrer que l'expression de l'énergie transférée par le générateur au circuit pendant une durée  $\Delta t$  s'écrit sous la forme :  $\mathcal{E}_{\text{ext}} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- Calculer la valeur de cette énergie transférée pendant une durée  $\Delta t = 2 \text{ min}$ , pour les deux mesures précédentes, et déduire la valeur du rapport  $\frac{\mathcal{E}_{\text{ext}}}{E^2}$ . Conclure.

I (A)	6,3	10,5
$\mathcal{E}_{\text{ext}}$ (J)	.....	.....
$\frac{\mathcal{E}_{\text{ext}}}{E^2}$ (SI)	.....	.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Apostrophe



Apostrophe



Apostrophe

## 1. Transfert d'énergie à travers un récepteur :

### 1.1. Définition d'un récepteur :

On appelle récepteur, tout composant ou appareil qui consomme de l'énergie, il est aussi capable de la transformer en une autre forme et la céder au milieu extérieur.

1.2. Énergie reçue par un récepteur :  $E = U \cdot I \cdot \Delta t$  (J)

1.3. Puissance électrique :  $P = U \cdot I$  (Watt)

## 2. Cas du conducteur ohmique :

2.1. Loi d'Ohm :  $U = R \cdot I$

### 2.2. Loi de Joule :

L'énergie électrique reçue par un conducteur ohmique est intégralement transformée en chaleur et en rayonnement. Elle est transférée vers le milieu extérieur.

2.3. Énergie et Puissance thermiques :  $E_{th} = UI\Delta t = R I^2 \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t$  et  $P_{th} = R I^2 = \frac{U^2}{R}$

## 3. Récepteur possédant une force contre-électromotrice :

### 3.1. Loi d'Ohm :

L'expression de la tension positive aux bornes d'un récepteur s'écrit:  $U_{AB} = E' + r \cdot I$

### 3.2. Énergie et Puissance électriques - rendement :

Énergie reçue	Énergie thermique	Énergie utile	Rendement
$E_r = U_{AB} I \Delta t$	$E_{th} = r I^2 \Delta t$	$E_u = E' I \Delta t$	$p' = \frac{E_u}{E_r}$

## 4. Générateur :

### 4.1. Loi d'Ohm :

L'expression de la tension positive aux bornes d'un générateur s'écrit:  $U_{PN} = E - r \cdot I$

### 4.2. Énergie et Puissance électriques - rendement :

Energie extérieure	Energie thermique	Energie générale	Rendement
$E_{ext} = U_{PN} I \Delta t$	$E_{th} = r I^2 \Delta t$	$E_g = EI \Delta t$	$r = \frac{E_{ext}}{E_g}$

## 5. Comportement global d'un circuit électrique :

### 5.1. Distribution de l'énergie :

L'énergie électrique totale dans un circuit électrique se conserve :

$$\sum E(\text{produites}) = \sum E(\text{consommées})$$

Donc :  $\sum E_g = \sum E_u + \sum E_{th}$  et  $\sum P_g = \sum P_u + \sum P_{th}$

On déduit :  $\sum (EI) = \sum (E'I) + \sum (RI^2) + \sum (rI^2) + \sum (r'I^2)$

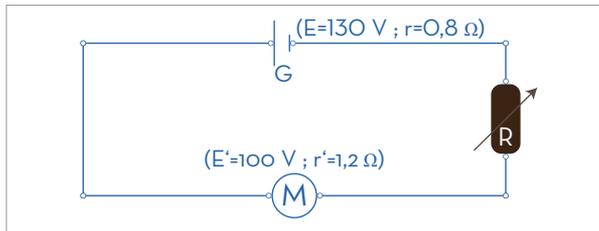
### 5.2. Loi de Pouillet :

Dans un circuit série (ne comportant pas de nœuds)

$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R + \sum r + \sum r'}$$

## 1 Rendement d'un moteur

On monte en série : un générateur G, un moteur M et un résistor de résistance R ajustable.



1. Lorsqu'on fixe R sur la valeur  $R_1 = 13 \Omega$ , un courant d'intensité  $I_1 = 2 \text{ A}$  traverse le circuit.

1.1. Calculer la quantité de chaleur produite par effet Joule au niveau du résistor pendant une durée  $\Delta t = 2 \text{ min}$ .

1.2. Le moteur reçoit une énergie  $E_r$  et en transforme une partie en énergie mécanique  $E_m$  (énergie utile). Écrire l'expression de son rendement et calculer sa valeur.

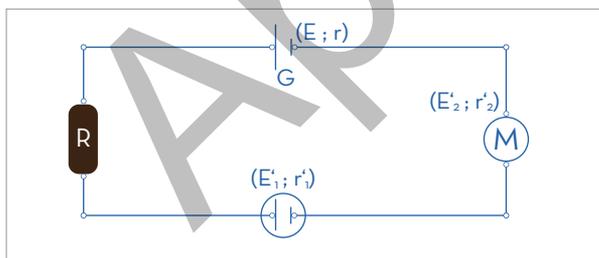
1.3. Écrire l'expression du rendement du circuit et calculer sa valeur.

2. Calculer la valeur  $R_2$  qu'on doit donner à R pour que le moteur développe une puissance utile  $P_v = 250 \text{ W}$ .

## 2 Rendement d'un électrolyseur

Le circuit de la figure ci-dessous se compose de :

- Un générateur G : ( $E = 24 \text{ V}$  ;  $r = 1,2 \Omega$ ).
- Un électrolyseur : ( $E_1 = 2 \text{ V}$  ;  $r_1 = 1,8 \Omega$ ).
- Un moteur électrique : ( $E_2 = 10 \text{ V}$  ;  $r_2 = 4 \Omega$ ).
- Un résistor :  $R = 8 \Omega$ .

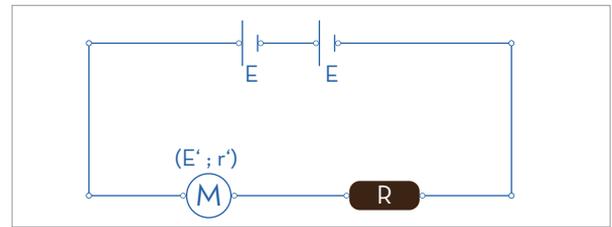


1. Calculer par application de la loi de Pouillet, l'intensité du courant I qui traverse le circuit.

2. Calculer le rendement de l'électrolyseur et celui du moteur.

## 3 Bilan énergétique

Le circuit de la figure se compose de deux générateurs idéaux de même f.é.m.  $E = 24 \text{ V}$ , un résistor de résistance  $R = 50 \Omega$  et d'un moteur électrique de f.c.é.m.  $E'$  et de résistance interne  $r'$ . Un courant d'intensité  $I = 0,5 \text{ A}$  traverse le circuit.



1. Calculer  $E'$  sachant que la puissance utile du moteur est  $P_v = 10 \text{ W}$ .

2. Donner le bilan énergétique dans le circuit, en déduire l'expression de  $r'$ . Calculer sa valeur.

3. Calculer la valeur du rendement du circuit.

## 4 Force contre électromotrice d'un moteur

Un circuit série se compose de :

- Un accumulateur de f.é.m.  $E = 24 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 1,2 \Omega$ .
- Un résistor de résistance  $R = 4,8 \Omega$ .
- Un moteur de f.c.é.m.  $E'$  et de résistance interne  $r'$ .
- Un ampèremètre de résistance interne négligeable.

On rappelle que la f.c.é.m. du moteur est proportionnelle à sa vitesse de rotation et sa résistance interne est constante.

1. Lorsqu'on empêche le moteur de tourner, l'ampèremètre indique  $I_1 = 2 \text{ A}$ . Trouver l'expression de  $r'$  et calculer sa valeur.

2. Lorsqu'on laisse le moteur tourner, l'ampèremètre indique  $I_2 = 1,2 \text{ A}$ .

2.1. Donner le bilan énergétique du circuit.

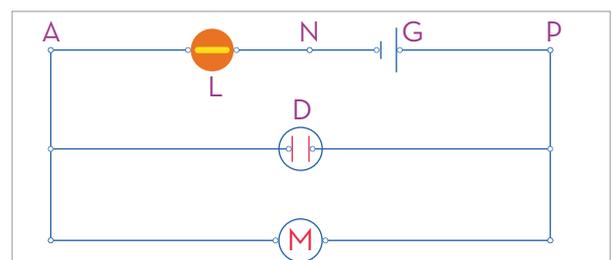
2.2. Déduire l'expression de  $E'$ . Calculer sa valeur.

2.3. Calculer le rendement du moteur et celui du circuit.

## 5 Distribution d'énergie dans un circuit ramifié

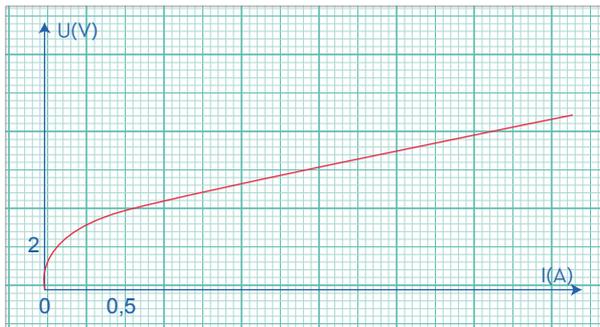
Le circuit de la figure ci-dessous se compose de :

- L : Ampoule de résistance R.
- D : Électrolyseur ( $E_1$  ;  $r_1$ ).
- M : Moteur électrique ( $E_2$  ;  $r_2 = 1 \Omega$ ).
- G : Générateur ( $E = 12 \text{ V}$  ;  $r = 2 \Omega$ ) délivrant un courant d'intensité  $I = 2 \text{ A}$ .



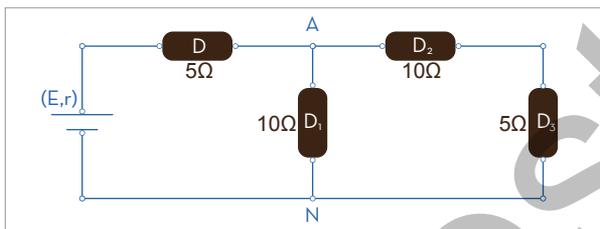
1. Calculer la valeur de la puissance électrique engendrée par le générateur et celle disponible entre ses bornes et fournie au circuit.

- Sachant que la lampe L dissipe de l'énergie thermique en utilisant une puissance de 6 W, calculer la valeur de sa résistance R.
- Calculer la valeur de la tension  $U_{PA}$ .
- En exploitant la caractéristique de l'électrolyseur représentée sur le schéma ci-dessous. Donner les valeurs de  $E'$  et  $r'$ .
- Déduire l'intensité du courant  $I_2$  traversant le moteur M.
- Calculer la puissance mécanique du moteur.
- Quel est le rendement de ce moteur.



### 6 Puissance maximale

On considère le circuit de la figure ci-dessous et on donne :  $E = 9,2 \text{ V}$  et  $r = 2 \Omega$ .



- Calculer la résistance  $R_{\text{éq}}$  du résistor équivalent aux quatre résistors.
- Déduire l'intensité du courant principal délivré par le générateur.
- Donner l'expression de la puissance extérieure  $P_{\text{ext}}$  du générateur en fonction de  $E$ ,  $r$  et  $R_{\text{éq}}$ . Calculer sa valeur.
- Cette puissance passe par un maximum lorsque  $R_{\text{éq}} = r$ , montrer que :  $P_{\text{ext(max)}} = \frac{1}{4R_e} E^2$ . Calculer sa valeur.

### 7 Pertes d'énergie dans un moteur

Entre les bornes d'un moteur électrique de f.c.é.m.  $E' = 7,2 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 11 \Omega$ , on applique une tension continue de valeur  $U_{AB} = 16 \text{ V}$ .

- Calculer la puissance  $P_r$  qu'il développe lors de la réception d'énergie.
- Calculer sa puissance utile  $P_m$  et la puissance  $P_j$  utilisée pour dissiper l'énergie sous forme d'énergie thermique.
- Calculer les valeurs des énergies échangées par le moteur pendant une durée  $\Delta t = 2 \text{ h } 45 \text{ min}$ .

- Le moteur est utilisé pour tourner une turbine. L'énergie utile  $W_u$  transmise à cette turbine diffère de l'énergie mécanique  $W_m$  du moteur à cause des pertes internes modélisées par une énergie  $W_{\text{int}}$ . Calculer la valeur de cette dernière énergie, sachant que le rendement du moteur est  $\rho = 18 \%$ .

### 8 Energie chimique

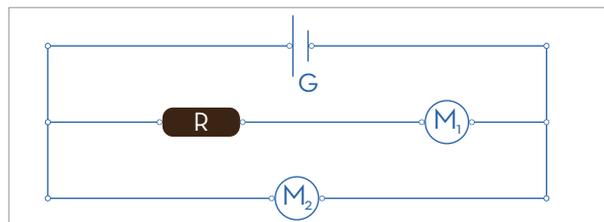
Pour produire de l'Aluminium par électrolyse d'un sel contenant les ion  $\text{Al}^{3+}$ , on fait passer dans l'électrolyseur un courant d'intensité  $I = 10^5 \text{ A}$  par application d'une tension de valeur  $U = 5 \text{ V}$  entre ses bornes.

- Calculer la puissance thermique de l'électrolyseur sachant que son rendement est  $\rho = 80 \%$ .
  - Calculer la masse d'aluminium produite pendant une durée  $\Delta t = 1 \text{ h}$ .
  - Calculer l'énergie électrique consommée pour produire 100 kg d'Aluminium.
- On donne :  
 $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

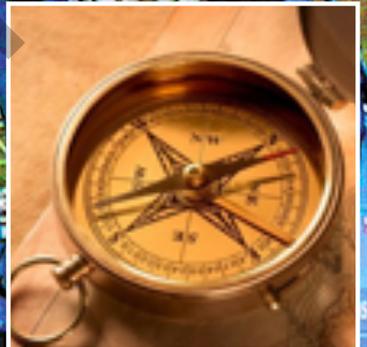
### 9 Circuits dérivés

Dans le circuit électrique figure ci-dessous, la puissance  $P_R$  dissipée par le conducteur ohmique de résistance  $R$ , égale à  $27,0 \Omega$ , est :  $P_R = 2,43 \text{ W}$ .

Les deux moteurs identiques  $M_1$  et  $M_2$  ont une f.c.é.m. de  $3,00 \text{ V}$  et une résistance interne égale à  $3,00 \Omega$ . Le générateur G possède une f.é.m.  $E$  et une résistance interne  $r$ .



- Reproduire le schéma donné et y faire figurer les flèches de tensions et d'intensités lorsque le dispositif est en fonctionnement.
- Déterminer la valeur  $I_1$  de l'intensité du courant électrique qui traverse le moteur  $M_1$ .
- Calculer la valeur  $I_2$  de l'intensité du courant électrique qui traverse le moteur  $M_2$ .
- Quelle puissance  $P_G$  le générateur fournit-il au reste du circuit ?
- En fait, le générateur est une batterie électrochimique. L'énergie chimique totale disponible en son sein,  $W_G$ , est égale à  $39,0 \text{ kJ}$  lorsqu'il fonctionne durant quinze minutes. Quelle puissance totale  $P_{G,\text{tot}}$  peut fournir le générateur ?



La grue pouvant soulever des masses énormes, utilise un champ magnétique créé par des courants électriques très intenses.

# CHAMP MAGNÉTIQUE

## Quelles sont les sources et les propriétés de ce champ magnétique ?

### Objectifs

- Action d'un aimant, et d'un courant continu, sur une aiguille aimantée ;
- Vecteur champ magnétique ;
- Exemples de lignes de champ magnétique; champ magnétique uniforme.
- Superposition de deux champs magnétiques.
- Champ magnétique terrestre.
- Champ magnétique créé par un courant électrique.
- Proportionnalité de la valeur du champ B et de l'intensité du courant en absence de milieux magnétiques pour :
  - Un conducteur rectiligne;
  - Un conducteur circulaire ;
  - Un solénoïde.

## Objectif

Savoir les sources du champ magnétique.

## Activité expérimentale

### Doc.1 Magnétite



Un jeune berger, traquant ses chèvres dans la montagne dans une province Turque appelée Magnésie, s'aperçoit que des cailloux bizarres se collent au bout ferré de son bâton de marche.

► **Quelle est cette propriété étrange ?**

### Matériel :

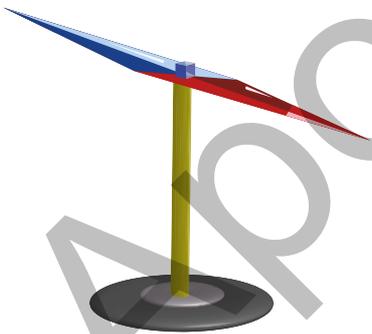
Aimant droit, aiguille aimantée, pile, interrupteur, fils conducteurs.

### Manipulation :

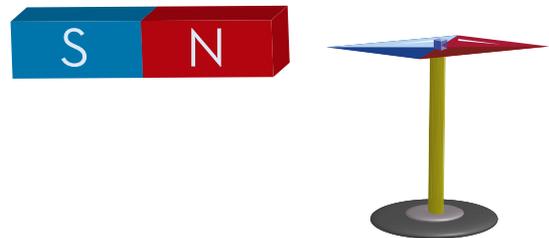
- 1- Poser une aiguille aimantée sur un plan horizontal (Doc. 2), en l'absence de toute autre source de champ magnétique ;
  - Faire tourner l'aiguille horizontalement autour de son axe et la laisser se stabiliser toute seule.
  - Répéter l'opération.
- 2- Placer une aiguille aimantée devant un aimant (Doc. 3) en l'absence de toute autre source de champ magnétique ;
  - Faire tourner l'aimant autour de l'aiguille dans un plan horizontal.
- 3- Placer une aiguille aimantée en dessous d'un fil conducteur dont les bornes reliées, à travers un interrupteur, à une pile (Doc. 4) ;
  - Fermer l'interrupteur.

**NB :** en l'absence du dispositif spécial, on peut tenir à la main un fil conducteur au-dessus de l'aiguille aimantée.

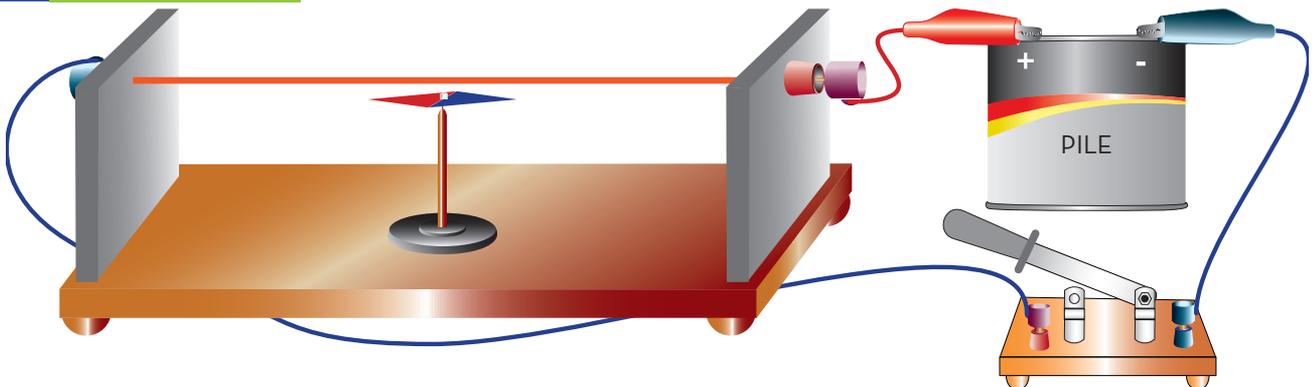
### Doc.2 Aiguille aimantée



### Doc.3 Aimant



### Doc.4 Courant électrique



Apostrophe

**Piste de travail :**

1- En répétant l'opération décrite au (Doc. 2), l'aiguille reprend-elle la même orientation, ou se stabilise à chaque fois dans une direction différente ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- En tournant l'aimant (Doc. 3), l'aiguille tourne aussi ou reste fixe ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3- Lorsqu'on ferme l'interrupteur (Doc. 4), l'aiguille dévie-t-elle ou reste immobile ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4- Quelles sont les sources de champ magnétique mises en évidence ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Ce qu'il faut savoir :**

- Une aiguille aimantée permet de mettre en évidence l'existence de champ magnétique.

**Lexique**

- **Traquer** : Obliger.  
- **Aiguille aimantée** : Aimant très léger.

Apostrophe

## Activité expérimentale

### Objectif

Savoir le champ magnétique créé par un aimant et celui créé par la Terre.

### Doc.1 Oiseaux migrateurs



Les oiseaux migrateurs (Doc. 1) arrivent à retrouver leur territoire après plusieurs milliers de kilomètres parcourus. Ils utilisent pour s'orienter d'une part des repères visuels, d'autre part les lignes de champ magnétique terrestre.

► Quelle est la forme des lignes d'un champ magnétique ?

## A Champ magnétique créé par un aimant :

### Matériel :

Aimant droit, aimant en U, poudre de fer, boussole des tangentes.

### Manipulation :

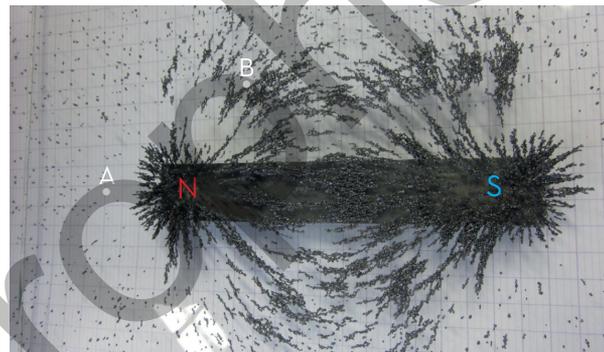
1. Mettre une lame de verre sur un aimant droit ;
2. Saupoudrer de la poudre de fer sur le verre ;
3. Faites la même chose avec un aimant en U.

### Piste de travail :

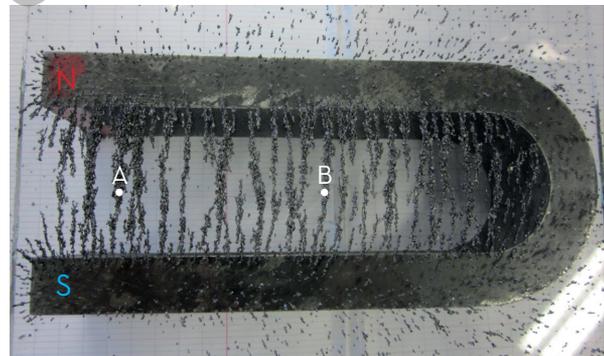
1- Décrire le spectre magnétique obtenu dans chaque cas :

Aimant droit :	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....
Aimant en U :	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....

### Doc.2 Spectres magnétiques



a- Aimant droit



b- Aimant en U

2- Dans quelle zone le champ magnétique est-il uniforme ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3- Par convention, on caractérise un champ magnétique par un vecteur  $\vec{B}$  tangent aux lignes de champs et s'éloignant du pôle nord de l'aimant.

Représenter ce vecteur aux points A et B dans chacun des deux cas.

Apostrophe

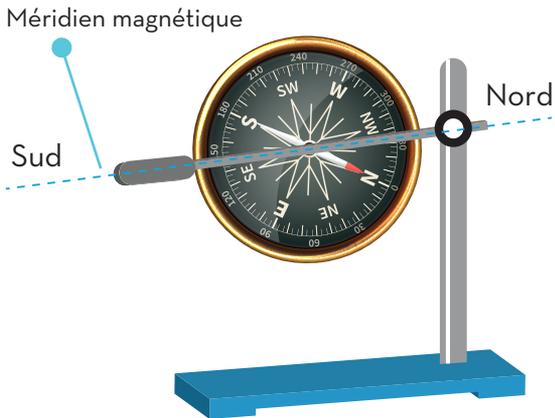
## B Champ magnétique terrestre :

### Manipulation :

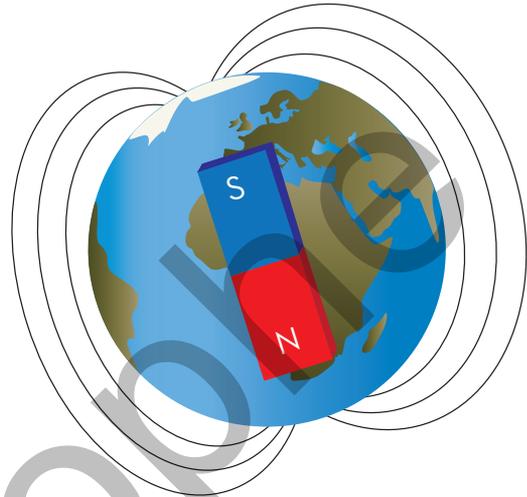
- Placer la boussole comme l'indique le (Doc. 3) ;

**NB :** Si on ne dispose pas de la boussole des tangentes, on peut suspendre une aiguille aimantée de son centre par un fil sans torsion.

Doc.3 Boussole des tangentes

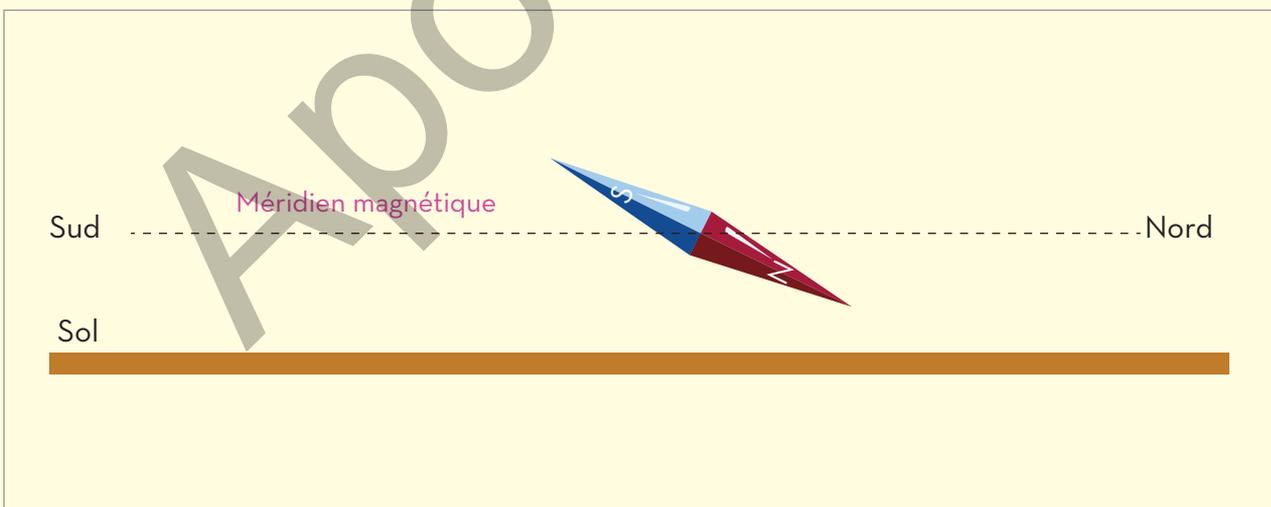


Doc.4 Lignes de champ



### Piste de travail :

- 1- Représenter le vecteur champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$  au centre de la boussole.
- 2- Représenter sur le schéma suivant les composantes : Horizontale  $\vec{B}_H$  et Verticale  $\vec{B}_V$  de ce vecteur.



- 3- La Terre se comporte comme s'il y'a un aimant en son intérieur (Doc. 4). Orienter ses lignes de champ.

### Ce qu'il faut savoir

- Lorsque les lignes de champ sont des lignes parallèles, le champ est uniforme.

### Lexique

- **Saupoudrer** : Disperser.  
- **Uniforme** : lié à un vecteur constant.

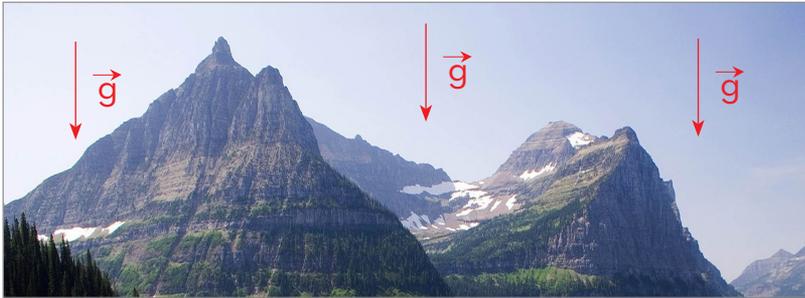
ApoStrophe

## Activité expérimentale

### Objectif

Savoir représenter le vecteur champ magnétique créé par un courant électrique.

### Doc.1 Champ de pesanteur



Le champ de pesanteur est caractérisé par un vecteur champ  $\vec{g}$  (Doc. 1) de caractéristiques connues.

► Comment caractériser un champ magnétique ?

### Matériel :

Fil rectiligne, spire circulaire ou bobine plate, solénoïde, batterie, fils de connexions.

## A Spectres magnétiques :

### Manipulation :

1. Faire circuler le courant électrique dans le fil rectiligne ;
  2. Saupoudrer de la poudre de fer à son voisinage ;
  3. Répéter la même manipulation avec la bobine plate puis le solénoïde ;
- Les figures obtenues ressemblent aux suivantes :

### Doc.2 Spectres magnétiques



a- Fil rectiligne



b- Bobine plate



c- Solénoïde

### Piste de travail :

1- Décrire le spectre magnétique dans chaque cas.

Fil rectiligne	Bobine plate	Solénoïde
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

2- Dans quelle zone le champ magnétique est uniforme ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Apostrophe

## B Sens du vecteur champ magnétique :

### Convention :

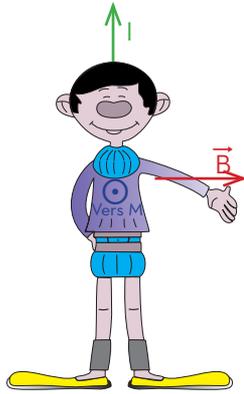
Un vecteur perpendiculaire au plan de la feuille est représenté comme suit :

Vecteur entrant   Vecteur sortant

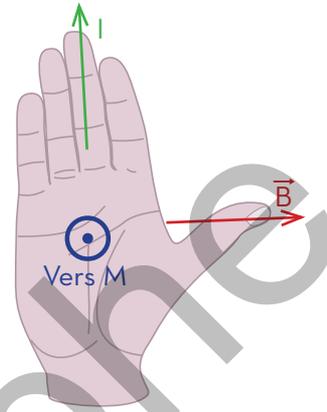
### Quelques règles :

Le sens du vecteur champ magnétique est déterminé par plusieurs règles. On cite quelques unes au (Doc. 3) :

#### Doc.3 Sens du vecteur champ magnétique



a- Observateur d'Ampère



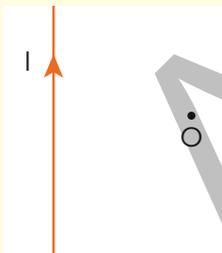
b- Main Droite

### Piste de travail :

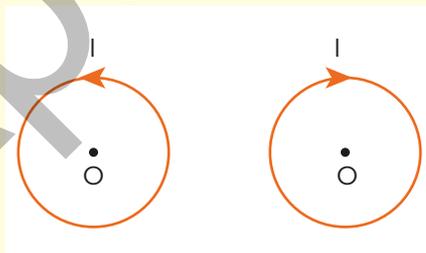
1- Décrire chacune des règles précédentes.

Observateur d'Ampère	Main droite
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

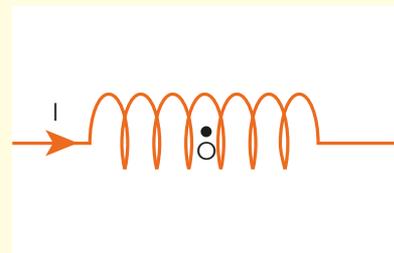
2- Représenter le vecteur champ magnétique au point O de chacune des figures suivantes :



▲ Fil rectiligne



▲ Spire circulaire



▲ Solénoïde

2- Par analogie avec l'aimant, déterminer la face nord et la face sud de la spire circulaire.

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- Le vecteur champ est tangent aux lignes de champ ;
- Le vecteur  $\vec{B}$  pour un aimant sort du pôle nord.

### Lexique

- **Spire** : fil conducteur à une forme circulaire.
- **Solénoïde** : de forme spirale.

Apostrophe

## Activité expérimentale

### Objectif

Savoir l'intensité du champ magnétique créé par un courant électrique.

Doc.1 Teslamètre



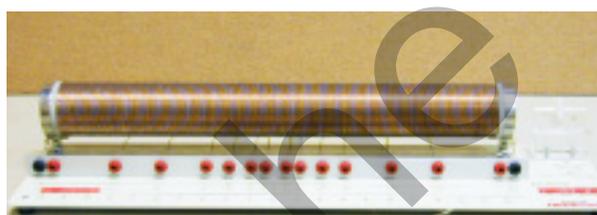
L'intensité d'un champ magnétique peut-être mesurée à l'aide d'un appareil appelé Teslamètre (Doc. 1). Lorsque l'extrémité de la sonde est posée au point d'étude, l'intensité du champ magnétique apparait sur l'afficheur.

► Quelle relation relie l'intensité d'un champ magnétique et l'intensité du courant électrique qui le crée ?

### Matériel :

Fil rectiligne, bobine plate, solénoïde (Doc. 2), teslamètre, générateur de tension, rhéostat, ampèremètre, fils de connexion.

Doc.2 Solénoïde



### A Fil rectiligne :

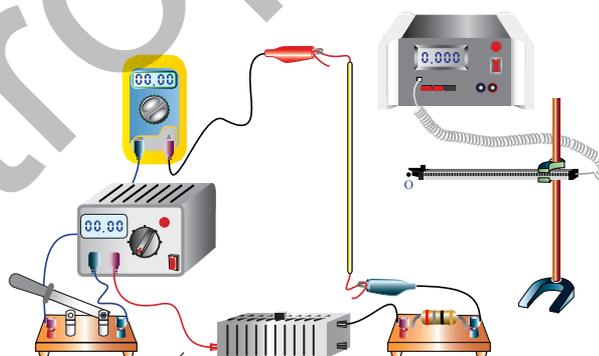
#### Manipulation :

1. Faire circuler un courant électrique à travers le fil ;
2. Placer la sonde en un point O du voisinage du fil ;
3. Mesurer l'intensité  $I$  du courant et l'intensité  $B$  du champ magnétique en O ;
4. Répéter la mesure en variant la valeur de  $I$ .

Des mesures similaires en un point distant du fil de  $d = 4\text{cm}$ , ont donné les résultats suivants :

$E$ (V)	0,005	0,008	0,011	0,013
$I$ (mA)	1	1,5	2	2,5

Doc.3 Fil rectiligne



### Piste de travail :

1- Calculer le rapport  $\frac{B}{I}$ . Remplir le tableau suivant.

$\frac{B}{I}$ (SI)	.....	.....	.....	.....
--------------------	-------	-------	-------	-------

2- Écrire la relation entre  $B$  et  $I$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Apostrophe

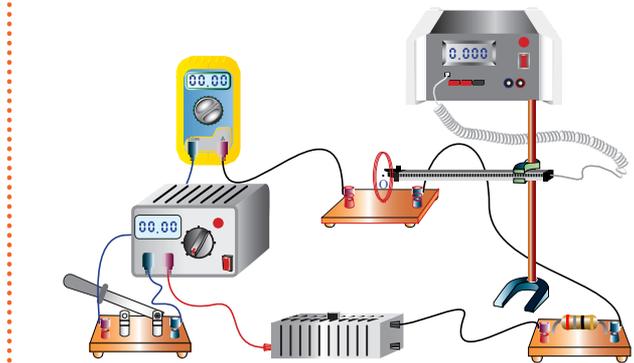
## B Bobine plate :

### Manipulation :

1. Reprendre la même manipulation précédente en remplaçant le fil par une bobine plate ;
  2. Placer la sonde au centre O de la bobine.
- Des mesures similaires avec une bobine de rayon moyen  $R = 5 \text{ cm}$ , ont donné les résultats suivants :

<b>B (mT)</b>	0,013	0,019	0,025	0,031
<b>I (A)</b>	1	1,5	2	2,5

Doc.4 Bobine plate



### Piste de travail :

- 1- Calculer le rapport  $\frac{B}{I}$ . Remplir le tableau suivant.

$\frac{B}{I}$ (SI)	.....	.....	.....	.....
--------------------	-------	-------	-------	-------

- 2- Écrire la relation entre B et I.

.....

.....

.....

.....

## C Solénoïde :

### Manipulation :

1. Reprendre la même manipulation précédente en utilisant un solénoïde ;
2. Placer la sonde au centre O du solénoïde.

### Influence de l'intensité I du courant :

1. Utiliser le nombre N maximal de spires ;
2. Varier l'intensité I du courant et mesurer l'intensité B du champ magnétique.

Des mesures similaires avec une bobine de longueur 40,5 cm et contenant 200 spires ont donné les résultats suivants :

<b>B (mT)</b>	0,621	0,931	1,241	1,551
<b>I (A)</b>	1	1,5	2	2,5

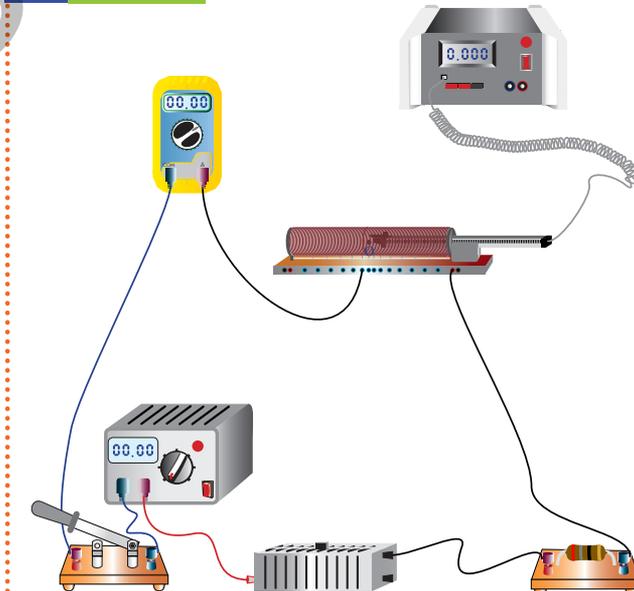
### Influence du nombre n de spires par mètre :

1. Fixer l'intensité du courant sur une valeur I ;
2. Varier le nombre n de spires par unité de longueur (en gardant la même longueur), et mesurer l'intensité B du champ magnétique.

Des mesures similaires avec un courant d'intensité  $I = 2 \text{ A}$  ont donné les résultats suivants :

<b>B (mT)</b>	1,37	1,61	1,86	2,11
<b>N</b>	543,21	641,98	740,74	839,51

Doc.5 Solénoïde



Apostrophe

**Piste de travail :**

1- Calculer le rapport  $\frac{B}{I}$ . Remplir le tableau suivant.

$\frac{B}{I}$ (SI)	.....	.....	.....	.....
--------------------	-------	-------	-------	-------

2- Écrire la relation entre B et I.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1- Calculer le rapport  $\frac{B}{n}$ . Remplir le tableau suivant.

$\frac{B}{n}$ (SI)	.....	.....	.....	.....
--------------------	-------	-------	-------	-------

4- Écrire la relation entre B et n.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5- Dédurre l'expression de B en fonction de n et I.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Ce qu'il faut savoir**

- Nombre de spires par unité de longueur  $n = \frac{N}{L}$ ;
- Une variable proportionnelle à deux autres, est aussi proportionnelle à leur produit.

**Lexique**

- **Spire** : Anneau.
- **Solénoïde** : Bobine longue.
- **Sonde** : Capteur.

Apostrophe

# L'ESSENTIEL DU COURS

## 1. Champ magnétique :

### 1.1. Les aimants :

Les figures ci contres représentent les spectres magnétiques d'un aimant droit et d'un aimant en U.

Les caractéristiques du vecteur champ magnétique sont :

- **Direction** : tangente aux lignes de champ ;
- **Sens** : sortant du pôle nord de l'aimant et entrant par le pôle sud ;
- **Intensité** : mesurable à l'aide d'un Tesla mètre.

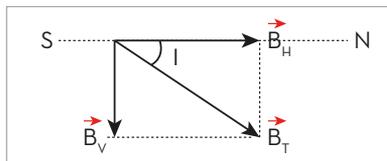
**Unité** : T (Tesla)

#### Remarque :

- Entre les branches d'un aimant en U, le champ magnétique est uniforme.
- Lorsque plusieurs champs coexistent dans la même région de l'espace, ils se superposent :  $\vec{B} = \sum \vec{B}_i$

### 1.2. Le globe terrestre :

Dans la nature, règne un champ magnétique créé par le globe terrestre



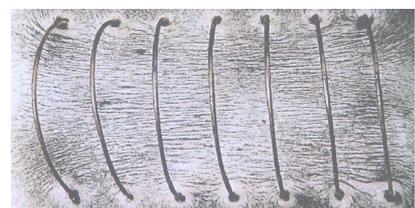
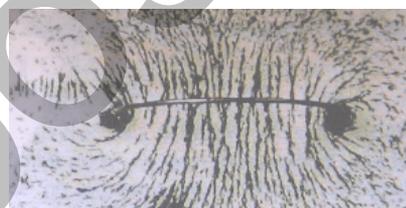
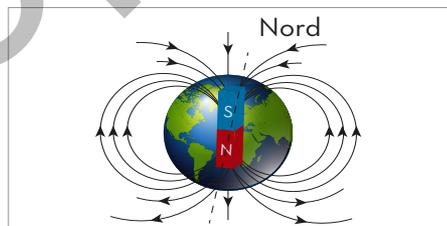
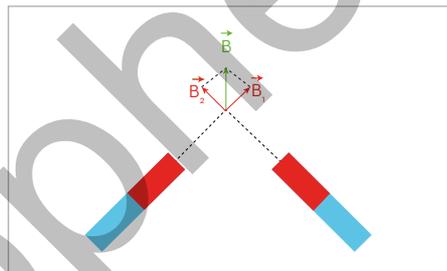
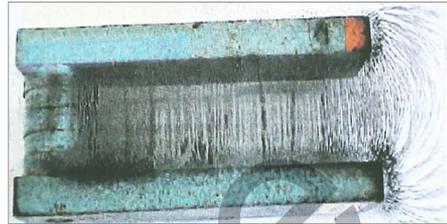
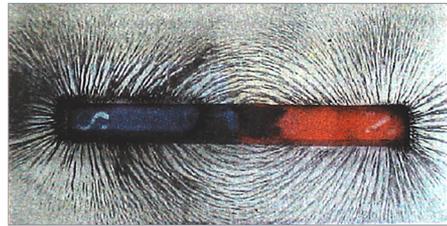
$\vec{B}_H$  : Composante horizontale ;

$\vec{B}_V$  : Composante verticale.

La ligne horizontale SN appartient à un cercle contenant les deux magnétiques du globe terrestre s'appelle : méridien magnétique.

### 1.3. Courant électrique :

Le spectre magnétique dépend de la forme du conducteur.



▲ Fil rectiligne

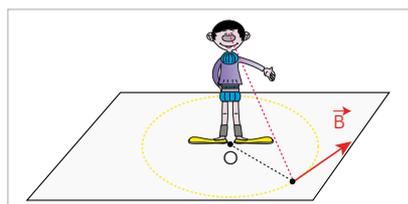
▲ Spire circulaire

▲ Solénoïde

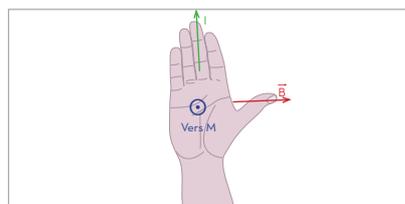
**Remarque** : Le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde est uniforme.

Les caractéristiques du champ magnétique sont :

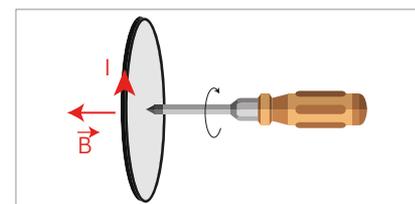
- **Direction** : Tangente aux lignes de champ.
- **Sens** : Donné à l'aide de l'une des règles suivantes :



▲ Observateur d'Ampère



▲ Main droite



▲ Tournevis

• **Intensité** :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

Fil rectiligne

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Spire circulaire

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

Bobine plate

$$B = \mu_0 nI \text{ avec } n = \frac{N}{L}$$

Solénoïde

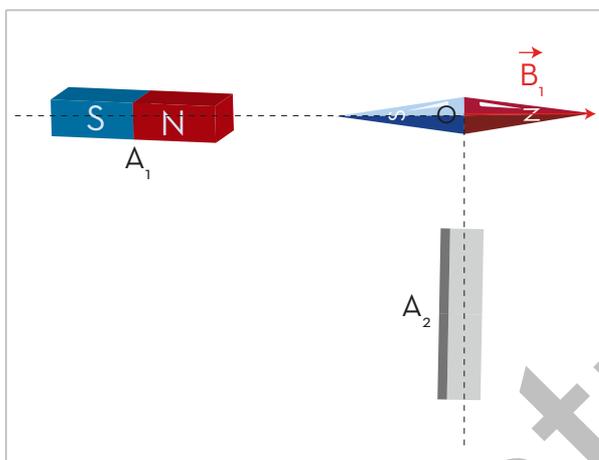
$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$  (SI) perméabilité du vide.

On donne :  $B_H = 2.10^{-5} \text{ T}$ ,  $\mu_0 = 4 \pi.10^{-7} \text{ (SI)}$ .

## 1 Identifier les pôles :

Une aiguille aimantée de centre O est orientée suivant le champ magnétique de vecteur  $\vec{B}_1$  et d'intensité  $B_1 = 5.10^{-3} \text{ T}$  créé par un aimant droit  $A_1$ . Lorsqu'on approche un autre aimant droit  $A_2$ , l'aiguille dévie d'un angle  $\theta = 25^\circ$  dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre.

On néglige le champ magnétique terrestre devant les autres champs.



1. Donner les caractéristiques du vecteur champ magnétique  $\vec{B}_2$  créé par l'aimant  $A_2$  et identifier ses pôles.

2. On tourne l'axe de l'aimant  $A_2$  d'un angle  $\alpha$  autour d'un axe normal au plan et passant par O. l'aiguille se stabilise lorsque  $\theta$  devient  $\theta' = 20^\circ$ .

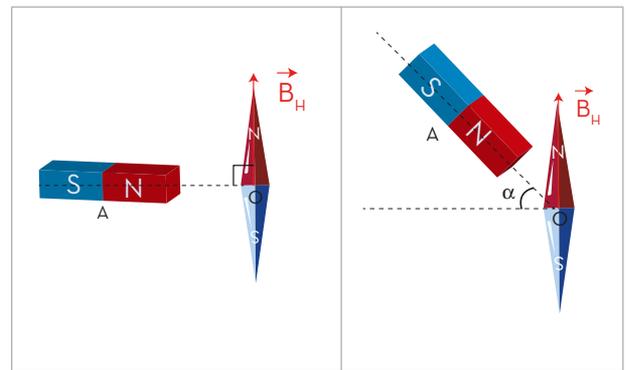
- 2.1. Préciser le sens de rotation de l'aiguille aimantée.  
2.2. Calculer la valeur de l'angle  $\alpha$ .

## 2 Aimant droit :

Une aiguille aimantée initialement orientée suivant le champ magnétique terrestre, tourne d'un angle  $\theta$  lorsqu'on lui approche un aimant droit qui crée en O un champ magnétique d'intensité  $B = 3.10^{-5} \text{ T}$ .

1. Préciser le sens de rotation de l'aiguille aimantée et calculer la valeur de l'angle  $\theta$ .  
2. On fait tourner l'axe de l'aimant, autour d'un axe normal au plan et passant par O, d'un angle  $\alpha = 60^\circ$  en gardant la même distance de O.

- 2.1. Préciser le sens de rotation de l'aiguille aimantée.  
2.2. Calculer la valeur de l'angle de rotation de l'aiguille à partir de sa dernière position.



## 3 Expérience d'oersted :

On place un fil conducteur horizontalement, suivant le méridien magnétique, au-dessus d'une aiguille aimantée, susceptible de tourner autour d'un axe vertical passant par son centre.

On constate que le pôle nord de l'aiguille dévie vers l'est d'un angle  $\alpha_1 = 3^\circ$  lorsqu'on fait circuler à travers le fil un courant électrique d'intensité  $I_1 = 300 \text{ mA}$ .

1. Préciser sur un schéma le sens du courant électrique traversant le fil.  
2. Calculer l'intensité du champ magnétique  $\vec{B}$ , créé par le courant.  
3. Déduire la distance entre l'aiguille et le fil conducteur.

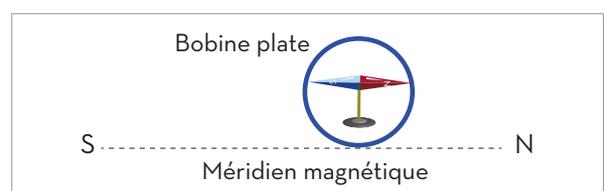
## 4 Orientation d'un solénoïde

Plaçons une boussole horizontale au centre d'un solénoïde d'axe horizontal. Quand un courant électrique passe dans le solénoïde, l'aiguille de la boussole dévie de  $20^\circ$  vers l'est. En inversant le sens du courant, l'aiguille dévie de  $70^\circ$  vers l'ouest.

Quel est l'angle entre l'axe du solénoïde et la direction nord-sud ?

## 5 Bobine plate :

Une aiguille aimantée est placée au centre d'une bobine plate de rayon  $R = 10 \text{ cm}$ , comme indiqué ci-dessous, dévie d'un angle  $\alpha = 60^\circ$  par rapport à sa position initiale lorsqu'on fait circuler à travers la bobine un courant électrique d'intensité  $I = 500 \text{ mA}$ .



Calculer l'intensité du champ magnétique créé par le courant électrique au centre de la bobine et déduire son nombre de spires.

### 6 Compenser un champ magnétique

En tenant compte de l'existence du champ magnétique terrestre, comment peut-on obtenir un champ magnétique nul à l'intérieur d'un solénoïde de cinquante centimètres de long comportant six cents spires ?

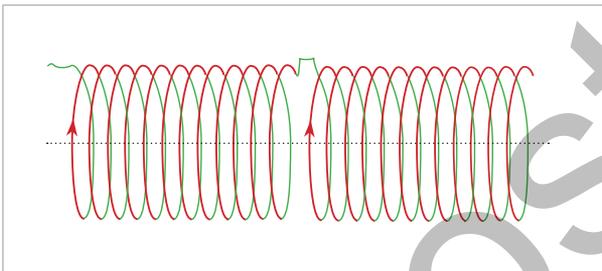
La valeur du champ magnétique terrestre  $B_{TH}$  est  $4,7 \cdot 10^{-5}$  T et ce champ est incliné de  $64^\circ$  par rapport à l'horizontale.

### 7 Association série solénoïdes

Un solénoïde de soixante centimètres de long comportant huit cents spires est parcouru par un courant électrique d'intensité  $I$ .

Le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde a pour valeur  $2 \cdot 10^{-3}$  T.

1. Calculer l'intensité  $I$  du courant électrique.
2. Nous accolons un second solénoïde identique au premier, de même axe, et nous les branchons en série (voir le schéma ci-dessous).



Quelle est la valeur du champ magnétique au centre du nouveau solénoïde formé, quand un courant électrique d'intensité  $I$  le traverse ?

### 8 Superposition de champs magnétiques

Une boussole est placée dans un champ magnétique uniforme et horizontal  $\vec{B}_1$  de valeur 50 mT. L'aiguille, mobile dans un plan horizontal, s'oriente suivant une direction  $AA'$ .

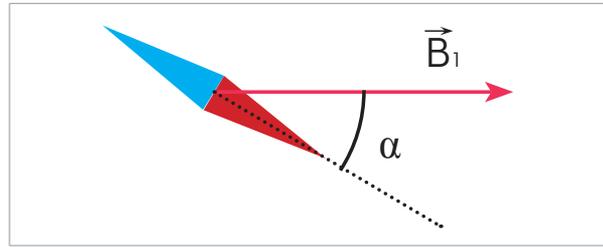
1.a. Comparer la valeur de  $\vec{B}_1$  à celle de la composante horizontale  $\vec{B}_H$  du champ magnétique terrestre qui vaut  $20 \mu\text{T}$ .

Peut-on considérer que la direction  $AA'$  est celle du champ  $\vec{B}_1$  ? Justifier.

b. Si la valeur de  $\vec{B}_1$  était égale à  $50 \mu\text{T}$ , pourrait-on considérer que la direction  $AA'$  est celle du champ  $\vec{B}_1$  ?

2. On superpose au champ  $\vec{B}_1$  un second champ magnétique uniforme et horizontal  $\vec{B}_2$  perpendiculaire à  $\vec{B}_1$ .

L'aiguille de la boussole tourne d'un angle  $\alpha = 20^\circ$ .



Reproduire le schéma ci-dessus et tracer le vecteur  $\vec{B}_2$ . Quelle est la valeur de  $\vec{B}_2$  ?

3. On superpose aux deux champs précédents un troisième champ magnétique uniforme et horizontal  $\vec{B}_3$  tel que  $\vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 = \vec{0}$ .

- a. Déterminer les caractéristiques de  $\vec{B}_3$ .
- b. Quelle est alors l'orientation de l'aiguille de la boussole ?

### 9 Champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde

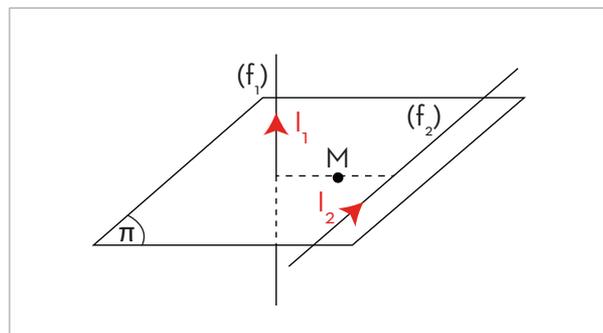
Un solénoïde est constitué par l'enroulement à spires jointives de quatre couches d'un fil de cuivre de 1 mm de diamètre. Quelle est la valeur du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde lorsqu'il est parcouru par un courant électrique d'intensité 250 mA ?

Considérer a priori que le champ magnétique terrestre est négligeable puis justifier cette hypothèse a posteriori.

### 11 Conducteurs rectilignes :

Deux fils conducteurs infiniment longs ( $f_1$ ) et ( $f_2$ ) distants de  $d = 20$  cm et traversés par des courants électriques d'intensités respectives  $I_1 = 5$  A et  $I_2 = 10$  A, sont disposés comme indiqué sur la figure suivante.

On néglige le champ magnétique terrestre devant les autres champs.



1. Donner les caractéristiques du champ magnétique global au point M milieu de la distance entre les deux fils.

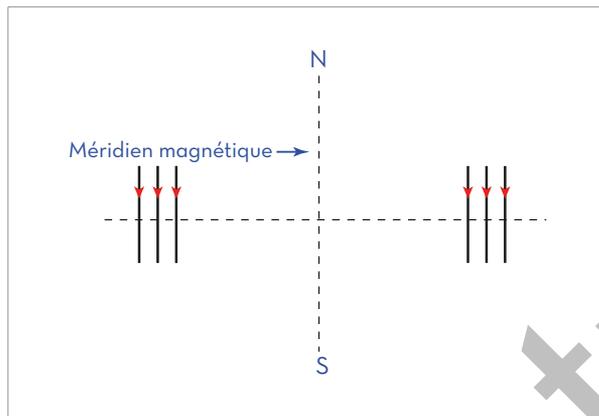
2. On fait tourner ( $f_2$ ) pour le rendre parallèle à ( $f_1$ ). Donner les caractéristiques du champ magnétique global au point M dans le cas où  $I_1$

et  $I_2$  ont le même sens et dans le cas où ils ont des sens contraires.

**3.** On remplace ( $f_2$ ) par une bobine plate de rayon  $R = 5 \text{ cm}$ , constituée de  $10^3$  spires et son centre coïncide avec  $M$ . on y fait passer un courant électrique d'intensité  $I = 2 \text{ mA}$ , lorsque sa face nord est vers le haut. Donner les caractéristiques du champ magnétique global au point  $M$ .

### 12 Solénoïde :

Un solénoïde de longueur  $L = 40 \text{ cm}$  et formé de  $N = 1000$  spires, est disposé de façon à ce que son axe soit normal au méridien magnétique. Une aiguille aimantée placée au centre de ce solénoïde, est assujéti à tourner sans frottement autour d'un axe vertical passant par son centre.



Lorsqu'un courant d'intensité  $I$  circule à travers le solénoïde, l'aiguille aimantée tourne et se stabilise dans une position faisant un angle  $\alpha = 30^\circ$  avec l'axe du solénoïde.

1. Représenter au centre du solénoïde, les vecteurs champs magnétiques modélisant les champs magnétiques existants.
2. Calculer l'intensité du champ magnétique créé par le courant électrique.
3. Déduire l'intensité  $I$  du courant.

### 13 Solénoïde à spires jointives :

Un solénoïde à spires circulaires jointives, est formé d'un fil conducteur recouvert d'une couche de vernis, de diamètre  $d = 1 \text{ mm}$ , enroulé formant cinq couches. L'aiguille aimantée d'une boussole immobile au centre du solénoïde s'oriente suivant le méridien magnétique perpendiculaire à l'axe du solénoïde. Lorsqu'on fait circuler à travers le solénoïde un courant d'intensité  $I = 5 \text{ mA}$ , l'aiguille de la boussole dévie d'un angle  $\alpha$ .

1. Donner le nombre  $n$  de spires par mètre de ce solénoïde.
2. Donner les caractéristiques du vecteur champ

magnétique  $\vec{B}_0$  créé par le courant électrique traversant le solénoïde.

**3.** Calculer la valeur de l'angle  $\alpha$  de rotation de l'aiguille de la boussole.

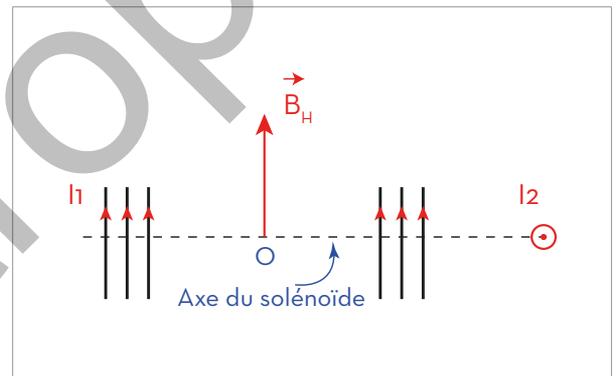
### 14 Solénoïde et fil conducteur :

Un solénoïde de longueur  $L = 40 \text{ cm}$  et formé de  $N = 100$  spires, est disposé comme l'indique la figure ci-dessous.

Une aiguille aimantée placée au centre  $O$  de ce solénoïde, est susceptible de tourner sans frottements autour d'un axe vertical passant par son centre.

A une distance  $d = 40 \text{ cm}$  du point  $O$ , on place un fil rectiligne, conducteur et infiniment long, perpendiculairement au méridien magnétique contenant  $\vec{B}_H$ .

On fait passer dans le solénoïde un courant d'intensité  $I_1 = 11 \text{ mA}$  et dans le fil rectiligne un courant d'intensité  $I_2 = 6 \text{ A}$ .



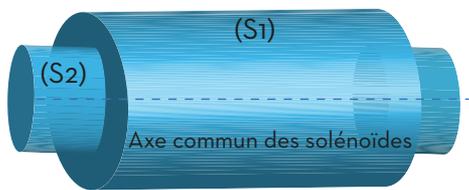
1. Calculer les intensités des champs magnétiques créés par les courants.
2. Représenter au point  $O$ , les vecteurs champs magnétiques existants.
3. Calculer la valeur de l'angle  $\theta$  de déviation de l'aiguille aimantée.
4. Lorsqu'on incline le fil rectiligne d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  dans le plan parallèle à  $\vec{B}_H$ , l'aiguille aimantée dévie d'un angle  $\beta$  par rapport à sa dernière position. Calculer la valeur de  $\beta$ .

### 15 Solénoïdes coaxiaux :

Deux solénoïdes ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) coaxiaux, ont comme caractéristiques :

- ( $S_1$ ) : De longueur  $L = 50 \text{ cm}$  et constitué de 200 spires.
  - ( $S_2$ ) : Contient 80 spires par mètre de longueur.
- L'axe des solénoïdes est perpendiculaire au méridien magnétique.

Une aiguille aimantée placée au centre des solénoïdes, est susceptible de tourner sans frottements autour d'un axe vertical passant par son centre.



On monte les deux solénoïdes en série, on constate qu'on peut obtenir la même déviation  $\alpha = 45^\circ$  de l'aiguille aimantée pour deux valeurs différentes  $I_1$  et  $I_2$  de l'intensité du courant traversant le circuit électrique.

1. Donner une explication du phénomène.
2. Calculer les valeurs des intensités de courants  $I_1$  et  $I_2$ .

### 16 Aiguille aimantée au centre d'un solénoïde

Plaçons une aiguille aimantée horizontale au centre d'un solénoïde dont l'axe est perpendiculaire au plan du méridien magnétique terrestre. Le solénoïde de cinquante centimètres de long comporte deux cent cinquante spires. Quand on fait passer dans le solénoïde un courant d'intensité  $I$ , égale à 100 mA, l'aiguille tourne d'un angle  $\alpha$ . La composante horizontale  $B_H$  du champ magnétique terrestre a pour valeur  $2.10^{-5}$  T.

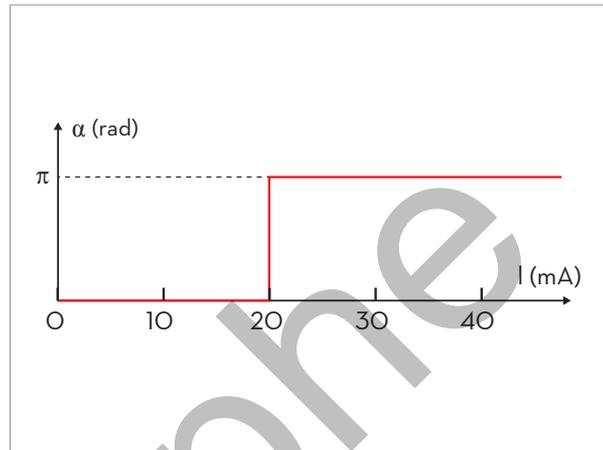
1. Schématiser le montage vu de dessus. Pour le solénoïde, représenter seulement son pourtour, en indiquant le sens de passage du courant à une extrémité (voir le schéma ci-dessous).



2. Représenter sur le schéma la composante horizontale  $\vec{B}_H$  du champ magnétique terrestre et le champ magnétique  $\vec{B}_S$  créé par le solénoïde, ainsi que le champ résultant  $\vec{B}$ .
3. Exprimer  $\alpha$  en fonction de  $I$  et  $B_H$  puis calculer cet angle.

### 17 Variation d'un champ magnétique

On place une aiguille aimantée horizontale au centre d'un solénoïde horizontal dont l'axe est orienté dans le plan du méridien magnétique terrestre. En faisant passer un courant électrique d'intensité  $I$  variable dans le solénoïde et en relevant l'angle  $\alpha$  dont tourne l'aiguille, on obtient la courbe ci-dessous.



1. Expliquer l'allure de cette courbe.
2. Que fait l'aiguille si on maintient l'intensité  $I$  du courant électrique à 0,02 A ?
3. La valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre est  $2.10^{-5}$  T. Calculer le nombre de spires par mètre de longueur du solénoïde

### 18 Champ créé par des bobines

On démontre que la valeur du champ magnétique au centre d'une bobine de longueur  $L$ , comportant  $N$  spires de diamètre  $D$  et parcourue par un courant électrique d'intensité  $I$  est :

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{\sqrt{D^2 + L^2}}$$

1. Que devient cette expression quand la longueur  $L$  est très grande devant le diamètre  $D$  ? Quel dispositif connu retrouve-t-on ?
2. Posons :  $x = \frac{D}{L}$ . À partir de quelle valeur de  $x$ , l'écart relatif entre le champ  $B$  défini ci-dessus et le champ  $B_0$  au centre d'un solénoïde est-il inférieur à 1 % ? (L'écart relatif entre  $B$  et  $B_0$  est :  $\frac{|B - B_0|}{B_0}$ .)

3. Que devient l'expression donnée lorsque  $D$  est très grand devant  $L$  ?
4. Exprimer le champ au centre d'une bobine plate en fonction de son rayon  $R$ , du nombre de spires  $N$  et de l'intensité électrique  $I$  dans la bobine.



Les tampons des hauts parleurs et microphones vibrent sous l'action d'une force, appelée force de Laplace.

## FORCE DE LAPLACE

**Quelles sont les caractéristiques de cette force**

### Objectifs

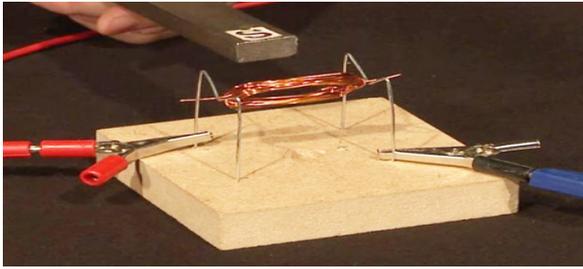
- Loi de Laplace :
- Direction, sens et expression de l'intensité de la force de Laplace :  $F = I \cdot l \cdot B \cdot |\sin \alpha|$ .
- Applications de la loi de Laplace :
- Haut-parleur et moteur électrique alimenté par un courant continu.
- Conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique, rôle moteur des forces de Laplace, Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

## Objectif

Mettre en évidence quelques caractéristiques de la force de Laplace.

## Activité expérimentale

### Doc.1 Moteur électrique



Lorsqu'une bobine susceptible de tourner (Doc. 1), est traversée par un courant électrique en présence d'un champ magnétique, elle se met en rotation.

► Quelles sont les caractéristiques de la force qui en est responsable ?

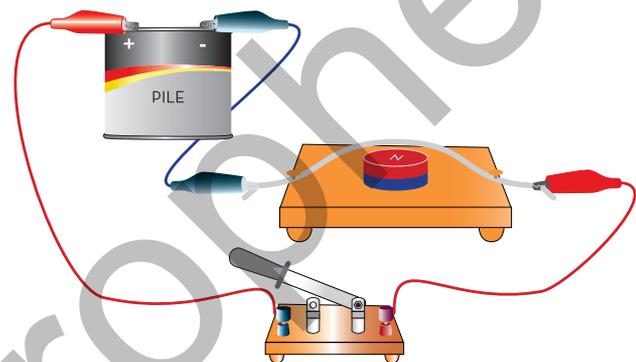
### Matériel :

Fil conducteur en papier Aluminium, pile, aimant.

### Manipulation :

- On place le fil conducteur au-dessus de l'aimant, et on fixe ses deux extrémités ;
- On relie les deux extrémités du fil aux bornes de la pile à travers un interrupteur ;  
Lorsqu'on ferme l'interrupteur, le sens de la force de Laplace est comme indiqué ci-contre (Doc. 3).
- On recommence la même expérience en :
  - Permutant les bornes de la pile.
  - Permutant les pôles de l'aimant.

### Doc.2 Montage d'étude



### Piste de travail :

1- Qu'observe-t-on lorsque le fil est traversé par un courant électrique en présence du champ magnétique ?

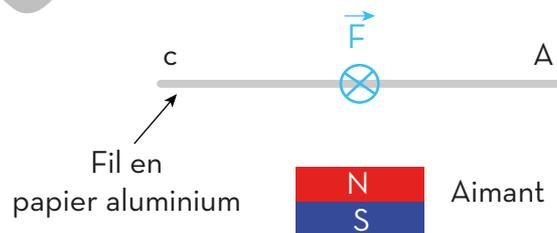
2- Qu'observe-t-on lorsque on permute les bornes de la pile ou les pôles de l'aimant ?

3- Quels sont les facteurs influençant le sens de la force appliquée au fil.

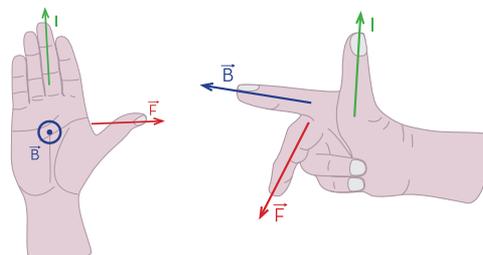
4- Représenter sur le (Doc. 3) le courant  $I$  et le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$ . Comment est la direction du vecteur force  $\vec{F}$  par rapport à celle de  $\vec{B}$  et celle de  $I$  ?

5- Décrire les règles illustrées au (Doc. 4), pour déterminer le sens de  $\vec{F}$ .

### Doc.3 Force de Laplace



### Doc.4 Sens du vecteur force magnétique



### Ce qu'il faut savoir

- La représentation symbolique d'un vecteur normal au plan ( $\odot$  sortant et  $\otimes$  entrant).
- La base  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  est directe si  $\vec{i} \wedge \vec{j} = \vec{k}$ .

### Lexique

- **Susceptible** : capable.
- **Permuter** : échanger.
- **Trièdre** : qui a trois faces planes.

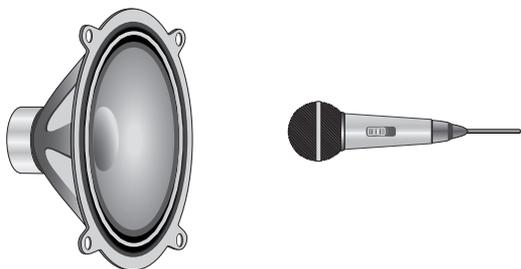
Apostrophe

## Objectif

Savoir quelques applications de la force de Laplace.

## Activité expérimentale

### Doc.1 Haut-parleur et microphone



Parmi les objets utilisés quotidiennement, on trouve les hauts parleurs et les microphones.

Ces objets fonctionnent grâce à la force de Laplace.

Plusieurs appareils utilisent aussi la force de Laplace.

► Quel est donc ce principe de fonctionnement ?

## A Rails de Laplace :

### Matériel :

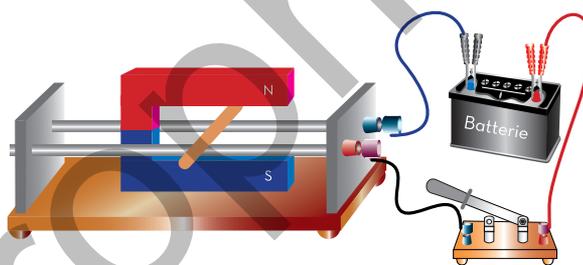
Rails de Laplace, batterie, interrupteur, fils de connexion.

### Manipulation :

1. Poser la tige métallique sur les deux rails ;
2. Placer l'aimant en U tel qu'une partie de la tige soit immergée dans le champ magnétique ;
3. Fermer l'interrupteur.

Dans ce cas la tige doit se déplacer vers la gauche.

### Doc.2 Rails de Laplace



### Piste de travail :

1-1- Représenter sur le schéma le vecteur  $\vec{B}$  et le courant traversant la tige.

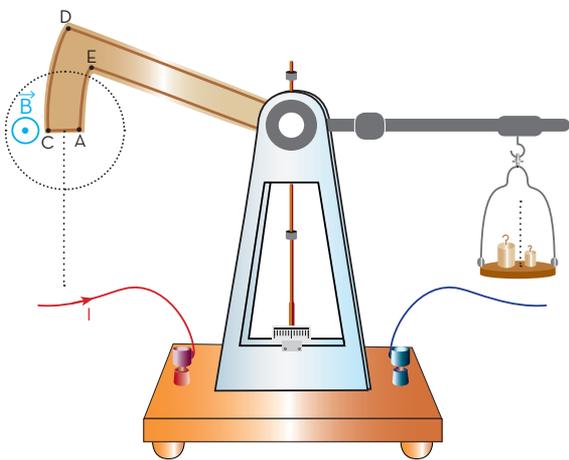
1-2- Dédurre la représentation du vecteur force  $\vec{F}$ .

1-3- Le sens de  $\vec{F}$  est-il en accord avec le sens de déplacement de la tige ?

Apostrophe

## B Balance de cotton :

Doc.3 Balance de cotton



La balance de Cotton (Doc. 3), est un outil de mesure du module du champ magnétique.

### Matériel :

Balance de Cotton, batterie, interrupteur, aimant en U, fils de connexion, masses marquées.

### Manipulation :

1. Relier les bornes de la balance à la batterie ;
2. Placer la partie indiquée sur le (Doc. 3) entre les branches d'un aimant en U (ou toute autre source de champ magnétique uniforme) ;
3. Faire circuler un courant électrique à travers la balance ;
4. Rétablir l'équilibre de la balance en posant des masses marquées sur le plateau.

### Piste de travail :

- 1- Représenter le courant dans la branche AC pour que la force de Laplace soit orientée vers le bas.
- 2- Représenter les vecteurs forces de Laplace s'appliquant sur les branches AC, CD et AE.
- 3- Sous l'action de quelle(s) force(s) l'équilibre de la balance est-il rompu ? Justifier votre réponse.

- 4- Quelle est la relation pouvant donner l'expression du module du champ magnétique ?

### Ce qu'il faut savoir

- Calculer le moment d'une force.
- Etudier l'équilibre d'un système.

### Lexique

- **Aimé Cotton** : physicien français.
- **Pierre-Simon de Laplace** : mathématicien français.

Apostrophe

## Objectif

savoir les rôles des forces de Laplace dans les transformations d'énergie

## Activité documentaire

Le fonctionnement de la plupart des appareils est lié au couplage électromécanique, c'est à dire un effet électrique produit une action mécanique et vice versa.

► Comment peut-on expliquer ce phénomène ?

### A Moteur électrique :

Le moteur électrique résulte de la rotation d'une bobine (modélisée par le cadre (Doc. 1)), dans un champ magnétique radial.

#### Piste de travail :

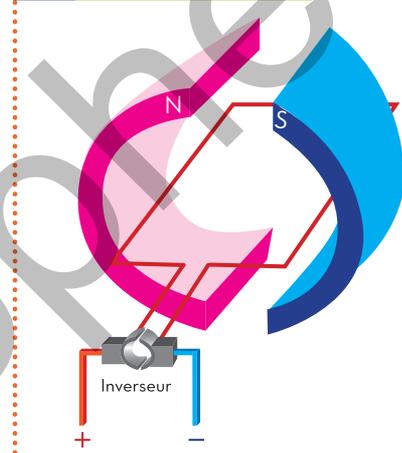
1- Représenter les vecteurs forces de Laplace s'appliquant aux différents côtés du cadre.

2- Qu'arrive-t-il à ce cadre ?

3- Pourquoi le cadre ne s'arrête-t-il pas au cours de la rotation ?

4- Y a-t-il transformation d'énergie mécanique en énergie électrique ou le contraire ?

Doc.1 Moteur électrique



### B Haut-parleur :

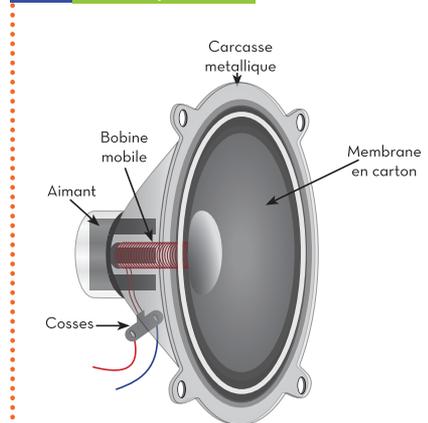
#### Piste de travail :

1- Le courant arrivant à la bobine doit-être alternatif ou continu ?

2- Proposer une explication du fonctionnement.

3- Le haut parleur transforme-t-il l'énergie mécanique en énergie électrique ou le contraire ?

Doc.2 Haut-parleur



Apostrophe



Apostrophe

## 1. Force de Laplace :

### 1.1. Expression du vecteur force de Laplace : $\vec{F} = I \vec{L} \wedge \vec{B}$

Avec  $\vec{L}$  : Vecteur de même sens que le courant électrique et de module L (longueur de la partie conductrice immergée dans le champ magnétique);

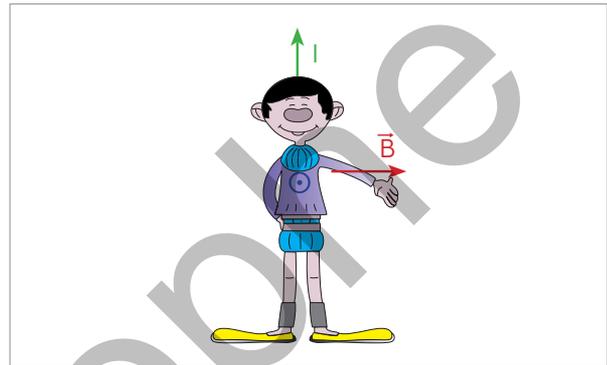
### 1.2. Caractéristiques du vecteur force de Laplace :

- **Point d'application** : Milieu de la partie conductrice immergée dans le champ magnétique.
- **Direction** : Normale au plan formé par le conducteur et le vecteur champ.
- **Sens** : Donnée par l'une des règles suivantes :

#### a. Règle de l'Observateur d'Ampère :

##### Un observateur :

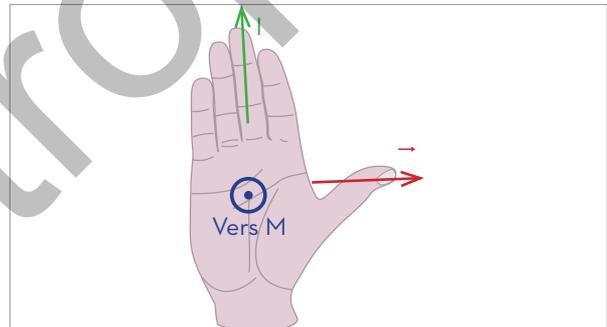
- Placé au voisinage du fil traversé par le courant électrique ;
- Regardant dans le sens du vecteur  $\vec{B}$  ;
- Sa main gauche tendue perpendiculairement à lui, indique le sens de la force de Laplace  $\vec{F}$ .



#### b. Règle de la main droite :

##### La main droite :

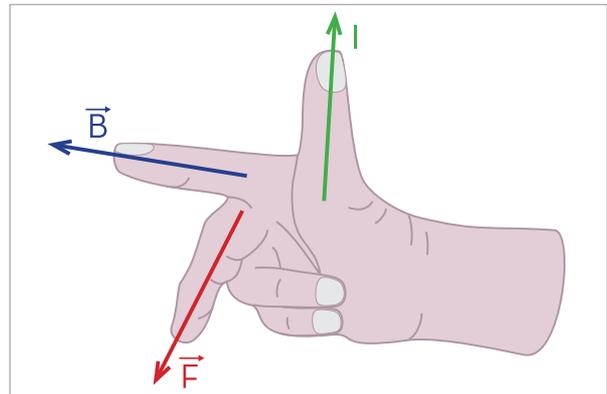
- Placée au voisinage du fil traversé par le courant électrique ;
- Sa paume orientée dans le sens du vecteur  $\vec{B}$  ;
- Son pouce tendu perpendiculairement à elle, indique le sens de la force de Laplace  $\vec{F}$ .



#### c. Règle des trois doigts de la main droite :

##### Les trois doigts formant un trièdre :

- Le pouce placé au voisinage du fil traversé par le courant électrique ;
- L'index orienté dans le sens du vecteur  $\vec{B}$  ;
- Le majeur indique le sens de la force de Laplace  $\vec{F}$ .
- Module :  $F = I L B \sin \alpha$  Avec :  $\alpha = (\vec{L}, \vec{B})$

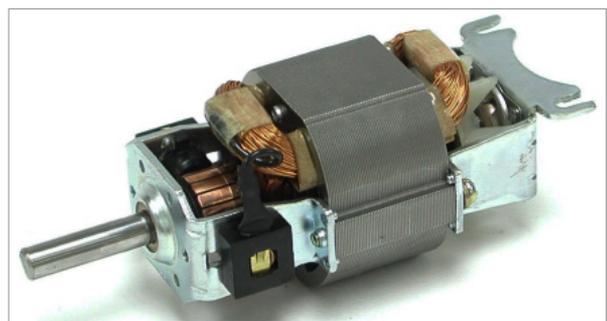


## 2. Applications de la force de Laplace :

La force de Laplace se manifeste lorsqu'un courant électrique est en présence d'un champ magnétique.

**Exemple** : le moteur électrique :

Le moteur électrique est l'une des inventions les plus importantes dans notre vie, il est silencieux et non polluant.



## 1 Équilibre d'un fil :

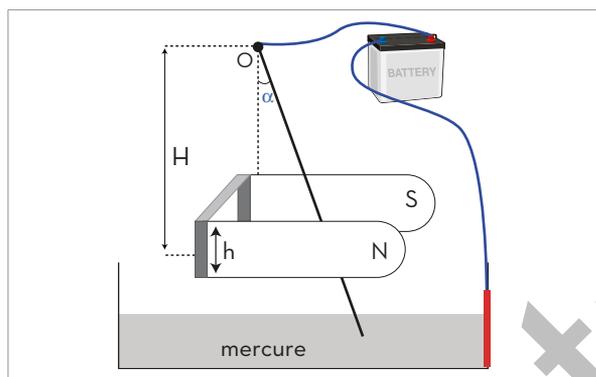
Un fil métallique de longueur  $L = 50 \text{ cm}$  et de masse  $m = 50 \text{ g}$ , peut tourner sans frottements, dans un plan vertical, autour d'un axe horizontal passant par son extrémité supérieure  $O$ .

Le fil passe entre les branches d'un aimant en U d'épaisseur  $h = 5 \text{ cm}$  et dont l'axe de symétrie horizontal est situé à une distance  $H = 40 \text{ cm}$  en dessous du point  $O$ .

La partie inférieure du fil plonge dans du mercure (métal liquide conducteur).

Le champ magnétique entre les branches d'un aimant en U est supposé uniforme d'intensité  $B = 0,03 \text{ T}$ .

On prendra  $g = 10 \text{ N/kg}$ .



1. Lorsque le fil est traversé par un courant d'intensité  $I$ , il dévie d'un angle  $\alpha = 20^\circ$  par rapport à sa position d'équilibre verticale (figure ci-dessus).

1.1. Préciser en justifiant, le sens du courant électrique dans le fil.

1.2. Calculer la valeur de l'intensité  $I$  du courant électrique.

2. On recommence l'expérience avec un courant d'intensité  $I' = 2 \text{ A}$ , l'angle de déviation devient très petit. Calculer la valeur  $\alpha'$  de cet angle de déviation. On adoptera les approximations :  $\sin \alpha' \approx \alpha'$  et  $\cos \alpha' \approx 1$ .

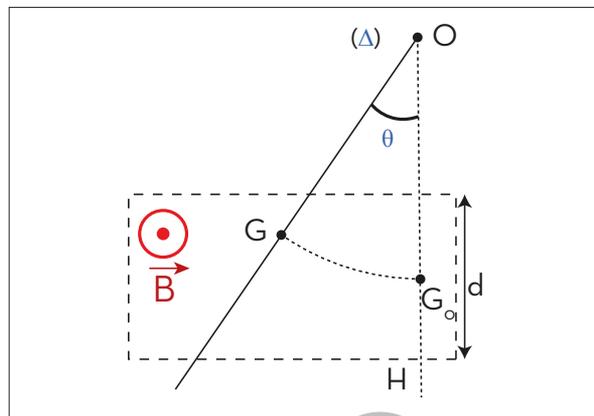
## 3 Angle de déviation important :

Un fil métallique de longueur  $L$  et de masse  $m$ , peut tourner sans frottements, dans un plan vertical, autour d'un axe horizontal  $(\Delta)$ , passant par son extrémité supérieure  $O$ .

Une partie de ce fil plonge dans un champ magnétique uniforme de vecteur  $\vec{B}$ .

On donne :  $HG_0 = \frac{a}{2}$ .

Le fil dévie d'un angle  $\theta$  lorsqu'on y fait circuler un courant d'intensité  $I$ . (schéma ci-dessous)



1. Préciser le sens du courant électrique. Justifier votre réponse.

2. Donner l'expression de l'intensité  $F_0$  de la force de Laplace appliquée au fil dans sa position d'équilibre.

3. Donner l'expression de l'intensité  $F$  de la force de Laplace appliquée au fil dans la position représentée sur la figure en fonction de  $F_0$  et  $\theta$ .

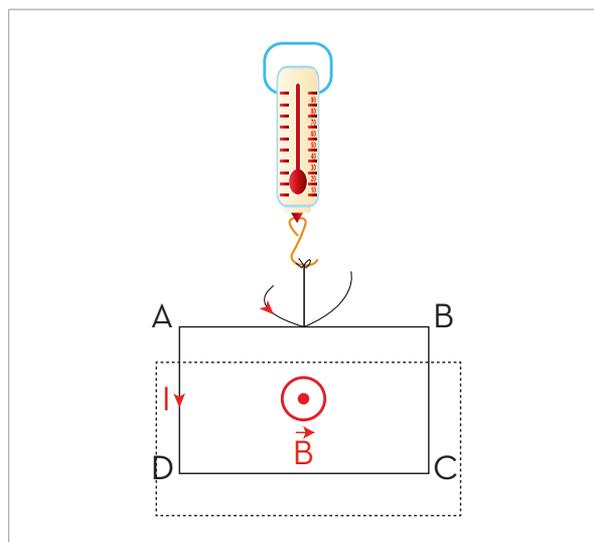
4. Montrer que :  $\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha = \frac{F_0}{mg}$ , et calculer la valeur de  $l$ .

On donne :  $B = 0,02 \text{ T}$  ;  $m = 10 \text{ g}$  ;  $d = 5 \text{ cm}$  ;  $\theta = 30^\circ$ .

## 4 Équilibre d'un cadre :

Un cadre rectangulaire (ABCD) de longueur  $L = 25 \text{ cm}$  et de largeur  $\ell = 4 \text{ cm}$  est constitué de  $N = 100$  spires.

On suspend le cadre à l'extrémité d'un dynamomètre et on plonge une partie dans un champ magnétique uniforme créé par un aimant en U. Lorsqu'on y fait passer un courant électrique d'intensité  $I = 0,5 \text{ A}$ , l'index du dynamomètre passe de  $2,4 \text{ N}$  à  $2,7 \text{ N}$ .

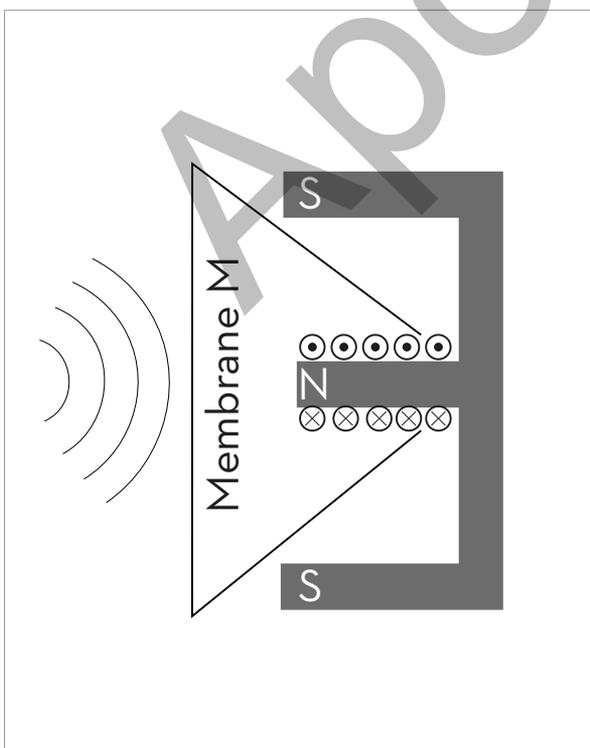


1. Représenter les vecteurs forces modélisant les actions appliquées aux différents côtés du cadre.
2. Que doit-on réaliser pour que l'indication du dynamomètre ne change pas même si le cadre est parcouru par un courant d'intensité non nulle.
3. Quelle est l'intensité du champ magnétique créé par l'aimant en U.
4. Le dynamomètre est gradué de 0 à 5 N sur une longueur de 10 cm. représenter la graduation du dynamomètre en Tesla.

### 5 Haut-parleur :

Un haut-parleur électromagnétique est constitué d'un aimant permanent de forme particulière, et d'une bobine parcourue par un courant et pouvant coulisser sur l'un des pôles de l'aimant. La bobine est solidaire d'une membrane M. (voir schéma ci-dessous).

1. On suppose que le courant dans la bobine est continu.
  - 1.1. Représenter par un vecteur le champ magnétique existant au niveau des conducteurs.
  - 1.2. Déduire la direction et le sens des forces électromagnétiques exercées sur chaque spire de la bobine
  - 1.3. Quel est l'effet de ces forces sur la membrane M ?
2. En réalité, le courant appliqué à la bobine est variable.
  - 2.1. Quel est l'effet de ce courant sur la membrane ?
  - 2.2. Pourquoi obtient-on un son ?



### 6 Balance de Cotton :

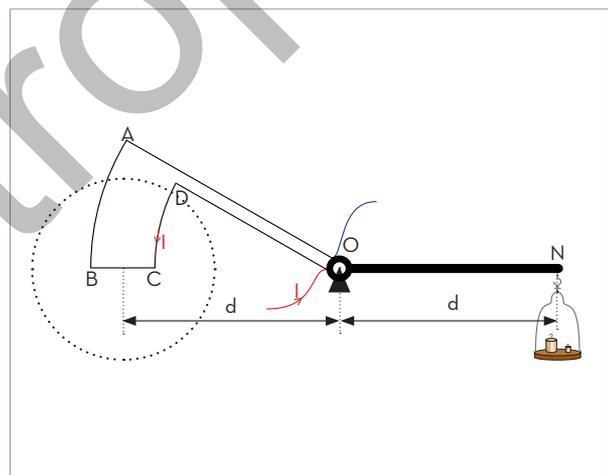
En 1900, Aimé Auguste Cotton invente une balance pour mesurer la valeur B d'un champ magnétique. Cette balance est constituée de deux fléaux. Figure ci-dessous :

- à l'extrémité du premier est suspendu un plateau ;
- à l'extrémité du deuxième est fixé un circuit électrique dont la partie inférieure est rectiligne.

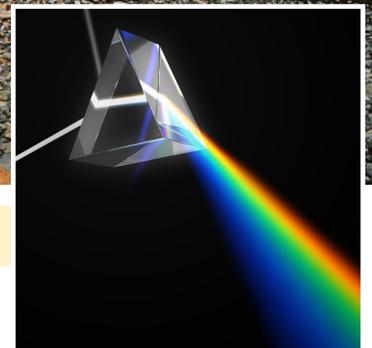
Cette partie rectiligne est placée perpendiculairement à la direction du champ magnétique.

Les parties arrondies du circuit sont des arcs de cercles ayant pour centre le point O situé sur l'axe de rotation de la balance. Quand aucun courant électrique ne circule dans le circuit, on règle l'aiguille de la balance au zéro par l'intermédiaire d'un écrou mobile. Lorsqu'un courant électrique continu d'intensité I passe dans le circuit, l'équilibre est rompu. Il est de nouveau rétabli en ajoutant sur le plateau des masses marquées dont la masse totale est m.

On néglige le champ magnétique terrestre.



1. Dans quel sens doit être le champ magnétique pour que la balance puisse fonctionner ? Justifier la réponse et indiquer ce sens sur la figure.
2. Représenter, sur la figure, les trois forces électromagnétiques agissant sur les parties AB, BC et CD du circuit.
3. Justifier que seule la force électromagnétique agissant sur la partie BC possède une action mécanique sur le fléau.
4. On pose  $BC = a$ , Lorsque l'équilibre est réalisé :
  - 4.1. Donner l'expression du module B du champ magnétique en fonction de I, a, m et g.
  - 4.2. Au cours de la mesure on a relevé les valeurs suivantes :  
 $m = 2,53 \text{ g}$  ;  $I = 6,45 \text{ A}$  ;  $a = 25 \text{ mm}$  et  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .  
 Calculer la valeur de B.



L'arc en ciel est un phénomène naturel dû à la déviation de la lumière lors de la traversée des gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.

# CONDITION DE VISIBILITÉ ET L'OBTENTION DE L'IMAGE D'UN OBJET

## Quelles lois régissent la propagation de la lumière ?

### Objectifs

#### 1. Conditions de visibilité d'un objet :

- 1.1. Rôle de l'œil dans la vision directe des objets ;
- 1.2. Propagation rectiligne de la lumière : modèle du rayon lumineux ;
- 1.3. Mise en évidence des phénomènes de réflexion et de réfraction de la lumière.

#### 2. Obtention de l'image d'un objet :

- 2.1. Observation et localisation de l'image d'un objet donnée par un miroir plan ;
- 2.2. Pointimage conjugué d'un point objet ;
- 2.3. Les deux lois de la réflexion.

## Objectif

Mettre en évidence quelques propriétés de la propagation de la lumière.

## Activité expérimentale

Doc.1 Bougie



Une bougie peut éclairer tout son entourage. Elle émet de la lumière dans toutes les directions offertes.

► Comment se propage cette lumière depuis sa source jusqu'aux récepteurs ?

## A Condition de visibilité des rayons lumineux :

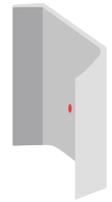
### Matériel :

Source de lumière, écran blanc, poussière de craie.

### Manipulation :

1. Diriger le laser vers un écran fixe, observer ;
2. Saupoudrer de la poussière dans l'espace entre le laser et l'écran, observer.

Doc.2 Visibilité de la lumière



### Piste de travail :

1- La lumière est-elle visible à l'œil nu ou non ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- Que doit-on faire pour observer un rayon lumineux ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3- Comment voit-on la lune en pleine nuit (Doc. 3).  
Le reste du ciel est-il éclairé par les rayons solaires ou non ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Doc.3 Pleine Lune



ApoStrophe

## B Propagation rectiligne :

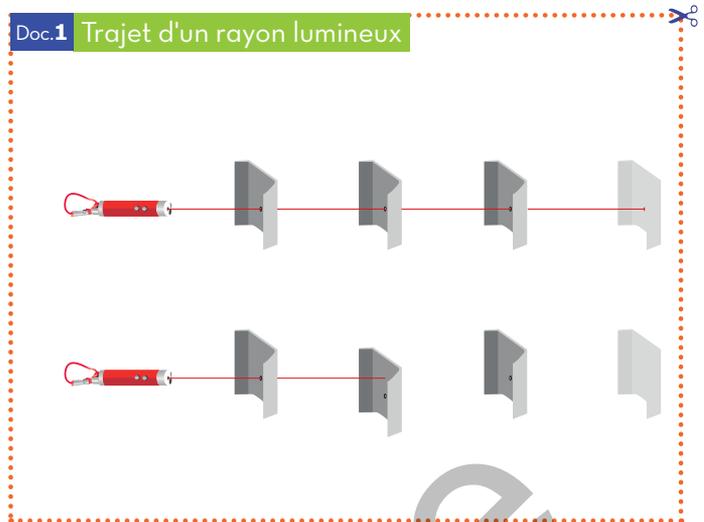
### Matériel :

Source de lumière, trois obstacles opaques percés de trous, écran blanc.

### Manipulation :

1. Disposer les obstacles de telle sorte que les trous soient alignés ;
2. Placer l'écran après ces obstacles ;
3. Placer la source de lumière allumée devant le premier trou, observer ;
4. Déplacer l'un des obstacles, observer.

Doc.1 Trajet d'un rayon lumineux



### Piste de travail :

1- Qu'observe-t-on sur l'écran lorsque les trous sont alignés ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2- Qu'observe-t-on sur l'écran lorsque l'un des obstacles est décalé ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3- Quel est la nature du trajet suivi par le rayon lumineux ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### Ce qu'il faut savoir

- La lune est une source secondaire de lumière ;
- La lumière est invisible.

### Lexique

- *Saupoudrer* : Disperser.
- *Opaque* : Obscur.

ApoStrophe

## Objectif

Mettre en évidence le phénomène de réflexion de la lumière.

## Activité expérimentale

### Doc.1 miroir



- ▶ On se voit quotidiennement dans un miroir, mais on ne se pose jamais la question si l'image perçue est identique à nous ou pas ? est-elle réelle ou non ?
- ▶ La main dans le miroir, est-elle la main gauche ou l'image de la main droite ?
- ▶ Comment se forment les images à travers les miroirs ?

### Matériel :

Lanterne, cercle gradué, miroir.

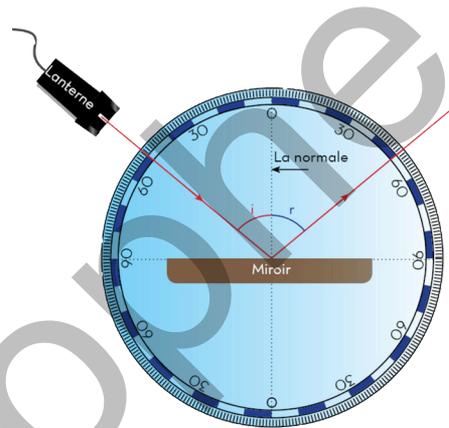
### Manipulation :

1. Envoyer un rayon lumineux sous une incidence d'angle  $i$  ;
2. Mesurer l'angle  $r$  de réflexion.
3. Répéter la mesure pour d'autres angles.

Les résultats obtenus ressemblent aux suivants :

$i(^{\circ})$	10	20	30	40	50	60
$r(^{\circ})$	10	20	30	40	50	60

### Doc.2 Réflexion de lumière



### Piste de travail :

1- Quelle est la relation qui relie les angles  $i$  et  $r$  ?

2- Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale appartiennent-ils au même plan ou non ?

3- Un objet AB est disposé devant un miroir (Doc. 3).

3-1- Compléter les trajets des deux rayons lumineux issus de B.

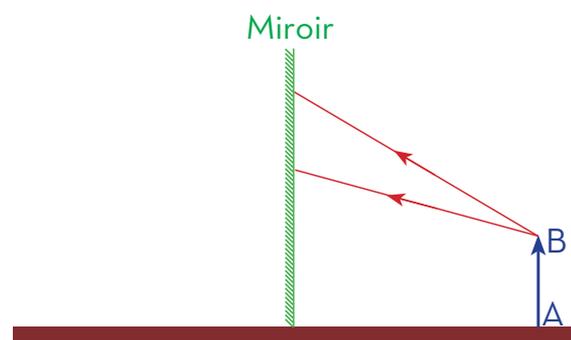
3-2- Construire l'image A'B' de l'objet AB par rapport au miroir.

3-3- Comparer les longueurs de A'B' et AB.

3-4- Comparer les distances séparant l'objet et son image du miroir.

3-5- Déduire les caractéristiques de l'image d'un objet par rapport à un miroir plan.

### Doc.3 Image à travers un miroir



### Ce qu'il faut savoir

Tracer la symétrie d'un point et d'un segment par rapport à une droite.

### Lexique

- **Lanterne** : lampe.
- **Incident** : arrivant.
- **Réfléchi** : renvoyé dans une direction privilégiée.

ApoStrophe

## Objectif

Mettre en évidence le phénomène de réfraction de la lumière.

## Activité expérimentale

### Doc.1 Crayon cassé



En plaçant un crayon dans un verre d'eau, on a l'impression comme s'il était cassé (Doc. 1).

► Comment se propagent les rayons lumineux lorsqu'ils passent d'un milieu à un autre ?

### Matériel :

Lanterne, cercle gradué, hémisphère en verre.

### Manipulation :

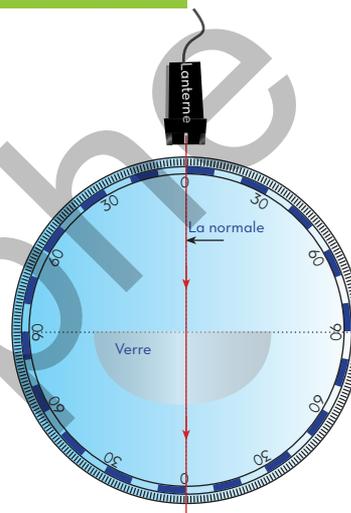
Envoyer un rayon lumineux normalement à la surface plane de l'hémisphère en verre (Doc. 2.)

### Piste de travail :

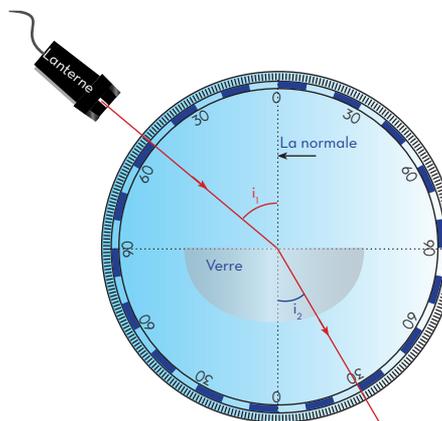
1- Le rayon lumineux dévie-t-il au cas d'une incidence normale ou non ?

2- Pourquoi le rayon ne dévie-t-il pas sur la face hémisphérique ?

### Doc.2 Incidence normale



### Doc.3 Réfraction de lumière



## A Passage d'un milieu à un milieu plus réfringent :

### Manipulation :

1. Envoyer un rayon lumineux sous une incidence d'angle  $i_1$  (Doc. 3) ;
2. Mesurer l'angle de réfraction  $i_2$  ;
3. Répéter la mesure pour d'autres angles.

Les résultats obtenus ressemblent aux suivants :

$i_1$ (°)	10	20	30	40	50	60
$i_2$ (°)	6,5	12,9	19,1	24,8	30	34,5

### Piste de travail :

1- Comparer  $i_1$  et  $i_2$ . Le rayon réfracté se rapproche-t-il de la normale ou s'en éloigne ?

2- Compléter le tableau suivant ;

$\sin i_1$						
$\sin i_2$						

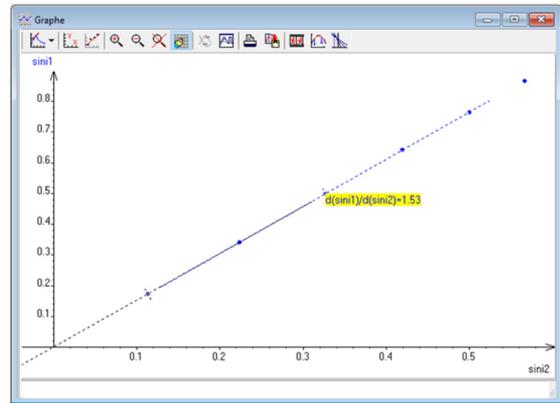
ApoStrophe

3- Le (Doc. 4) ci-contre, représente  $\sin i_1$  en fonction de  $\sin i_2$ ;

3-1- Quelle est la nature de cette courbe ?

3-2- Écrire l'équation de cette courbe.

Doc.4  $\sin i_1 = f(\sin i_2)$

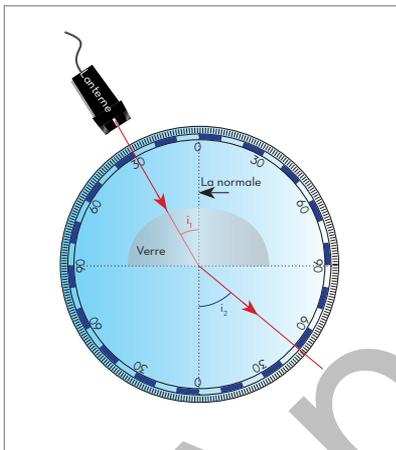


## B Passage d'un milieu à un milieu moins réfringent :

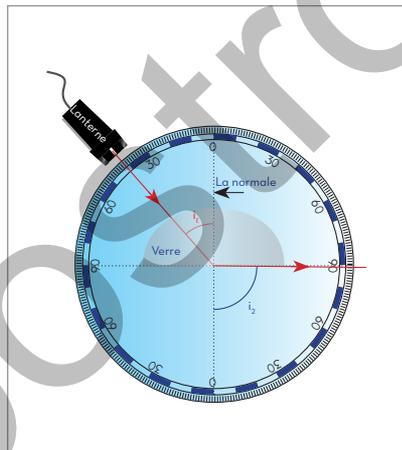
### Manipulation :

1. Envoyer un rayon lumineux sous une incidence d'angle  $i_1$  (Doc. 5.a) ;
2. Mesurer l'angle de réfraction  $i_2$  ;
3. Augmenter la valeur de  $i_1$  jusqu'à une valeur  $i_\ell$  tel que l'angle de réfraction  $i_2 \approx 90^\circ$  (Doc. 5.b) ;
4. Augmenter d'avantage la valeur de  $i_1$  pour devenir  $i_1 > i_\ell$  (Doc. 5.c).

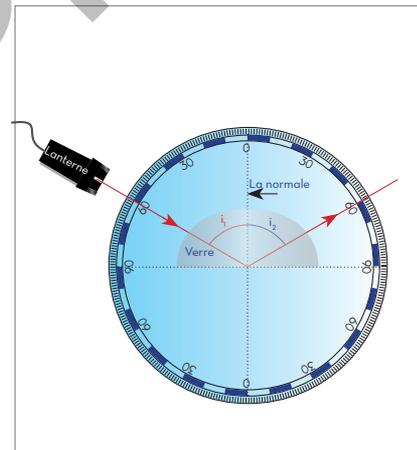
Doc.5 Réfraction ou réflexion totale



a- Réfraction de lumière



b- Angle limite



c- Reflexion totale

### Piste de travail :

1- Pourquoi le rayon ne dévie-t-il pas sur la face hémisphérique ?

2- Comparer  $i_1$  et  $i_2$  (Doc. 5.a). Le rayon réfracté se rapproche-t-il de la normale ou s'en éloigne ?

ApoStrophe

3- Sachant que  $i_e \approx 41^\circ$ . Vérifier que  $\sin i_e = \frac{1}{n}$ . ( $n$  : indice de réfraction du verre).

.....  
.....  
.....  
.....

4- Quel est le phénomène observé lorsque  $i_1 > i_c$ ? A quelle loi obéit-il ?

.....  
.....  
.....  
.....

## C Phénomène du mirage :

Doc.6 **Mirage**



### Piste de travail :

Comment expliquer le mirage (Doc. 6), qui donne l'impression de voir de l'eau sur la route ?

.....  
.....  
.....  
.....

### Ce qu'il faut savoir

- L'équation d'une fonction linéaire  $y = f(x)$  s'écrit :  $y = ax$  ( $a$  étant le coefficient directeur) ;
- Loi de Descartes pour la réflexion :  $i = r$ .

### Lexique

- **Réfraction** : Changement de direction.
- **Mirage** : Illusion de voir l'eau.
- **Plus réfringent** : Qui réfracte plus.

ApoStrophe

## Objectif

Mettre en évidence le phénomène de dispersion de la lumière.

## Activité expérimentale

### Doc.1 Arc en ciel



En présence des gouttelettes d'eau en suspension dans l'espace, on peut voir un spectre irisé appelé arc en ciel.

► Comment peut-on expliquer la formation de ce spectre ?

### Matériel :

Prisme, source de lumière blanche, écran blanc.

### Manipulation :

1. Envoyer un faisceau de lumière blanche sur le prisme ;
2. Placer derrière ce prisme un écran blanc.

### Piste de travail :

1- Décrire la figure obtenue après le prisme.

2- Quelle est la couleur la plus déviée ?

3- Subissant au moins une réflexion à l'intérieur d'une gouttelette d'eau (Doc. 3), la lumière blanche du soleil est dispersée pour donner un faisceau coloré dont la couleur rouge est située en bas (contrairement au prisme).

L'arc en ciel est le spectre formé par plusieurs gouttelettes.

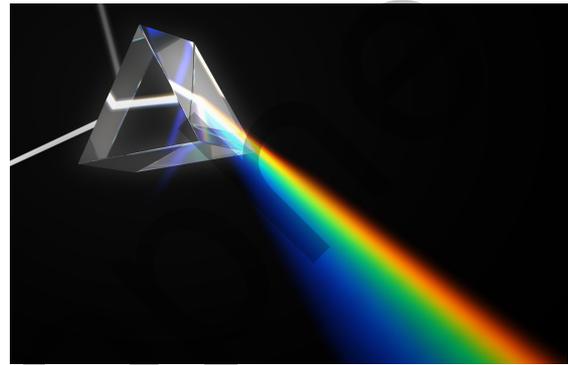
Un observateur au sol (Doc. 4) perçoit les couleurs émergeant des gouttelettes.

3-1- Quelle est la couleur qui lui parvient des gouttelettes les plus hautes ?

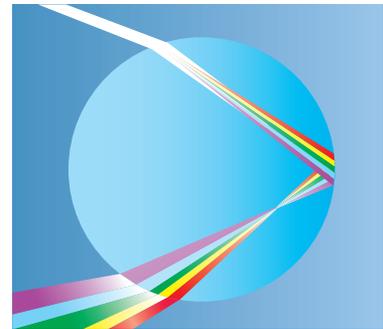
3-2- Quelle est la couleur qui lui parvient des gouttelettes les plus basses ?

3-3- Justifier la disposition des couleurs de l'arc en ciel (rouge en haut).

### Doc.2 Prisme



### Doc.3 Goutte d'eau



### Doc.4 Gouttelettes



### Ce qu'il faut savoir

- La lumière blanche est constituée de plusieurs couleurs.

### Lexique

- **Dispersion** : éparpiller la lumière blanche.  
- **Gouttelette** : petite goutte.

ApoStrophe

# L'ESSENTIEL DU COURS

## 1. Réflexion :

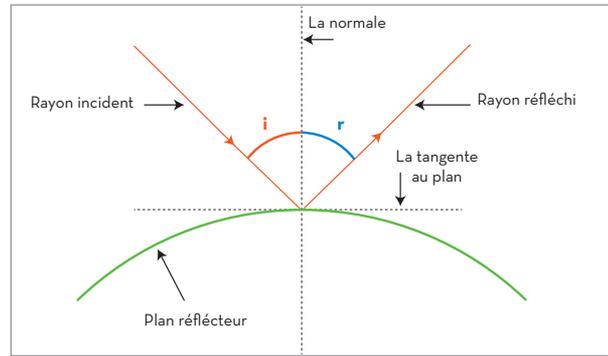
La réflexion des rayons lumineux sur des surfaces réfléchissantes obéit à des lois appelées :

Lois de Descartes pour la réflexion, tel que :

- Les rayons incident, réfléchi et la normale appartiennent au même plan ;
- Les angles d'incidence et de réflexion sont égaux :  $i = r$

### Remarque :

Les angles sont tous mesurés entre les rayons et la normale.



## 2. Réfraction :

La réfraction des rayons lumineux sur des surfaces transparentes obéit aussi à des lois appelées :

Lois de Descartes pour la réfraction, tel que :

- Le rayon réfracté, le rayon incident et la normale sont dans un même plan (le plan d'incidence) ;
- Le rayon incident et le rayon réfracté sont situés de part et d'autre de la normale ;
- Les angles d'incidence et de réflexion sont liés par la relation :  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

$n_1$  et  $n_2$  indices de réfractons des milieux 1 et 2.

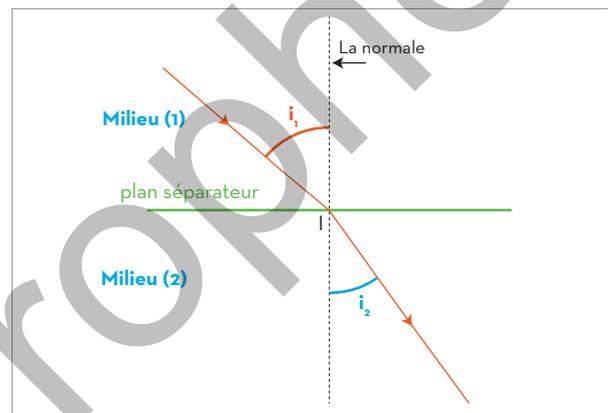
### Remarque :

- L'indice de réfraction  $n$  d'un milieu transparent caractérise sa capacité à « ralentir » la lumière.
- En cas d'incidence normale ( $i_1 = 0$ ) le rayon ne dévie pas ( $i_2 = 0$ ).
- Lorsque le rayon passe d'un milieu à un autre plus réfringent, il se rapproche de la normale ;
- Lorsque le rayon passe d'un milieu à un autre moins réfringent :

- Il s'éloigne de la normale si :  $i_1 < i_{le}$  ;
- Il se réfléchit totalement si :  $i_1 > i_{le}$  .

$i_{le}$  est l'angle limite d'incidence qui donne une réfraction d'angle  $i_2 = 90^\circ$ , donc :

$$\sin i_{le} = \frac{n_2}{n_1}$$



## 3. Application : Le prisme

Le prisme est un milieu transparent limité par deux surfaces planes

Ces deux surfaces se coupent suivant une ligne appelée : arête du prisme ;

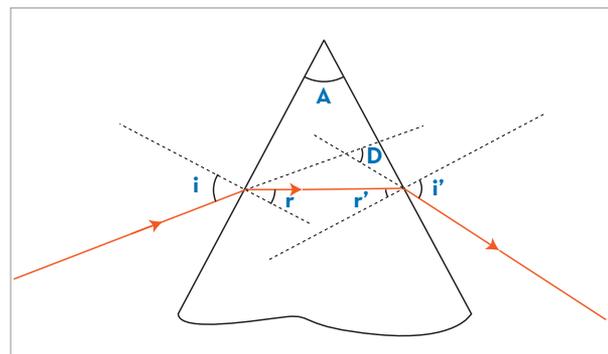
L'angle  $A$  entre ces deux plan est appelé angle du prisme ;

Lorsqu'un rayon lumineux monochromatique entre par l'une des faces et sort par la face opposée, il obéit aux lois suivantes appelées lois du prisme :  $\sin i = n \sin r$  ;  $\sin i' = n \sin r'$  ;  $A = r + r'$  et  $D = i + i' - A$ .

$D$  est l'angle entre les directions des rayons : incident et émergent, il est appelé angle de déviation.

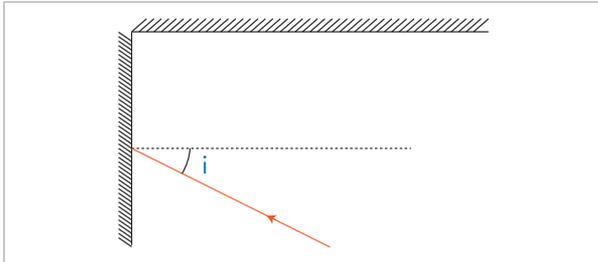
### Remarque :

Lorsque  $i = i'$  (évidemment  $r = r'$ ), l'angle  $D$  est minimal.



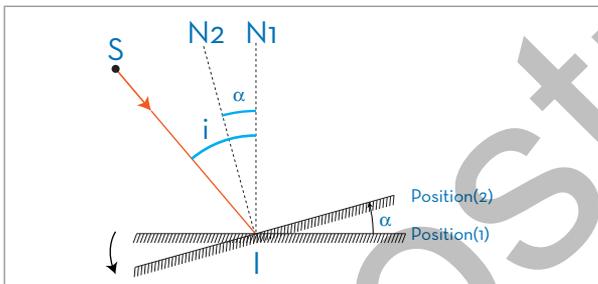
## 1 Réflexions successives

Un rayon lumineux arrive sur l'un des deux miroirs perpendiculaires sous une incidence d'angle  $i = 30^\circ$ . Tracer le trajet de ce rayon lumineux.



## 2 Miroirs de Fresnel

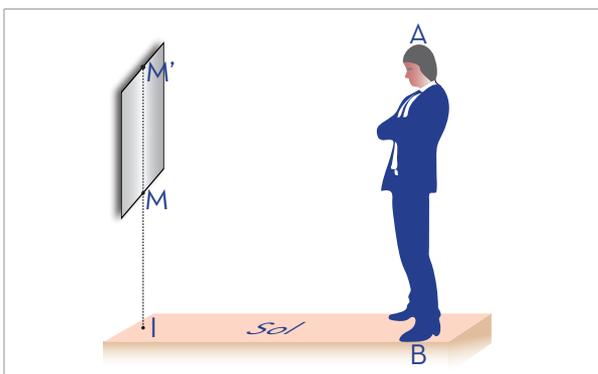
Un rayon lumineux (SI) arrive sur un miroir plan en position (1), sous une incidence d'angle  $i$ . On tourne le miroir d'un angle  $\alpha$  autour d'un axe normal au plan et passant par I, pour occuper la position (2) (figure ci-dessous).  $IN_1$  est la normale au miroir à la position (1).  $IN_2$  est la normale au miroir à la position (2).



1. Tracer le rayon réfléchi sur le miroir en chacune des positions (1) et (2).
2. Déduire l'expression de l'angle  $\beta$  entre les deux rayons réfléchis en fonction de  $\alpha$ .

## 3 Taille minimale d'un miroir

Une personne de longueur  $AB = 1,75$  m, se regarde dans un miroir plan, accroché verticalement contre un mur. Ses yeux sont à une hauteur  $h = 1,65$  m du sol.



1. Quelle est la hauteur IM pour que la personne voit son image entière dans le miroir.
2. Déterminer la hauteur  $MM'$  du miroir.

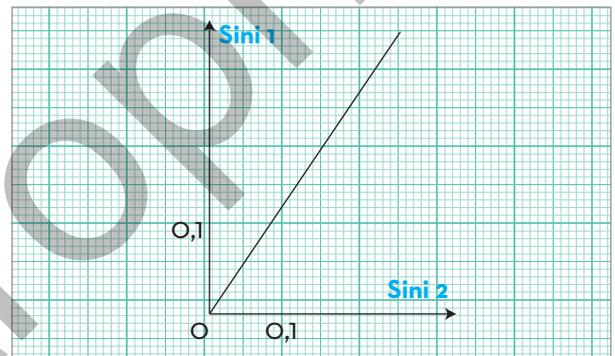
## 4 Loi de Descartes pour la réfraction

On envoie un rayon lumineux sur une paroi plane séparant deux milieux 1 et 2, sous une incidence  $i_1$ , et on mesure l'angle de réfraction  $i_2$ .

Le graphe ci-dessous représente les variations :  $\sin i_1 = f(\sin i_2)$

1. Définir l'indice de réfraction relatif  $n_{2/1}$  et déterminer sa valeur.
2. Identifier la nature du milieu, sachant que le milieu 1 est l'air.

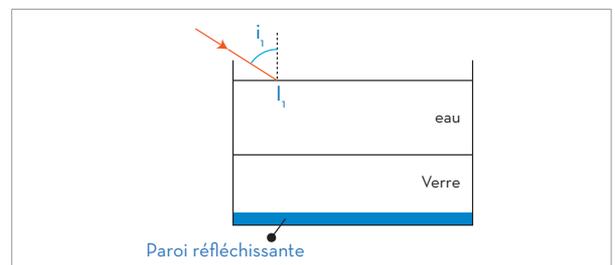
On donne : Indices de réfraction absolus de quelques milieux :  $n_{\text{eau}} = 1,33$  ;  $n_{\text{verre}} = 1,5$  ;  $n_{\text{diamant}} = 2,42$ .



## 5 Réfractions successives

Une lame de verre dont la partie inférieure est réfléchissante, est disposée au fond d'un cristallisoir. Au-dessus de cette lame de verre se trouve une couche d'eau en contact avec l'air.

Un rayon lumineux tombe en un point  $I_1$  de la surface de l'eau sous une incidence  $i_1 = 60^\circ$ .

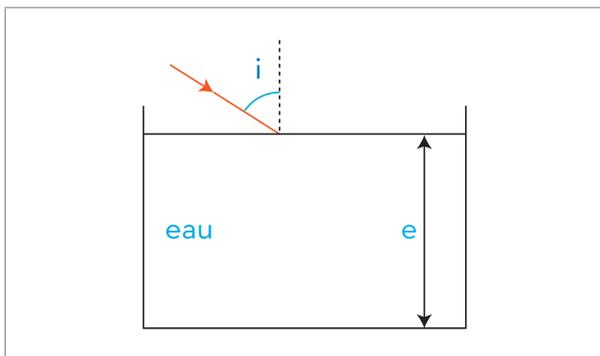


1. Calculer la valeur de l'angle de réfraction  $r_1$  dans l'eau.
2. Déduire la valeur de l'angle d'incidence sur la lame de verre, calculer l'angle de réfraction  $r_2$  dans le verre.
3. Construire le trajet du rayon lumineux jusqu'à la sortie de nouveau de la surface de l'eau-air. On donne : Indices de réfraction absolus des milieux existants :  $n_{\text{eau}} = 1,33$  ;  $n_{\text{verre}} = 1,5$  ;  $n_{\text{air}} = 1$ .

### 6 Décalage sans déviation

Un récipient en verre, contient une quantité d'eau d'épaisseur  $e = 10$  cm.

On envoie sur la surface libre de l'eau un rayon lumineux sous une incidence  $i = 60^\circ$ .

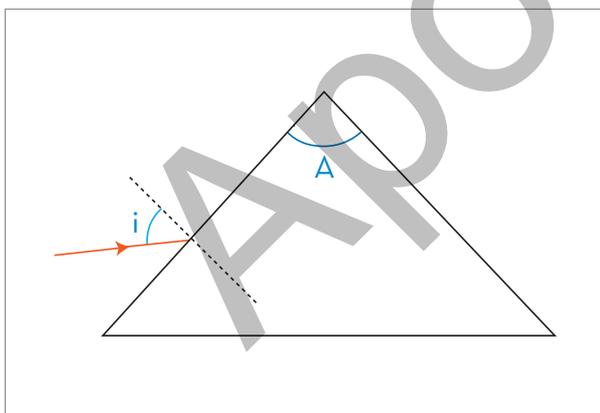


1. Calculer l'angle de réfraction  $r$  dans l'eau.
  2. Le rayon réfracté arrive au fond du récipient :
    - 2.1. Montrer que ce rayon se réfracte pour sortir du fond du récipient. (on néglige l'épaisseur du verre de fond).
    - 2.2. Calculer la distance  $d$  entre le rayon incident à la surface supérieure de l'eau et le rayon émergeant de la partie inférieure du récipient.
- On donne :  $n_{\text{eau}} = 1,33$  ;  $n_{\text{verre}} = 1,5$

### 7 Prisme

Un rayon lumineux arrive sur la première face d'un prisme d'angle  $A = 60^\circ$  sous un angle d'incidence de valeur  $i = 50^\circ$ .

L'indice de réfraction absolu du prisme pour ce rayon :  $n = 1,6$ .



1. Ecrire les quatre relations du prisme.
2. Calculer les angles de réfraction sur les deux faces.
3. L'angle de déviation  $D$ , prend une valeur minimale  $D_m$  lorsque  $i = i'$ . Montrer dans ce cas

$$\text{que : } n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}.$$

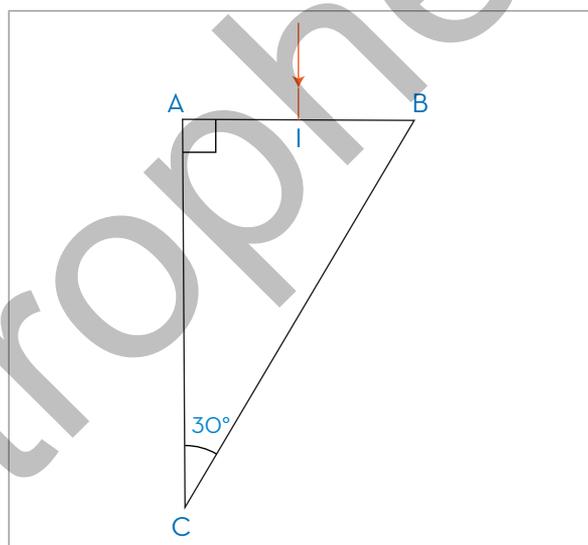
Calculer la valeur de  $D_m$ .

### 8 Réflexion totale

En un point  $I$  de la face  $(AB)$  d'un prisme droit en  $A$ , on envoie un rayon lumineux perpendiculairement à cette face.

L'indice de réfraction du prisme par rapport à ce rayon est  $n = 1,5$ .

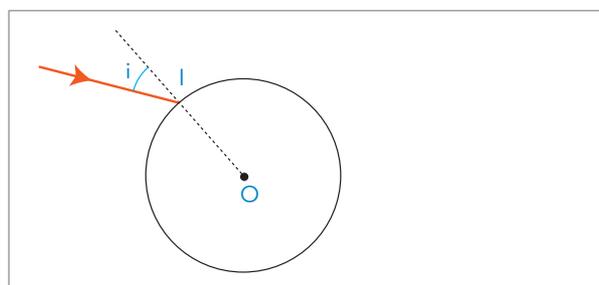
1. Montrer que le rayon se réfléchit sur la face  $(BC)$  du prisme.
2. Montrer que le rayon se réfracte sur la face  $(AC)$  et calculer la valeur de l'angle de réfraction.
3. Construire qualitativement le trajet de ce rayon lumineux.
4. Déduire la valeur de l'angle de déviation  $D$  du rayon.
5. A quelle condition doit satisfaire la valeur de l'indice de réfraction  $n$ , pour que le rayon lumineux ne se réfléchisse pas sur la face  $(BC)$  du prisme.



### 9 Déviation par une goutte d'eau

Un rayon lumineux incident en  $I$  sur une goutte d'eau sous une incidence  $i$ , subit une première réfraction au point  $I$ , puis une réflexion en un point  $J$ , pour émerger de la goutte en un point  $K$ . On donne : L'indice de réfraction de l'eau par rapport à ce rayon :  $n = 1,33$ , et on appellera  $r$ , l'angle de réfraction en  $I$ .

1. Exprimer l'angle de déviation  $D$  du rayon en fonction de  $i$  et  $r$ .
2. Trouver l'expression  $D_N$  de cette déviation au cas où le rayon lumineux se réfléchit  $N$  fois à l'intérieur de la goutte d'eau.





Lancé dans l'espace, le télescope Hubble permet d'effectuer des observations avec une très haute résolution, en infrarouge ou ultraviolet, sans les contraintes dues à l'atmosphère terrestre.

# IMAGES DONNÉES PAR UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE

**Comment peut-on voir ce qu'on ne voit pas à l'œil nu, petit soit-il ou grand ?**

## Objectifs

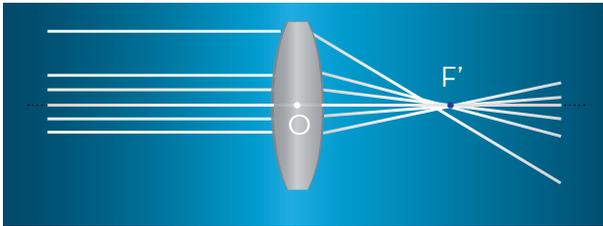
- Observation et localisation des images données par une lentille mince convergente ;
- Conditions de Gauss ;
- Modélisation géométrique d'une lentille mince convergente : centre optique ; foyers ; distance focale ; vergence.
- Construction géométrique de l'image :
  - D'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique ;
  - D'un objet ponctuel à l'infini.
- Quelques appareils d'optique : La loupe, le microscope, la lunette astronomique.



ApoStrophe

## B Conditions de Gauss d'obtention d'une image nette :

Doc.3 Rayon incident au voisinage du bord



### Piste de travail :

1- Le rayon incident au voisinage de l'un des bords de la lentille (Doc. 3) converge-t-il vers le point F' ou non?

.....  
 .....  
 .....

3- Comment protéger la lentille de ces rayons ?

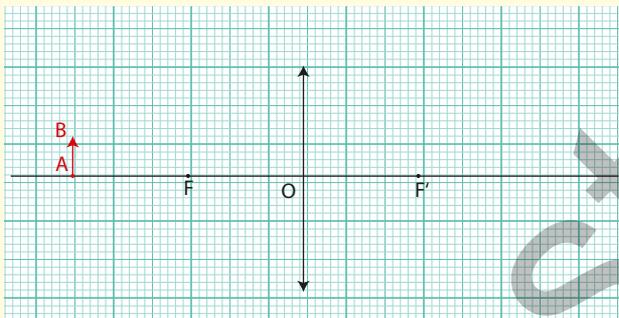
.....  
 .....

## C Construction géométrique de l'image d'un objet :

### Piste de travail :

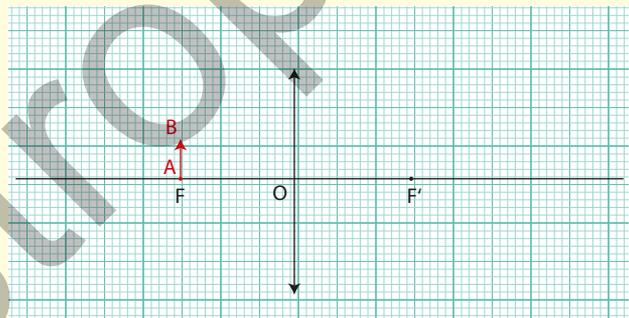
Construire l'image de l'objet AB dans les différentes situations suivantes, en indiquant la nature de l'objet et celle de son image.

•  $\overline{OA} = 2\overline{OF}$



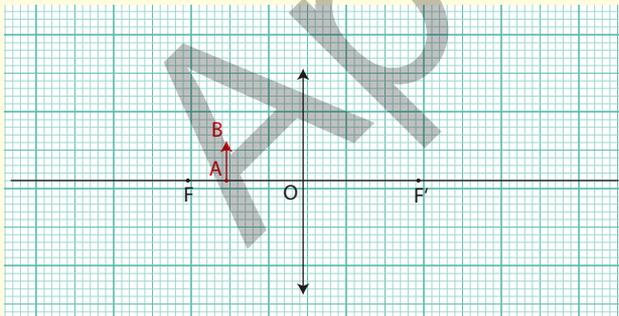
Nature de l'objet : .....  
 Nature de l'image : .....

•  $\overline{OA} = \overline{OF}$



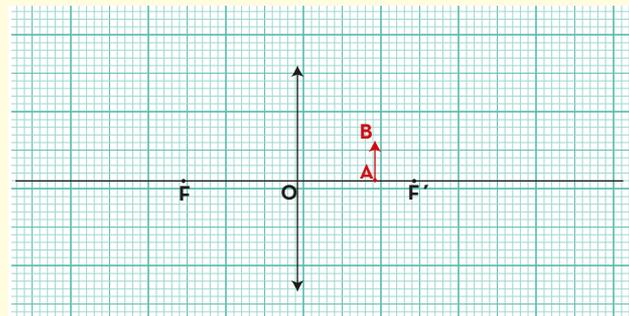
Nature de l'objet : .....  
 Nature de l'image : .....

•  $\overline{OA} > \overline{OF}$



Nature de l'objet : .....  
 Nature de l'image : .....

•  $\overline{OA} > 0$



Nature de l'objet : .....  
 Nature de l'image : .....

### Ce qu'il faut savoir

- Distinguer entre un axe secondaire et axe principal ;
- Distinguer une valeur algébrique d'une distance.

### Lexique

- **Foyer** : un point spécifique.
- **Plan focal** : ensemble de points foyers.

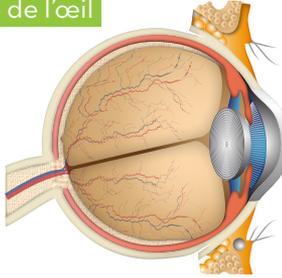
ApoStrophe

## Objectif

Savoir les caractéristiques des images obtenues par quelques appareils d'optique.

## Activité documentaire

### Doc.1 Coupe de l'œil



L'œil est un appareil naturel utilisant une lentille (Cristallin), à zoom automatique, et assurant la concentration des rayons lumineux sur un écran fixe (Rétine). Les conditions de Gauss sont assurées par un diaphragme (Iris) d'ouverture (Pupille) auto réglable en fonction de l'intensité des rayons lumineux qui la traversent.

► Quelle sont les caractéristiques d'une image obtenue par un appareil d'optique ?

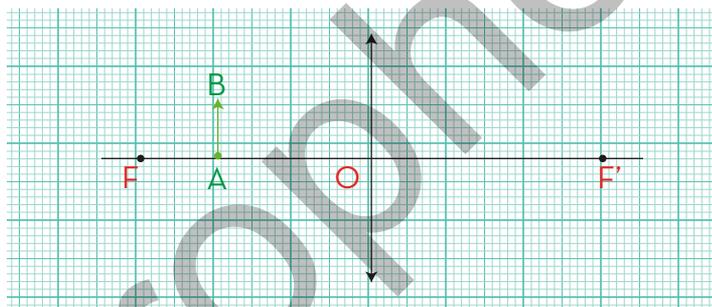
### Piste de travail :

Construire l'image obtenue par chacun des appareils suivants :

### Doc.2 Loupe



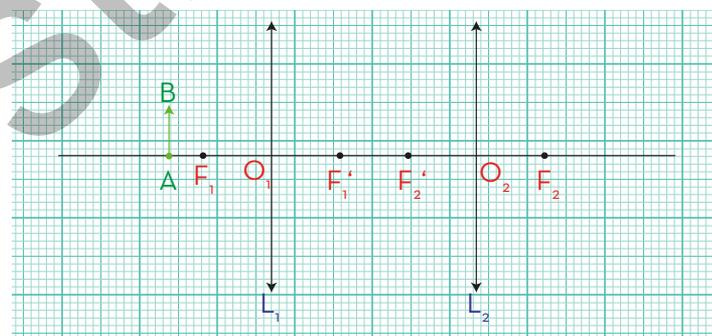
L'objet est toujours entre le foyer principal objet et la lentille.



### Doc.3 Microscope



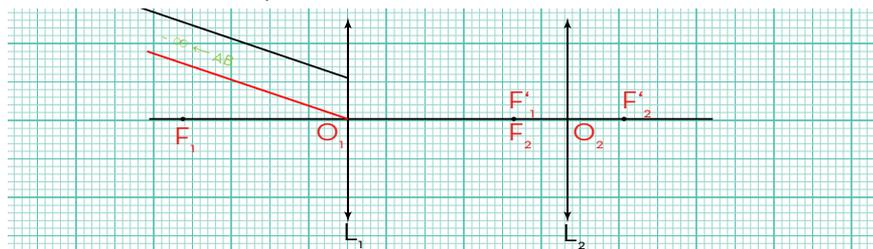
La lentille  $L_1$  est appelée objectif et la lentille  $L_2$  est appelée oculaire.



### Doc.4 Lunette astronomique



- L'objet se trouve à l'infini.
- Le foyer principal image de l'objectif et le foyer principal objet de l'oculaire coïncident pour assurer une vision sans accommodation.



### Ce qu'il faut savoir

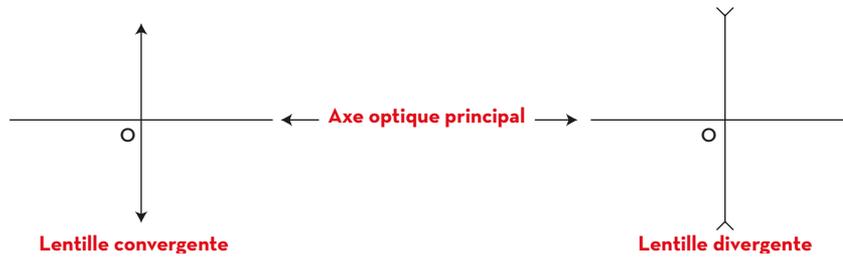
- Théorème de Thalès.
- Géométrie des triangles.

### Lexique

- **Oculaire** : lié à l'œil.
- **Objectif** : lié à l'objet.

ApoStrophe

## 1. Symboles des lentilles :



$OF' = f'$  : distance focale image.

L'espace avant la lentille est appelé : espace objet ;

L'espace après la lentille est appelé : espace image.

## 2. Convention :

Les sens positifs :

- Horizontalement : de gauche vers la droite
- Verticalement : de bas vers le haut.

## 3. Vergence :

**Unité :** Dioptrie noté  $\delta$ .

**Remarque :**  $C > 0$  : lentille convergente.

$C < 0$  : lentille divergente.

La vergence de deux lentilles collées :

$$C = \frac{1}{OF'}$$

$$C = C_1 + C_2$$

## 4. Condition de Gauss :

Pour obtenir une image nette, il faut que :

- Les rayons arrivent au voisinage du centre optique de la lentille.
- Les rayons ne doivent pas être très inclinés par rapport à l'axe optique principal.

Pour réaliser ces conditions il faut mettre un diaphragme devant la lentille.

## 5. Relations de conjugaison et d'agrandissement :

Soit  $AB$  un objet et  $A'B'$  son image obtenue à travers une lentille.

- $OA < 0$  (objet dans l'espace objet) : l'objet est réel ;
- $OA > 0$  (objet dans l'espace image) : l'objet est virtuel ;
- $OA' > 0$  (image dans l'espace image) : l'image est réelle ;
- $OA' < 0$  (image dans l'espace objet) : l'image est virtuelle.

### 5.1. Relations de conjugaison :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

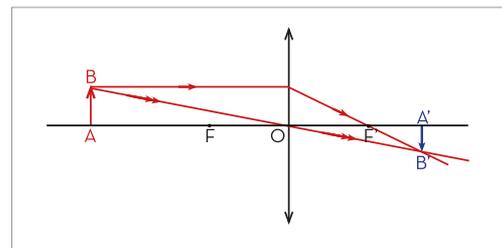
### 5.2. Relations d'agrandissement :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

$\gamma$  : sans unité.

$\gamma > 0$  : l'objet et l'image de mêmes sens.

$\gamma < 0$  : l'objet et l'image de sens contraires.



**Remarque :** l'agrandissement d'un système de deux lentilles :  $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2$

## 1 Système de deux lentilles convergentes

On place à une distance de 4 cm avant une lentille mince  $L_1$  de vergence  $C_1 = 50\delta$ , un objet AB de longueur  $AB = 1$  cm perpendiculaire à l'axe optique principal de la lentille contenant le point A.

1. Calculer la valeur de la distance focale image  $f'$  de la lentille.

2. Trouver graphiquement la position, la nature et la longueur de l'image A'B' de AB.

3. S'assurer littéralement de ces résultats.

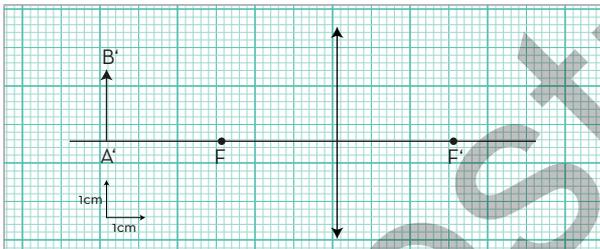
4. On place à 1 cm après la lentille  $L_1$ , une autre lentille  $L_2$  identique à  $L_1$ , une nouvelle image A''B'' apparaît.

3.1. Trouver théoriquement la position, la nature et la longueur de l'image A''B'' de A'B', obtenue par la lentille  $L_2$ .

3.2. Calculer l'agrandissement du système  $S = \{L_1, L_2\}$

## 2 Agrandissement d'une loupe

Sur la figure suivante, A'B' représente l'image d'un objet AB, obtenue à l'aide d'une loupe sous forme d'une lentille mince convergente L.



1. Déterminer graphiquement la position, la nature et la longueur de l'objet AB.

2. S'assurer théoriquement de ces résultats.

3. Calculer la valeur de l'agrandissement de cette loupe.

## 3 Effet de déplacement d'un objet

On place un objet de longueur  $AB = 1$  cm, à une distance de 3 cm avant une lentille mince de distance focale image  $f' = 2$  cm.

L'objet est perpendiculaire à l'axe optique principal contenant A.

1. Calculer la valeur de la vergence de la lentille.

2. Déterminer théoriquement la position de l'image A'B' obtenue.

3. On coulisser l'objet l'axe optique principal, on obtient, pour une nouvelle position de AB, une image A''B'', virtuelle, droite et de longueur  $A''B'' = 4$  cm.

2.1. A-t-on éloigné ou rapproché l'objet de la lentille ?

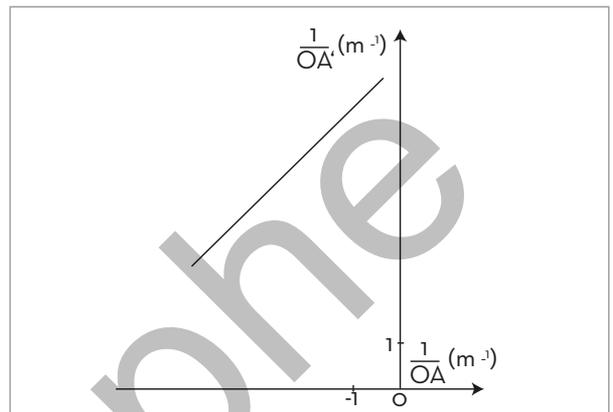
2.2. Quel est le rôle de la lentille dans ce cas.

2.3. Trouver théoriquement les positions de l'objet et de l'image.

## 4 Détermination graphique de la distance focale

Pour déterminer la distance focale image  $f' = OF'$  d'une lentille mince, on coulisser sur son axe principal un objet AB et un écran E, et on cherche pour chaque position de l'objet, la position de l'écran sur lequel l'image A'B' apparaît nette.

Les résultats ont permis de tracer le graphe ci-dessous.



1. Quelle est la nature de la lentille ?

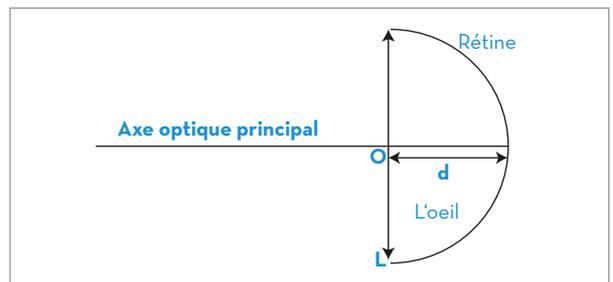
2. Ecrire la relation de conjugaison et déduire la distance focale image de la lentille.

## 5 Etude de l'œil

On peut assimiler l'œil à une lentille mince convergente L de distance focale ajustable.

Pour une vision nette, l'image doit se former sur la rétine. Si l'image ne se forme pas sur la rétine, l'œil doit accommoder.

La distance entre le centre de la lentille de l'œil et la rétine est  $d = 15$  mm.



1. Quelle est la distance focale image  $f'_0$  d'un œil normal lorsqu'il voit un objet très loin ?

Déduire sa vergence  $C_0$ .

2. Pour lire un journal distant de 25 cm du centre optique O de la lentille, une personne à vision normale, accommode pour voir nettement. Calculer dans ce cas la nouvelle distance focale image  $f'_1$ , déduire sa vergence  $C_1$ .

3. La vergence de l'œil d'un myope lorsqu'il voit un objet très loin est  $C_2 = 74,4 \delta$ .

**3.1.** Trouver la position de l'image lorsque ce myope regarde un objet très loin. Conclure à propos de la netteté de cette image.

**2.2.** Déterminer la vergence et la nature d'une lentille de correction de la vision de cette personne.

### 6 Méthode de Bessel

On fixe sur un banc d'optique, un objet AB de longueur 10 cm et un écran E, à une distance  $D = 2$  m de cet objet.

On fait coulisser entre l'objet et l'écran, une lentille convergente L de centre optique O et distance focale image  $f'$ . On observe sur l'écran :

- Pour une position **1** de la lentille : on obtient une image  $A_1B_1$  nette plus grande que l'objet.
- Pour une position **2** de la lentille : on obtient une image  $A_2B_2$  nette plus petite que l'objet.

La distance entre les deux positions **1** et **2** est  $d = 0,8$  m.

**1.** Par application de la relation de conjugaison, montrer que la variable  $p = OA$  vérifie la relation :  $p^2 + Dp + Df' = 0$

**2.** A partir de la résolution de cette équation :

**1.1.** Montrer qu'on ne peut obtenir les deux images nettes que si la condition  $D > 4f'$  est vérifiée.

**1.2.** Trouver les expressions des solutions  $p_1$  et  $p_2$  relatives aux positions **1** et **2** de la lentille.

**1.3.** Montrer que :  $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$ .

**3.** Application numérique :

**2.1.** Calculer la valeur de la distance focale image  $f'$  de la lentille et déduire sa vergence.

**2.2.** Calculer les valeurs de  $p_1$  et  $p_2$ .

**2.3.** Calculer la valeur de l'agrandissement de la lentille dans les deux cas.

**4.** Construire l'image  $A_1B_1$  avec une échelle 1/10.

### 7 Quand l'œil accommode :

Grâce aux muscles ciliaires, le cristallin de l'œil peut modifier sa vergence de façon à voir nettement les objets situés à des distances différentes on dit que l'œil accommode. On assimile l'œil à une lentille convergente associée à un écran

**1.** Pour un œil normal, la vergence varie, par exemple, de 62,5δ pour une vision à l'infini sans accommodation, à 66,5δ pour une vision rapprochée.

**1.1.** Quelle distance sépare le centre optique de la lentille-cristallin de l'écran-rétine ?

**1.2.** Calculer la distance minimale de vision distincte.

**2.** Avec l'âge, l'œil accommode moins : il souffre alors de presbytie.

Ainsi, la lecture n'est possible que si la distance séparant le texte de l'œil est, par exemple, 55 cm.

**2.1.** Quelle est alors la vergence maximale du cristallin ?

**2.2.** De façon à pallier cet inconvénient, l'ophtalmologiste prescrit des verres de lunettes dont la vergence, additionnée à celle de l'œil, permet à nouveau une lecture nette à 25cm. Quelle valeur le praticien doit-il indiquer à l'opticien chargé de donner aux verres la vergence adéquate ?

**2.3.** Cependant, avec de tels verres, la vision des objets éloignés n'est plus possible. Pourquoi ? À quelle distance maximale un objet sera-t-il vu nettement par l'œil à travers ces lunettes ?

### 8 Microscope :

Les caractéristiques techniques optiques d'un microscope sont :

- distance focale de l'objectif :  $f'_1 = 4,0$  mm ;

- distance focale de l'oculaire :  $f'_2 = 4,0$  cm ;

- distance séparant les centres optiques de l'objectif et de l'oculaire : 20,0 cm

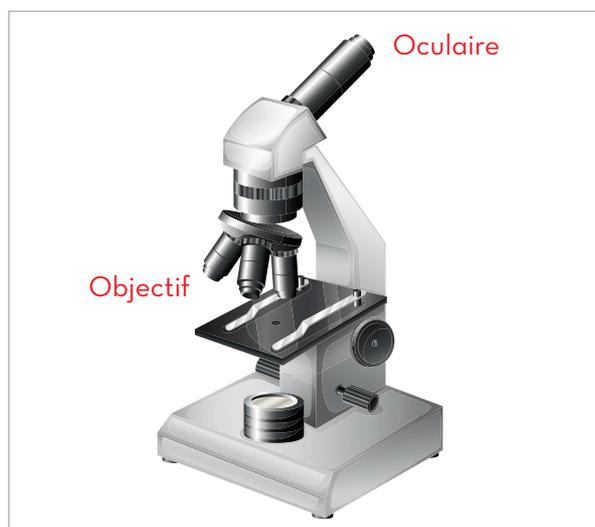
L'observateur place son œil au foyer image  $F'_2$  de l'oculaire.

**1.** Calculer la distance séparant l'objet AB du centre optique  $O_1$  de l'objectif lorsque l'image finale observée par l'œil se situe à l'infini.

**2.** Calculer la distance séparant l'objet AB du centre optique  $O_1$  de l'objectif lorsque l'image finale observée par l'œil correspond au minimum de vision distincte, soit 25 cm dans le cas de cet observateur.

**3.** Des résultats précédents, déduire la longueur du déplacement de l'objet, appelée latitude de mise au point, permettant d'observer une image finale située dans le domaine de vision distincte de l'observateur. Que dire alors de l'épaisseur de l'objet pouvant être observée sans changer la mise au point ?

**REMARQUE :** Les réponses aux questions a. et b. seront données avec la précision du  $\mu\text{m}$ . En effet, une vis micrométrique permet des déplacements de cet ordre de grandeur.





ApoStrophe